



รายงานวิจัย

การเพิ่มมูลค่าผลิตผลพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อพัฒนา

การเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน ปีที่ 2: ระยะที่ 4

The Values Enhancement of Economic Vegetable and Fruit Products
for Upland Sustainable Agricultural Development 2nd Year: Phase IV

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญา บุญประสม พูลลาภ

รองศาสตราจารย์ ดร. อภิรักษ์ เพียรมงคล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพล เล็กสวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ เฉลิมาชาติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจินดา ศรีวัฒนะ

อาจารย์ ดร.สรญา เขียวनावวงศ์ชา

นางสาวอัจฉรา เทียมภักดี

ส่วนงานสังกัด

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

พ.ศ. 2556



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการเพิ่มมูลค่าผลิตผลพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน: ระยะที่ 4 (The Values Enhancement of Economic Vegetable and Fruit Products for Upland Sustainable Agricultural Development 2nd Year: Phase IV) เป็นโครงการต่อเนื่อง 2 ปี ภายใต้แผนงานวิจัยการใช้ที่ดินและการพัฒนาชนบนบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืนที่ได้รับการสนับสนุนการวิจัยประเภทไทย-เยอรมัน จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 และ 2554

บัดนี้โครงการวิจัยได้ดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้น และได้ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีสารสนเทศผลิตภัณฑ์ของโครงการเป็นที่เรียบร้อย ทางคณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย และสำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้สนับสนุนสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัยจึงทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

พ.ศ. 2556



สรุปผลงานวิจัย

- โครงการวิจัยเรื่อง:** การเพิ่มมูลค่าผลิตผลพืชผักและผลไม้เศรษฐกิจเพื่อการพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน
- ชื่อนักวิจัย/สังกัด:** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญา บุญประสม พูลลาภ
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ประจำปี:** 2553, 2554
- ระยะเวลา:** 2 ปี
- จำนวนเงิน:** 1,717,000 บาท
- ประเภททุนอุดหนุนการวิจัย:** ไทย – เยอรมัน
- ผลงานวิจัย:** โครงการการเพิ่มมูลค่าผลิตผลพืชผักและผลไม้เศรษฐกิจฯ ระยะที่ 4 ได้มุ่งเน้นการแปรรูปผลิตผลเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่าให้แก่ผักและผลไม้บนพื้นที่สูง ได้แก่ มะนาว มะม่วงสายพันธุ์นวลคำ มะม่วงลูกเล็ก ข้าวโพด และถั่วแปยี สำหรับถั่วแปยีเป็นพืชที่ช่วยอนุรักษ์ดินยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มประสิทธิภาพ โดยโครงการวิจัยนี้ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์จากพืชผักและผลไม้บนพื้นที่สูงทั้งหมด จำนวน 10 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผงมะนาวพร้อมดื่มสำเร็จรูป มะม่วงสายพันธุ์นวลคำแผ่นอบแห้ง มะม่วงชั้นอบแห้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ เส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง นมข้นจากข้าวโพดหวาน ข้าวเกรียบจากข้าวโพดหวาน กระบวนการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคส/ฟรุกโตสจากข้าวโพดหวาน สูตรผลิตถั่วแปยีกั่วสมุนไพร คุณก็จากผงแป้งถั่วแปยี ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ล้วนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตผลเกษตร ที่ได้ผ่านการศึกษาด้านทุน การยอมรับของผู้บริโภค และราคาของผู้บริโภคยอมรับในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ยังได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านกรรมวิธี กระบวนการ และองค์ความรู้ที่สำคัญให้แก่ผู้ประกอบการ เกษตรกร กลุ่มแม่บ้าน กลุ่มวิสาหกิจชุมชน และประชาชนผู้สนใจเป็นที่เรียบร้อยแล้ว



สารบัญ

รายการ

หน้าที่

กิตติกรรมประกาศ	ก
แบบสรุปผลงานวิจัย	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1: บทนำ	1
บทที่ 2: บรรณานุกรม.....	4
บทที่ 3: ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย.....	45
บทที่ 4: ผลการวิจัย.....	84
บทที่ 5: อภิปรายและวิจารณ์ผลการวิจัย	260
บทที่ 6: สรุปผลการวิจัย.....	330
บรรณานุกรม	339
ภาคผนวก	346
ประวัติคณะผู้วิจัย	395



สารบัญตาราง

รายการ	หน้าที่
บทที่ 2: ทบทวนวรรณกรรม.....	4
ตารางที่ 2.5.1: องค์ประกอบทางเคมีของถั่วแปยี	19
ตารางที่ 2.6.1: ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ	22
ตารางที่ 2.6.2: สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน.....	23
บทที่ 3: ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย.....	45
ตารางที่ 3.1.1: ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ของส่วนผสมในสูตรน้ำมะนาว พร้อมดื่มตามแผนการทดลองแบบ mixture design	46
ตารางที่ 3.1.2: แผนการทดลองเมื่อเติม methocel A4C	48
ตารางที่ 3.1.3: แผนการทดลองเมื่อเติม glyceryl monostearate (GMS)	48
ตารางที่ 3.1.4: แผนการทดลองเมื่อเติม egg albumin	49
ตารางที่ 3.2.1: ส่วนผสมในสูตรพื้นฐานไอศกรีมนมที่ใช้ในการศึกษา.....	53
ตารางที่ 3.2.2: ส่วนผสมในสูตรพื้นฐานคุกกี้ที่ใช้ในการศึกษา.....	55
ตารางที่ 3.3.1: ปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายในระดับต่างๆที่ใช้ในการผลิต มะม่วงแผ่นอบแห้ง.....	57
ตารางที่ 3.3.2: ปริมาณความชื้นของมะม่วงแผ่นอบแห้งในระดับต่างๆ.....	59
ตารางที่ 3.3.3: การตรวจวัดคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์และทางประสาท สัมผัสตลอดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงแผ่นอบแห้ง.....	60
ตารางที่ 3.4.1: ระดับของปัจจัยในแต่ละสิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนแบบ ส่วนผสม (Mixture design) ของนมข้าวโพดชั้นหวาน.....	63
ตารางที่ 3.4.2: ส่วนประกอบของข้าวเกรียบข้าวโพดต้นแบบ	66
ตารางที่ 3.4.3: สิ่งทดลองที่ได้จากการผันแปรปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาล	68
ตารางที่ 3.4.4: สิ่งทดลองที่ได้จากการผันแปรเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ อบแห้งข้าวเกรียบ	69
ตารางที่ 3.6.1: อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทดลอง.....	76
ตารางที่ 3.6.2: การแปรผันปัจจัย ในการผลิตแป้งถั่วแปยี.....	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
ตารางที่ 3.6.3: ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตคุกกี้	80
ตารางที่ 3.6.4: ปริมาณกระเทียมจีนทอด พริกชี้ฟ้าแดงทอด และใบมะกรูดทอด สำหรับผลิตถั่วแปยี่คั่วสมุนไพร	82
บทที่ 4: ผลและวิจารณ์ผลการวิจัยวิธีการดำเนินการวิจัย.....	84
ตารางที่ 4.1.1: คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมะนาวสดพันธุ์ พิจิตร 1	84
ตารางที่ 4.1.2: สัดส่วนส่วนผสมของสูตรน้ำมะนาวพร้อมดื่มตามแผนการทดลอง แบบ mixture design (100 กรัม)	84
ตารางที่ 4.1.3: คุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวพร้อมดื่ม	85
ตารางที่ 4.1.4: คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมะนาวพร้อม ดื่ม (สูตรที่ 3)	85
ตารางที่ 4.1.5: คุณภาพทางกายภาพและเคมีบางประการของเครื่องดื่มน้ำมะนาว สูตรที่ 3 31.....	86
ตารางที่ 4.1.6: ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้เมทโร เซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม	86
ตารางที่ 4.1.7: ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดย ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม.....	87
ตารางที่ 4.1.8: ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม	87
ตารางที่ 4.1.9: ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	88



สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

ตารางที่ 4.1.10: ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม.....	88
ตารางที่ 4.1.11: ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	89
ตารางที่ 4.1.12: ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	89
ตารางที่ 4.1.13: ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม.....	90
ตารางที่ 4.1.14: ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	90
ตารางที่ 4.1.15: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้เมทไธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม	95
ตารางที่ 4.1.16: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม.....	97
ตารางที่ 4.1.17: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	99
ตารางที่ 4.1.18: คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงบ ก่อนการชงละลาย	104
ตารางที่ 4.1.19: คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงบ หลังการชงละลาย	106
ตารางที่ 4.1.20: คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงบ	108
ตารางที่ 4.2.1: สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะม่วงขึ้นอบแห้งด้วยไมโครเวฟขนาดเล็ก.....	110

สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
ตารางที่ 4.2.2: คุณภาพทางเคมีและกายภาพ ของมะม่วงขึ้นอบแห้งด้วยไมโครเวฟ สุญญากาศระดับอุตสาหกรรมที่กำลังและเวลาต่างๆ.....	113
ตารางที่ 4.2.3: ผลของกำลังงานที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆของมะม่วงขึ้นอบแห้ง.....	114
ตารางที่ 4.2.4: ผลของเวลาที่ใช้ในการอบที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆ ของมะม่วงขึ้น อบแห้ง.....	114
ตารางที่ 4.2.5: ผลของการลวกเปลือกมะม่วงด้วยน้ำร้อน (70 องศาเซลเซียส) ด้วย เวลาต่างกัน ที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวม.....	119
ตารางที่ 4.2.6: ผลของการแช่เปลือกมะม่วงด้วยน้ำกรดซิตริก (ความเข้มข้นร้อยละ 1) ด้วยเวลาต่างกัน ที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวม.....	119
ตารางที่ 4.2.7: ผลของอุณหภูมิ และความเร็วของลมร้อนที่มีต่อปริมาณเส้นใย อาหารรวมของเปลือกมะม่วงอบแห้ง.....	120
ตารางที่ 4.2.8: ผลของอุณหภูมิ และความเร็วของลมร้อนที่มีต่อค่าสีของเปลือก มะม่วงอบแห้ง.....	120
ตารางที่ 4.2.9: คุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง.....	122
ตารางที่ 4.2.10: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด (total microbial number) ในไอศกรีมนม.....	129
ตารางที่ 4.2.11: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด (total microbial number) ในผลิตภัณฑ์คุกกี้.....	132
ตารางที่ 4.3.1: คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียด	133
ตารางที่ 4.3.2: ค่าพารามิเตอร์แสดงความสามารถในการทำนายค่าความหนืดของ เนื้อมะม่วงปั่นละเอียดโดยใช้แบบจำลองของ Bingham, Power Law และ Herschel- Bulkley	135
ตารางที่ 4.3.3: คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่น.....	135
ตารางที่ 4.3.4: สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยอมรับด้านรสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวมต่อปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทราย	135
ตารางที่ 4.3.5: คุณภาพทางและเคมีของมะม่วงแผ่น	137
ตารางที่ 4.3.6: คุณภาพทางกายภาพของมะม่วงแผ่น	137



สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
ตารางที่ 4.3.7: สมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพต่อปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทราย	138
ตารางที่ 4.3.8: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two term ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด	141
ตารางที่ 4.3.9: เปรียบเทียบค่า a_w ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด	142
ตารางที่ 4.3.10: ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีปริมาณความชื้น 4 ระดับ	142
ตารางที่ 4.3.11: เปรียบเทียบค่า a_w ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์	145
ตารางที่ 4.3.12: ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปริมาณความชื้น 4 ระดับ.....	146
ตารางที่ 4.3.13: เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีกายภาพและทดสอบประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบถาด.....	146
ตารางที่ 4.3.14: ค่าตัวแปรจากสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกันที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	152
ตารางที่ 4.3.15: ค่าตัวแปรจากสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกันที่บรรจุในถุงเมทาไลต์	153
ตารางที่ 4.3.16: ค่าตัวแปรจากสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกันที่บรรจุในถุง OPP	154

สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

ตารางที่ 4.3.17: ค่า E_a และค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	157
ตารางที่ 4.3.18: ค่า E_a และค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	158
ตารางที่ 4.3.19: ค่า E_a และค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	159
ตารางที่ 4.3.20: อายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส.....	160
ตารางที่ 4.4.1: ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำมันข้าวโพดชั้นหวานแต่ละสิ่งทดลอง (n=100).....	162
ตารางที่ 4.4.2: ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานแต่ละสิ่งทดลอง.....	163
ตารางที่ 4.4.3: คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพในแต่ละสิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนแบบส่วนผสม (Mixture design) ของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน.....	165
ตารางที่ 4.4.4: คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในแต่ละสิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนแบบส่วนผสม (Mixture design) ของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน.....	166
ตารางที่ 4.4.5: สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแะแซและ CMC ที่ใช้ต่อค่าคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์น้ำมันข้าวโพดชั้นหวาน	166
ตารางที่ 4.4.6: คุณภาพทางด้านเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน สูตรที่เหมาะสม	167



สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
ตารางที่ 4.4.7: คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน สูตรที่ผ่านการพัฒนาแล้ว.....	167
ตารางที่ 4.4.8: ค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบข้าวโพดทั้ง 2 สูตรที่ใช้ใน การคัดเลือกสูตรต้นแบบ.....	169
ตารางที่ 4.4.9: ค่าคะแนนการยอมรับเฉลี่ย* ของผู้บริโภคน (n=100) ที่มีต่อข้าว เกรียบทั้ง 2 สูตร.....	169
ตารางที่ 4.4.10: ร้อยละคะแนนความพอใจเฉลี่ยที่ผู้บริโภคมมีต่อข้าวเกรียบข้าวโพด หวาน.....	170
ตารางที่ 4.4.11: ค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบทั้ง 6 สิ่งทดลอง จาก การศึกษาสูตรที่เหมาะสม.....	171
ตารางที่ 4.4.12: ค่าคะแนนการยอมรับเฉลี่ย* ของผู้บริโภคน (n=100) ที่มีต่อข้าว เกรียบทั้ง 6 สิ่งทดลอง จากการศึกษาสูตรที่เหมาะสม.....	171
ตารางที่ 4.4.13: สมการรีเกรสชันของค่าความชอบโดยรวม ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส ข้าวโพด รสเค็ม รสหวาน ความกรอบ และค่า a_w ของข้าวเกรียบ ข้าวโพดทั้ง 6 สิ่งทดลอง.....	172
ตารางที่ 4.4.14: คะแนนความชอบจากสูตรที่คัดเลือกและค่าจากการทำนายและ ร้อยละของความคลาดเคลื่อน.....	173
ตารางที่ 4.4.15: ค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบทั้ง 6 สิ่งทดลอง จาก การศึกษารวมวิธีการผลิต.....	174
ตารางที่ 4.4.16: ค่าคะแนนการยอมรับเฉลี่ย* ของผู้บริโภคน (n=100) ที่มีต่อข้าว เกรียบทั้ง 6 สิ่งทดลอง จากการศึกษารวมวิธีการผลิต.....	175
ตารางที่ 4.4.17: สมการรีเกรสชันของค่าความชอบด้านกลิ่นรสข้าวโพด ความกรอบ และค่าแรงกดของข้าวเกรียบข้าวโพดทั้ง 6 สิ่งทดลอง จาก การศึกษารวมวิธีการผลิต.....	176
ตารางที่ 4.5.1: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในสารละลายโซเดียมอะซีเตต.....	179
ตารางที่ 4.5.2: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในกรดไฮโดรคลอริก.....	179
ตารางที่ 4.5.3: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในเอนไซม์ผสม A + VP + WX.....	180



สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
ตารางที่ 4.5.4: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในเอนไซม์ Accellerase	180
ตารางที่ 4.5.5: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้มในสารละลาย โซเดียมอะซีเตต	181
ตารางที่ 4.5.6: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้มในกรดไฮโดรคลอริก.....	181
ตารางที่ 4.5.7: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้มในเอนไซม์ผสม A + VP + WX.....	182
ตารางที่ 4.5.8: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้มในเอนไซม์ Accellerase.....	182
ตารางที่ 4.5.9: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในสารละลาย โซเดียมอะซีเตต	183
ตารางที่ 4.5.10: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในกรดไฮโดร คลอริก	183
ตารางที่ 4.5.11: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ผสม A + VP + WX	184
ตารางที่ 4.5.12: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase.....	184
ตารางที่ 4.5.13: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 3 กรัม ข้าวโพด.....	185
ตารางที่ 4.5.14: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 3 กรัม ข้าวโพด.....	185
ตารางที่ 4.5.15: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 6 กรัม ข้าวโพด.....	186

สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

ตารางที่ 4.5.16: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 9 กรัม ข้าวโพด.....	186
ตารางที่ 4.5.17: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 9 กรัม ข้าวโพด.....	187
ตารางที่ 4.5.18: การออกแบบ Experimental Design โดยโปรแกรม Design Expert Version 6.....	187
ตารางที่ 4.5.19: ผลการทดลองใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเปลี่ยนสารละลาย น้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน ปริมาณ 30 กรัมต่อลิตร ให้กลายเป็น น้ำตาลฟรุคโตส	188
ตารางที่ 4.5.20: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 3 กรัม ข้าวโพด แล้วใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเปลี่ยนให้กลายเป็น น้ำตาลฟรุคโตส	188
ตารางที่ 4.5.21: การเปรียบเทียบการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 30 กรัม/ลิตร ให้เป็นน้ำตาลฟรุคโตสด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความเข้มข้น 1.5 กรัม ในสารละลายฟอสเฟตซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้สภาวะเขย่า ใน tumbler และ shake	190
ตารางที่ 4.5.22: ความเข้มข้นน้ำตาลฟรุคโตสที่ได้จากการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสที่ระดับ pH 5, 6 และ 7 ด้วยสารละลายฟอสเฟตซิเตรทบัฟเฟอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	190
ตารางที่ 4.5.23: ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างซีที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ในสารละลายฟอสเฟตซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	192



สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

ตารางที่ 4.5.24:	ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุคโตสด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความเข้มข้น 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	193
ตารางที่ 4.5.25:	ปริมาณร้อยละของน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุคโตสด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความเข้มข้น 2.0 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า	194
ตารางที่ 4.5.26:	ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ในระดับขยายขนาดที่ 1,000 มิลลิลิตร ในสารละลายฟอสเฟตซิเตรตบัฟเฟอร์ pH 5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า และการทำให้เข้มข้น.....	195
ตารางที่ 4.5.27:	ค่าสี (L^* a^* และ b^*) ของสารละลายกลูโคสฟรุคโตสหลังเติมผงถ่านที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยมวลต่อปริมาตร	196
ตารางที่ 4.4.1:	สมบัติทางกายภาพและเคมีของถั่วแปยีสต์ และ ถั่วแปยี่ห้อ.....	198
ตารางที่ 4.6.2:	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศ	199
ตารางที่ 4.6.3:	ผลของเวลาที่มีต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศ	199
ตารางที่ 4.6.4:	ผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศ	200
ตารางที่ 4.6.5:	ผลการศึกษาปัจจัยเดี่ยวที่มีผลต่อค่า TBARS (mgMAD/kg sample).....	201
ตารางที่ 4.6.6:	ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและอุณหภูมิต่อค่า TBARS (mgMAD/kg sample).....	201
ตารางที่ 4.6.7:	ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและเวลาที่ใช้ในการทอดต่อค่า TBARS (mgMAD/kg sample).....	202

สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
ตารางที่ 4.6.8: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการหอดต่อค่า TBARS (mgMAD/kg sample).....	203
ตารางที่ 4.6.9: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการหอดต่อค่า TBARS (mgMAD/kg sample).....	203
ตารางที่ 4.6.10: ผลการศึกษาปัจจัยเดี่ยวที่มีผลต่อค่าความแข็ง (HARDNESS).....	205
ตารางที่ 4.6.11: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บกับอุณหภูมิต่อค่าความแข็ง (HARDNESS)	206
ตารางที่ 4.6.12: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและเวลาที่ใช้ในการหอดต่อค่าความแข็ง (HARDNESS).....	206
ตารางที่ 4.6.13: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการหอดต่อค่าความแข็ง (HARDNESS)	207
ตารางที่ 4.6.14: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการหอดต่อค่าความแข็ง (HARDNESS).....	208
ตารางที่ 4.6.15: Regression models ของถั่วแปยีหอดสุญญากาศ	209
ตารางที่ 4.6.16: การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างถั่วแปยีหอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส.....	213
ตารางที่ 4.6.17: การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างถั่วแปยีหอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส.....	214
ตารางที่ 4.6.18: การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างถั่วแปยีหอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส.....	215
ตารางที่ 4.6.19: การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างถั่วแปยีหอดโดยวิธีธรรมดา (Control).....	216



สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

ตารางที่ 4.6.20: ผลของระยะเวลาการเก็บรักษา (ปัจจัยเดียว) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างถั่วแปยีทอดโดยวิธีธรรมดา (Control).....	216
ตารางที่ 4.6.21: ผลของอุณหภูมิ (ปัจจัยเดียว) ที่มีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ.....	217
ตารางที่ 4.6.22: ผลของเวลาที่ใช้ในการทอด (ปัจจัยเดียว) ที่มีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ.....	217
ตารางที่ 4.6.23: ผลของระยะเวลาการเก็บรักษา (ปัจจัยเดียว) ที่มีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ.....	218
ตารางที่ 4.6.24: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิและเวลาการทอด) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ.....	219
ตารางที่ 4.6.25: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ.....	220
ตารางที่ 4.6.26: ผลของปัจจัยร่วม (เวลาในการทอดและระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ.....	221
ตารางที่ 4.6.27: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ*เวลาในการทอด*ระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ.....	222
ตารางที่ 4.6.28: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ * เวลาในการทอด*ระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ.....	223
ตารางที่ 4.6.29: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ*เวลาในการทอด*ระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ.....	224
ตารางที่ 4.6.30: ค่าสีของแป้งถั่วแปยีชนิดไม่แห้งและไม่เปียก	225

สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

ตารางที่ 4.6.31: ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดทั้งหมด และอะมิโนของแป้งข้าว แปยีชนิดไม่แห้งและไม่เปียก.....	225
ตารางที่ 4.6.32: องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวแปยีชนิดไม่แห้งและไม่เปียก.....	226
ตารางที่ 4.6.33: พฤติกรรมด้านความหนืดของแป้งข้าวแปยีชนิดไม่แห้งและไม่เปียก	228
ตารางที่ 4.6.34: คุณสมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวแปยีชนิดไม่แห้งและไม่เปียก	229
ตารางที่ 4.6.35: ค่าสี ความแข็ง และความกรอบของคุกกี้ผสมแป้งข้าวแปยี	229
ตารางที่ 4.6.36: ผลการประเมินความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของคุกกี้ผสมแป้ง ข้าวแปยี.....	230
ตารางที่ 4.6.37: ค่าสี และความแข็งของข้าวแปยีที่ผ่านการแปรรูปให้สุกกรอบด้วยวิธี ต่างๆ	230
ตารางที่ 4.6.38: ค่าสี และความแข็งของข้าวแปยีที่คั่วกับสมุนไพรเมื่อหาอุณหภูมิและ เวลาที่เหมาะสมในการคั่ว	230
ตารางที่ 4.6.39: คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวแปยีที่คั่วกับสมุนไพร เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคั่ว.....	231
ตารางที่ 4.6.40: คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวแปยีคั่วสมุนไพร	232
ตารางที่ 4.6.41: องค์ประกอบทางเคมีของข้าวแปยีคั่วสมุนไพร.....	233
ตารางที่ 4.7.1: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง (เต็ม 5 คะแนน).....	236
ตารางที่ 4.7.2: แนวโน้มที่ผู้ทดสอบจะซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ราคา ต่างๆ ตั้งแต่ 30-50 บาท.....	237
ตารางที่ 4.7.3: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของเครื่องดื่มมะนาวผง พร้อมดื่ม	238
ตารางที่ 4.7.4: ต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง.....	238
ตารางที่ 4.7.5: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม	239
ตารางที่ 4.7.6: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ มะม่วงแผ่นอบแห้ง (เต็ม 5 คะแนน).....	240

สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
ตารางที่ 4.7.7: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของมะม่วงแผ่นนวลค่า	242
ตารางที่ 4.7.8: ต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่น	242
ตารางที่ 4.7.9: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่น.....	243
ตารางที่ 4.7.10: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน (เต็ม 5 คะแนน).....	243
ตารางที่ 4.7.11: แนวโน้มที่ผู้ทดสอบจะซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวานที่ราคา ต่างๆ ตั้งแต่ 5-20 บาท.....	244
ตารางที่ 4.7.12: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของข้าวเกรียบข้าวโพด หวาน.....	246
ตารางที่ 4.7.13: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน.....	246
ตารางที่ 4.7.14: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ นมข้นหวานจากข้าวโพดหวาน.....	247
ตารางที่ 4.7.15: แนวโน้มที่ผู้ทดสอบจะซื้อผลิตภัณฑ์นมข้นจากข้าวโพดหวานที่ราคา ต่างๆ ตั้งแต่ 20-35 บาท.....	248
ตารางที่ 4.7.16: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของนมข้นจากข้าวโพด หวาน.....	249
ตารางที่ 4.7.17: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์นมข้นจากข้าวโพดหวาน.....	249
ตารางที่ 4.7.18: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจที่มีต่อคุกกี้กล้วย แป (เต็ม 5 คะแนน).....	250
ตารางที่ 4.7.19: แนวโน้มที่ผู้ทดสอบจะซื้อคุกกี้กล้วยแปที่ราคาต่างๆ ตั้งแต่ 30-50 บาท.....	251
ตารางที่ 4.7.20: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์แป้งสาลีและแป้งเค้กสำเร็จรูป	252
ตารางที่ 4.7.21: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของคุกกี้กล้วยแป.....	253
ตารางที่ 4.7.22: ต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์คุกกี้กล้วยแป.....	253
ตารางที่ 4.7.23: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์คุกกี้.....	254



สารบัญตาราง (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
ตารางที่ 4.7.24: ค่าเฉลี่ย * ผลสรุปการสอบถามทางด้านความพึงพอใจที่มีต่อ ผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (เต็ม 5 คะแนน).....	255
ตารางที่ 4.7.25: แสดงผลค่าเฉลี่ย*ในการสำรวจปัจจัยที่มีต่อการซื้อผลิตภัณฑ์แปรรูป รูปทางการเกษตร.....	257
ตารางที่ 4.7.26: ลำดับปัจจัยในการเลือกซื้อจากผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรทั้ง 6 ผลิตภัณฑ์	258



สารบัญรูป

รายการ

หน้าที่

บทที่ 2: ทบทวนวรรณกรรม.....	4
รูปที่ 2.2.1: การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง	6
รูปที่ 2.2.2: น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้ง	7
รูปที่ 2.4.1: การเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสน้ำเชื่อม.....	16
รูปที่ 2.4.2: ขั้นตอนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตสโดยใช้เอนไซม์ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล	17
รูปที่ 2.4.3: แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตสความเข้มข้นสูงโดย ละเอียด	17
รูปที่ 2.5.1: ฝักถั่วแปยี	18
รูปที่ 2.5.2: ตัวอย่างเครื่องทอดสุญญากาศ	20
รูปที่ 2.6.2: โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	23
รูปที่ 2.6.3: การพองตัวของเม็ดแป้ง	25
รูปที่ 2.6.4: DSC thermogram ของแป้ง	27
รูปที่ 2.6.5: การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน	29
รูปที่ 2.7.1: แสดงโมเดล 5 ขั้นตอนในกระบวนการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค	33
รูปที่ 2.7.2: ประเด็นสำคัญของการกำหนดกลยุทธ์การตลาด.....	36
รูปที่ 2.7.3: ส่วนประสมการตลาด (Marketing Mix).....	37
บทที่ 3: ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย.....	45
รูปที่ 3.1.1: ขั้นตอนการเตรียมน้ำมะนาวคั้นสด	45
รูปที่ 3.1.2: แผนภูมิแสดงปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ของส่วนผสมในสูตรน้ำ มะนาวพร้อมดื่มตามแผนการทดลองแบบ mixture design	46
รูปที่ 3.2.1: ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง	52
รูปที่ 3.2.2: ขั้นตอนการเตรียมไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหาร.....	54
รูปที่ 3.2.3: ขั้นตอนการเตรียมคุกกี้เสริมเส้นใยอาหาร.....	55
รูปที่ 3.4.1: กรรมวิธีการผลิตนมข้าวโพดชั้นหวาน	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
รูปที่ 3.4.2: กระบวนการผลิตข้าวเกรียบข้าวโพด.....	67
รูปที่ 3.5.1: แผนผังการทดสอบสถานะในการย่อยเมล็ดข้าวโพด.....	71
รูปที่ 3.5.2: แผนผังการทดสอบเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ในการเปลี่ยนน้ำตาล กลูโคสเป็นน้ำตาลฟรุกโตส	73
รูปที่ 3.6.1: แสดงขั้นตอนในการศึกษาสถานะในกระบวนการทอดถั่วแปยีด้วย เครื่องทอดสุญญากาศ	75
รูปที่ 3.6.2: ขั้นตอนการผลิตแป้งถั่วแปยีโดยการโม่แห้ง.....	78
รูปที่ 3.6.3: ขั้นตอนการผลิตแป้งถั่วแปยีโดยการโม่เปียก.....	78
รูปที่ 3.7.1: กรอบแนวคิด	83
บทที่ 4: ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	84
รูปที่ 4.1.1: (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความ หนาแน่นของโฟมที่ใช้เมทโร-เซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม (b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความ หนาแน่นของโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม (c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความ หนาแน่นของโฟมที่ใช้ อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม (d) ลักษณะของโฟมหลังการตีปั่นของสารก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ เมทโรเซล GMS และอัลบูมินจากไข่.....	92
รูปที่ 4.1.2: การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโร เซลเป็นก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศา เซลเซียส	92
รูปที่ 4.1.3: การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศา เซลเซียส	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ 4.1.4:	การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโคม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส.....	93
รูปที่ 4.1.5:	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโคม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส.....	94
รูปที่ 4.1.6:	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโคม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส.....	94
รูปที่ 4.1.7:	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโคมและอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส.....	94
รูปที่ 4.1.8:	การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโคม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ.....	96
รูปที่ 4.1.9:	การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโคม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ.....	98
รูปที่ 4.1.10:	การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโคม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ.....	100
รูปที่ 4.1.11:	ลักษณะของรูพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาคตัดขวางของโคมที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโคม อบแห้งในอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200X).....	101



สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ 4.1.12:	ลักษณะของรูปพุนด้านผิวหน้า และด้านภาคตัดขวางของโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม อบแห้งในอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200X)	102
รูปที่ 4.1.13:	ลักษณะของรูปพุนด้านผิวหน้า และด้านภาคตัดขวางของโฟมที่ใช้ของอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม อบแห้งในอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200X)	103
รูปที่ 4.1.14:	adsorption isotherm ของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง	108
รูปที่ 4.2.1:	กราฟการทำแห้งขึ้นมะม่วงสุกขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนระดับห้องปฏิบัติการ	109
รูปที่ 4.2.2:	กราฟอัตราการการทำแห้งขึ้นมะม่วงสุกขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนระดับห้องปฏิบัติการ	109
รูปที่ 4.2.3:	กราฟสมการเชิงเส้นแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของขึ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน	111
รูปที่ 4.2.4:	กราฟสมการเชิงเส้นแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของขึ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน	111
รูปที่ 4.2.5:	แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของขึ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน	112
รูปที่ 4.2.6:	กราฟสมการเชิงเส้นแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (hardness) ของขึ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน	112
รูปที่ 4.2.7:	กราฟสมการเชิงเส้นแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น (density) ของขึ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน	113

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ 4.2.8:	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในชั้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตูบไมโครเวฟสุญญากาศ.....	115
รูปที่ 4.2.9:	การเปลี่ยนแปลงค่าอوترแอคทีวิตี (a_w) ของชั้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตูบไมโครเวฟสุญญากาศ.....	115
รูปที่ 4.2.10:	การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (hardness) ของชั้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตูบไมโครเวฟสุญญากาศ.....	116
รูปที่ 4.2.11:	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของชั้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตูบไมโครเวฟสุญญากาศ.....	116
รูปที่ 4.2.12:	การเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* ของชั้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตูบไมโครเวฟสุญญากาศ.....	117
รูปที่ 4.2.13:	การเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* ของชั้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตูบไมโครเวฟสุญญากาศ.....	117
รูปที่ 4.2.14:	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตูบไมโครเวฟสุญญากาศ ในระหว่างการอบชั้นมะม่วงโดยใช้กำลังงาน 2400 วัตต์ นาน 10 นาที.....	118
รูปที่ 4.2.15:	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตูบไมโครเวฟสุญญากาศ ในระหว่างการอบชั้นมะม่วงโดยใช้กำลังงาน 1920 วัตต์ นาน 10 นาที.....	118
รูปที่ 4.2.16:	ผลของอุณหภูมิ และความเร็วของลมร้อนที่มีต่อปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วงอบแห้ง.....	121
รูปที่ 4.2.17:	กราฟอัตราการทำแห้งเปลือกมะม่วง ที่อุณหภูมิ และความเร็วของลมร้อน ที่ใช้ในการศึกษา.....	121
รูปที่ 4.2.18:	การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง.....	122
รูปที่ 4.2.19:	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการอบแห้งด้วยพลังแสงอาทิตย์ โดย T_{db} หมายถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (องศาเซลเซียส); T_{wb} หมายถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก (องศาเซลเซียส); S หมายถึงการตากแดดโดยตรง; และ G หมายถึงการอบแห้งในตูบแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก (a , b และ c หมายถึง การทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ).....	123



สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ 4.2.20:	ผลของขนาดเปลือกมะม่วง (1: ขนาดประมาณ 1.5 x 1.5 เซนติเมตร และ 2: คละขนาด) และวิธีการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ (sun: การตากแดดโดยตรง และ Green: การอบแห้งในตู้อบแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก) ต่อปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วง โดย (a) การทดลองที่ 1 (b) การทดลองที่ 2 และ (c) การทดลองที่ 3	124
รูปที่ 4.2.21:	ผลของวิธีการทำแห้งโดยแสงอาทิตย์และขนาดของชิ้นมะม่วงต่อปริมาณใยอาหารในเส้นใยอาหารผง	125
รูปที่ 4.2.22:	ผลของวิธีการทำแห้งโดยแสงอาทิตย์และขนาดของชิ้นมะม่วงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (oil holding capacity, OHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) ปริมาณใยอาหารในเส้นใยอาหารผง ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)	125
รูปที่ 4.2.23:	ผลของวิธีการทำแห้งโดยแสงอาทิตย์และขนาดของชิ้นมะม่วงต่อค่าดัชนีการละลายของเส้นใยอาหารผง	126
รูปที่ 4.2.24:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมนม	126
รูปที่ 4.2.25:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าสีของไอศกรีมนม	127
รูปที่ 4.2.26:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าการขึ้นฟู (overrun) ของไอศกรีมนม	127
รูปที่ 4.2.27:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่ออัตราการละลายของไอศกรีมนม	127
รูปที่ 4.2.28:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณความชื้นของไอศกรีมนม	128
รูปที่ 4.2.29:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) ของไอศกรีมนม	128

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ 4.2.30:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวมทั้งหมดของไอศกรีมนม	128
รูปที่ 4.2.31:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไอศกรีมนม	129
รูปที่ 4.2.32:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของไอศกรีมนม	129
รูปที่ 4.2.33:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าสี ของคุกกี้.....	130
รูปที่ 4.2.34:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าดัชนีความขาว (whiteness index) ของคุกกี้.....	130
รูปที่ 4.2.35:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อความแข็ง (hardness) ของคุกกี้.....	130
รูปที่ 4.2.36:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อ fracturability ของคุกกี้.....	131
รูปที่ 4.2.37:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณความชื้น (moisture content) ของคุกกี้.....	131
รูปที่ 4.2.38:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณเส้นใยอาหาร (fiber content) ของคุกกี้.....	131
รูปที่ 4.2.39:	ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของคุกกี้	132
รูปที่ 4.3.1:	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate กับ Shear stress โดยใช้แบบจำลอง Bingham.....	133
รูปที่ 4.3.2:	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate กับ Shear stress โดยใช้แบบจำลอง Power Law.....	134
รูปที่ 4.3.3:	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate กับ Shear stress โดยใช้แบบจำลองHerschel-Bulkley	134

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
รูปที่ 4.3.4: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อการยอมรับด้านรสเปรี้ยว.....	136
รูปที่ 4.3.5: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก ต่อการยอมรับด้านรสหวานและความชอบโดยรวม.....	136
รูปที่ 4.3.6: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริกและน้ำตาลทรายต่อปริมาณความชื้น (%wet basis).....	138
รูปที่ 4.3.7: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า pH	139
รูปที่ 4.3.8: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า a_w	139
รูปที่ 4.3.9: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า titratable acidity (%).....	140
รูปที่ 4.3.10: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า ค่า Hardness (N)	140
รูปที่ 4.3.11: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า Tensile strength (N).....	141
รูปที่ 4.3.12: (a), (b), (c), และ (d): การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของมะม่วงแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่ได้จากการทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการของ Henderson and Pabis Model (a), Lewis Model (b), Page model (c) และ Two term model (d).....	143
รูปที่ 4.3.13: กราฟแสดงอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศภายในและภายนอกตู้อบแห้งครั้งที่ 1 (17-18 พฤษภาคม 2555) ครั้งที่ 2 (21-22 พฤษภาคม 2555) ครั้งที่ 3 (23-24 พฤษภาคม 2555).....	144
รูปที่ 4.3.14: กราฟแสดงการลดความชื้นของมะม่วงแผ่นระหว่างการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	144
รูปที่ 4.3.15: ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	145

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ 4.3.16:	การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา.....	147
รูปที่ 4.3.17:	การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา	147
รูปที่ 4.3.18:	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา.....	148
รูปที่ 4.3.19:	การเปลี่ยนแปลงค่าสี C^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียม (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา	148
รูปที่ 4.3.20:	การเปลี่ยนแปลงค่าสี h° ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา	149
รูปที่ 4.3.21:	การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา	149
รูปที่ 4.3.22:	การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา (n=50).....	150
รูปที่ 4.3.23:	การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านสีของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา (n=50).....	150

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ 4.3.24:	การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา (n=50).....	151
รูปที่ 4.3.25:	การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา (n=50).....	151
รูปที่ 4.3.26:	Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์.....	155
รูปที่ 4.3.27:	Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุงเมทาไลต์.....	155
รูปที่ 4.3.28:	Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์.....	156
รูปที่ 4.3.29:	Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์.....	156
รูปที่ 4.3.30:	Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุง OPP.....	157
รูปที่ 4.3.31:	การทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	160
รูปที่ 4.3.32:	การทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	161
รูปที่ 4.3.33:	การทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	161
รูปที่ 4.4.1:	ร้อยละความพอดีของนมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ CMC และ Xanthan เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด.....	162

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
รูปที่ 4.4.2: ร้อยละความพอดีของนมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ CMC และ Xanthan เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด.....	163
รูปที่ 4.4.3: การหาจุดที่เหมาะสม (optimization) ของปริมาณเกลือและปริมาณ น้ำตาล (พื้นที่สีเทา)	173
รูปที่ 4.5.1: เส้นโค้งมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส และพื้นที่ใต้กราฟ โครมาโตแกรม.....	176
รูปที่ 4.5.2: เส้นโค้งมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส และพื้นที่ใต้กราฟโครมาโตแกรม	177
รูปที่ 4.5.3: เส้นโค้งมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลฟรุคโตส และพื้นที่ใต้กราฟโครมาโตแกรม.....	177
รูปที่ 4.5.4: ตัวอย่างโครมาโตแกรมน้ำตาลที่ได้จากการย่อยข้าวโพดบดละเอียด ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2.2 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	178
รูปที่ 4.5.5: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในอัตราส่วน 3 และ 9 กรัม ที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 – 48 ชั่วโมง.....	178
รูปที่ 4.5.6: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในอัตราส่วน 6 กรัม ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 – 36 ชั่วโมง.....	189
รูปที่ 4.5.7: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในอัตราส่วน 3 และ 9 กรัม ที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 – 48 ชั่วโมง.....	189
รูปที่ 4.5.8: โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์ กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	191
รูปที่ 4.5.9: โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์ กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 6 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	191

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ 4.5.10:	โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์ กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 7 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	191
รูปที่ 4.5.11:	โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์ กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	193
รูปที่ 4.5.12:	โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์ กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	193
รูปที่ 4.5.13:	โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์ กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	193
รูปที่ 4.5.14:	โครมาโตแกรมของปริมาณน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูก เปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตสด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความ เข้มข้น 1.0 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศา เซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	194
รูปที่ 4.5.15:	โครมาโตแกรมของปริมาณน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูก เปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตสด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความ เข้มข้น 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศา เซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	194
รูปที่ 4.5.16:	โครมาโตแกรมของปริมาณน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูก เปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตสด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความ เข้มข้น 2.0 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศา เซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	195

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ 4.5.17:	โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ในระดับขยายขนาดที่ 1,000 มิลลิลิตร ในสารละลายฟอสเฟตซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า.....	196
รูปที่ 4.5.18:	สารละลายกลูโคสฟรุกโตสที่ได้จากการกระบวนการไอโซเมอไรเซชัน และไม่ได้มีการเติมผงถ่าน (ตัวควบคุม)	196
รูปที่ 4.5.19:	สารละลายกลูโคสฟรุกโตสที่เติมผงถ่านร้อยละ 1 (A), 3 (B) และ 5 (C) โดยมวลต่อปริมาตร เพื่อลดสีให้เกิดความสว่างขึ้น.....	197
รูปที่ 4.5.20:	น้ำเชื่อมกลูโคสฟรุกโตสเข้มข้น 55 องศาบริกซ์.....	197
รูปที่ 4.6.1:	ถั่วแปยทอดทั้งเปลือก.....	198
รูปที่ 4.6.2:	ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างอุณหภูมิ (°C), เวลา (นาที่) และตัวแปรค่าTBARS และค่าความแข็ง (Hardness)	210
รูปที่ 4.6.3:	ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างอุณหภูมิ (°C), เวลา (นาที่) และตัวแปร ปริมาณความชื้น และค่าสี L.....	211
รูปที่ 4.6.4:	Optimization point ของการทอดถั่วแปยด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ	212
รูปที่ 4.6.5:	เส้นกราฟแสดงพฤติกรรมด้านความหนืดของแป้งถั่วแปยไม่แห้งและไม่เปียก.....	227
รูปที่ 4.6.6:	ถั่วแปยสมุนไพรที่คั่วด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างกัน.....	231
รูปที่ 4.6.7:	ถั่วแปยสมุนไพรที่ได้รับคัดเลือก	232
รูปที่ 4.7.1:	การจัดแสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพื่อเสนอการทดสอบชิม.....	235
รูปที่ 4.7.2:	การทดสอบประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภค.....	235
รูปที่ 4.7.3:	แผนภูมิจากการตั้งราคาโดยผู้เข้าทดสอบของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะนาวผง	237
รูปที่ 4.7.4:	แสดงผลการให้คะแนนราคาสินค้าของมะม่วงอบแห้งแผ่นทั้ง 2 ชุด.....	241
รูปที่ 4.7.5:	แสดงผลการตั้งราคาสินค้าจากผู้ทดสอบ	241

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
รูปที่ 4.7.6: ราคาจำหน่ายที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวานในปริมาณ 30 กรัม	245
รูปที่ 4.7.7: ราคาจำหน่ายที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นมข้นจากข้าวโพดหวานในปริมาตร 4 ออนซ์	248
รูปที่ 4.7.8: แสดงราคาจำหน่ายที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์จากถั่วแปยี.....	252
รูปที่ 4.7.9: แสดงร้อยละของจำนวนผู้ประเมินราคาจำหน่ายที่เหมาะสมของเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วง	256
ภาคผนวก	346
รูปที่ ผ.2.1: ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray type hot air dryer, NAVALOY, Thailand)	347
รูปที่ ผ.2.2: ตู้ไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave vacuum dryer, MARCH COOL, Thailand)	347
รูปที่ ผ.2.3: ตู้บพลังแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก.....	348
รูปที่ ผ.2.4: มะม่วงสดพันธุ์โชคอนันต์	348
รูปที่ ผ.2.5: มะม่วงคลุกน้ำตาลก่อนการอบด้วยตู้อบลมร้อน	348
รูปที่ ผ.2.6: มะม่วงหลังอบด้วยตู้อบลมร้อนนาน 6 ชั่วโมง	349
รูปที่ ผ.2.7: มะม่วงหลังอบด้วยไมโครเวฟ กำลังงาน 2400 W นาน 10 นาที	349
รูปที่ ผ.2.8: มะม่วงหลังอบด้วยไมโครเวฟ กำลังงาน 2400 วัตต์ นาน 10 นาที ตามด้วย กำลังงาน 960 วัตต์ นาน 1.5 นาที	349
รูปที่ ผ.2.9: มะม่วงหลังอบด้วยไมโครเวฟ กำลังงาน 1920 W นาน 20 นาที	350
รูปที่ ผ.2.10: มะม่วงหลังอบด้วยไมโครเวฟ กำลังงาน 1920 W นาน 20 นาที ตามด้วย กำลังงาน 960 W นาน 1.5 นาที.....	350
รูปที่ ผ.2.11: เปลือกมะม่วง.....	350

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
รูปที่ ผ.2.12: การแช่กรดซิดริกความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที.....	351
รูปที่ ผ.2.13: การอบแห้งมะม่วงด้วยตู้อบลมร้อน	351
รูปที่ ผ.2.14: เปลือกมะม่วงที่ผ่านการอบแห้ง.....	351
รูปที่ ผ.2.15: การบดเป็นผงโดยเครื่องบดแบบค้อน (Armfield : Model FT2, England).....	352
รูปที่ ผ.2.16: เส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์.....	352
รูปที่ ผ.2.17: การทำแห้งเปลือกมะม่วงด้วยแสงอาทิตย์.....	352
รูปที่ ผ.2.18: เส้นใยอาหารผงที่อบแห้งโดยพลังแสงอาทิตย์	353
รูปที่ ผ.2.19: ไอศกรีมนมผสมผลิตภัณฑ์จากมะม่วง โดย (a) ผสม ขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 และเส้นใยอาหารผงร้อยละ 2.5 (b) ผสม เส้นใยอาหารผงร้อยละ 2.5 (c) ผสม ขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 และ (d) ตัวอย่างควบคุม	353
รูปที่ ผ.2.20: ลูกกึ่งผสมขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 หลังการอบในตู้อบลมร้อน 190 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที.....	353
รูปที่ ผ.2.21: ลูกกึ่งผสมผลิตภัณฑ์จากมะม่วง โดย (a) ตัวอย่างควบคุม (b) ผสม ขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 (c) ผสม เส้นใยอาหารผงร้อยละ 2.5 และ (d) ผสม ขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 และเส้นใยอาหารผงร้อยละ 2.5	354
รูปที่ ผ.3.1: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (solar dryer) ที่พัฒนาขึ้นโดย ผศ.ดร. พิชญา บุญประสม พูลลาภ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย-เชียงใหม่	355
รูปที่ ผ.3.2: เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด (Tray dryer).....	356
รูปที่ ผ.4.1: วัตถุดิบข้าวโพดหวาน	359
รูปที่ ผ.4.2: ข้าวโพดหวานที่ลอกเปลือกออก	359
รูปที่ ผ.4.3: การผ่านเอาเนื้อข้าวโพดหวาน	359
รูปที่ ผ.4.4: ขั้นตอนการคั้นแยกน้ำและกากข้าวโพด.....	360
รูปที่ ผ.4.5: กรองน้ำข้าวโพดหวานด้วยผ้าขาวบาง	360

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ ผ.4.6:	กระบวนการเคี่ยวน้ำนมข้าวโพด ตรวจสอบอุณหภูมิและวัดค่าความหวาน	360
รูปที่ ผ.4.7:	ลักษณะนมข้าวโพดที่เคี่ยวจนวัดปริมาตรได้ 65 องศาบริกซ์.....	361
รูปที่ ผ.4.8:	กระบวนการปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสมมือถือ	361
รูปที่ ผ.4.9:	ลักษณะเนื้อสัมผัสของนมข้าวโพดชั้นหวานภายหลังการปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน	361
รูปที่ ผ.4.10:	การบรรจุนมข้าวโพดชั้นหวานขณะร้อนลงในขวด	362
รูปที่ ผ.4.11:	การทำให้เย็นหลังบรรจุขณะร้อน.....	362
รูปที่ ผ.4.12:	ผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน ใช้ทาขนมปัง หรือใช้ผสมในเครื่องดื่ม	362
รูปที่ ผ.4.13:	องค์ประกอบของข้าวเกรียบข้าวโพด	363
รูปที่ ผ.4.14:	ส่วนผสมของเนื้อข้าวโพด น้ำข้าวโพด น้ำตาลและเกลือ.....	363
รูปที่ ผ.4.15:	ส่วนผสมของเนื้อข้าวโพด น้ำข้าวโพด น้ำตาลและเกลือ เมื่อผ่านความร้อน.....	363
รูปที่ ผ.4.16:	ส่วนผสมของเนื้อข้าวโพด น้ำข้าวโพด น้ำตาลและเกลือ เมื่อผสมกับแป้ง.....	364
รูปที่ ผ.4.17:	ส่วนผสมแป้งข้าวเกรียบ.....	364
รูปที่ ผ.4.18:	แป้งข้าวเกรียบก่อนนึ่ง.....	364
รูปที่ ผ.4.19:	แป้งข้าวเกรียบนึ่งสุกจะใส	365
รูปที่ ผ.4.20:	ข้าวเกรียบที่ผ่านเป็นแผ่นบาง.....	365
รูปที่ ผ.4.21:	การอบในเตาอบลมร้อน.....	365
รูปที่ ผ.4.22:	แผ่นข้าวเกรียบเมื่อแห้ง	366
รูปที่ ผ.4.23:	ข้าวเกรียบเมื่อทอดแล้ว	366
รูปที่ ผ.4.24:	การทดสอบทางประสาทสัมผัสในบูท ห้องประเมินทางประสาทสัมผัส	366
รูปที่ ผ.4.25:	การทดสอบทางประสาทสัมผัสในบูทนอกสถานที่	367



สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ ผ.5.1:	ข้าวโพดบดละเอียด (A) ที่ไม่ผ่านกรรมวิธีเบื้องต้น (B) นำไปต้มน้ำเดือดนาน 30 นาที และ (C) นำไปอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที	368
รูปที่ ผ.5.2:	เอนไซม์แอสเพอเรส 1500	368
รูปที่ ผ.5.3:	เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส	368
รูปที่ ผ.5.4:	การทำปฏิกิริยาในด้วยเครื่องรีมเลอร์	369
รูปที่ ผ.5.5:	เครื่องหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง สำหรับใช้แยกกากระดับ 4 ลิตร.....	369
รูปที่ ผ.5.6:	ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร และเอนไซม์แอสเพอเรส 1500 ก่อนนำไปทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องรีมเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง	370
รูปที่ ผ.5.7:	ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร และเอนไซม์แอสเพอเรส 1500 หลังทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องรีมเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง.....	370
รูปที่ ผ.5.8:	ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร และเอนไซม์แอสเพอเรส 1500 หลังทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องรีมเลอร์ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง	371
รูปที่ ผ.5.9:	ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร แล้วย่อยด้วยเอนไซม์แอสเพอเรส 1500 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องรีมเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และผสมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องรีมเลอร์ เป็นระยะเวลานาน 24 และ 48 ชั่วโมง	371

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ

หน้าที่

รูปที่ ผ.5.10:	ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร แล้วย่อยด้วยเอนไซม์แอกเซอเรอเรส 1500 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องรំเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และผสมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องรំเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง.....	372
รูปที่ ผ.5.11:	ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร แล้วย่อยด้วยเอนไซม์แอกเซอเรอเรส 1500 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องรំเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และผสมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องรំเลอร์ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง	372
รูปที่ ผ.5.12:	การทดสอบเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุคโตสด้วยสารละลายมาตรฐานกลูโคส ความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร ทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 24 และ 48 ชั่วโมง.....	373
รูปที่ ผ.5.13:	น้ำเชื่อมที่ไม่ผ่านการแยกกากข้าวโพด (a) และน้ำเชื่อมที่ผ่านการแยกกากข้าวโพด (b).....	373
รูปที่ ผ.5.14:	การเติมผงถ่าน (a) และกวน (b) นาน 20 นาที ในระหว่างให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อลดสีของน้ำเชื่อมกลูโคส/ฟรุคโตส	373
รูปที่ ผ.5.15:	การลดกลิ่นในน้ำเชื่อมกลูโคส-ฟรุคโตสด้วยการแช่ในเรซิน อัตราส่วน 1:1 (ของเหลว : เรซิน) นาน 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	374
รูปที่ ผ.5.16:	การทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	374
รูปที่ ผ.5.17:	น้ำเชื่อมกลูโคส/ฟรุคโตสเข้มข้น 55 องศาบริกซ์	374
รูปที่ ผ.6.1:	เครื่อง Hammer Mill สำหรับโมหยาบ.....	375



สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้าที่
รูปที่ ผ.6.2: เครื่อง Sample Mill สำหรับโม่ละเอียด	375
รูปที่ ผ.6.3: เครื่องคั่วกาแฟ.....	376
รูปที่ ผ.6.4: เครื่องทอดสุญญากาศ.....	376
รูปที่ ผ.6.5: ถั่วแปยี่เมล็ดแห้ง.....	377
รูปที่ ผ.6.6: ถั่วแปยี่หลังแช่น้ำและแกะเปลือกแล้ว	377
รูปที่ ผ.6.7: การโม่ถั่วแปยี่ด้วยเครื่องปั่น.....	377
รูปที่ ผ.6.8: ตกตะกอนน้ำแป้งในถัง	377
รูปที่ ผ.6.9: กรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น	377
รูปที่ ผ.6.10: ถั่วแปยี่ที่ผ่านการโม่เปียกแล้วบดให้หมด	377
รูปที่ ผ.6.11: เคลือบน้ำตาลเพื่อนำไปอบแห้ง	378
รูปที่ ผ.6.12: แป้งถั่วแปยี่หลังโม่หยาบและโม่ละเอียด.....	378
รูปที่ ผ.8.1: รายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรม.....	387
รูปที่ ผ.8.2: การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการภาคบรรยายในช่วงเช้า.....	391
รูปที่ ผ.8.3: การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการภาคปฏิบัติการสาธิตในช่วงบ่าย	392

บทที่ 1

บทนำ

โครงการการเพิ่มมูลค่าผลผลิตพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน ระยะที่ 4 นี้เป็นโครงการย่อยภายใต้โครงการการใช้ที่ดินและการพัฒนาชนบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน (The Uplands Program) เป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง 2 ปี การวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าให้แก่ผลไม้เศรษฐกิจ ได้แก่ มะนาว มะม่วงลูกเล็ก ข้าวโพด และถั่วแปยี เพื่ออนุรักษ์ดิน เหตุผลที่ต้องทำพืชเหล่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 7 การวิจัยย่อย ได้แก่ (1) การทดลองศึกษากระบวนการผลิตผงมะนาวพร้อมดื่มสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-เมท (2) การทดลองการผลิตมะม่วงกวนแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบถาด (3) การทดลองผลิตมะม่วงขึ้นอบแห้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ และการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ (4) การผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดหวาน (5) การทดลองศึกษาเบื้องต้นในการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพด และ (6) การทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากถั่วแปยีเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต และ (7) การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคเชิงพาณิชย์ในด้านต้นทุน ราคา และรสชาติประสาธสัมผัส ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการวิจัยก็นำผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลผลิตของโครงการมาถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านกรรมวิธี กระบวนการ และองค์ความรู้ต่างๆ ที่ได้จากโครงการวิจัยให้แก่ผู้ประกอบการหรือเกษตรกรผู้ผลิตวัตถุดิบ กลุ่มแม่บ้าน กลุ่มวิสาหกิจชุมชน และประชาชนผู้สนใจทั่วไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อทราบแนวทางในการผลิตน้ำมะนาวพร้อมดื่มผงด้วยกระบวนการทำแห้งแบบโฟมเมท
- 2) เพื่อทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารก่อโฟม
- 3) เพื่อทราบชนิดของสารก่อโฟมที่เหมาะสม
- 4) เพื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งโฟม
- 5) เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตมะนาวพร้อมดื่มผงจากกระบวนการทำแห้งแบบโฟม-เมท
- 6) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของระบบการอบแห้งมะม่วงขึ้นด้วยเทคนิคไมโครเวฟ
- 7) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้ง ที่มีต่อสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตจากเปลือกมะม่วงด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- 8) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ
- 9) เพื่อศึกษาการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง
- 10) เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงกวนจากมะม่วงสุก



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

- 11) เพื่อศึกษาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบถาด
- 12) เพื่อหาอายุการเก็บรักษามะม่วงแผ่นในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด ภายใต้สภาวะเร่ง
- 13) เพื่อศึกษาหาอัตราการอบแห้งและเวลาการทำแห้งของมะม่วงกวนแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบถาด
- 14) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดโดยศึกษาคุณภาพ กายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของมะม่วงกวนแผ่นที่ผ่านการอบแห้งแล้วเพื่อกำหนดวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการใช้ตู้อบแห้งที่แตกต่างกัน
- 15) เพื่อศึกษาหาอายุการเก็บรักษามะม่วงแผ่นในช่องอลูมิเนียมฟอยด์ และ OPP ภายใต้สภาวะเร่ง
- 16) เพื่อศึกษาดัชนีที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง
- 17) เพื่อให้ได้สูตรและกระบวนการผลิตนมข้าวโพดชั้นหวานที่ผู้บริโภคยอมรับ
- 18) เพื่อให้ได้สูตรและกระบวนการผลิตข้าวเกรียบข้าวโพดที่ผู้บริโภคยอมรับ
- 19) เพื่อศึกษาสูตรเบื้องต้นของข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน
- 20) เพื่อศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน
- 21) เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อข้าวเกรียบข้าวโพดหวานที่ผลิตได้
- 22) เพื่อคัดเลือกสภาวะในการย่อยและชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการย่อย กากข้าวโพดหวาน ผงกากข้าวโพดหวาน น้ำแป้ง และแป้งข้าวโพด สำหรับการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพด สำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์
- 23) เพื่อคัดเลือกระดับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก สัดส่วนมวลของแข็งหรือปริมาตรของเหลวต่อปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่เหมาะสมในการย่อยกากข้าวโพดหวานหรือผงกากข้าวโพดหวาน เมื่อใช้ถึงอัตราความดันไอน้ำ สำหรับการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพดในเชิงพาณิชย์
- 24) เพื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่างเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส และน้ำตาลฟรุกโตสที่ได้จากการย่อยข้าวโพดให้กลายเป็นกลูโคส
- 25) เพื่อศึกษาชนิดของบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมต่อเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส
- 26) เพื่อศึกษาขั้นตอนเบื้องต้นในการทำน้ำเชื่อมกลูโคสฟรุกโตส
- 27) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ ถั่วแปยีทอดด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศ
- 28) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ ถั่วแปยีคั่วสมุนไพร
- 29) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ ขนมอบจากแป้งถั่วแปยี
- 30) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตอาหารสุขภาพจากถั่วแปยี แก่ผู้ประกอบการ เกษตรกรผู้ปลูกถั่วแปยี กลุ่มแม่บ้าน กลุ่มวิสาหกิจชุมชน และผู้สนใจทั่วไป รวมทั้งให้ความรู้เกี่ยวกับสุขลักษณะที่ดีในการผลิต (GMP) เพื่อยกระดับโรงงานผลิต



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

- 31) เพื่อพัฒนาการคว่ำแก้วแปยี่
- 32) เพื่อศึกษาสูตรคว่ำแปยี่คว่ำสมุนไพร
- 33) เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตแปยี่แก้วแปยี่ที่เหมาะสม
- 34) เพื่อศึกษาสัดส่วนแปยี่แก้วแปยี่ในการผลิตขนมอบ
- 35) เพื่อศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ของผู้บริโภค
- 36) เพื่อทราบความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์
- 37) เพื่อทราบความเหมาะสมของราคาผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับ

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีการทำแห้งแบบโฟม-เมท

เทคโนโลยีการทำแห้งแบบโฟม-เมท (foam-mat drying) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการนำเทคนิคการทำแห้งแบบโฟม-เมทเพื่อผลิตน้ำผักผลไม้หลากหลายชนิด วชิรและรัตน (2543) ได้ศึกษาเพื่อหาสารก่อโฟมที่เหมาะสมและสูตรน้ำลำไยที่เหมาะสมใน การผลิตน้ำลำไยผงด้วยวิธีโฟม-เมทพบว่า สารก่อโฟมที่เหมาะสมคือ methocel 65 HG ในปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ตีให้เกิดโฟมเป็นเวลาประมาณ 15 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ได้สูตรน้ำลำไยที่เหมาะสมซึ่งประกอบด้วย เนื้อลำไยสดร้อยละ 50 เนื้อลำไยแห้งร้อยละ 20 และ น้ำตาลทรายร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

สุธิตาและพนิดา (2551) ได้ศึกษาการผลิตสารสกัดชนิดผงจากพริกแดงสดด้วยการทำแห้งแบบโฟม-เมท โดยแปรชนิดของสารก่อโฟม แปรปริมาณสารเพิ่มความคงตัว และปริมาณเกลือ พบว่า สารก่อโฟมชนิด methocel และ egg albumin ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5:3.0 ปริมาณสารเพิ่มความคงตัวชนิด maltodextrin ที่ร้อยละ 10 ปริมาณ monoglyceride ที่ร้อยละ 1.5 และปริมาณเกลือที่ร้อยละ 3 ทำให้โฟมมีความคงตัวมากที่สุดและสามารถนำไปบดเป็นผงได้เมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

คัมเกล้าและพนิดา (2551) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคการทำแห้งแบบโฟม-เมทในการผลิตน้ำกระเทียมดองผง เพื่อเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาหาชนิดและสารก่อโฟมที่เหมาะสม รวมทั้งอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสม แล้วทดสอบการคืนรูปของน้ำกระเทียมดองผง พบว่า สารก่อโฟมชนิด methocel ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.9 โดยน้ำหนัก ร่วมกับ maltodextrin 10 กรัม จะให้ความคงตัวของโฟมที่เหมาะสม และอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

Karim and Wai (1999) ได้ศึกษาความคงตัวของโฟมและสถานะการอบแห้งเพื่อผลิตมะเฟือง (starfruit) ผงโดยเทคนิคโฟม-เมท สารก่อโฟมที่ใช้คือ methocel โดยแปรปริมาณของสารก่อโฟมและแปรอุณหภูมิในการทำแห้ง ศึกษาวิเคราะห์ค่าทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่า ความเข้มข้นของสารก่อโฟมที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักและอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

Raikumar et al. (2007) ได้ศึกษาการทำแห้งเนื้อมะม่วงดิบด้วยวิธีโฟม-เมท พบว่า สถานะการเกิดโฟมที่เหมาะสมคือใช้สารก่อโฟมชนิด egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ร่วมกับสารเพิ่มความคงตัว คือ methyl cellulose ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้มากที่สุด

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นจะเห็นได้ว่า การใช้เทคนิคโฟม-เมทมีศักยภาพสูงในการผลิตอาหารผง ในลักษณะเครื่องดื่มขง และสารก่อโฟมที่มีศักยภาพได้แก่ methocel และ egg albumin อีกทั้งสารเพิ่มความคงตัวได้แก่ maltodextrin อุณหภูมิในการทำแห้งควรจะอยู่ระหว่าง 50 – 70 องศาเซลเซียส ซึ่ง



จะไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงมีการเลือกใช้สารก่อโคมดั่งกล่าว และใช้ maltodextrin เป็นสารเพิ่มความคงตัว อีกทั้งมีการแปรรูปหนุมิในการอบแห้งให้อยู่ระหว่าง 50 – 70 องศาเซลเซียส

2.2 เทคโนโลยีการอบแห้ง

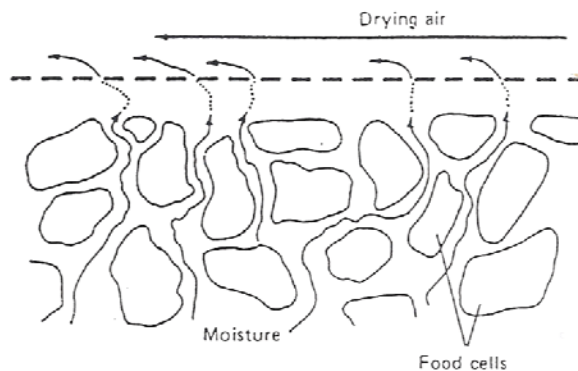
การทำแห้งวัสดุโดยทั่วไปนั้น ใช้อากาศแห้งเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุพร้อมๆ กับการถ่ายเทมวลจากวัสดุไปยังอากาศ ความร้อนจากอากาศที่วัสดุได้รับนั้น จะเป็นตัวทำให้น้ำในวัสดุระเหยซึ่งวัสดุที่เป็นสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีโครงสร้าง ภายในเป็นรูพรุน ถ้าผิววัสดุมี ปริมาณ น้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุจะคงที่ ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็ว ของกระแสอากาศมีค่าคงที่ จะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อผิววัสดุมี ปริมาณ น้ำลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิ ของวัสดุจะ เริ่มสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุจะลดลง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและ อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นของวัสดุในขณะที่ย้อตราการอบแห้งเริ่มเปลี่ยนแปลงจากอัตราการอบแห้งคงที่ไปเป็น อัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต (Hall, 1980) ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร เพื่อทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วระเหยออกจากอาหาร ถ้าใช้พลังงานจากแสงแดดจะ เรียกว่า การตากแห้ง ถ้าใช้พลังงานจากไฟฟ้า ก๊าซ หรือไอน้ำในเครื่องอบแห้งจะเรียกว่า การอบแห้ง ซึ่งทั้ง สองวิธีถูก เรียกว่า การทำแห้ง (สุคนธ์ชื่น, 2539) วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการอบแห้ง คือ เพื่อเก็บรักษานอมผลิตภัณฑ์ ระหว่างการยื้ออายุการเก็บรักษา โดยการลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการ เจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่นๆ นอกจากนี้การลดปริมาณความชื้นยังมีผลต่ออายุการ-เก็บรักษา กลิ่นรส และคุณค่าทางอาหารอีกด้วย วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่ง คือ การลดปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วย ในการขนส่ง และการเก็บรักษาองค์ประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารสามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและวัตถุประสงค์สุดท้ายของการอบแห้งเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่สะดวกต่อการใช้ของผู้บริโภค

ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ด้วยวิธีการทำแห้ง จำเป็นต้องคำนึงถึงรูปร่างโครงสร้างของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อให้การกำจัดความชื้นเกิดขึ้นในลักษณะที่ทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด โดยผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จากกระบวนการทำแห้ง สามารถกลับมามีคุณภาพใกล้เคียงกับสภาพเริ่มต้นหลังการเติมน้ำ (rehydration) แล้วกระบวนการทำแห้งนี้ต้องมีการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เหมาะสมภายในผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผักและผลไม้แห้งมีคุณภาพเป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้นในการออกแบบกระบวนการดังกล่าว จำเป็นต้องวิเคราะห์การ ถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างผลิตภัณฑ์ (รุ่งนภา, 2541)

สิ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์ คือน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อก้าวถึงคุณสมบัติทางเคมี ภาย ภาพ และเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำที่ยึดเกาะอาหาร สามารถแบ่งน้ำในอาหารได้เป็น 3 ประเภทคือ (1) โมเลกุลน้ำที่ ยึดกับอออนิกกรุป (ionic group) ได้แก่ กลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group) และกรดอะมิโน (amino group) (2) โมเลกุลน้ำที่ยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และเอไมด์ (amide) (3) น้ำอิสระ

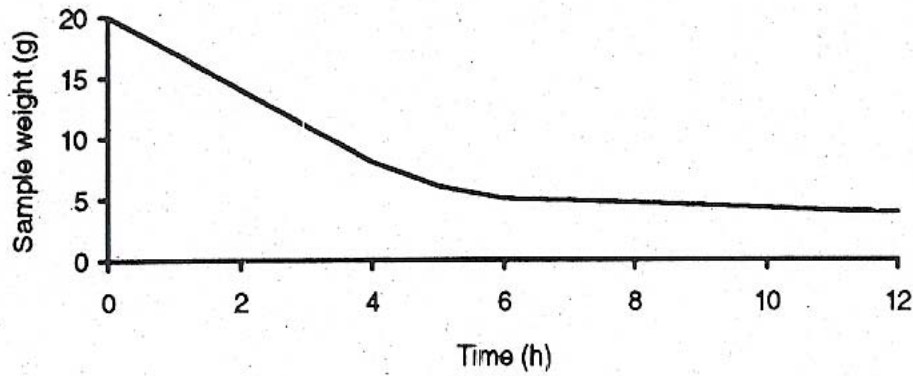
พบในช่องว่างอินเตอร์สทิเชียล (interstitial pores) ซึ่งแรงคาпилลารีและองค์ประกอบที่ละลายอยู่ทำให้ความดันโอสโมติกระหว่างกระบวนการอบแห้ง ระดับความยากในการกำจัดความชื้นออกไปจะลดลงตามลำดับ และโอกาสที่น้ำ จะถูกกำจัดออกไปเป็นปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามลำดับ กล่าวคือ น้ำอิสระจะระเหยและกำจัดออกไปในตอนแรก จากนั้นจะเป็นโมเลกุลที่ยึดด้วยพันธะไฮโดรเจน สุดท้ายจะเป็นน้ำที่ยึดเกาะด้วยพันธะไอออนิก ดังนั้น พลังงานที่ต้องใช้ในการกำจัดความชื้นจากน้ำแต่ละชนิด จะใช้ปริมาณพลังงานที่แตกต่างกันในการกำจัดออกไป เนื่องจากความต้องการพลังงานในการกำจัดความชื้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และชนิดของน้ำ ดังนั้น การออกแบบเครื่องทำความแห้งจะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ให้มาก ประสิทธิภาพของเครื่องที่ออกแบบขึ้นอยู่กับว่าสามารถกำจัดความชื้นตามที่ต้องการได้หรือไม่ (รุ่งนภา, 2535)

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหนังอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ (Fellow , 1990) ดังแสดงในรูปที่ 1 ในการทำแห้งอาหารทั่วไปมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการทำแห้ง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวล ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนของอากาศไปยังผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น พร้อมทั้งเกิดการระเหยของของเหลวที่ผิว และได้ผิวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปริมาณการถ่ายเทขึ้นอยู่กับความเข้มข้นหรือปริมาณของสารว่ามีมากน้อยเพียงใด จากลักษณะดังกล่าว ทำให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และทิศทางการไหลของอากาศที่ผ่านผลิตภัณฑ์คงที่ เมื่อเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาในการทำแห้งจะได้กราฟ ดังแสดงใน รูปที่ 2



รูปที่ 2.2.1: การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง

ที่มา: Fellow (1990)



รูปที่ 2.2.2: น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้ง

ที่มา: Barbosa-Canovas and Vega-Mercado (1996)

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกของการทำแห้ง น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักจะลดลงเพียงเล็กน้อย

กระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ในการทำแห้งโดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางทำให้แห้ง (drying medium) ที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นคงที่ เมื่อวัตถุที่เปียกชื้นสัมผัสกับอากาศร้อน วัตถุจะปรับอุณหภูมิของวัตถุจนเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ (steady state) แล้วผิวหน้าของวัตถุจะชุ่มด้วยของเหลว เมื่ออุณหภูมิที่ผิวหน้าของวัตถุเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb) ของอากาศร้อน จึงเริ่มเกิดการระเหยของน้ำเป็นไอ และถ่ายเทไปยังกระแสดตัวกลางทำให้แห้ง ถ้าน้ำยังมีพอเพียงที่จะคลุมผิวหน้าของของแข็งเป็นฟิล์มบางๆ อัตราการอบแห้งในช่วงเวลานี้จะมีค่าคงที่ และการระเหยของน้ำจะเกิดขึ้นได้เสมือนกับว่าไม่มีของแข็งอยู่เลย ปรากฏการณ์นี้จะทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าคงที่ เรียกช่วงเวลานี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate) ในช่วงนี้โครงสร้างของวัตถุจะไม่มีผลต่ออัตราการระเหยของของเหลวที่อยู่บนผิวหน้าของวัตถุเลย ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ ใอน้ำจะระเหยออกจากเนื้อ ของวัตถุ ต่อมาเมื่อน้ำไม่พอเพียงที่จะปกคลุมผิวหน้าของของแข็ง พื้นที่ที่เกิดการระเหยลดลงทำให้อัตราการ แห้งไม่คงที่อีกต่อไป ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยตรงให้แก่ผิวของของแข็ง นอกจากผิวของของแข็งแห้งแล้วอุณหภูมิที่ผิวของของแข็งจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นด้วย นั่นคือช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่สิ้นสุดลง ความชื้นในช่วงสุดท้ายของ constant rate period เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ในวัตถุนิตินเดียวกันที่ถูกทำภายใต้ภาวะของระบบเดียวกัน อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมีค่าความชื้นวิกฤตสูงกว่าสารที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เมื่อช่วง constant rate period สิ้นสุดลง อุณหภูมิของวัตถุจะเริ่มสูงขึ้น ของเหลวที่อยู่ผิวหน้าของวัตถุจะหมดไป ทำให้อัตราการแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว และสัมพันธ์กับการลดลงของความชื้น เรียกว่า อัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) การอบแห้งในช่วงนี้พบว่า ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของสารเป็นอย่างมาก จนกระทั่งไม่อาจทำนายได้ด้วยวิธีทางทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องจากระนาบที่เกิดการระเหยเป็นไอจะเคลื่อนที่ถอยลึกเข้าไปในชั้นของของแข็ง ใอน้ำที่ระเหยจะแพร่ซึมผ่านชั้นของแข็งไปยังผิวหน้าก่อน



แพร่ซึมเข้าไปในกระแสดำกลาง อุณหภูมิของชั้นของของแข็งแห้งจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และอุณหภูมิจะลดลงจากผิวนอกที่สัมผัสกับตัวกลางทำความร้อนไปจนถึงตำแหน่งที่เป็นระนาบที่เกิดการระเหยของน้ำ การถ่ายเทของน้ำในของแข็งนี้มีผู้พยายาม อธิบายโดยอาศัย ทฤษฎี 2 ทฤษฎี คือ การแพร่ซึม (diffusion) ซึ่งน้ำจะแพร่ซึมมายังระนาบที่เกิดการระเหย และแคปิลลารี (capillary) ซึ่งน้ำจะเกิดการถ่ายเทภายใต้ภาวะของแรงแคปิลลารี (capillary force) อย่างไรก็ตามก็พบว่า ทั้ง 2 ทฤษฎียังไม่อาจทำนายการแห้งตัวได้อย่างถูกต้อง (Van Arsdell, 1973)

กระบวนการ และอุปกรณ์ลดความชื้นผัก และผลไม้ ให้มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15 โดยการใช้พลังงานอินฟราเรดพร้อมกับพลังงานไมโครเวฟ ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ถูกเสนอโดย Gross (1991) ผลิตรสผัก และผลไม้อบแห้งที่ได้มีกลิ่นรสใกล้เคียงกับของสด ลักษณะปรากฏมีลักษณะพรุณและกรอบ (มีปริมาณความชื้น ประมาณร้อยละ 3) โดยกระบวนการลดความชื้นนี้จะใช้พลังงานไมโครเวฟในการลดความชื้นที่อยู่ภายในผักและผลไม้ ในขณะที่ใช้พลังงานอินฟราเรดในการลดความชื้นบริเวณผิวของผักและผลไม้ ซึ่งเมื่อใช้พลังงานจากทั้งสองแหล่งพร้อมกันจะช่วยทำให้อัตราการลดความชื้นเร็วขึ้น เทคนิคการอบแห้งนี้ ผักและผลไม้จะได้รับอุณหภูมิ มากกว่า 95 องศาเซลเซียส จึงทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีกลิ่นสุก (cooked flavour)

Nafisi-Movaghar (1990) พัฒนาระบบการอบแห้งผัก ผลไม้ ภายใต้สุญญากาศ โดยผักและผลไม้อบแห้งที่ได้มีลักษณะกรอบ นุ่ม มีโครงสร้างพรุณ และมีสีที่ใกล้เคียงกับผักและผลไม้สดมาก ขั้นตอนแรกของกระบวนการจะทำการแช่เยือกแข็งผักและผลไม้ที่ต้องการทำแห้ง แล้วละลายน้ำแข็งเพื่อให้ผักและผลไม้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่ม จากนั้นจึงมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารหลายชนิดเพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (โดยการใช้น้ำตาลในปริมาณร้อยละ 25 ถึง 45 ร่วมกับ กรด และ chelating agent) หลังจากนั้นทำการอบแห้งที่อุณหภูมิระหว่าง 35 ถึง 75 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันบรรยากาศ จนปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือประมาณร้อยละ 10 ถึง 45 จากนั้นนำไปทำการอบแห้งบนถาดร้อน ภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 50 ถึง 125 องศาเซลเซียส (กรณีของผลไม้ จะใช้อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส) เพื่อลดความชื้นให้เหลือประมาณร้อยละ 5 อย่างไรก็ตาม กลิ่นของผลิตภัณฑ์ของผักและผลไม้อบแห้งที่ได้มีความแตกต่างจากกลิ่นตามธรรมชาติ โดยจะมีกลิ่นสุก เนื่องจากต้องใช้เวลาค่อนข้างนานเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นตามต้องการ

กระบวนการทำแห้งอบแห้งที่มีรสชาติใกล้เคียงของสด ประกอบด้วยขั้นตอนการแช่ผลอบแห้งใน ขี้ผึ้งพาราฟินร้อน (heated paraffin wax) ภายใต้ความดันที่ต่ำมาก จนปริมาณความชื้นในของแห้งลดลงประมาณร้อยละ 50 ถึง 65 จากนั้นนำของแห้งไปผ่าน สามขั้นตอนของการทำแห้งโดยไมโครเวฟภายใต้สุญญากาศ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของแห้งที่มีลักษณะพรุณ และแห้ง โดยในขั้นตอนแรกของการอบแห้งจะถูกอบแห้งภายใต้ความดัน สุญญากาศ 29 ทอร์ร อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 65 ถึง 80 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 ถึง 40 นาที โดยใช้กำลังงาน 2.5 ถึง 3.0 กิโลวัตต์ ในขั้นตอนที่สองจะทำการอบแห้งที่ความดันสุญญากาศต่ำกว่า 20 ทอร์ร อุณหภูมิ 65 ถึง 80 องศาเซลเซียส นานประมาณ 20 ถึง 30 นาที โดยใช้กำลังงาน 1 ถึง 2 กิโลวัตต์



ส่วนในขั้นตอนสุดท้าย ทำการอบแห้งที่ความดันสุญญากาศต่ำกว่า 20 ทอร์ร อุณหภูมิไม่ได้รายงานไว้นานประมาณ 30 ถึง 40 นาที โดยใช้กำลังงาน 0.25 ถึง 0.5 กิโลวัตต์ หลังจากนั้นจะปล่อยให้งุ่นอยู่ภายใต้สุญญากาศอีกประมาณ 20 นาที โดยไม่มีการให้ความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิของงุ่นลดลง งุ่นอบแห้งที่ได้มีลักษณะภายนอกที่แข็ง แน่นเนื้อ แต่ตรงกลางจะกลวง และมีกลิ่นสุก

Drouzas and Schubert (1996) รายงานการพัฒนากระบวนการอบแห้งกล้วยโดยตู้อบไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยกระบวนการประกอบด้วยการทำแห้งกล้วยที่หั่นเป็นชิ้นโดยตู้อบไมโครเวฟที่ใช้ตามครัวเรือน (ยี่ห้อชาร์ป 5 โวลต์ 12 วัตต์) ที่ผ่านการดัดแปลง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิบาร์ กำลังงาน 0.15 กิโลวัตต์ โดยสลับเปิดให้กำลังงาน 10 วินาที และปิดให้กำลังงาน 20 วินาที ตลอดช่วงเวลานาน 30 นาที จนปริมาณความชื้นของกล้วยลดลงเหลือประมาณร้อยละ 5 ถึง 8 กระบวนการใช้เวลาประมาณครึ่งหนึ่งของเวลาที่ใช้ในการทำแห้งด้วยอากาศ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์กล้วยลดความชื้นที่ได้ ได้รับการแนะนำให้อบให้สุกก่อนการบริโภค

Durance *et al.* (1999) พัฒนาระบบการทำแห้ง มะม่วงและสับปะรดขึ้น โดยการใช้ไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศ โดยไม่ต้องการให้ชิ้นผลไม้สัมผัสกับอุณหภูมิเกิน 60 องศาเซลเซียส กระบวนการทำแห้งประกอบด้วยขั้นตอนแรกคือการเคลือบชิ้นผลไม้ด้วยน้ำตาลแล้วทิ้งไว้ให้น้ำตาลแพร่เข้าสู่เนื้อในของ ชิ้นผลไม้ หลังจากนั้นลดความชื้นของชิ้นผลไม้ให้ลดลงเหลือประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 (ฐานเปียก) โดยการใช้ air drying จากนั้นนำชิ้นผลไม้ไปอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สุญญากาศ ในสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกใช้กำลังงาน ระหว่าง 3 ถึง 5 กิโลวัตต์ต่อกิโลกรัมของชิ้นผลไม้ ภายใต้สภาวะสุญญากาศอย่างน้อย 25 นิ้วปรอท จนปริมาณความชื้นของชิ้นผลไม้ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20 ถึง 25 (ฐานเปียก) แล้วนำชิ้นผลไม้ไปอบแห้งในขั้นตอนที่สองที่ใช้กำลังงานของไมโครเวฟที่ต่ำลง ภายใต้สภาวะสุญญากาศอย่างน้อย 28 นิ้วปรอท ชิ้นผลไม้แห้งที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี และไม่มีการกลืนสุก

การอบแห้งมะม่วงมักมีปัญหาเนื่องจากโดยทั่วไปแล้วมักไม่นิยมลดความชื้นในผลิตภัณฑ์มะม่วง เมื่อค่า water activity (a_w) ของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำกว่า 0.4 เนื่องจากจะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อย่างมาก และถึงแม้จะทำการลดความชื้นโดยอากาศ (air dry) จนค่า a_w ของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงต่ำกว่า 0.7 มะม่วงแห้งที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็ง มีสี และกลิ่น ที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่งผลให้มะม่วงอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภคโดยทั่วไป

Koshida (1982) ได้พัฒนากระบวนการผลิตผลไม้แผ่นอบแห้ง (dried fruit chips) โดยเริ่มจากการปรับความเข้มข้นของน้ำตาลที่ละลายได้ในชิ้นผลไม้ ให้อยู่ในช่วงร้อยละ 6 ถึง 25 จากนั้นนำไปทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็ง (freeze-drying) เพื่อให้ปริมาณความชื้นลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 15 ถึง 60 จากนั้นจึงนำชิ้นผลไม้ไปอบแห้งต่อด้วยไมโครเวฟภายใต้สุญญากาศ (vacuum microwave drying) เพื่อลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 40 จากนั้นก็ทำการอบแห้งภายใต้สุญญากาศต่อเพื่อลดปริมาณความชื้นของชิ้นผลไม้ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นอาหารว่าง (ความชื้นผลิตภัณฑ์ ต่ำกว่า ร้อยละ 5) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี

ลักษณะพรุณ แต่มีความหนาแน่นสูงเนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำตาลให้แก่ชิ้นผลไม้ในขั้นตอนแรก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาณน้ำตาลสูงถึงร้อยละ 29 ถึง 63

ในการผลิตมะม่วงแผ่นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ จำเป็นต้องควบคุมสายพันธุ์มะม่วง ความสุก เพื่อให้ได้รสชาติเป็นที่ต้องการของตลาด ขณะเดียวกัน ในการผลิตมะม่วงแผ่นจะเกิดสีน้ำตาลจากการทำงานของเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) ดังนั้น ในช่วงการปั่นมะม่วง จึงเติมสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ในการศึกษาเบื้องต้นพบว่า การใช้กรดซิตริกสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การเติมกรดซิตริกอาจทำให้รสชาติของมะม่วงเปรี้ยวมากขึ้น จนอาจไม่เป็นที่ยอมรับ ดังนั้น การเพิ่มปริมาณน้ำตาลทรายเพื่อช่วยให้รสชาติเหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่ต้องศึกษาด้วย นอกจากนี้ กระบวนการ ควบคุมความชื้น เพื่อมีปริมาณน้ำที่เหมาะสม จะทำให้เนื้อสัมผัสของมะม่วงแผ่นไม่เหนียวและแข็งจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มะม่วงแผ่นจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่ม intermediate moisture food ที่ต้องควบคุมไม่ให้ค่า water activity สูงเกินไปจนจุลินทรีย์โดยเฉพาะราเจริญและทำความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ ทำให้อายุการเก็บรักษาลดลง ทั้งนี้ อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนการจำหน่าย ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อผู้บริโภค ซึ่งอายุการเก็บรักษาสามารถเข้าใจและแปลความหมายได้หลายแบบ ในแง่ผู้บริโภค มักหมายถึงระยะเวลาที่อาหารที่สามารถเก็บไว้ที่บ้านก่อนที่อาหารนั้นจะเสียไป ผู้ค้าปลีกอาจให้ความสนใจถึงระยะเวลาที่สินค้าจะสามารถวางจำหน่ายบนชั้นวาง (Man, 2002) ในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษาอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในด้านต่างๆ ขึ้นกับสถานะในการผลิตและการเก็บรักษา สำหรับการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลาหนึ่งนั้น คุณภาพบางประการของอาหารอาจถึงจุดที่ไม่เป็นที่ยอมรับ ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับการบริโภคอีกต่อไป ระยะเวลาที่จุดนี้ เรียกว่า วันหมดอายุ (Singh, 1994) การกำหนดอายุการเก็บของอาหารนั้นอาจกำหนดได้จาก 1) ข้อมูลที่มีการตีพิมพ์ 2) เทียบเคียงกับผลิตภัณฑ์เดียวกันในท้องตลาด 3) ใช้ข้อมูลจากผู้บริโภคที่ร้องเรียน 4) การทดสอบในสภาวะเร่ง (Accelerated shelf-life testing; ASLT) (Singh and Cadwallader, 2004)

เปลือกมะม่วงเป็นผลพลอยได้ (by-product) จากกระบวนการแปรรูปมะม่วง จัดเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) เช่น polyphenols, carotenoids และ anthocyanins ซึ่งจัดเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) (Ajila *et al.*, 2007) นอกจากนี้แล้วยังอุดมด้วยเส้นใยอาหาร (dietary fiber) อีกด้วย (Larrauri *et al.*, 1996; Ajila *et al.*, 2008a) และมีรายงานการประยุกต์ใช้เป็นแหล่งเส้นใยอาหารเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ขนมปังกรอบ (Ajila *et al.*, 2008b) เส้นมักกะโรนี (Ajila *et al.*, 2010)

2.3 การเสื่อมคุณภาพของอาหาร

สาเหตุของการเสื่อมคุณภาพของอาหารเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ ซึ่งอาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายที่ไม่เหมาะสมในระหว่างการเก็บเกี่ยว การแปรรูปและการกระจายสินค้า การเก็บอาหารแห้งในที่ที่มีความชื้นสูงอาจทำให้อาหารดูดความชื้นและแข็งเป็นก้อนได้ การ



เปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน จะส่งผลต่อกลิ่นรส เมื่อกลิ่นรสเกิดขึ้นมากพอ ผู้บริโภคจะรับรู้ได้ว่าการหืนขึ้น ในขณะเดียวกัน อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นยังก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์อื่นๆ เช่น การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนสี การเสื่อมสภาพของโปรตีน และการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้เกิดจากเอนไซม์ เป็นต้น นอกจากนี้ การเปลี่ยนทางด้านจุลินทรีย์ สามารถทำให้เกิดการเน่าเสีย ก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ และอาจก่อให้เกิดอันตรายในบางกรณี (Singh, 1994)

อัตราการเสื่อมคุณภาพเป็นจลนศาสตร์ปฏิกิริยา (Reaction kinetics) ลำดับศูนย์ (Zero order) และลำดับหนึ่ง (First order) เป็นส่วนใหญ่ โดยปฏิกิริยาลำดับศูนย์ หมายถึงปฏิกิริยาที่มีอัตราการเสื่อมเสียคงที่ที่อุณหภูมิคงที่ดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 (Labuza, 1982)

$$-\frac{dA}{d\theta} = k \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ A = คุณภาพ
 θ = ระยะเวลา
 K = อัตราการเสื่อมคุณภาพ

$$k = \frac{A_0 - A}{\theta} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ A_0 = ระดับคุณภาพเริ่มต้น
 A = ระดับคุณภาพที่เหลือที่เวลา θ
 θ = ระยะเวลาที่คุณภาพระดับ A
 k = อัตราการเสื่อมคุณภาพ

อัตราการเสื่อมคุณภาพของอาหารอาจมีได้หลายลำดับตั้งแต่ศูนย์จนถึงเศษส่วนใดๆ หรือเลขจำนวนเต็มจนถึง 2 ในอาหารหลายชนิดอัตราการเสื่อมจะลดลงเมื่อคุณภาพลดลงซึ่งปฏิกิริยาลำดับ 1 ดังสมการที่ 3 และ 4 (Labuza, 1982)

$$-\frac{dA}{d\theta} = kA^1 \dots\dots\dots (3)$$

จะได้

$$\ln \frac{A_E}{A_0} = -k\theta_s \dots\dots\dots(4)$$

- เมื่อ A = ระดับคุณภาพที่เหลือที่เวลา θ
- A_E = ระดับคุณภาพที่เหลือเมื่อหมดอายุ θ_s (ไม่เท่ากับ 0)
- θ = ระยะเวลาที่คุณภาพระดับ A
- k = อัตราการเสื่อมคุณภาพเป็นส่วนกลับของเวลา

การเสื่อมด้านคุณภาพที่เป็นปฏิกิริยาลำดับหนึ่ง ได้แก่ การหืน การเจริญเติบโตและการตายของจุลินทรีย์ การสร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์และเมือกโดยจุลินทรีย์ การสูญเสียวิตามิน และการเสื่อมคุณภาพของโปรตีน (Labuza, 1982) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ทางด้านคณิตศาสตร์ข้างต้นเกี่ยวกับการเสื่อมคุณภาพนั้น ดำเนินการภายใต้อุณหภูมิที่คงที่ ซึ่งอุณหภูมิเป็นส่วนหนึ่งของสมการลำดับศูนย์หรือหนึ่งของอัตราการเกิดปฏิกิริยา k ในทางทฤษฎี ค่า k แสดงความสัมพันธ์ของ Arrhenius ดังสมการที่ 5 (Labuza, 1982)

$$k = k_0 e^{-E_A / RT} \dots\dots\dots(5)$$

- เมื่อ k_0 = ค่าคงที่
- E_A = พลังงานกระตุ้น (cal / mole)
- R = ค่าคงที่ของแก๊ส (1.986 cal/mole $^{\circ}$ K)
- T = อุณหภูมิ ($^{\circ}$ K)

การวาดกราฟอัตราการเสื่อมคุณภาพในแต่ละอุณหภูมิ จะทำให้ทราบถึงความไวต่อการเสื่อมคุณภาพของอาหารที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หน่วยที่ใช้วัดความไวนี้เรียกว่า Q_{10} ของปฏิกิริยาแสดงได้ดังสมการที่ 6 (Labuza, 1982)

$$Q_{10} = \frac{\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ } (T + 10 \text{ }^{\circ}\text{C})}{\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ } T \text{ }^{\circ}\text{C}} \dots\dots\dots(6)$$

2.4 เทคโนโลยีการแปรรูปข้าวโพด

ข้าวโพดหวานเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งเกษตรกรสามารถเพาะปลูกได้ตลอดทั้งปี เพื่อการบริโภคสดหรือเพื่อส่งโรงงานแปรรูป ส่วนใหญ่ถูกนำไปแปรรูปเป็นข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องและข้าวโพดหวานแช่แข็ง สำหรับตลาดภายในประเทศได้มีการผลิตน้ำนมข้าวโพดพร้อมดื่ม แบบพาสเจอร์ไรซ์บรรจุขวดซึ่งได้รับความนิยมจากผู้บริโภคอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์น้ำนม ข้าวโพดพร้อมดื่มแบบพาสเจอร์ไรซ์ดังกล่าวมีอายุการเก็บรักษาสั้น และต้องมีการเก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำ หรือในตู้เย็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดแปรรูปข้าวโพดหวานให้อยู่ในรูปน้ำนมข้าวโพดชั้นหวาน ซึ่งผลิตภัณฑ์ จะมีลักษณะคล้ายคลึงนมชั้นหวานจากนมโคยกเว้นสีและกลิ่นรส โดยการนำไปใช้ประโยชน์จะสามารถใช้แทนนมชั้นหวานจากนมโคได้ เช่น ใช้เติมลงในเครื่องดื่ม ใช้เป็นเครื่องจิ้มขนมปัง ฯลฯ และผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานยังมีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่าประเภทพร้อมดื่มแบบพาสเจอร์ไรซ์ นอกจากนี้การนำข้าวโพดหวานมาแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบข้าวเกรียบข้าวโพดนับเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจอีกผลิตภัณฑ์หนึ่ง ซึ่งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ใช้เทคโนโลยีไม่สูงมากนัก และผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งทั้งสองผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้นนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ เพิ่มการใช้ประโยชน์จากข้าวโพดหวานให้มีความหลากหลายมากขึ้น

สำหรับกระบวนการผลิตนมชั้นหวาน เป็นการเก็บรักษาน้ำนมให้คุณภาพดีและอยู่ได้นาน โดยการทำให้เข้มข้น ด้วยการระเหยเอาน้ำบางส่วนออก แล้วนำไปผ่านการทำให้เชื้อในภาชนะที่ปิดสนิท สำหรับผลิตภัณฑ์นมชั้นหวานนั้น จะเติมน้ำตาลลงไปประมาณร้อยละ 40 - 45 ของน้ำหนักทั้งหมด ดังนั้นในการแปรรูปข้าวโพดหวานให้อยู่ในรูปน้ำนมข้าวโพดชั้นหวาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงนมชั้นหวานจากนมโค ยกเว้นสีและกลิ่นรส จะอาศัยหลักการระเหยเอาน้ำออกและเติมสารให้ความหวาน นอกจากนี้จะ ศึกษาถึงการใส่สารไฮโดรคอลลอยด์ในการให้ความเข้มข้นกับผลิตภัณฑ์

ไฮโดรคอลลอยด์หรือกัมส่วนใหญ่เป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ที่มีสายโซ่ยาวสกัดจากธรรมชาติ เช่น เมล็ดพืช สาหร่าย ผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์ เป็นต้น มักนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมอื่นๆ โดยทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด (Thickener) สารให้ความคงตัวและปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Williams and Phillips, 2000) ซึ่งไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติหน้าที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นผลจากองค์ประกอบทางเคมี น้ำหนักโมเลกุล สารประกอบอื่นๆ ที่มีในไฮโดรคอลลอยด์ ดังนั้นในการนำ ไฮโดรคอลลอยด์มาใช้ต้องพิจารณาชนิดของผลิตภัณฑ์ โดยประเมินจากคุณลักษณะหน้าที่เบื้องต้นที่ต้องการ เช่น การเพิ่มความหนืดในขนมหวาน ใสผลไม้ หรือการทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ขนมหวานบางชนิด การทนต่อความร้อน (thermal resistance) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการให้ความร้อน หรือความทนต่อการละลาย (freeze thaw stability) สำหรับอาหารแช่แข็ง เป็นต้น ซึ่งในการนำไฮโดรคอลลอยด์มาใช้ในผลิตภัณฑ์นั้นอาจเลือกใช้เพียงชนิดเดียวหรือสองชนิดรวมกันที่ให้คุณลักษณะที่ต้องการ

Gum arabic หรือ Gum acacia เป็น gum ที่ได้จากต้น Acacia Senegal และ Acacia seyal ซึ่งเป็นโพลี-แซคคาไรด์เชิงซ้อน และมีไนโตรเจนจำนวนเล็กน้อย องค์ประกอบทางเคมีจะแตกต่างกันเล็กน้อย ตามแหล่งที่มา ภูมิอากาศ ฤดูกาลและอายุของต้น ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานที่อยู่ในโมเลกุล ประกอบด้วย



น้ำตาลและ อนุพันธ์ของน้ำตาล คือ galactose (ร้อยละ 44) arabinose (ร้อยละ 24) glucuronic acid (ร้อยละ 14.5) rhamnose (ร้อยละ 13) และ 4-O-methylglucuronic acid (ร้อยละ 1.5) gum จาก Acacia seyal จะมีปริมาณ rhamnose และ glucuronic acid ต่ำกว่า Acacia Senegal แต่มีปริมาณ arabinose และ 4-O-methylglucuronic acid สูงกว่า Gum arabic เป็น heteropolysaccharide ที่มีโครงสร้างซับซ้อน มีกิ่งแขนง นอกจากนี้โมเลกุลยังประกอบด้วย amino acid ได้แก่ hydroxyproline และ serine Gum arabic ละลายได้ในน้ำและให้สารละลายใสที่มีสีตั้งแต่ เหลืองอ่อนจนถึงน้ำตาลส้ม แต่ gum ที่ได้จาก Acacia Senegal มีโครงสร้างที่เป็นกิ่งแขนงมากและโมเลกุลอัดกันแน่น จึงทำได้สารละลาย ที่ข้นหนืดที่ความเข้มข้นสูง สามารถละลายได้ที่ความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 55 และสารละลายที่ได้ มีความหนืดต่ำ จึงทำให้ Gum arabic มีสมบัติที่แตกต่างจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ซึ่งสามารถ ละลายได้สูงสุดเพียงร้อยละ 5 เท่านั้น เนื่องจากสารละลายที่ได้มีความหนืดสูง Gum arabic ถูกนำมาใช้มากที่สุดในกลุ่มของไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากพืช เพราะละลายได้ดีในน้ำและทนต่อ pH

ส่วนใหญ่ Gum arabic จะนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ อาหารประเภท confectionery เช่น marshmallows และ toffees เพราะทำหน้าที่ยับยั้งการตกผลึกของน้ำตาลและช่วยให้เกิดอิมัลชันได้ดี ในอุตสาหกรรมการผลิตสารที่ให้กลิ่นจะใช้ Gum arabic เป็น fixative เพราะขณะทำการพ่นสาร ที่ให้กลิ่นลงบนผลิตภัณฑ์อาหาร Gum arabic จะช่วยเคลือบผิวนอกของผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้สารที่ให้กลิ่นติดอยู่บนผิวของอาหาร ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันและการระเหยของสาร ที่ให้กลิ่นออกไปจากอาหารอีกด้วย และยังใช้เป็น Flavor encapsulating agent เพื่อนำไปใช้ในพวกผลิตภัณฑ์แบบผง เช่น ชูปัง ในเบียร์ Gum arabic จะช่วยทำให้ฟองเบียร์คงตัว และจะช่วยเป็น emulsifier และ stabilizer ให้กับเครื่องดื่มที่อยู่ในรูปของอิมัลชันด้วย (Stephen and Churm, 1995)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส carboxymethylcellulose (CMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสในรูปของเกลือ sodium carboxymethylcellulose อาจเรียกว่า cellulose gum CMC เป็นพอลิเมอร์ของชนิดที่มีประจุลบ และละลายได้ในน้ำ CMC ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมี DS ประมาณ 0.9 ซึ่ง CMC จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น สารละลาย CMC มีความคงตัวที่ช่วงพีเอชกว้าง ประมาณ 4-10 ในช่วงพีเอช 7-9 จะมีความหนืดสูงสุด

การผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพด ในกระบวนการผลิตข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง มีของเสียเป็นน้ำแบ่งจากจุดตัดเมล็ด (คุณสมบัติ: TSS 4°Brix, pH 6.87, COD 81.7 g/L, BOD 40.4 g/L) และกากข้าวโพดจากส่วนคัดเมล็ด ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยการทำเป็น corn syrup เพื่อพัฒนาเป็นแหล่งรายได้ในสถานะที่เศรษฐกิจตกต่ำ และยอดขายในปี พ.ศ. 2551 เริ่มชะลอตัว Visuri และ Klibanov (1987) ใช้เอนไซม์ในการผลิตน้ำเชื่อม ข้าวโพดที่มีความเข้มข้นฟรุกโตสระดับสูง (high fructose corn syrup, HFCS) ถึงร้อยละ 55 โดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร

Vuilleumier (1993) ระบุว่าการผลิตน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นฟรุกโตสระดับสูงอาจใช้วัตถุดิบหลายหลากชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง ข้าวสาลี และหัวบีท ส่วนประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นผู้ผลิตและผู้บริโภคน้ำเชื่อมมาก ที่สุดในโลก ใช้แป้งข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ

Otto (1985) อธิบายถึงกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพด โดยเริ่มจาก การเปลี่ยนแป้งข้าวโพดหรือแป้งที่ได้จากธัญพืชชนิดอื่นให้กลายเป็นน้ำตาลโดยใช้กรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอริกหรือเอนไซม์ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาสลายโมเลกุลของแป้งให้ กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส ขั้นตอนถัดมาคือ การใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส (glucose isomerase) เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตสที่มีความหวานมากกว่า ทั้งนี้จะต้องนำสารผสมที่ได้หลังจากการย่อย ด้วยกรดไปกรองหรือใช้คอลัมน์แลกเปลี่ยนประจุบวกและประจุลบ (cations & anions exchange column) เพื่อขจัดเถ้าและสี ก่อนจะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นของผสมระหว่างน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส

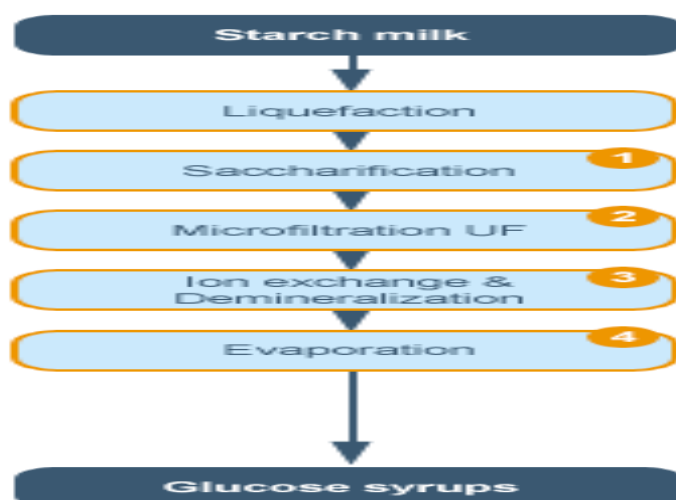
MadeHow (2007) ระบุว่า การเปลี่ยนแป้งข้าวโพดไปเป็นน้ำเชื่อมข้าวโพดทำได้ด้วยการผสมแป้งกับกรดไฮโดรคลอริกเจือจางก่อนนำไปให้ความร้อนภายใต้ความดัน ซึ่งกรดไฮโดรคลอริกและความร้อนจะเปลี่ยนโมเลกุลของแป้งให้กลายเป็นน้ำตาล ทั้งนี้หากเพิ่มระยะเวลาการย่อยจะทำให้ได้น้ำเชื่อมข้าวโพดที่มีความหวานเพิ่มมากขึ้น

การผลิตไฮฟรุกโตสน้ำเชื่อม (high fructose syrup; HFS) สามารถผลิตได้ด้วยกันหลายวิธี ตัวอย่างเช่น การใช้เอนไซม์ หรือกรดในการสลายโมเลกุลแป้งหรือสตาร์ชให้เป็นน้ำตาลกลูโคสก่อน จากนั้นแล้วถึงใช้กระบวนการไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) ด้วยการใช้เอนไซม์ไอโซเมอเรสเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นน้ำเชื่อมฟรุกโตส เป็นต้น

กระบวนการพื้นฐานสำหรับการผลิตน้ำตาลให้ได้ความบริสุทธิ์สูงจะต้องใช้วัตถุดิบเริ่มต้นเป็นสตาร์ช โดยเฉพาะการผลิตกลูโคสน้ำเชื่อม และใช้เอนไซม์อัลฟาอะไมเลส (Alpha amylase) กลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) และอัลฟา-1, 6- กลูโคซิเดส (Alpha-1, 6-glucosidase) เร่งปฏิกิริยาสลายโมเลกุลสตาร์ช โดยขั้นตอนแรกต้องเตรียมสตาร์ชให้อยู่สภาพของเหลวที่เป็นเนื้อเดียวกันก่อน จากนั้นอาจใช้กรด หรือเอนไซม์อัลฟาอะไมเลสที่เตรียมได้จาก *Bacillus subtilis* หรืออาจใช้เอนไซม์อะไมเลสที่มีอยู่ในข้าวมอลต์ หรือโดยการกวนสตาร์ชที่อุณหภูมิระหว่าง 100-160 °C เป็นเวลานาน 2-3 นาที โดยไม่ต้องใช้เอนไซม์ จะได้ของเหลวที่เป็นเนื้อเดียวกัน (นิธิยา, 2551) การสลายโมเลกุลของแป้งหรือสตาร์ชนิยมใช้เอนไซม์มากกว่ากรด เนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะการทำปฏิกิริยาได้ง่ายกว่า (Douglas and Mitchinson, 1997) อีกทั้งการใช้กรดนั้นจำเป็นต้องกำจัดกรดที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และยังทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษอีกด้วย (Chaplin, 2001)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสสตาร์ช จะได้น้ำเชื่อมหรือน้ำเชื่อมที่มีค่า DP ต่างๆ กัน และยังสามารถผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตสได้ด้วย ปัจจุบันการเปลี่ยนสตาร์ชเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลชนิดต่างๆ จะพัฒนากระบวนการผลิตไปใช้อิมโมบิไลซ์เอนไซม์ (Immobilized enzyme) หรือเอนไซม์ตรึง และใช้ระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (นิธิยา, 2551)

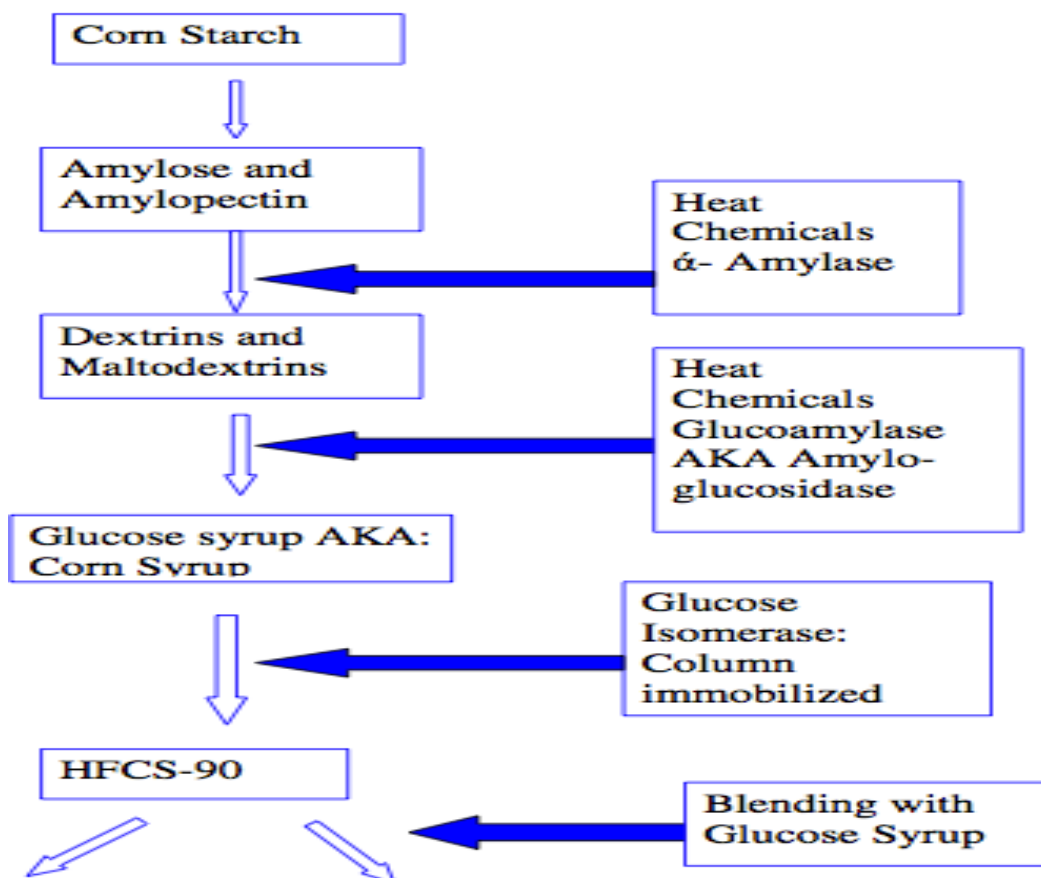
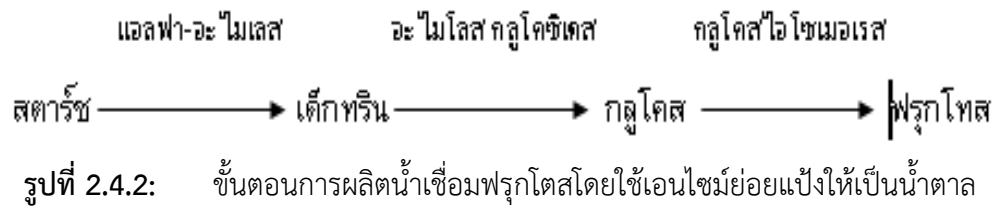
การไอโซเมอไรซ์น้ำตาลกลูโคสให้เป็นน้ำเชื่อมฟรุกโตสนั้นเป็นการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเท่านั้น ซึ่งขั้นตอนการไอโซเมอไรซ์นั้นจะใช้เอนไซม์ไอโซเมอเรสเข้ามาช่วยให้น้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนเป็นฟรุกโตส กลูโคสไอโซเมอเรส (d-xylose ketol-isomerase EC 5.3.1.5) เป็นเอนไซม์ที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) ให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตส (D-fructose) (Belfaquirh and Penninck, 2000) เราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทการแปรรูปแป้ง ผลิตภัณฑ์ให้ความหวาน และน้ำเชื่อม (syrops) ความเข้มข้นสูง และสามารถใช้แปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่มีการใช้น้ำตาลซูโครส ซึ่งมีความสำคัญต่อการผลิตไฮฟรุกโตสคอร์นน้ำเชื่อม (High Fructose Corn Syrup; HFCS) (Bhosale *et al.*, 1996) อีกทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้ประโยชน์ในทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ (Chen and Anderson, 1979) ซึ่งมักจะไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตสด้วยกรดหรือเอนไซม์อินเวอร์เทส หลังจากนั้นจะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตสด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอร์เรส เพราะน้ำตาลฟรุกโตสให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลชนิดอื่น เช่นการทำฟรุกโตสน้ำเชื่อม และคอร์นน้ำเชื่อม ซึ่งเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอร์เรสนั้นสามารถสกัดแยกออกมาได้จากจุลินทรีย์ (นิริยา, 2551) เช่น *Streptomyces rubiginosus* ด้วยการตรึงเอนไซม์แบบโควาเลนต์ (Tukel *et al.*, 2008) *Streptomyces murinus* ถูกตรึงบนซิลิกา (YU *et al.*, 2011) *Flavobacterium*, *Bacillus* และ *Streptomyces* และ *Arthrabacter* บางสายพันธุ์ด้วยการตรึงเซลล์บนวัตถุที่แตกต่างกันดังกล่าว เช่น as DEAE-cellulose (Chen and Anderson, 1979; Huitron and Limon-Lason, 1978), polyacrylamide gel (Demirel *et al.*, 2006; Strandberg & Smiley, 1971), alginate beads (Rhimi *et al.*, 2007). ในการพัฒนาเอนไซม์ไอโซเมอเรสเมื่อมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น มีวิธีการหนึ่งที่ดีที่สุด คือการใช้จุลินทรีย์ที่ทนร้อน (thermophilic mo.) เช่น *B. stearothermophilus*, *Clostridium thremosulfurogenes*, *Thermoanabac- ter* B6A, *Thermus aquaticus*, และ *Thermotoga maritime* จะทำให้เอนไซม์สามารถทนร้อนได้มากขึ้น (Brown *et al.*, 1993)



รูปที่ 2.4.1: การเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสน้ำเชื่อม

ที่มา: Applexion®, 2011

การใช้เอนไซม์ในการแปรรูปแป้ง (ดังรูปที่ 2.4.2 และ 2.4.3) เอนไซม์อัลฟา อะไมเลส (Alpha amylase) กลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) พัลลูลาเนส (Pullulanase) และกลูโคสไอโซเมอเรส (Glucose isomerase) จะทำการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารให้ความหวานจำพวกน้ำเชื่อม ซึ่งน้ำเชื่อมที่ได้มีหลายชนิด เช่น มอลโตเด็คทรีน (maltodextrins) มอลโตส น้ำเชื่อม (maltose syrups) กลูโคส น้ำเชื่อม (glucose syrups) และฟรุคโตส น้ำเชื่อม (fructose syrups) ซึ่งน้ำเชื่อมแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณความหวาน (DE: dextrose equivalent) ที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารได้หลากหลาย ได้แก่ ขนมหวาน ไอศกรีม ซอส รวมทั้ง soft drinks เป็นต้น



รูปที่ 2.4.3: แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตสความเข้มข้นสูงโดยละเอียด

ที่มา: (Paker et al., 2010)

2.5 ถั่วแปยี่ และเทคโนโลยีทอดสุญญากาศ

ถั่วแปยี่หรือถั่วแปบ เป็นพืชตระกูลถั่ว มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Lablab purpureus* Sweet. อยู่ในวงศ์ Leguminosae – Papilionoideae และมีชื่อสามัญว่า Hyacinth Bean (จีน) หรือ Lablab bean ลำต้นของถั่วแปยี่มีลักษณะเป็นไม้เลื้อย ลำต้นบิด มีขนเล็กน้อย สูงประมาณ 1.5 เมตร - 3 เมตร บางสายพันธุ์อาจสูงได้ถึงประมาณ 9 เมตร ลักษณะของใบ เป็นใบประกอบ 3 ใบ คล้ายรูปไข่ ปลายเรียวแหลม ดอกมี 2 ชนิดคือ ชนิดดอกสีขาว และชนิดดอกสีม่วง เมล็ดอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลเข้ม หรือเป็นสีดำเมื่อแก่จัด อีกทั้งยังเป็นธัญพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศอินเดียและประเทศในแถบภูมิภาคเขตร้อน เนื่องจากเป็นพืชที่ทนทานต่อสภาพอากาศแห้งแล้ง เชื่อกันว่าเริ่มมีการเพาะปลูกที่ประเทศอินเดียเมื่อพันกว่าปีมาแล้ว และมีการนำเมล็ดไปแพร่พันธุ์ยังประเทศต่างๆ ในทวีปแอฟริกา เอเชีย และอเมริกากลาง ในประเทศอินเดีย เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว จะนำถั่วมาอบแห้ง เพื่อใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่นเดียวกับถั่วชนิดอื่นๆ (Ensminger, 1993)



รูปที่ 2.5.1: ฝักถั่วแปยี่

เมล็ดถั่วแปยี่มีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่เพียงเล็กน้อย และมีปริมาณของโปรตีนปานกลาง จึงถูกพิจารณาให้เป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยมีสัดส่วนของกรดอะมิโน และค่า bio-availability ค่อนข้างสูง และมี anti-nutritional factor อยู่ในระดับต่ำ (Robert, 1985) เนื่องจากเมล็ดถั่วแปยี่มีสาร hydrogen cyanide, phytate และ trypsin inhibitor ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม anti-nutritional factor สารเหล่านี้ อาจทำให้เกิดโทษต่อร่างกาย เช่น Hydrogen cyanide ซึ่งจะอยู่ในรูปของสารประกอบ cyanogenic glycoside สารนี้เป็นโทษต่อร่างกายเมื่อเกิดปฏิกิริยาในระบบทางเดินอาหาร ส่วน trypsin inhibitor เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ trypsin ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ แม้ว่าจะมีในปริมาณที่เล็กน้อย ดังนั้น ควรมีการนำถั่วแปยี่มาผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนในระดับที่เหมาะสม เพื่อทำลายสารดังกล่าวก่อนนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ (Ensminger, 1993) ตารางที่ 2.5.1

ตารางที่ 2.5.1: องค์ประกอบทางเคมีของถั่วแปยี่

องค์ประกอบ	ปริมาณ (น้ำหนักเปียก)
1. ความชื้น (ร้อยละ)	9.3 ± 0.5
2. โปรตีน (ร้อยละ)	17.1 ± 1.5
3. ไขมัน (ร้อยละ)	1.1 ± 0.4
4. เถ้า (ร้อยละ)	3.6 ± 0.1
5. คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (ร้อยละ)	67.9 ± 4.2
6. Hydrogen cyanide (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)	1.1 ± 0.1
7. Phytate (มิลลิกรัมต่อกรัม)	18.9 ± 0.2
8. Trypsin inhibitor (TIU ต่อมิลลิกรัม)	0.15 ± 0.02

ที่มา: Subagio, 1996

การทอดสุญญากาศใช้หลักการลดความดันบรรยากาศในระบบทอด เพื่อให้ น้ำในผลิตภัณฑ์ สามารถระเหยออกมาได้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติ จึงสามารถใช้อุณหภูมิการทอดที่ต่ำกว่าเดิมได้จึงยัง ช่วยถนอมสี เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมคุณค่าทางโภชนาการได้ การแปรรูปด้วยเทคโนโลยีสุญญากาศเป็นที่นิยมอย่างมา ในต่างประเทศ เดิมทีเทคโนโลยีนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนักในประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อมูลเกี่ยวกับ เทคโนโลยีด้านนี้น้อยมาก จึงมีการนำเข้าจากต่างประเทศทำให้เครื่องมีราคาสูงมาก เครื่องจักรที่ผลิตและนำเข้าจากต่างประเทศกลับใช้งานได้ไม่นานนักทั้งนี้เนื่องจากคุณลักษณะของวัตถุดิบแตกต่างกัน ในปัจจุบันมีการพัฒนาจนสามารถผลิตขึ้นเองในประเทศ ทำให้เครื่องมีราคาถูกลงมาก และมีความเหมาะสมกับเหมาะสมกับ วัตถุดิบภายในประเทศจึงมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำผลไม้ทอด เช่น ทุเรียนทอด และ สับปะรดทอด เป็นต้น

การทอดโดยใช้เทคโนโลยีสุญญากาศเป็นทางเลือกใหม่ของการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่น่าสนใจ ด้วยหลักทฤษฎีพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของการระเหยและการเดือดของน้ำในสภาวะ ความดันบรรยากาศปกติ (760 มิลลิเมตรปรอท) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเมื่อความดันบรรยากาศต่ำลง (ต่ำกว่า 760 มิลลิเมตรปรอท) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส และจะแปรผันตามกันถ้าความดันยิ่งต่ำลง อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำก็จะต่ำลง ด้วยหลักการพื้นฐานนี้จะทำให้เราสามารถลดอุณหภูมิในการทอดได้ โดยควบคุมความดันในกระบวนการผลิต ข้อดีของการลดอุณหภูมิการทอด คือจะทำให้สามารถทอดผักผลไม้ได้ในอุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ทอดที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีสีสวยงาม ไม่ไหม้หรือมีสีเข้ม มีกลิ่นหอม ตามธรรมชาติ คงรสชาติหอมหวานตามธรรมชาติไว้ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ทอดที่ได้มีคุณลักษณะและคุณภาพใกล้เคียงของสด

ข้อดีของการทอดสุญญากาศมีดังนี้

- 1) การทอดภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศนี้เป็นกรรมวิธีที่เพิ่มอัตราการระเหยของน้ำ โดยที่จุดเดือด ของน้ำจะลดต่ำลง และการทอดในสภาวะสุญญากาศจะมีน้ำมันเป็นตัว ถ่านทอดความร้อนทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้ที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาลดลงในการ ระเหยน้ำ
- 2) การทอดแบบสุญญากาศ สามารถควบคุมความดันในการทอดไม่ให้สูงมากนัก (ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส) และทำให้ปริมาณน้ำมันทอดไม่ดูดซับเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์มาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมี สี สันสวยงาม กรอบ และยังได้ประโยชน์ด้านสุขภาพของผู้บริโภคในแง่ของวิตามินที่ละลายในน้ำมัน ก็ยังคงอยู่ไม่ละลายไปกับน้ำมันทอดจนหมด
- 3) การทอดระบบสุญญากาศ มีผลทำให้น้ำมันทอดไม่รวมตัวกับออกซิเจนเหมือนการทอดจากกระทะ ทอดทั่วไป ซึ่งหากปล่อยให้ น้ำที่ทอดมีอุณหภูมิสูง ๆ รวมตัวกับออกซิเจน แล้วจะทำให้เกิดปฏิกิริยา และการแตกตัวของอนุมูลอิสระบางตัวในผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่งผลให้เกิดสาร Polycyclamide ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ (ชัยวัฒน์, 2551)



รูปที่ 2.5.2: ตัวอย่างเครื่องทอดสุญญากาศ

ชัยวัฒน์ เผ่าสันหัตตพานิชย์ และ คณะ (2551) ศึกษาและออกแบบเครื่องทอดสุญญากาศ (สำหรับทุเรียน) ผลการศึกษาพบว่า ชิ้นเนื้อทุเรียนดิบจำนวน 5 กิโลกรัม มีสภาวะทอดเหมาะสมที่อุณหภูมิทอด 85 องศาเซลเซียสใช้เวลาทอด 35 นาทีที่ระดับสุญญากาศสูงสุด 740-760 มิลลิเมตรปรอท และการสกัดน้ำมันใช้เวลา 20 นาที ส่วนเนื้อทุเรียนสุกปริมาณเท่ากันมีสภาวะการทอดที่เหมาะสมที่อุณหภูมิทอด 85 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทอด 40 นาที และการสกัดน้ำมัน 30 นาที ที่ระดับสุญญากาศสูงสุด 740-760 มิลลิเมตรปรอทเช่นกัน

นันทวัน เทอดไทย และ คณะ (2540) ศึกษาสภาวะการทอดสุญญากาศที่เหมาะสมสำหรับหอยนางรม ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทอดคือ อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 นาทีที่สภาวะสุญญากาศ 551 มิลลิเมตรปรอท การทอดสุญญากาศช่วยปรับปรุงคุณลักษณะของสีผลิตภัณฑ์ และลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ได้ หลังจากการทอด 7 ครั้งอย่างต่อเนื่อง ค่า acid value ในน้ำมันที่ใช้ในการทอดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ผาณิต รุจิรพิสิฐ (2552) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาต่อคุณภาพรากบัวทอดสุญญากาศ ผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นค่า A_w และค่าแรงตึงผิวมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) และ เหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าความสว่างลดลงเมื่อใช้เวลาในการทอดเพิ่มขึ้นผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ที่ทอดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 25 นาทีที่สุด

2.6 เทคโนโลยีการผลิตแป้งถั่วแปยี

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ตามส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวไรน์ ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต เมล็ดถั่ว เช่น ถั่วเขียว พืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และมันเทศ รวมทั้งลำต้น เช่น ปาล์มสาคร หรือแม้แต่ในผลไม้ เช่น กล้วย เป็นต้น (กล้านรงค์, 2544) บทบาทที่สำคัญของแป้งคือใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แป้งที่คนไทยเรียกกันโดยทั่วไปนั้น ได้รวมความหมายเกี่ยวกับการเรียกแป้งในภาษาอังกฤษ 2 ประเภท เข้าด้วยกันคือ แป้งฟลาว (flour) และแป้งสตาร์ช (starch) ซึ่งแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชนั้นมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ส่งผลให้คุณสมบัติแตกต่างกันไป

แป้งฟลาว หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันฝรั่ง มันสำปะหลัง มันเทศ ลำต้นสาคร เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบทั้งหมดมาต้มหรือบด หรือตีจนละเอียดมาก ดังนั้นส่วนประกอบของแป้งฟลาวจึงประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบดั้งเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น

แป้งสตาร์ช หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้ผลิตแป้งฟลาวเช่นเดียวกัน แต่กรรมวิธีการผลิตจะแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรต โดยมีสารอื่นปนมาน้อยที่สุด ดังนั้นแป้งสตาร์ชจึงประกอบด้วยสารอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม คนไทยนิยมเรียกแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชรวมกันว่า “แป้ง” หรือ “ผลิตภัณฑ์แป้ง” ผลิตภัณฑ์แป้งที่เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี เป็นต้น (อรพิน, 2533; สิทธิพร, 2551)

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูง ประมาณร้อยละ 22-30 ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาครจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า คืออยู่ในช่วงร้อยละ 18-24 น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของ อะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของ อะไมโลส อยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000



สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง (Hizukuri, 1988) ปริมาณของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.6.1

ตารางที่ 2.6.1: ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แท้ง) Apparent	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แท้ง) Absolute
ข้าวสาลี	28.8	25.8
ข้าวโพด	29.4	22.5
ข้าวเจ้า	25.0	20.5
ข้าวบาร์เลย์	25.5	23.6
มันฝรั่ง	36.0	16.9
มันสำปะหลัง	23.5	17.8
พุทธรักษา	43.2	22.7
ถั่วเขียว	37.9	30.7

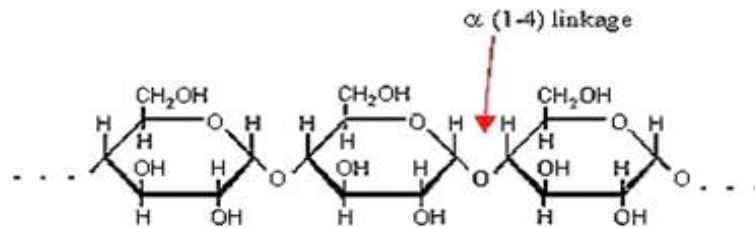
ที่มา: Kasemsuwan *et al.* (1999)

โครงสร้างและองค์ประกอบของเม็ดแป้ง หรือ starch มีเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วง 3-100 มิลลิเมตร ประกอบด้วยกลูโคสจำนวนหลายพันโมเลกุลมาเชื่อมต่อกันทั้งแบบสายยาวของอะไมโลสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - (1,4) glucosidic และแบบกิ่งก้านสาขาของอะไมโลเพคตินที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - (1,6) glucosidic นอกจากอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแล้ว ในเม็ดแป้งยังประกอบไปด้วยโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุ และน้ำรวมอยู่ด้วย

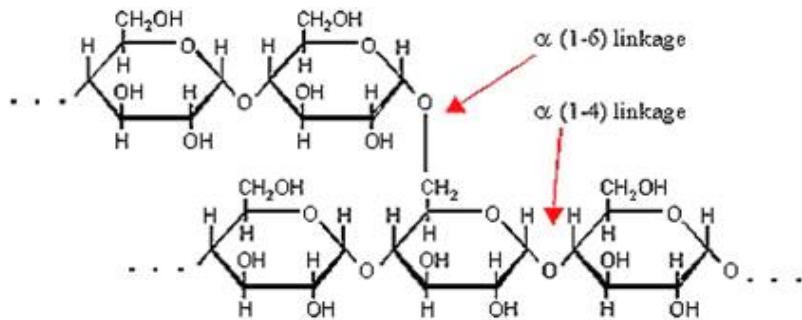
อะไมโลส (amylose) เป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1, 4 -glycosidic linkage ดังรูปที่ 8 อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Hizukuri, 1985)

อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ α - 1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1, 6-glycosidic linkage ดังรูปที่ 9 โดยอะไมโลเพคตินจะมีค่าเฉลี่ยของการเกิดโซ่กิ่งโดยประมาณที่ทุกๆ 25 หน่วยของกลูโคส และสายโซ่กิ่งมีความยาวเฉลี่ย 15-25 หน่วยกลูโคส

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α - 1, 6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสใน อะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือประมาณ 107 ถึง 109 ดาลตัน และมีการคั่นตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งอะไมโลเพคตินทำ หน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้



รูปที่ 2.6.1: โครงสร้างของอะไมโลส



รูปที่ 2.6.2: โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ตารางที่ 2.6.2: สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1) โมเลกุลกลูโคสต่อเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α - 1,4	1) โมเลกุลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และแตกกิ่งด้วยพันธะ α -1,6
2) มีกลูโคส 200-6000 หน่วย	2) แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3) ละลายน้ำได้น้อย	3) ละลายน้ำได้ดี
4) มีความข้นหนืดน้อยเมื่อนำไปต้มและกลายเป็นวุ้นหากตั้งทิ้งไว้	4) มีความข้นหนืดมากและใสเมื่อนำไปต้มและไม่กลายเป็นวุ้นหากตั้งทิ้งไว้
5) มีสีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5) มีสีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน

ที่มา: Beynum and Roels (1985)

แป้งจากหัว (tuber) หรือราก (root) เช่น แป้งมันฝรั่งและมันสำปะหลังมีไขมันในปริมาณที่ต่ำ (ร้อยละ 0.1 หรือน้อยกว่า) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งจากธัญพืช (corn wheat และ sorghum) ซึ่งมีไขมันประมาณร้อยละ 0.6-0.8 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) การมีไขมันในแป้งจะมีผลต่อคุณสมบัติของแป้งเนื่องจากไขมันหรือลิพิด (lipid) จะเกิดการรวมตัวกับอะไมโลสในแป้งเกิดเป็นสารเชิงซ้อนของอะไมโลส-ไขมัน (amylose-lipid complex) ซึ่ง amylose-lipid complex นี้ไม่ละลายน้ำ แต่การจับกันจะถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 120 องศาเซลเซียส) พันธะที่ยึดเหนี่ยวกันจะถูกทำลาย ทำให้ส่วนของอะไมโลสสามารถละลายออกมาได้ สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไขมันจะมีผลทำให้กำลังการพองตัว (swelling power) และค่าการละลาย (solubility) ของแป้งลดลง (Davies และคณะ, 1980) นอกจากนี้ไขมันยังทำให้แป้งเกิดการเหม็นหืน (rancid) ขณะเก็บรักษาด้วย

ไขมัน (lipid) ที่สกัดได้จากเมล็ดแป้งอาจเป็นไขมันที่เป็นส่วนหนึ่งของเมล็ดแป้งจริงๆ หรืออาจมาจากเนื้อเยื่อ ส่วนอื่นๆ และมาจับอยู่กับเมล็ดแป้งในขณะที่ทำการสกัดแป้ง แป้งจากเอนโดสเปิร์มของพวกธัญพืชจะมี ลักษณะเฉพาะคือ มีลิพิดเป็นส่วนหนึ่งของเมล็ดแป้ง (integral components) ในขณะที่เมล็ดแป้งจากมันฝรั่ง เมล็ดถั่วประเภทต่างๆ หรือจากส่วนอื่นๆ ของธัญพืชจะไม่พบ integral lipids ลิพิดที่จับอยู่กับ เม็ดแป้งนี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ลิพิดที่มาจากเนื้อเยื่ออื่นๆ เช่น จากเมมเบรนและสเฟียร์โรโซม ซึ่งจะจับอยู่กับเม็ดแป้งแบบหลวมๆ ประกอบด้วยลิพิด พวกไตรกลีเซอไรด์ ไดเอซิลไกลโคลิพิดและ ฟอสโฟลิพิด ระหว่างการเจริญของเมล็ดข้าว จะเกิดการย่อยสลายลิพิดบางส่วนได้กรดไขมัน และโมโนเอซิลกลีเซอไรด์ ในขณะที่สกัดแป้ง แม้ว่าเมล็ดแป้งจะพองตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่กรดไขมันและโมโนเอซิลลิพิดเหล่านี้สามารถถูก ดูดซึมเข้าไปในบริเวณชั้นผิวของเม็ดแป้งได้ จึงเรียกลิพิดส่วนนี้ว่า “starch surface lipids” ส่วนลิพิด ที่เป็นส่วนหนึ่งของเมล็ดแป้งอย่างแท้จริงจะพบอยู่ภายในเม็ดแป้ง ในแป้งข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีพบว่า เป็นลิพิดประเภทไลโซฟอสโฟลิพิดทั้งหมด ในขณะที่ในแป้งข้าวเจ้า ข้าวโอตและข้าวโพด พบว่าเป็นกรดไขมันประมาณร้อยละ 30-60 แป้งข้าวเหนียว ข้าวโพดเหนียว ข้าวบาร์เลย์เหนียว และข้าวสาลีเหนียวซึ่งมีอะไมโลส ต่ำมาก พบว่ามีปริมาณลิพิดต่ำมากเช่นกัน และแป้งจากข้าวเหล่านี้ เมื่อกลายพันธุ์ให้มีอะไมโลสสูงก็จะพบลิพิดในปริมาณมากด้วย (Morrison และ Laignelet, 1983)

โปรตีนที่สกัดได้จากเมล็ดแป้งก็แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกับไขมันคือ เป็นโปรตีนที่จับอยู่ที่ผิวของเม็ดแป้ง (surface protein) ซึ่งสกัดออกได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาคีโนส และ โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเมล็ดแป้ง (integral protein) ซึ่งการสกัดต้องใช้อุณหภูมิใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาคีโนส มันฝรั่งและมันสำปะหลังมีโปรตีนในปริมาณที่ต่ำ (ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก หรือน้อยกว่า) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพดและข้าวสาลี ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.3-0.5 โดยน้ำหนักต่อ น้ำหนัก โปรตีนที่อยู่ในแป้งจะเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดกลิ่นรสและการเกิดฟองในแป้ง

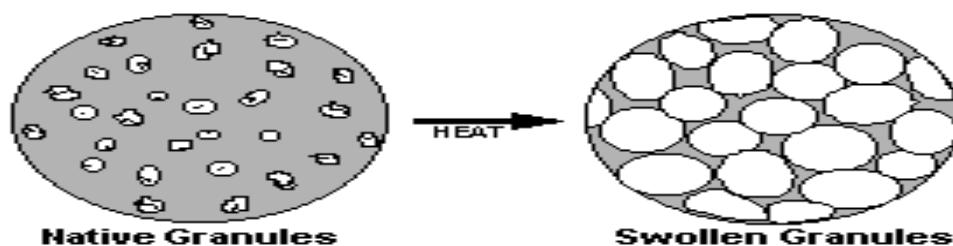
ฟอสฟอรัสในแป้งจากธัญพืชมักพบในรูปของฟอสโฟลิพิด (lysophospholipid) ในขณะที่แป้งจากราก และหัวมักมีฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำและอยู่ในรูปของฟอสเฟต แป้งมันฝรั่งเป็นแป้งจากหัวที่มี ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate ester) สูง ปริมาณ phosphate group ในแป้งมันฝรั่งมี

ประมาณ 1 กลุ่ม ต่อ 200-400 หน่วยของน้ำตาลกลูโคส (200-800 ppm) โดยหมู่ฟอสเฟตทำให้แป้งมีคุณสมบัติเป็น polyelectrolyte ทำให้เม็ดแป้งกระจายตัวในน้ำและพองตัวได้ดี เนื่องจากโมเลกุลแป้งผลักรันเอง

เถ้า และสารอนินทรีย์อื่นๆ ในแป้ง เช่น Ca^+ , K^+ , Mg^+ และ Zn^+ พบในปริมาณเล็กน้อย ปริมาณของสารเหล่านี้ทำได้จากสิ่งที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิเฉพาะ แป้งมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตในรูปของเกลือที่มีอยู่ในมันฝรั่งเองหรือได้จากกระบวนการล้างน้ำ ปริมาณเถ้าของแป้งมันฝรั่งเท่ากับปริมาณหมู่ฟอสเฟต ปริมาณเถ้าบางส่วนใน แป้งธัญพืชคือปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณเถ้าของแป้งที่ใช้ในทางการค้าโดยทั่วไปคือ สารประกอบโลหะของโซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม (Davies *et al*, 1980)

ความชื้นของแป้งจะมีปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity; RH) ของอากาศขณะที่เก็บผลิตภัณฑ์ ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแป้งจะมีความชื้นต่ำด้วย ถ้าความชื้นสูงเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำไว้มาก ปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ภายใต้สภาวะอากาศปกติแป้งโดยทั่วไปจะมีความชื้นร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก

สมบัติการพองตัวและการละลายของแป้ง (Swelling and solubility) แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซับน้ำไว้ได้ประมาณร้อยละ 25-30 และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป ส่วน amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.6.3 โมเลกุลในส่วน crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้ง สูงขึ้นไปอีก ส่วน crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น

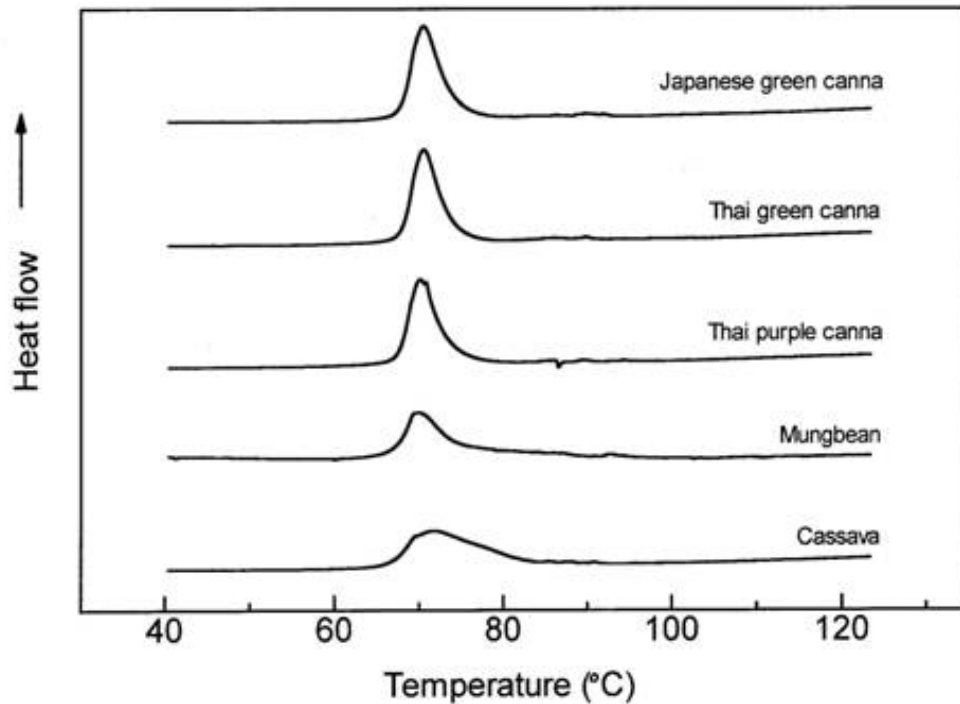


รูปที่ 2.6.3: การพองตัวของเม็ดแป้ง

การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization) เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัด ปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พอง ตัวหรือพองตัว ได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก และเมื่อให้ความร้อนจนถึง อุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 องศาเซลเซียส มีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและ การพองตัวของ เม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาตินในเซชัน” อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน crystallite ที่แตกต่างกัน ทั้งระดับการจับกัน (degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาตินในเซชันไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่ ในแป้งชนิดเดียวกันจาก แหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 องศาเซลเซียส (Morrison และ Laignelet, 1983; Collison, 1968) กลไกการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งนั้น สามารถเรียงลำดับการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

- 1) เริ่มมีการพองตัวในส่วนที่เป็นระเบียบน้อยที่สุดคือในส่วน Amorphous
- 2) การพองตัวจะทำให้เกิด tension ต่อ crystallites ที่อยู่ข้างเคียงทำให้โครงสร้างเสียหาย
- 3) การให้ความร้อนต่อไปจะเกิด Uncoiling หรือการแตกตัวของ double helical region เกิด break up ของโครงสร้างผลึก side chain ของอะไมโลเพคตินที่แยกตัวออกมาจะถูก hydrate และมีการพองตัวไปในแนวรอบๆ ดังนั้นจะเกิด stress ต่อโครงสร้างผลึกที่ยังเหลืออยู่
- 4) การเกิด hydration ต่อไปจะเพิ่ม mobility ของโมเลกุลทำให้เกิดการกระจายตัวของ โมเลกุล
- 5) โมเลกุลของอะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กจะแพร่ออกมาจาก swollen granule
- 6) การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้ granule แตกออกมากขึ้นจนในที่สุดได้เป็นสารละลาย

การตรวจสอบช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้ง สามารถใช้การสังเกตการเปลี่ยนแปลง โครงสร้าง birefringence ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และใช้เครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการ เช่น เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) ซึ่งใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันของปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงกับ อุณหภูมิ โดยทั่วไปจะถือว่าอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีสูงสุด (peak temperature) ของแป้ง คือ อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชัน สำหรับการตรวจสอบการเกิด เจลาตินในเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC ทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแป้งกับน้ำในอัตรา 30/70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าจะเลยช่วงในการเกิดเจลาตินในเซชัน จะได้ thermogram ดังรูปที่ 2.6.4 ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาตินในเซชัน (DH, cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง



รูปที่ 2.6.4: DSC thermogram ของแป้ง

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิ ลดต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น crystallite ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction (Collison, 1968) ถ้า น้ำแป้งสุกมีความ เข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้า น้ำแป้งสุกมีความเข้มข้น สูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยมวล จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่าง เคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม

การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็น ที่อุณหภูมิ ต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากรากหรือหัวของพืช มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากรากหรือหัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้ง ยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมา จัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่ คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น matrix ซึ่งยึด อยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้ อัตราการคืนตัว ของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกะกะ ยากที่ โมเลกุลจะ



เคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสูกน้อยกว่า แป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสูกด้วย โมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน

ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำ แป้ง ทำให้เม็ดแป้งเกิด การพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว และแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่ง จะพองตัวได้อย่าง รวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และหรือโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสูกจะเป็นผลมาจาก การพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง

เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำ ไว้ได้ ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกนี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน อุณหภูมิ shear rate ฯลฯ แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ชนิดของแป้ง กระบวนการผลิตแป้งจากเมล็ดข้าว ธัญชาติ รากหรือหัวของพืช มีกรรมวิธีการผลิตที่คล้ายคลึงกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีการบดหรือโม่แบบเปียก และวิธีการบดหรือโม่แบบแห้งดังนี้

1) วิธีการบดหรือโม่แบบเปียก

เป็นกระบวนการที่ใช้น้ำร่วมกับการบดหรือโม่เมล็ด มักใช้ในการผลิตแป้งจากข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวสาลีหรือข้าวโพด ซึ่งจะยกตัวอย่างการผลิตแป้งข้าวโพด มีขั้นตอนการโม่ดังนี้

1.1) การแช่ เป็นขั้นตอนที่นำเอาเมล็ดข้าวโพดที่แยกออกจากฝักและผ่านขั้นตอนการทำความสะดวกเรียบร้อยแล้วมาแช่น้ำในถังไม้หรือถังสแตนเลสซึ่งบรรจุน้ำที่มีการเติมกรดซัลฟิวริก โดยมีวัตถุประสงค์ในการแช่ดังนี้

1.1.1) เพื่อทำให้เมล็ดข้าวโพดนุ่ม

1.1.2) เพื่อช่วยให้สามารถแยกโปรตีนที่อยู่ล้อมรอบเม็ดสตาร์ชในเมล็ดโดยโมเลกุลของน้ำที่แช่ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด

1.1.3) เพื่อแยกเอาส่วนที่สามารถละลายน้ำออกไปจากเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วน ของคัพพะ

1.2) การบดแยกเอาคัพพะออกจากเมล็ด เป็นขั้นตอนนี้จะบดเมล็ดที่มีความนุ่ม ซึ่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 45 ด้วยเครื่องบดแยกคัพพะ ซึ่งจะทำให้ส่วนของคัพพะฉีกขาดออกจากเมล็ด

1.3) ขั้นตอนการแยกเอาเยื่อใยออก เมื่อถึงขั้นตอนนี้ ส่วนที่เหลือส่วนใหญ่ คือ สตาร์ช โปรตีน และเปลือกหุ้มเมล็ด ส่วนต่างๆ เหล่านี้จะถูกแยกโดยการนำมัล้างผ่านตะแกรงที่มีขนาดอนุภาคที่หยาบ

1.4) ขั้นตอนการแยกสตาร์ชและโปรตีนออกจากกัน ของเหลวที่มีสตาร์ชและโปรตีนผสมกันอยู่ นี้ จะถูกนำมาแยกออกจากกันด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วที่เหมาะสม ทั้งนี้ส่วนที่เป็นสตาร์ชจะตกตะกอนลงมาก่อน จากนั้นจึงนำส่วนของตะกอนมาทำให้แห้ง (ทรงฤทธิ์, 2545)

2) วิธีการบดหรือโม่แบบแห้ง ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

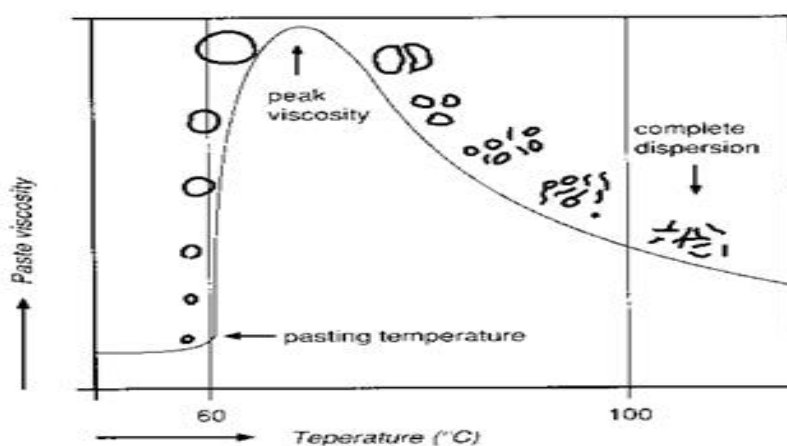
2.1) การทำความสะอาด เป็นการนำเมล็ดที่มีความชื้นร้อยละ 13 มาแยกสิ่งสกปรกออก โดยผ่านตะแกรงร่อนหลายๆ ชุด รวมทั้งใช้ลมเป่าเพื่อแยกส่วนเจือปนที่เบากว่าเมล็ดออกไป

2.2) ปรับความชื้นภายในเมล็ดข้าวโพด โดยจะใช้เครื่องพ่นน้ำลงบนเมล็ดที่สะอาดในถังพักจนมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 14-16 แล้วจึงปล่อยทิ้งไว้ในถังพักอีก 24-48 ชั่วโมง ก่อนนำไปโม่

2.3) การโม่ เมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการปรับความชื้นจากถังพัก จะถูกลำเลียงด้วยสายพานเข้าไปในเครื่องอบไปน้ำ เพื่อให้เปลือกนอกของเมล็ดนิ่มขึ้น แล้วจึงไหลเข้าเครื่องโม่

2.4) การแยกแป้งละเอียด แป้งที่ได้จากการโม่จะถูกลำเลียงให้แห้ง (rotary dryer) จนเหลือความชื้นเพียงร้อยละ 11 แล้วผ่านตะแกรงร่อนอย่างละเอียด

2.5) การแยกรำและคัพพะ ส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อน จะถูกร่อนอีกครั้งด้วยตะแกรงขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงจะเป็นรำและคัพพะ



รูปที่ 2.6.5: การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน

ปิยวรรณ (2544) ศึกษากรรมวิธีการผลิตแป้งจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอม 2 วิธี คือ วิธีการผลิตแบบบดแห้งและวิธีการผลิตแบบบดเปียก พบว่าแป้งกล้วยที่ผลิตด้วยวิธีบดเปียกมีปริมาณผลผลิตสูงกว่า มีลักษณะของเม็ดแป้งที่สมบูรณ์ และมีค่า a^* สูงกว่าแป้งที่ผลิตด้วยวิธีบดแห้ง ในขณะที่ค่าความสว่าง L^* จะต่ำกว่า ส่วนค่า b^* นั้นไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับการวัดความหนืดด้วยเครื่องอะไมโลกราฟและการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี พบว่ากรรมวิธีการผลิตไม่มีผลต่อค่าความหนืดสูงสุดของแป้งกล้วย รวมทั้งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความชื้น โปรตีน และไขมัน อย่างไรก็ตาม แป้งกล้วยที่ได้จากกรรมวิธีการผลิต แบบบดเปียกมีค่าความเป็นกรด – ด่าง สูงกว่า แต่มีปริมาณเส้นใยและเถ้าต่ำกว่าที่ผลิตแบบบดแห้ง จากการ ประมวลผลทุกในด้านแล้ว จึง ควรผลิตแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้าโดยกรรมวิธีการผลิตแบบบดเปียก

ภรณ์ (2546) ได้นำแป้งถั่วเขียวผสมแป้งสาธิตศึกษาคุณสมบัติด้านหน้าที่ พบว่า ความสามารถในการดูดซึมน้ำและน้ำมันของแป้งผสมเพิ่มขึ้น ความสามารถในการเกิดเจลของแป้งลดลง ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ความคงตัวของอิมัลชัน ความสามารถในการเกิดฟองและความคงทนของฟองเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาทำผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทคุกกี้ พบว่า ค่า spread factor ความแข็งของเนื้อสัมผัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การผสมด้วยแป้งถั่วเขียวทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น เมื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ลักษณะทั่วไปและเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากแป้งสาธิต แต่ในด้านสีและกลิ่นรสถั่วเพิ่มมากขึ้น การผสมแป้งถั่วเขียวที่ร้อยละ 10 ผู้บริโภคให้การยอมรับไม่แตกต่างจากการใช้แป้งสาธิต โดยองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 1.63, 5.63, 18.74, 1.76, 0.1 และ 72.14 ตามลำดับ

2.7 การศึกษาการยอมรับผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์

ในโลกยุคปัจจุบันภาวะทางการตลาดมีการเปิดเสรีอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้มีการแข่งขันทางการตลาดกันรุนแรงมากขึ้น ผู้ค้าหรือบริษัทต่างๆ ต้องปรับตัว ให้กิจการของตนมีความเจริญก้าวหน้า และดำรงให้อยู่รอดได้ในภาวะผันผวนของตลาดในรูปแบบต่างๆ แนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ภาคธุรกิจสามารถเติบโตและสามารถแข่งขันกับภาวะตลาดได้คือการศึกษถึงความต้องการของผู้บริโภค นั่นก็คือพฤติกรรมของผู้บริโภค ด้วยเหตุผลที่ว่า ผู้บริโภคมีบทบาทสำคัญในการกำกับการไหลเวียนของสินค้าและบริการ การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคจึงเป็นรากฐานสำคัญต่อการดำเนินงานการตลาด เพราะหากสามารถเข้าใจพฤติกรรมผู้บริโภคได้ถูกต้องก็จะสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ดีกว่าคู่แข่ง สร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันในการศึกษาถึงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญและไม่ควรจะมองข้าม ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคเป็นอย่างดี



ความหมายของพฤติกรรมผู้บริโภคได้มีนักวิชาการหลายท่านให้ความหมายในรูปแบบต่างๆ กัน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- 1) การกระทำใดๆ ของผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเลือกซื้อ การซื้อ การใช้สินค้าและบริการ รวมทั้งกระบวนการตัดสินใจ ซึ่งเป็นตัวนำหรือตัวกำหนดการกระทำดังกล่าว เพื่อตอบสนองความต้องการจำเป็นและความต้องการของผู้บริโภคให้ได้รับความพอใจ
- 2) การกระทำที่ผู้บริโภคแสดงออก ได้แก่ การค้นหาการเลือกซื้อ การเลือกใช้ การประเมินผลในการใช้สอยผลิตภัณฑ์นั้นๆ รวมถึงการบริการที่ผู้บริโภคได้รับหรือพึงจะได้รับ ซึ่งการกระทำดังกล่าวเป็นที่คาดว่าจะสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคนั้นๆ ได้
- 3) พฤติกรรมซึ่งผู้บริโภคแสดงออกในการค้นหาการเลือกซื้อ การใช้ การประเมินค่า และการจับจ่ายใช้สอยสินค้าและบริการผลิตภัณฑ์ ซึ่งคาดหวังว่าจะสามารถตอบสนองความต้องการจนได้รับความพึงพอใจ และกิจกรรมเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการกระทำต่างๆ และกระบวนการทางด้านอารมณ์และจิตใจ
- 4) พฤติกรรมอย่างหนึ่งอย่างใดที่แสดงออกมามีมูลเหตุเป็นตัวกระตุ้น เร่งเร้าจิตใจให้เกิดความต้องการ และจากความต้องการจะทำให้เกิดแรงจูงใจให้แสดงพฤติกรรมในที่สุด ซึ่งมีลักษณะเป็นขั้นตอนหรือเป็นกระบวนการ

จากความหมายของคำว่า พฤติกรรมผู้บริโภคที่ได้กล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า พฤติกรรมผู้บริโภคหมายถึง พฤติกรรมของผู้บริโภคที่แสดงออกมาในรูปแบบต่างๆ เพื่อทำการเลือกซื้อ หรือการใช้สินค้าและบริการ เพื่อสนองความต้องการและความปรารถนาต่างๆ ให้ได้รับความพึงพอใจ

พฤติกรรมผู้บริโภคเป็นศาสตร์ที่พัฒนามาจากแนวความคิดทางทฤษฎีในสาขาวิชาต่าง ๆ เช่น เศรษฐศาสตร์ (Economics) จิตวิทยา (Psychology) สังคมศาสตร์ (Sociology) จิตวิทยาสังคม (Social Psychology) และวัฒนธรรมมนุษย์วิทยา (Cultural Anthropology) เราอาจจะแบ่งประเภทพฤติกรรมผู้บริโภคจำแนกตามศาสตร์ต่าง ๆ ซึ่งจัดเป็นทฤษฎีต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 1) ทฤษฎีทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economics) การศึกษาถึงพฤติกรรมของผู้บริโภคในเชิงเศรษฐศาสตร์นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นการศึกษาว่าผู้บริโภคจะใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ ได้แก่ เงิน เวลา และอื่น ๆ อย่างไร จะเลือกใช้หรือประเมินผลการใช้หรือไม่และจะทำการอย่างไรถึงจะได้รับผลตอบแทนที่คุ้มค่าและได้รับความพึงพอใจสูงสุดในการซื้อ การใช้ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ
- 2) ทฤษฎีทางจิตวิทยา (Psychology) เป็นศาสตร์ที่ศึกษาทางด้านปัจเจกชนเกี่ยวกับการรับรู้ ทศนคติ รูปแบบการเรียนรู้ของบุคคลแต่ละบุคคล สิ่งเหล่านี้สามารถทำให้เราเข้าใจได้ถึงความต้องการในการบริโภคของบุคคล ซึ่งแสดงออกมาในแบบที่แตกต่างกันไป แต่ละบุคคลก็จะมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อสินค้าและบริการไม่เหมือนกัน สิ่งเหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของบุคคลแต่ละบุคคล และอาจจะเกิดจากประสบการณ์ที่เคยได้เห็นหรือเกิดขึ้นและทำให้มีผลต่อการเลือกซื้อสินค้าและบริการนั้น ๆ
- 3) ทฤษฎีทางสังคมศาสตร์ (Sociology) เป็นการศึกษาพฤติกรรมของ กลุ่มคน ทั้งกลุ่มบุคคลว่าบุคคลแต่ละคนมีบทบาทอย่างไรต่อกลุ่มนั้น ๆ ไม่ได้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของคนเพียงคนเดียว แต่

เป็นการศึกษาพฤติกรรมในการบริโภคของสมาชิกในกลุ่มว่า มีอิทธิพลอย่างไรต่อการบริโภคนั้นๆ เช่น พฤติกรรมการบริโภคของกลุ่มครอบครัว พฤติกรรม การบริโภคของกลุ่มเพื่อน พฤติกรรมการบริโภคในแต่ละชั้นของสังคม

4) ทฤษฎีทางด้านจิตวิทยาสังคม (Social Psychology) เป็นการเชื่อมโยงระหว่างศาสตร์ของสองสาขาด้วยกัน คือ สังคมศาสตร์ และจิตวิทยา การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคเชิงจิตวิทยาสังคมนั้น เป็นการศึกษาว่าบุคคลแต่ละบุคคล ดำเนินการบริโภคอย่างไรในกลุ่มของตน การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคนั้นไม่ใช่เป็นแต่เพียงการศึกษาทางการดำเนินการภายในกลุ่ม ภายใต้ความหมายของพฤติกรรมเชิงการตลาดเท่านั้น แต่เป็นการศึกษาว่าบุคคลแต่ละบุคคลจะได้รับอิทธิพลต่อพฤติกรรมการบริโภคภายในกลุ่มนั้น ๆ อย่างไร การตัดสินใจที่จะบริโภคสินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จะต้องขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของบุคคลใดบุคคลหนึ่งที่เขาให้ความเชื่อถือหรือ มีความไว้วางใจ หรือไม่อย่างไร เช่น เพื่อน ครอบครัว กลุ่มอ้างอิงที่มีอิทธิพลหรือความคิดเห็นของผู้นำในกลุ่มนั้น ๆ เป็นต้น

5) ทฤษฎีทางด้านวัฒนธรรมมนุษย์วิทยา (Cultural Anthropology) เป็นการศึกษาด้านความเป็นอยู่ของมนุษย์ในสังคม พฤติกรรมการบริโภคของบุคคลแต่ละบุคคลอาจมาจากความเชื่อ ค่านิยม ขนบธรรมเนียมประเพณีที่สืบทอดมาจากบิดา มารดา ปู่ ย่า ตา ยาย ซึ่งทำให้มีผลต่อพฤติกรรมการซื้อและการบริโภคของบุคคลนั้นๆ นอกจากนี้แล้ว ทฤษฎีนี้ยังศึกษาไปถึงวัฒนธรรมย่อย ซึ่งเป็นวัฒนธรรมของกลุ่มที่มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไปที่มีอยู่ในสังคมขนาดใหญ่และความซับซ้อนมาก

6) ทฤษฎีพฤติกรรมผู้บริโภคมีความสำคัญต่อการศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก เพราะเป็นข้อมูลในการนำไปวิเคราะห์และทำนายพฤติกรรมของผู้บริโภคได้ นักการตลาดได้ศึกษาพฤติกรรมการซื้อของผู้บริโภคมาช้านาน จากการศึกษาดังกล่าวทำให้ มีผู้คิดค้นตัวแบบขึ้นมามากมายหลายแบบ เพื่อนำมาใช้อธิบายพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อ ของผู้บริโภคจึงขอนำมากล่าวบางตัวแบบ ดังนี้

6.1) ตัวแบบพฤติกรรมการบริโภคของคอตเลอร์

คอตเลอร์ ได้ทำการคิดตัวแบบขึ้นไว้ เพื่ออธิบายพฤติกรรมในการซื้อของผู้บริโภค โดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับพฤติกรรมของมนุษย์ดังกล่าวมาแล้ว ที่ว่าพฤติกรรมจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีสาเหตุทำให้เกิด ดังนั้นตามตัวแบบของ คอตเลอร์ ตัวที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดพฤติกรรม ประกอบด้วยสิ่งเร้า 2 ส่วนได้แก่ สิ่งเร้าทางการตลาด (Marketing Stimulus) อันได้แก่ ส่วนประสมการตลาด หรือ 4P's ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ และ สิ่งเร้าภายนอกอื่น ๆ ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ อันได้แก่ปัจจัยและเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อม ต่าง ๆ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อซึ่งได้แก่ เศรษฐกิจ เทคโนโลยี การเมือง และวัฒนธรรม เป็นต้น

6.2) ตัวแบบพฤติกรรมการบริโภคของสแตนต์ตันและคนอื่นๆ

สแตนต์ตันและคนอื่นๆ ได้คิดค้น ตัวแบบ เพื่ออธิบายพฤติกรรมการซื้อของผู้บริโภคไว้ว่า พฤติกรรมการซื้อของผู้บริโภค ที่แสดงออกมาในรูปของกระบวนการตัดสินใจเป็นขั้นตอนนั้นเกิดจากพลังผลักดัน 4 อย่าง ซึ่งมีอิทธิพลต่อกระบวนการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค พลังผลักดันดังกล่าว ได้แก่

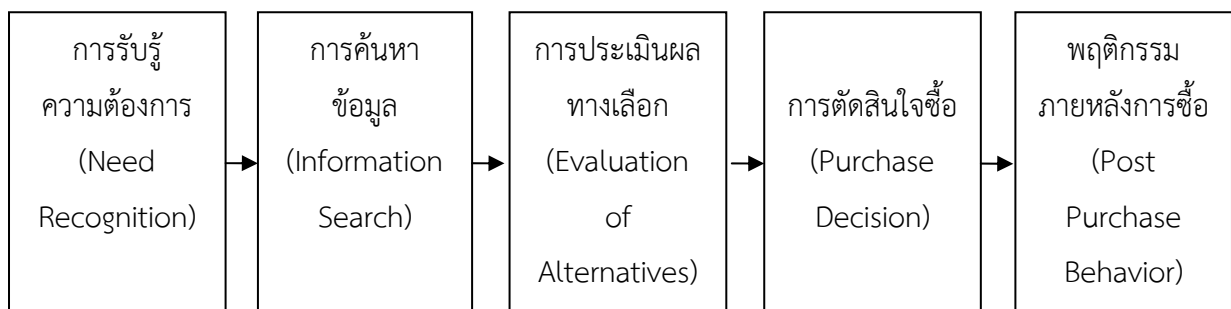
6.2.1) ข้อมูลข่าวสาร (Information) การตัดสินใจซื้อจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับตัวผลิตภัณฑ์ ราคา ลักษณะ ผลประโยชน์ และสถานที่ที่จะซื้อ เป็นต้น หากไม่มีข้อมูลกระบวนการตัดสินใจซื้อจะเกิดขึ้นไม่ได้ ข้อมูลข่าวสารเกิดจาก 2 แหล่งสำคัญ คือ จากการโฆษณาการค้าโดยผ่านสื่อต่างๆ (Commercial Sources) และแหล่งข่าวสารจากสังคม (Social Sources) เช่น ครอบครัว เพื่อนฝูงและผู้คุ้นเคย ซึ่งได้รับจากการพูดคุยกัน เป็นต้น

6.2.2) สังคมและกลุ่มสังคม (Social and Group Forces) อันประกอบด้วยวัฒนธรรม วัฒนธรรมย่อย (Subculture) ชั้นของสังคม กลุ่มอ้างอิง ครอบครัว และสมาชิกในครอบครัว สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มีอิทธิพลโดยตรงต่อการตัดสินใจซื้อ และการก่อให้เกิดลักษณะทางจิตวิทยาของผู้ซื้ออีกด้วย

6.2.3) จิตวิทยา (Psychological Forces) พลังผลักดันทางด้านจิตวิทยา ได้แก่ แรงจูงใจ การรับรู้ การเรียนรู้ บุคลิก และทัศนคติ สิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดความต้องการเลือกซื้อและตัดสินใจซื้อ รวมตลอดจนนิสัยในการซื้อ และการภักดีในตราสินค้า เป็นต้น

6.2.4) สถานการณ์ (Situational Factors) ปัจจัยทางด้านสถานการณ์มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ ได้แก่ เวลาและโอกาส สถานที่ จุดมุ่งหมาย รวมทั้งเงื่อนไขในการซื้อ สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยอิทธิพลต่อการซื้อผลักดันให้ผู้ซื้อตัดสินใจแตกต่างกันไป

จากการศึกษาพฤติกรรมกรรมการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค จะทำให้ทราบถึงลักษณะความต้องการของผู้บริโภคทางด้านต่างๆ และเพื่อที่จะจัดสิ่งกระตุ้นทางการตลาดให้เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อสินค้าและบริการนั้นๆ ซึ่งขั้นตอนในการตัดสินใจซื้อ แบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.7.1



รูปที่ 2.7.1: แสดงโมเดล 5 ขั้นตอนในกระบวนการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค

การตั้งคำถามตามกรอบคำถามดังกล่าว จะทำให้สามารถสร้างกลยุทธ์ทางการตลาดและสามารถค้นหาแนวทางในการกระตุ้นการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคได้อย่างถูกต้อง

กระบวนการตัดสินใจซื้อข้างต้น มีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การรับรู้ถึงความต้องการ (Need Recognition) หรือการรับรู้ปัญหา (Problem Recognition) การที่บุคคลรับรู้ความต้องการของตนซึ่งอาจเกิดเองหรือเกิดจาก สิ่งกระตุ้นความต้องการภายในบุคคล เช่น ความหิว ความกระหาย ความเจ็บปวด ฯลฯ ความต้องการจะรวมถึงความต้องการของ



ร่างกาย และความต้องการที่เป็นความปรารถนา ซึ่งเป็นความต้องการด้านจิตวิทยา สิ่งเหล่านี้เกิดขึ้นเมื่อถึงระดับหนึ่งจะกลายเป็นสิ่งกระตุ้น บุคคลจะเรียนรู้ถึงวิธีที่จะจัดการกับสิ่งกระตุ้นจากประสบการณ์ในอดีต ทำให้เขารู้ว่าจะสนองสิ่งกระตุ้นอย่างไร งานสำคัญของนักการตลาดในขั้นกระตุ้นความต้องการ คือ นักการตลาดต้องเข้าใจสิ่งกระตุ้นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่มีอิทธิพลต่อผู้บริโภค และแนวความคิดการกระตุ้นความต้องการ จะช่วยให้นักการตลาดตระลึกว่าระดับ ความต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นักการตลาดต้องสามารถจัดเหตุการณ์ต่างๆ ด้านจังหวะเวลาเพื่อกระตุ้นความต้องการ

2) การค้นหาข้อมูล (Information Search) ถ้าความต้องการถูกกระตุ้นมากพอ และสิ่งที่สามารถสนองความต้องการอยู่ใกล้กับผู้บริโภค ผู้บริโภคจะดำเนินการเพื่อให้ เกิดความพอใจทันที แต่ในบางครั้งความต้องการที่เกิดขึ้นไม่สามารถสนองความต้องการได้ทันที ความต้องการจะถูกจดจำไว้ เพื่อหาการสนองความต้องการในภายหลัง เมื่อความต้องการถูกกระตุ้นได้สะสมไว้มาก จะทำให้เกิดการปฏิบัติในภาวะอย่างหนึ่ง คือ ความตั้งใจให้ได้รับการสนอง ความต้องการ เขาจะพยายามค้นหาข้อมูลเพื่อหาการสนองความต้องการที่ถูกกระตุ้น ปริมาณข้อมูลที่ค้นหาขึ้นอยู่กับว่าบุคคลเผชิญกับการแก้ปัญหามากหรือน้อย ข้อมูลที่ผู้บริโภคต้องการเป็นข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ความสนใจของนักการตลาดก็คือ ความสนใจเกี่ยวกับแหล่งข้อมูล ซึ่งผู้บริโภคแสวงหาและอิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเลือกแหล่งข้อมูลของผู้บริโภค ซึ่งประกอบไปด้วย แหล่งบุคคลได้แก่ ครอบครัว เพื่อน คนรู้จัก แหล่งการค้า ได้แก่ สื่อการโฆษณา พนักงานขาย ตัวแทนการค้า แหล่งชุมชน ได้แก่ สื่อมวลชน องค์การคุ้มครองผู้บริโภค แหล่งประสบการณ์และแหล่งทดลอง ได้แก่ หน่วยที่สำรวจคุณภาพผลิตภัณฑ์ ประสบการณ์ตรงจากผู้บริโภคในการทดลองใช้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งอิทธิพลของแหล่งข้อมูล จะแตกต่างกันตามชนิดของผลิตภัณฑ์ และลักษณะส่วนบุคคลของผู้บริโภค

3) การประเมินผลทางเลือก (Evaluation of Alternatives) เมื่อผู้บริโภคได้ข้อมูลมาแล้วจากขั้นที่สอง ผู้บริโภคจะเกิดความเข้าใจและประเมินผลทางเลือกต่างๆ นักการตลาดจำเป็นต้องรู้ถึงวิธีการต่างๆ ที่ผู้บริโภคใช้ในการประเมินผลทางเลือก แนวความคิดพื้นฐาน ที่ช่วยเหลือในกระบวนการประเมินผลพฤติกรรมผู้บริโภคได้แก่ คุณสมบัติผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคจะพิจารณาผลิตภัณฑ์ว่ามีคุณสมบัติอะไรบ้าง ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์นอกจากทำให้เกิดความสนใจโดยทั่วไปแล้ว ผู้บริโภคจะมีความต้องการแตกต่างกันโดยจะให้น้ำหนักความสำคัญสำหรับคุณสมบัติผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน นักการตลาดจึงแบ่งตลาด สำหรับผลิตภัณฑ์ออกเป็นส่วนๆ ตามคุณสมบัติที่สร้างความพอใจขั้นต้นให้แก่ผู้ซื้อได้แตกต่างกัน

4) การตัดสินใจซื้อ (Purchase Decision) จากการประเมินผลพฤติกรรมในขั้นที่ 2 จะช่วยให้ผู้บริโภคกำหนดความพอใจระหว่างผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เป็นทางเลือกโดยทั่วไป ผู้บริโภคจะตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ที่เขาชอบมากที่สุด และปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่าง การประเมินผลพฤติกรรมและการตัดสินใจซื้อ ได้แก่ ทศนคติของบุคคลอื่น จะมีผลทั้งด้านบวกและด้านลบต่อ การตัดสินใจซื้อ ปัจจัยสถานการณ์ที่คาดคะเนไว้ก่อนการตัดสินใจซื้อ และปัจจัยสถานการณ์ที่ไม่ได้คาดคะเน ซึ่งการตัดสินใจซื้อของแต่ละบุคคลจะต้องมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้น นักการตลาดต้องใช้ความพยายามเพื่อทำความเข้าใจต่อพฤติกรรมการซื้อ



เพื่อลดภาวะความเสี่ยง โดยทั่วไปผู้บริโภคจะพยายามรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากผู้ใกล้ชิดและแหล่งข้อมูลต่าง ๆ นักการตลาดจึงต้องพยายามจัดหาข้อมูลและเหตุผลสนับสนุน เพื่อลดความเสี่ยงให้ผู้บริโภค

5) พฤติกรรมภายหลังการซื้อ (Post Purchase Behavior) หลังจากที่ได้ซื้อและทดลองใช้ผลิตภัณฑ์ไปแล้ว ผู้บริโภคจะมีประสบการณ์เกี่ยวกับความพอใจหรือไม่พอใจ ในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ซึ่งนักการตลาดจะต้องพยายามทราบถึงระดับความพอใจของผู้บริโภคภายหลังจากการซื้อ ถ้าผลิตภัณฑ์สามารถปฏิบัติงานได้เป็นตามที่คาดหวัง ผู้บริโภคจะเกิดความพอใจภายหลังการซื้อ จากการศึกษาขั้นตอนในการตัดสินใจซื้อผู้ขายจะต้องโฆษณาผลิตภัณฑ์ ให้สอดคล้องกับคุณภาพที่จะทำให้เกิดความพอใจแก่ผู้ซื้อ เนื่องจากผู้บริโภคจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์และจะตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ในระดับตลาดที่ผู้บริโภคเกิดความพอใจในผลิตภัณฑ์นั้น

จากการศึกษาพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค จะทำให้ทราบถึงลักษณะความต้องการของผู้บริโภค และการกระตุ้นทางการตลาดเพื่อให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อสินค้าและบริการนั้น ๆ การกำหนดขอบเขตคำถามจึงสามารถกำหนดตามกระบวนการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ได้แก่

- 1) การรับรู้ถึงความต้องการ โดยตั้งคำถามเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของบริโภค
- 2) การค้นหาข้อมูล ได้ตั้งคำถามเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ ตัดสินใจบริโภค ซึ่งจะสื่อถึงแหล่งข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์
- 3) การประเมินผลทางเลือก โดยตั้งคำถามเกี่ยวกับสินค้าหรือบริการที่เคยบริโภคและการได้ทดลองสินค้า
- 4) การตัดสินใจซื้อ โดยตั้งคำถามเกี่ยวกับความพึงพอใจในคุณภาพ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ราคาที่ยินดีจ่าย
- 5) พฤติกรรมภายหลังการซื้อ โดยถามเกี่ยวกับความถี่ในการซื้อ ผลิตภัณฑ์ที่สนใจในอนาคต เพื่อให้ทราบพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อและการกระตุ้นทางการตลาดที่เหมาะสมต่อไป

การวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภค (Analyzing consumer behavior) เป็นการค้นหาหรือวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมการซื้อ การบริโภคสินค้าและบริการของผู้บริโภค ทั้งที่เป็นบุคคล กลุ่มบุคคลหรือองค์กร เพื่อให้ทราบถึงลักษณะความต้องการและพฤติกรรมการเลือกซื้อ การบริโภคสินค้าและบริการ โดยการตั้งคำถามเพื่อค้นหาลักษณะพฤติกรรมผู้บริโภคตามกรอบคำถาม 7 ประการ ที่เรียกว่า 6Ws 1 H ดังนี้

- 1) ใครอยู่ในตลาดเป้าหมาย (Who is in the target market?) เป็นคำถามเพื่อทราบลักษณะกลุ่มเป้าหมายทางด้านประชากรศาสตร์ ภูมิศาสตร์ จิตวิทยา และพฤติกรรมศาสตร์
- 2) ผู้บริโภคซื้ออะไร (What does the consumer buy?) เป็นคำถามเพื่อทราบสิ่งที่ตลาดต้องการซื้อ (objects) เช่น คุณสมบัติหรือองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์
- 3) ทำไมผู้บริโภคจึงซื้อ (Why does the consumer buy?) เป็นคำถามเพื่อทราบวัตถุประสงค์ในการซื้อของผู้บริโภค ซึ่งต้องศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการซื้อ เช่น ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้าน ช่องทางการจำหน่าย และปัจจัยด้านการส่งเสริมการจำหน่าย เป็นต้น

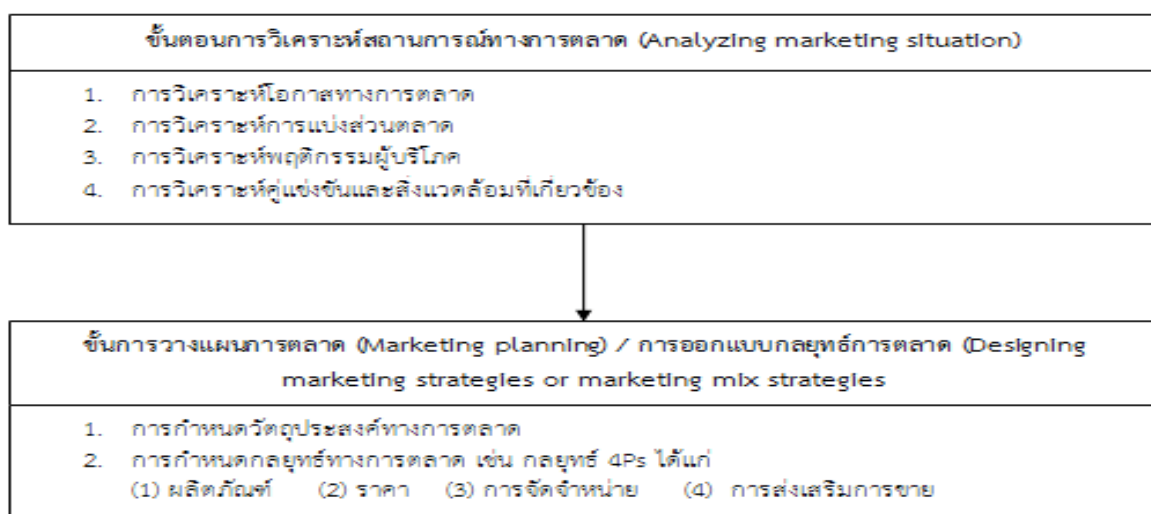
4) ใครมีส่วนร่วมในการตัดสินใจซื้อ (Who participates in the buying?) เป็นคำถามเพื่อทราบบทบาทของบุคคลที่มีบทบาทสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์

5) ผู้บริโภคซื้อเมื่อใด (When does the consumer buy?) เป็นคำถามเพื่อทราบโอกาสในการซื้อผลิตภัณฑ์ เช่น ความถี่ในการซื้อสินค้า ช่วงเวลาในการซื้อ

6) ผู้บริโภคซื้อที่ไหน (Where does the consumer buy?) เป็นคำถามเพื่อทราบช่องทางหรือแหล่ง (outlets) ที่ผู้บริโภคซื้อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผู้ซื้อเกิดความสะดวกและเกิดความพึงพอใจสูงสุดในการซื้อสินค้า

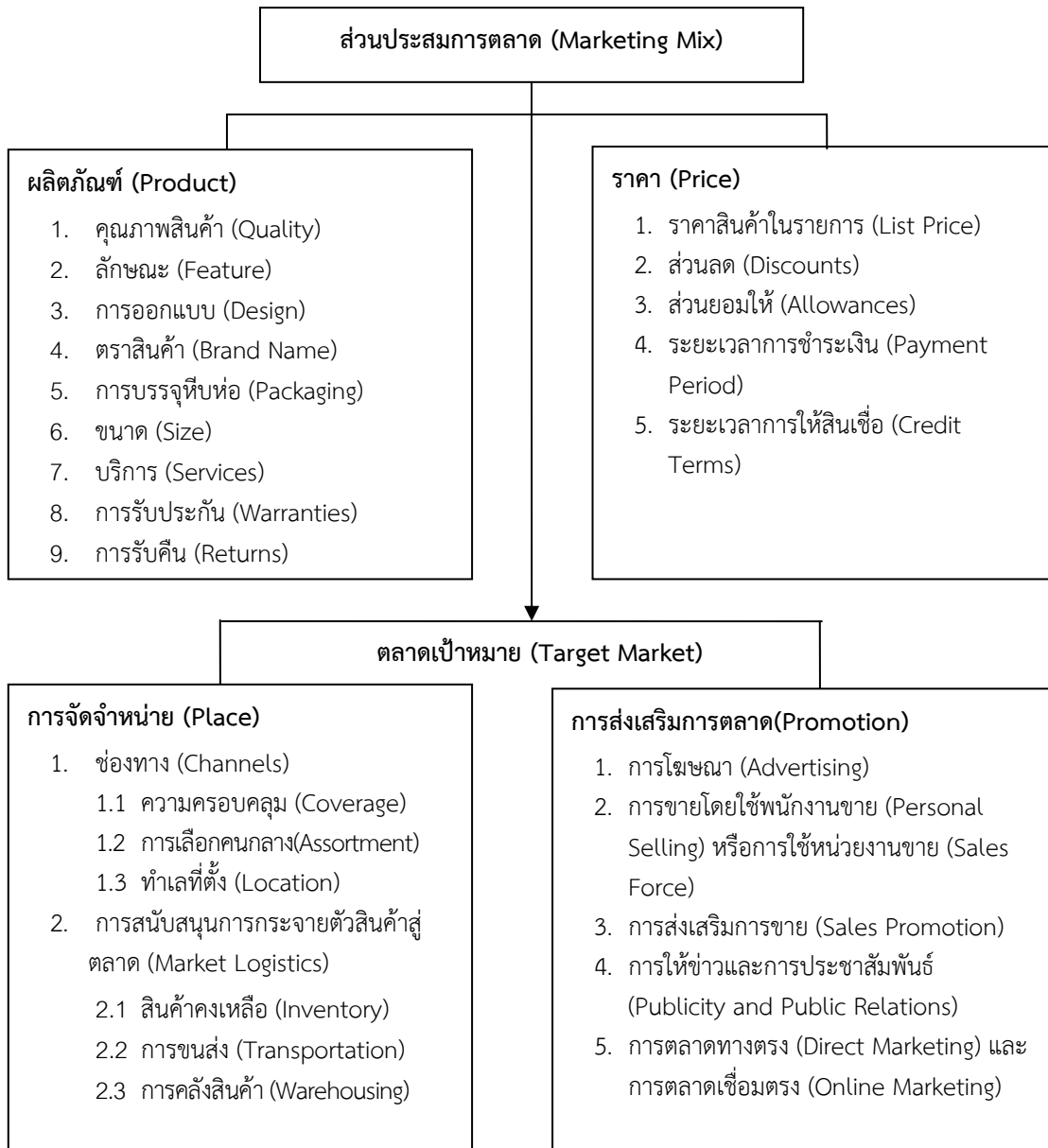
7) ผู้บริโภคซื้ออย่างไร (How does the consumer buy?) เป็นคำถามเพื่อทราบขั้นตอนในการตัดสินใจซื้อสินค้าและบริการ ตามขั้นตอนการตัดสินใจซื้อ 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย การรับรู้ความต้องการ การค้นหาข้อมูล การประเมินผล การตัดสินใจซื้อ และความรู้สึกภายหลังการซื้อ โดยตั้งคำถามเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ในการซื้อ แหล่งข้อมูลผลิตภัณฑ์ การเปรียบเทียบราคาและคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคให้นิยาม การเจาะจงเลือกบริโภคหรือการใช้ซ้ำ

กลยุทธ์การตลาด (marketing strategy or marketing strategic planning) เป็นการกำหนดจุดมุ่งหมายทางการตลาด การเลือกตลาดเป้าหมายและการออกแบบส่วนประสมทางการตลาดเพื่อตอบสนองความพึงพอใจของตลาด และบรรลุจุดมุ่งหมายขององค์กร หรืออาจหมายถึง หลักเกณฑ์ในการบริหารการตลาด กำหนดว่า จะใช้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ทางการตลาดในตลาดเป้าหมาย รวมทั้งการตัดสินใจในค่าใช้จ่ายทางการตลาด ส่วนประสมทางการตลาด และการจัดสรรทรัพยากรทางการตลาด จากความหมายของกลยุทธ์การตลาดมีประเด็นสำคัญ คือ การกำหนดตลาดเป้าหมาย การกำหนดวัตถุประสงค์ทางการตลาด การกำหนดกลยุทธ์การตลาด และการกำหนดโปรแกรมการตลาด จะเห็นว่ากลยุทธ์การตลาดและโปรแกรมการตลาด เป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนการตลาด ซึ่งแสดงประเด็นสำคัญของการกำหนดกลยุทธ์การตลาด ดังรูปที่ 2.7.2



รูปที่ 2.7.2: ประเด็นสำคัญของการกำหนดกลยุทธ์การตลาด

ส่วนประสมการตลาด เป็นแนวความคิดที่สำคัญอย่างหนึ่ง เพราะ การบริหารการตลาดเพื่อสร้างความพอใจให้กับลูกค้า นักการตลาดจะใช้ส่วนประสมการตลาดเป็นเครื่องมือสำคัญ ซึ่งจะต้องพัฒนาให้สอดคล้องกับตลาดเป้าหมายที่ได้เลือกสรรไว้ ดังรูปที่ 2.7.3



รูปที่ 2.7.3: ส่วนประสมการตลาด (Marketing Mix)

จากรูปที่ 2.7.3 ส่วนประสมการตลาด จึงประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ (Product) การจัดจำหน่าย (Place) การกำหนดราคา (Price) และการส่งเสริมการตลาด (Promotion) และสามารถเรียก ส่วนประสมการตลาดได้อีกอย่างว่า 4P's ส่วนประกอบทั้ง 4 ตัวนี้ ทุกตัวมีความเกี่ยวพันกัน ขึ้นอยู่กับผู้บริหารการตลาดแต่ละคนจะวางกลยุทธ์ โดยเน้นน้ำหนักที่ปัจจัยส่วนประสมการตลาดตัวใดมากกว่ากัน สามารถแสดงรายละเอียดของ ส่วนประสมการตลาดให้ชัดเจนได้

รายละเอียดของส่วนประสมการตลาด (Marketing Mix) แต่ละด้านดังต่อไปนี้

1) ผลิตภัณฑ์ (Product) หมายถึง การมีสินค้าที่ตอบสนองความต้องการใช้ของลูกค้ากลุ่มเป้าหมายได้ แนวความคิดด้านผลิตภัณฑ์เป็นคุณสมบัติสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการใช้ของผู้บริโภคได้ การศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์นั้น นักการตลาดมักจะศึกษาผลิตภัณฑ์ในรูปผลิตภัณฑ์เบ็ดเสร็จ (Total Product) ซึ่งหมายถึงตัวสินค้าบวกกับความพอใจและผลประโยชน์อื่นที่ผู้บริโภคได้รับจากการซื้อสินค้านั้น ผู้บริหารการตลาดจะต้องมีการปรับปรุงสินค้าหรือบริการที่ผลิตขึ้นมาให้สอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย โดยเน้นถึงการสร้างความพอใจให้แก่ผู้บริโภค และสนองความต้องการผู้บริโภคเป็นสำคัญ ในการศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จะต้องศึกษาให้ครอบคลุมถึงสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- สินค้าให้เลือก (Product Variety) เป็นการเลือกตัวผลิตภัณฑ์หรือสายผลิตภัณฑ์ การเพิ่มหรือลดชนิดของสินค้าในสายผลิตภัณฑ์
- คุณภาพสินค้า (Quality) บริษัทต้องตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยได้แบ่งทางเลือกเป็น 3 ทาง ได้แก่ กลยุทธ์การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ กลยุทธ์การรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และกลยุทธ์การลดคุณภาพผลิตภัณฑ์
- ลักษณะ (Feature) ส่วนที่เป็นลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ที่จะเสนอให้กับตลาด
- การออกแบบ (Design) จะต้องคำนึงถึงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกจำหน่าย จะสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มใด วงจรผลิตภัณฑ์ของสินค้ามีระยะเวลานานเท่าใด ในแต่ละช่วงเวลาของวงจรผลิตภัณฑ์นั้น นักบริหารการตลาดควรจะใช้กลยุทธ์ทางการตลาดอย่างไร และเมื่อต้องการที่จะสร้างความเจริญก้าวหน้าให้แก่กิจการ ดังนั้นธุรกิจจะต้อง มีการวางแผนพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดโดยมีการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ออกสู่ตลาด
- ตราสินค้า (Brand Name) ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาจำหน่ายในท้องตลาดจะต้องมีการกำหนดตราสินค้า และเครื่องหมายการค้า เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้น เป็นของผู้ผลิตรายใดรายหนึ่งอย่างชัดเจน ตราสินค้าเป็นสิ่งที่มิใช่ประโยชน์แก่ผู้บริโภค ทำให้ผู้บริโภคทราบว่าสินค้าชนิดนั้นเป็นของผู้ผลิตรายใด ผู้บริโภคจะสามารถใช้ประสบการณ์ในอดีตมาช่วยในการตัดสินใจซื้อได้ง่ายขึ้นโดยมีต้องสอบถามข้อมูลอยู่ตลอดเวลา และเกิดความมั่นใจ ซื้อสินค้านั้น
- การบรรจุหีบห่อ (Packaging) เป็นกิจกรรมเกี่ยวกับการออกแบบและผลิตสิ่งบรรจุหรือสิ่งห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ หีบห่อเป็นเครื่องมือทางการตลาดชนิดหนึ่ง หีบห่อที่มีการออกแบบอย่างดี อาจให้คุณค่าในความสะดวกสำหรับผู้บริโภคและคุณค่าทางการส่งเสริมการตลาดแก่ผู้ผลิตหีบห่อ ดังนั้นรูปร่างของภาชนะบรรจุ

หีบห่อในปัจจุบันจึงมีสีสันสะดุดตาและวัสดุที่ใช้ทำหีบห่อแปลกใหม่กว่าเดิม บ่อยครั้งที่ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อสินค้าโดยคำนึงถึงตัวบรรจุภัณฑ์มากกว่าตัวสินค้า

- ขนาด (Size) เป็นความลึกของผลิตภัณฑ์ซึ่งหมายถึง จำนวนรายการผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์แต่ละสาย จะประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ขนาดต่าง ๆ กัน ส่วนประสมของผลิตภัณฑ์สามารถพิจารณาให้เหมาะสมทั้งด้านความกว้าง และความลึก
- บริการ (Services) หรือผลประโยชน์เพิ่มเติมควบคู่กับผลิตภัณฑ์จะเป็นประโยชน์ต่อนักการตลาดเป็นอย่างมาก เพราะเป็นการมองระบบการบริโภคทั้งหมดของผู้ซื้อ (Total Consumption System) ซึ่งจะทำให้บริษัทอยู่ในฐานะที่ได้เปรียบคู่แข่งในการแสวงหาโอกาสในการขาย
- การรับประกัน (Warranties) เป็นบริการหรือประโยชน์ที่ผู้วางแผนผลิตภัณฑ์เสนอให้เพิ่มเติมควบคู่กับรายการผลิตภัณฑ์ เช่น การติดตั้ง การบำรุงรักษา การส่งมอบ หรือ การรับประกันสินค้า เป็นต้น
- การรับคืน (Returns) การที่ผู้บริโภคมีสิทธิ์คืนสินค้าให้กับผู้ขาย จากการซื้อผลิตภัณฑ์ภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ หรือสินค้านี้มีการชำรุด

2) ราคา (Price) หมายถึง การมีราคาที่ผู้บริโภคยอมรับได้และยินดีจ่ายเพราะมองเห็นว่าคุ้มค่า (เสรี วงษ์มณฑา, 2546) ดังนั้น การกำหนดราคา ผู้บริหารธุรกิจอาจใช้แนวคิดทางเศรษฐศาสตร์ จิตวิทยาและพฤติกรรมของผู้บริโภค โดยพิจารณาถึงปัจจัยภายในและภายนอกควบคู่กัน เช่น ต้นทุน กลุ่มเป้าหมาย กลยุทธ์ด้านราคาที่ธุรกิจใช้อยู่ในขณะนั้น ราคาสินค้าอื่นที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น การกำหนดราคาที่เหมาะสมให้กับผลิตภัณฑ์ ธุรกิจจะต้องมีเป้าหมายว่าจะตั้งราคาเพื่อต้องการกำไร หรือเพื่อขยายส่วนถือครองตลาด (Market Share) หรือเพื่อเป้าหมายอย่างอื่น อีกทั้งต้องมีการใช้ กลยุทธ์ในการตั้งราคา ที่จะทำให้เกิดการยอมรับจากตลาดเป้าหมายและสามารถแข่งขันได้ ในการเชิงการตลาด กลยุทธ์ราคาเป็นเครื่องมือสำคัญที่คู่แข่งชั้นนำมาใช้เพื่อแสดงภาพพจน์ที่ดี อาจใช้ผลทางจิตวิทยามาช่วยเสริมการตั้งราคา การตั้งราคาสินค้าจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

- ราคาสินค้าในรายการ (List Price) เป็นราคาที่ผู้ผลิตกำหนดขึ้น จะชักจูงให้คู่แข่งเข้ามามากหรือน้อยก็ได้ ขึ้นอยู่กับการตั้งราคาว่าจะวางผลิตภัณฑ์ไว้ตรงตำแหน่งใด
- ส่วนลด (Discounts) ส่วนที่ลดให้จากราคาที่กำหนดไว้ในรายการเพื่อให้ผู้ซื้อกระทำหน้าที่ทางการตลาดบางอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ขาย เช่น ส่วนลดปริมาณ ส่วนลดการค้า ส่วนลดเงินสด และส่วนลดตามฤดูกาล เป็นต้น

- ส่วนยอมให้ (Allowances) คือ ส่วนลดที่ผู้ขายจะลดให้กับผู้ซื้อ เพื่อให้ผู้ซื้อทำการส่งเสริมการตลาดให้กับผู้ขาย เช่น ส่วนยอมให้จากการนำสินค้าเก่ามาแลก ส่วนยอมให้สำหรับการส่งเสริมการตลาด ส่วนยอมให้สำหรับการเป็นนายหน้า
- ระยะเวลาการชำระเงิน (Payment Period) เป็นส่วนลดจากราคาขาย ที่ผู้ซื้อได้รับจากการชำระเงินค่าสินค้าภายในระยะเวลาที่กำหนด วัตถุประสงค์ของส่วนลดเงินสด เพื่อกระตุ้นให้ผู้ซื้อมีการชำระค่าสินค้าเร็วขึ้น เช่น ถ้าชำระภายใน 10 วันนับจากวันที่ปรากฏในใบกำกับภาษี จะได้ส่วนลด 2% และต้องไม่เกิน 30 วันนับจากวันที่ปรากฏในใบกำกับภาษี เป็นต้น
- การให้สินเชื่อ (Credit Terms) การให้สินเชื่อกับลูกค้าว่าจะต้องชำระเงินภายในวันที่กำหนด เช่น ให้เครดิต 40 วัน ลูกค้าจะต้องชำระเงินค่าสินค้าหลังจาก 40 วันที่ได้ปรากฏ ในใบกำกับภาษี

ดังนั้น ผู้ประกอบการจึงควรพิจารณาเรื่องของกลยุทธ์ในการตั้งราคาเป็นอย่างมาก เพราะความสำเร็จในการวางนโยบายด้านราคา คือ “ราคาขายที่ผู้ซื้อยินดีจ่าย”

3) การจัดจำหน่าย (Place) หมายถึง การจัดจำหน่ายหรือการกระจายสินค้าให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อความต้องการใช้และให้ความสะดวกแก่ลูกค้าโดยกลยุทธ์ด้านการจัดจำหน่ายจะต้องพิจารณาถึงทำเลที่ตั้ง ความสะดวกของการเดินทางใกล้แหล่งค้าขาย ห้างสรรพสินค้า และในเขตชุมชน ฯลฯ และจะต้องคำนึงถึงการอำนวยความสะดวกให้แก่ลูกค้าโดยเน้นการบริการจัดส่งสินค้าให้แก่ลูกค้า นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการบริการที่ประทับใจ เป็นการบริการที่มีมารยาทแก่ลูกค้าทุกคนที่มาติดต่อ รวมถึงการบริหารสินค้าซึ่งประกอบด้วย การจัดสรรสต็อกสินค้าเพื่อขายให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ตลอดจนมีการนำเสนอหรือการจัดวางสินค้าให้เหมาะสม สวยงาม หาได้ง่าย เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตผลิตขึ้นมาได้นั้น ถึงแม้ว่าจะมีคุณภาพดีเพียงใดก็ตาม ถ้าผู้บริโภคไม่ทราบแหล่งซื้อและไม่สามารถจะจัดหาได้เมื่อเกิดความต้องการ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาก็ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ ดังนั้น นักการตลาดจึงจำเป็นต้องพิจารณาว่าควรเสนอขายผลิตภัณฑ์ที่ไหน เมื่อไร และให้ใครเป็นผู้จำหน่าย จากที่กล่าวจะเห็นได้ว่าการจัดจำหน่ายเป็นเรื่องที่ซับซ้อนแต่ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องศึกษา

แลมบ์ และแมคคาเนียล ได้กล่าวว่า ส่วนประสมการตลาด หมายถึง การนำกลยุทธ์ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ การจัดจำหน่าย การส่งเสริมการตลาด และการกำหนดราคา มาประสมกันเป็นหนึ่งเดียว จัดทำขึ้นโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนกับตลาดเป้าหมายและทำให้เกิดความพึงพอใจซึ่งกันและกันทั้งสองฝ่าย

สุดาตวง เรืองจิระ (2546) กล่าวถึงส่วนประสมการตลาด (Marketing Mix) ว่าหมายถึง องค์ประกอบที่สำคัญใน การดำเนินงานการตลาดเป็นปัจจัยที่กิจการสามารถควบคุมได้ กิจการธุรกิจจะต้องสร้างส่วนประสมการตลาดที่เหมาะสมในการวางแผนกลยุทธ์ทางการตลาด

ต้นทุนการผลิตคือต้นทุนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าหรือให้บริการในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม ต้นทุนการผลิตไม่ได้จำกัดเฉพาะการผลิตเท่านั้นหากแต่รวมถึงการบริการด้วย เช่น อุตสาหกรรมการโรงแรมและอุตสาหกรรมบันเทิง ต้นทุนในการผลิตมีความสำคัญอย่างมากต่อองค์กรเนื่องจากเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักของกำไรขององค์กร ต้นทุนจะนำไปคิดคำนวณเพื่อประเมินราคาสินค้าในภายหลัง ดังนั้นเพื่อให้การบริหารวางแผนในองค์กรมีประสิทธิภาพองค์กรจะต้องศึกษาต้นทุนอย่างผลิตรายรอบคอบและถูกต้องเพื่อป้องกันมิให้ราคาสินค้าหรือบริการสูงหรือต่ำเกินไป ต้นทุนสามารถแบ่งออกได้หลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของการจำแนกดังนี้

- 1) การจำแนกต้นทุนตามความสัมพันธ์ของหน่วยต้นทุน
- 2) การจำแนกต้นทุนตามความสัมพันธ์กับระดับความสัมพันธ์ของกิจกรรม
- 3) การจำแนกต้นทุนตามลักษณะของการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจ
- 4) การจำแนกต้นทุนตามความสามารถในการแปรค่าเป็นตัวเงิน

การจำแนกต้นทุนตามความสัมพันธ์ของหน่วยต้นทุนสามารถแบ่งได้เป็น ต้นทุนโดยตรง (Direct costs) และต้นทุนโดยอ้อม (Indirect costs) โดยต้นทุนโดยตรง (Direct costs) คือต้นทุนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับตัวผลิตเพื่อให้เกิดเป็นสินค้าหรือบริการที่เสนอให้ลูกค้า องค์กรสามารถสืบค้นต้นทุนโดยตรงเพื่อนำมาคำนวณหาต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับสินค้าได้อย่างแม่นยำ ตัวอย่างของต้นทุนโดยตรงได้แก่ค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิต ส่วนต้นทุนโดยอ้อม (Indirect costs) คือต้นทุนที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงตัวผลิตเพื่อให้เกิดเป็นสินค้าหรือบริการที่เสนอให้ลูกค้า เนื่องจากต้นทุนโดยอ้อมไม่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์โดยตรงองค์กรจะต้องใช้วิธีประมาณการเพื่อคำนวณหาต้นทุนโดยอ้อม ตัวอย่างของต้นทุนโดยอ้อมได้แก่เงินเดือนของพนักงานที่ทำงานในองค์กร

การจำแนกต้นทุนตามความสัมพันธ์กับระดับความสัมพันธ์ของกิจกรรมสามารถแบ่งได้เป็น ต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร โดยต้นทุนคงที่ (Fixed costs) คือต้นทุนที่เกิดขึ้นอย่างคงที่แน่นอนที่จำนวนการผลิตที่แตกต่างกัน ดังนั้นต้นทุนคงที่จะมีค่าคงที่ไม่ว่าองค์กรจะผลิตสินค้าหนึ่งชิ้น หนึ่งพันชิ้น หรือไม่ผลิตเลยก็ตาม ตัวอย่างของต้นทุนคงที่ได้แก่ค่าเช่าสถานที่ในการผลิตและเงินเดือนพนักงานแผนกบัญชี ต้นทุนผันแปร (Variable costs) คือต้นทุนที่เกิดขึ้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนการผลิต ต้นทุนผันแปรของการผลิตสินค้าในจำนวนน้อยจะมีค่าน้อยกว่าการผลิตสินค้าที่มีจำนวนมาก ตัวอย่างของต้นทุนผันแปรได้แก่ค่าวัตถุดิบและเงินเดือนพนักงานแผนกผลิต บางกรณีจะเกิดต้นทุนผสม (Mixed costs) ด้วย ซึ่งต้นทุนผสมคือต้นทุนที่มีคุณลักษณะของต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันผสมผสานเข้าด้วยกัน ตัวอย่างของต้นทุนผสมได้แก่เงินเดือนพนักงานที่มีการทำงานล่วงเวลา ผลรวมของต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร (บางกรณีจะรวมต้นทุนผสมซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้) จะมีค่าเท่ากับต้นทุนรวม (Total costs) ซึ่งการจำแนกต้นทุนประเภทนี้มันจะใช้ในการประเมินต้นทุนของการผลิตเพื่อที่จะนำมาคำนวณราคาสินค้าและจุดคุ้มทุน โดยวิธีการคำนวณหาต้นทุนการผลิตทางการเกษตรจะคำนวณจากต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรดังสมการที่ 7

$$TC(x) = FC + VC(x) = FC + Cx \dots\dots\dots (7)$$

โดยที่ TC(x)	=	ต้นทุนรวมในการผลิตสินค้าจำนวน x ชิ้น
FC	=	ต้นทุนคงที่ซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนของสินค้าที่ทำการผลิต
VC	=	ต้นทุนผันแปรในการผลิตสินค้าจำนวน x ชิ้น
C	=	ต้นทุนในการผลิตสินค้าต่อชิ้น
x	=	จำนวนสินค้าที่ผลิต

ผู้ผลิตสามารถหาต้นทุนต่อหน่วยการผลิตได้โดยเฉลี่ยต้นทุนรวมต่อปริมาณการผลิตซึ่งจะเท่ากับ จุดคุ้มทุน (Breakeven) ของสินค้า ราคาของสินค้าที่ตั้งไว้เกิน จากต้นทุนต่อชิ้นจะถือเป็นกำไรจากการผลิต อย่างไรก็ตามการจำแนกต้นทุนประเภทนี้เหมาะสมสำหรับการประเมินต้นทุนในระยะสั้นเท่านั้น ในระยะยาว การลงทุนที่นับเป็นต้นทุนคงที่ในระยะสั้นจะถูกพิจารณาเป็นต้นทุนแปรผันได้เนื่องจากจะนำไปใช้งานตามต้องการหากไม่เกิดการผลิตก็就不用เกิดต้นทุนต้นทุน

การจำแนกต้นทุนตามลักษณะของการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจแบ่งได้เป็น ต้นทุนค่าเสียโอกาสและต้นทุนจม ต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity costs) คือต้นทุนที่เกิดจากการสูญเสียโอกาสในการเลือกที่จะทำสิ่งหนึ่งแทนที่อย่างอื่น ต้นทุนค่าเสียโอกาสมักเกิดขึ้นกับทรัพยากรที่มีจำกัดเช่นเงิน เวลา หรือวัสดุอุปกรณ์ราคาแพง ในกระบวนการผลิตผู้ผลิตมักจะผลิตในจำนวนมาก ดังนั้นจะมีสินค้าคงคลัง (Inventory) และสินค้าที่อยู่ในระหว่างการผลิต (Work-in-process) จำนวนมากตามไปด้วยซึ่งส่งผลให้ต้นทุนค่าเสียโอกาสสูงเนื่องจากผู้ผลิตจะต้องลงทุนในการซื้อวัตถุดิบขึ้นมาก่อน อีกทั้งยังต้องคิดภาษีและค่าเสื่อมของผลิตภัณฑ์ด้วย ส่วนต้นทุนจม (Sunk costs) คือต้นทุนที่เมื่อลงทุนไปแล้วไม่สามารถเรียกคืนหรือคงมูลค่าในอนาคตหลังจากการลงทุนไปแล้วต้นทุนประเภทนี้มักจะใช้ในการลงทุนในสิ่งที่จำเป็นหลีกเลี่ยงไม่ได้ ต้นทุนจมจะเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นในอดีตซึ่งจะไม่มีผลต่อปัจจุบันและอนาคตไม่ว่าการตัดสินใจในการผลิตจะเป็นเช่นไร ตัวอย่างของต้นทุนจมได้แก่ค่าอุปกรณ์ ค่าเช่าสถานที่ที่ได้ทำสัญญาไว้แล้ว

การจำแนกต้นทุนตามความสามารถในการแปรค่าเป็นตัวเงินแบ่งได้เป็นต้นทุนชัดเจนและต้นทุนแฝง ต้นทุนชัดเจน (Explicit costs) คือต้นทุนที่เกิดจากค่าใช้จ่ายในการผลิตซึ่งสามารถบ่งบอกจำนวนเงินได้อย่างง่ายดาย ตัวอย่างของต้นทุนชัดเจนได้แก่เงินเดือน ค่าเช่าสถานที่ ค่าอุปกรณ์ ค่าเครื่องมือ เป็นต้น เนื่องจากต้นทุนเหล่านี้ สามารถตีมูลค่าเป็นจำนวนเงินได้ องค์กรสามารถชำระหนี้ที่เกิดจากต้นทุนชัดเจนเป็นตัวเลขแน่นอนและบันทึกลงบัญชีรายจ่ายได้ ส่วนต้นทุนแฝง (Implicit costs) คือต้นทุนที่ไม่สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการผลิตเป็นจำนวนเงินได้อย่างชัดเจน ต้นทุนแฝงไม่สามารถประเมินเป็นจำนวนเงินได้อย่างง่ายดาย ตัวอย่างของต้นทุนแฝงได้แก่ความพึงพอใจของลูกค้าและค่าเสียโอกาส โดยมากแล้วองค์กรไม่สามารถชำระหนี้ที่เกิดจากต้นทุนแฝงได้ ดังนั้นต้นทุนแฝงจึงไม่ถูกบันทึกลงบัญชีรายจ่ายได้ ดังนั้นต้นทุนทาง



บัญชีจะหมายถึงต้นทุนขัดแย้งเท่านั้นและต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์จะครอบคลุมทั้งต้นทุนขัดแย้งและต้นทุนแฝง ในการประเมินการหาต้นทุน White, Case, & Pratt (2010) ได้เสนอแนวทางดังต่อไปนี้

- 1) วางแผนการประมาณต้นทุนในขั้นตอนนี้อักรจะต้องวางแผนและกำหนดแนวทางของการประมาณต้นทุนโดยเบื้องต้น ตัวอย่างแผนการเช่นการพิจารณาว่าควรจะนำต้นทุนใดมาใช้ในการคำนวณบุคลากรประเมิน ระยะเวลาเก็บข้อมูล และวิธีการประเมิน
- 2) ศึกษาข้อมูล รวบรวมข้อมูล และวิจัยข้อมูลหลังจากวางแผนการประมาณต้นทุนแล้วองค์กรจะเริ่มทำการศึกษา และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในการผลิต ข้อมูลที่ได้มาจะถูกนำไปวิจัย (analyze) เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป
- 3) พัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนข้อมูลที่ผ่านการวิจัยจะถูกนำมาพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุน แบบจำลองนี้อาจมีลักษณะแตกต่างกันไปตามแต่อุตสาหกรรมและบริษัท
- 4) คำนวณหาต้นทุนโดยประมาณ องค์กรสามารถคำนวณหาต้นทุนโดยประมาณโดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาได้ลงไปแบบจำลอง ต้นทุนที่ได้จะมีค่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงมากขึ้นอยู่กับความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลและแบบจำลอง
- 5) จัดทำเอกสารและเสนอต้นทุนที่ประมาณการได้หลังจากประมาณต้นทุนโดยคร่าว ๆ ผู้ปฏิบัติการสามารถจัดทำเอกสารซึ่งประกอบด้วยต้นทุนในแต่ละส่วนและแบบจำลอง และนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้ต่อผู้บังคับบัญชา

การคำนวณต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมเกษตร ต้นทุนในอุตสาหกรรมแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามแต่ลักษณะเฉพาะของแต่ละอุตสาหกรรม โดยมากอุตสาหกรรมการเกษตรมักจะเกี่ยวข้องกับผลิตผลทางการเกษตรหรือการแปรรูปทางการเกษตรซึ่งมีอายุการใช้งานสั้น ดังนั้นการคำนวณต้นทุนก็จะแตกต่างกันด้วย โดยหลักๆ ต้นทุนทางการเกษตรจะครอบคลุมทุกอย่างที่ใช้ตั้งแต่การสรรหาวัตถุดิบ การเตรียมตัวผลิตจนถึงการขนส่งให้ลูกค้า ตัวอย่างการลงทุนได้แก่ ค่าเช่าสถานที่ ค่าเมล็ดพันธุ์ ค่าปุ๋ย ค่าสารเคมี ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักร ค่าน้ำมันหรือพลังงานที่ใช้ ค่าสาธารณูปโภค ค่าบำรุงรักษา ค่าเก็บรักษาผลิตผล ค่าบรรจุผลิตผล เป็นต้น การลงทุนในสิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างโดยทั่วไปของอุตสาหกรรมเกษตร อย่างไรก็ตามต้นทุนก็ต้องเพิ่มขึ้นด้วย หากบริษัทใช้กระบวนการเฉพาะที่แตกต่างไปขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการผลิต เช่น การกลั่น การระเหย การอบแห้ง และการสกัด เป็นต้น

ในปัจจุบันมีบทความทางวิชาการเกี่ยวข้องกับการคำนวณหาต้นทุนในการผลิตอุตสาหกรรมเกษตรอย่างมาก Dickey, L.C., McAloon, A., Craig, J.C. และ Parris C. N. (1999) ประมาณต้นทุนในการสกัดโปรตีนในอาหารซีเรียลด้วยเอทานอลด้วยเทคนิคการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ต้นทุนแบ่งออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ 1) ต้นทุนทางด้านอุปกรณ์และโรงผลิต 2) ต้นทุนที่มาจากค่าสาธารณูปโภคเช่นค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และค่าผลิตไอน้ำ 3) ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับแรงงาน วัตถุดิบ และค่าใช้จ่ายอื่นๆในการดำเนินธุรกิจ และ 4) ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิต Hass, McAloon, Yee, & Foglia (2005) ใช้แบบจำลองในคอมพิวเตอร์เพื่อประมาณ



ต้นทุนที่ใช้ในขั้นลงทุนและดำเนินการในโรงผลิตไบโอดีเซลขนาดกลาง ผลที่ได้สรุปได้ว่าในส่วนของการลงทุนในการก่อสร้างและเตรียมตัวก่อนการผลิต โรงงานนี้ลงทุนมากที่สุดไปกับเครื่องจักรซึ่งนับเป็น 1 ใน 3 ของต้นทุนทั้งหมด ในส่วนการผลิตค่าน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลเป็นต้นทุนที่สูงที่สุด คิดเป็น 88% ของต้นทุนในด้านการผลิต

โดยส่วนใหญ่แล้วต้นทุนที่คำนวณมาจะครอบคลุมเพียงแค่การผลิตและจัดจำหน่ายเท่านั้น อย่างไรก็ตามการผลิตอาจเกิดผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งนับเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นกับองค์กรด้วย บางงานวิจัยได้ศึกษาต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับผลเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมเกษตร Pretty, Brett, Gee, Hine, Mason, Morison, Raven, Rayment, and Van Der Bijl, G. (2000) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพในการเกษตรในสหราชอาณาจักรโดยแบ่งออกเป็น 7 ชนิดได้แก่ ผลเสียต่อน้ำ อากาศ ดิน สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ยาปราบศัตรูพืช มนุษย์ทั้งทางด้านเนตรทและโรคภัย เนื่องจากผลกระทบเหล่านี้เป็นปัจจัยภายนอกการเก็บรวบรวมข้อมูลก็จะมาจากภายนอกเช่นกัน เนื่องจากต้นทุนในการผลิตมีรายละเอียดมากมายหากนำทุกรายละเอียดมาใช้ในการคำนวณอาจต้องใช้เวลาและงบประมาณมาก อีกทั้งค่าความถูกต้องและแม่นยำจะลดลงตามไปด้วย ในขณะที่เดียวกันหากคำนวณหาต้นทุนอย่างหยาบโดยใช้เพียงไม่กี่รายละเอียดก็จะทำให้ค่าความถูกต้องและแม่นยำน้อยไปเช่นกัน ดังนั้น Ostwald และ McLaren ได้เสนอว่า (จาก White, Case, & Pratt (2010)),

$$C_T = C(M) + C(E) \dots\dots\dots(8)$$

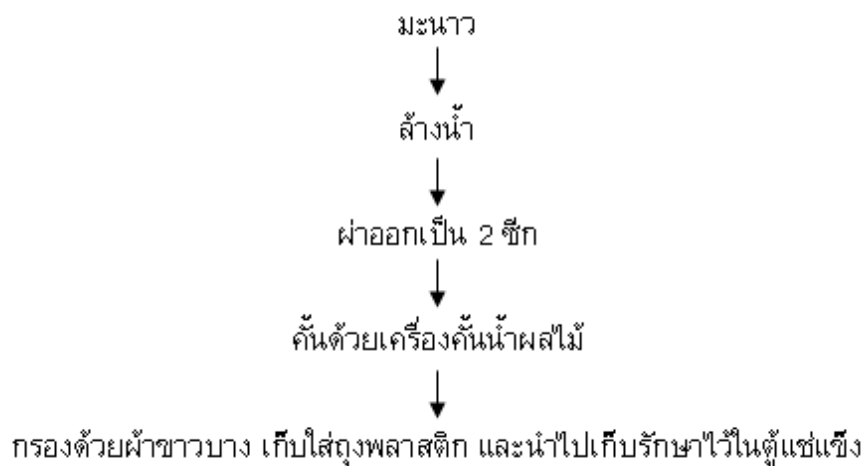
โดยที่	C_T	=	ต้นทุนรวมจากการประมาณ
	$C(M)$	=	ฟังก์ชันของต้นทุนที่ใช้ในการประมาณต้นทุน
	$C(E)$	=	ฟังก์ชันของค่าความผิดพลาดที่ใช้ในการประมาณต้นทุน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทดลองศึกษากระบวนการผลิตผงมะนาวพร้อมดื่มสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม - เมท

3.1.1 การเตรียมน้ำมะนาวในการศึกษาครั้งนี้ มีขั้นตอนการเตรียมน้ำมะนาว โดยวิธีการคั้นสดด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการเตรียมโฟมน้ำมะนาวพร้อมดื่ม



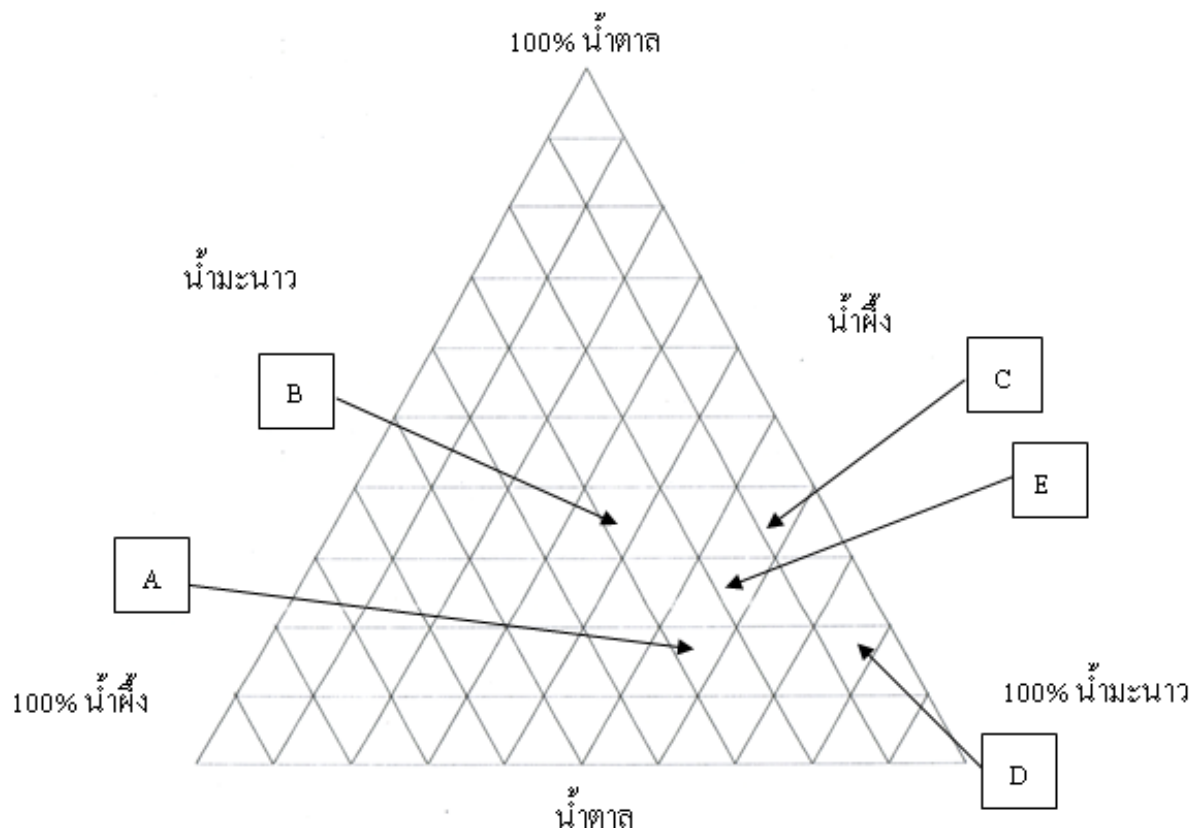
รูปที่ 3.1: ขั้นตอนการเตรียมน้ำมะนาวคั้นสด

3.1.2 ผลของปริมาณน้ำมะนาว ปริมาณน้ำตาลทราย และปริมาณน้ำผึ้งที่มีต่อคุณรูปทางด้านกายรูป คุณรูปทางด้านเคมีและคุณรูปทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวพร้อมดื่ม

3.1.2.1 ทำการวิเคราะห์คุณรูปทางกายรูปและเคมีของน้ำมะนาวสดก่อน จากนั้นจึงนำไปหาปริมาณที่เหมาะสมของน้ำมะนาว น้ำตาลทราย และน้ำผึ้ง โดยใช้แผนการทดลองแบบ mixture design และพิจารณาช่วงระดับปัจจัยดังนี้

- น้ำมะนาวคั้นสด 40 – 70 ร้อยละโดยน้ำหนัก
- น้ำตาลทราย 10 – 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก
- น้ำผึ้ง 10 – 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก

3.1.2.2 สิ่งทดลองตามแผนการทดลองแบบ mixture design มี 5 สิ่งทดลอง คือ สูตร A, B, C, D และ E ดังรูปที่ 3.1.1 และตารางที่ 3.1.1



รูปที่ 3.1.2: แผนภูมิแสดงปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ของส่วนผสมในสูตรน้ำมะนาวพร้อมดื่มตามแผนการทดลองแบบ mixture design

ตารางที่ 3.1.1: ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ของส่วนผสมในสูตรน้ำมะนาวพร้อมดื่มตามแผนการทดลองแบบ mixture design

สูตร	น้ำมะนาว	น้ำตาลทราย	น้ำผึ้ง
A	60%	10%	30%
B	40%	30%	30%
C	60%	30%	10%
D	80%	10%	10%
E	60%	20%	20%

3.1.2.3 จากนั้นทำการผลิตน้ำมะนาวพร้อมดื่มตามสูตรต่างๆ โดยนำน้ำมะนาว น้ำตาลทราย และน้ำผึ้งมาทำการละลาย โดยการคนให้เข้ากัน พร้อมกับเติมเกลือแกงลงไปร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก นำน้ำมะนาวพร้อมดื่มทุกสูตรที่ได้ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อประเมินหาปริมาณที่เหมาะสมโดยใช้ผู้ทดสอบชิมอย่างน้อย 50 คน ทดสอบคุณรูปด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส (flavors) และความชอบโดยรวมที่มีต่อน้ำมะนาว ใช้วิธีทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนตามความชอบ 1-9



คะแนน โดยเรียงคะแนนจากชอบน้อยที่สุดไปหาชอบมากที่สุด (ไพโรจน์, 2545) วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์

3.1.2.4 เมื่อได้ปริมาณน้ำมะนาว ปริมาณน้ำตาลทราย และปริมาณน้ำผึ้งของน้ำมะนาวพร้อมดื่มที่ผ่านการยอมรับของผู้ทดสอบชิม จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ทางด้านกายรูปและการวิเคราะห์ทางด้านเคมี โดยค่าที่วิเคราะห์มีดังนี้

- 1) ค่าสีด้วยระบบ CIE (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี Minolta Chroma รุ่น CR – 300
- 2) ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Viscometer : Brookfield digital viscometer model LVDV-II+ Germany)
- 3) ความหนาแน่นโดยใช้ขวดหาความถ่วงจำเพาะ
- 4) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องพีเอช meter
- 5) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand refractometer
- 6) ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธีการไตเตรทตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานอินโดฟีโนล (Indoฟีเอเซนอล) ตามวิธีของ AOAC (2000)
- 7) ปริมาณกรดซิตริกตามวิธีของ AOAC (2000)

3.1.2 ผลของชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารก่อให้เกิดโฟม และเวลาในการตีโฟมที่เหมาะสมในการผลิตผงมะนาวสำเร็จรูปด้วยวิธีทำแห้ง แบบโฟม-แมท

3.1.2.1 นำน้ำมะนาวพร้อมดื่มผลิตด้วยสูตรที่ผู้ทดสอบชิมยอมรับมากที่สุด จากผลการทดลองที่ 1 มาผสมกับมอลโตเดกซ์ทรินในอัตราส่วนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักเพื่อเพิ่มความหนืดและความคงตัว จากนั้นเติมสารก่อให้เกิดโฟมในที่นี้จะศึกษา 3 ชนิด ได้แก่

- 1) methocel A4C
- 2) glyceryl monostearate (GMS)
- 3) egg albumin

3.1.2.2 ทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดโฟมได้ โดยตีให้เกิดโฟมด้วยเครื่องผสมอาหาร ความเร็วสูงสุด (เบอร์ 10) ใช้หัวตีรูปตะกร้อ ตีโฟมเป็นเวลา 10 นาที สังเกตร้อยละของสารก่อให้เกิดโฟมน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดโฟมในเวลาการตีโฟม 10 นาที โดยกำหนดให้

- 1) ปริมาณต่ำสุดของ methocel A4C ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ A
- 2) ปริมาณต่ำสุดของ GMS ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ B
- 3) ปริมาณต่ำสุดของ egg albumin ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ C

3.1.2.3 ทำการทดลองต่อเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารก่อให้เกิดโฟมแต่ละชนิด และเวลาในการตีโฟมที่มีต่อความหนาแน่น ความคงตัว และค่า overrun ของโฟม โดยเติมสารก่อให้เกิดโฟมด้วย



ระดับ A% หรือ B% หรือ C% แล้วเพิ่มปริมาณขึ้น 5 ระดับโดยน้ำหนักของส่วนผสม และทำการผันแปรเวลาตีโฟม 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 นาที ดังตารางที่ 2, 3 และ 4 และในทุกช่วงเวลาของการตีโฟม เราจะนำโฟมที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองมาทำการวิเคราะห์สมบัติในการเกิดโฟม ดังนี้

- 1) ความคงตัวของโฟม ด้วยวิธี drainage method (Sauter and Montoure, 1972)
- 2) ความหนาแน่นของโฟม ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักโฟมที่ได้ในภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน (ชนันท์, 2545)
- 3) ค่า Overrun ของโฟม ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักของส่วนผสม ลบด้วยน้ำหนักของโฟม แล้วหารด้วยน้ำหนักของโฟม ซึ่งการชั่งน้ำหนักนั้นใช้ภาชนะที่มีปริมาตรเท่ากัน (Kirk and Sawyer, 1991)

3.1.2.4 จากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ตีโฟมกับค่าความคงตัว ค่าความหนาแน่น และค่า Overrun เพื่อหาเวลาที่ดีที่สุดในการนำมาตีโฟมของน้ำมะนาวพร้อมดื่ม เพื่อผลิตเป็นผงมะนาวสำเร็จรูป

ตารางที่ 3.1.2: แผนการทดลองเมื่อเติม methocel A4C

เวลาที่ใช้ในการตีโฟม (นาที)	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
10	ปริมาณต่ำที่สุด (A%)	A+0.6%	A+0.6%	A+0.6%	A+0.6%
20	ปริมาณต่ำที่สุด (A%)	A+0.6%	A+0.6%	A+0.6%	A+0.6%
30	ปริมาณต่ำที่สุด (A%)	A+0.6%	A+0.6%	A+0.6%	A+0.6%

ตารางที่ 3.1.3: แผนการทดลองเมื่อเติม glyceryl monostearate (GMS)

เวลาที่ใช้ในการตีโฟม (นาที)	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
10	ปริมาณต่ำที่สุด (B%)	B+5%	B+10%	B+15%	B+20%
20	ปริมาณต่ำที่สุด (B%)	B +5%	B+10%	B+15%	B+20%
30	ปริมาณต่ำที่สุด (B%)	B +5%	B+10%	B+15%	B+20%

ตารางที่ 3.1.4: แผนการทดลองเมื่อเติม egg albumin

เวลาที่ใช้ในการตีโฟม (นาที)	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
10	ปริมาณต่ำที่สุด (C%)	C+5%	C+10%	C+15%	C+20%
20	ปริมาณต่ำที่สุด (C %)	C+5%	C+10%	C+15%	C+20%
30	ปริมาณต่ำที่สุด (C %)	C+5%	C+10%	C+15%	C+20%

3.1.3 วางแผนการทดลองแบบ 3x5 factorial in CRD ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ซึ่งการพิจารณาเลือกชนิดของโฟมที่เหมาะสม จะเลือกจากปริมาณของความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมที่ใช้ตีน้ำมะนาวพร้อมดื่มซึ่งใช้ปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมน้อยที่สุดและเวลาในการตีโฟมที่ทำให้โฟมมีความคงตัวมากที่สุดและมีค่า Overrun สูงที่สุด เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.1.4 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการอบแห้งโฟม โดยเตรียมน้ำมะนาวพร้อมดื่ม จากปริมาณน้ำมะนาว ปริมาณน้ำตาลทราย และปริมาณน้ำผึ้งที่เลือกได้จากการทดลองปีที่ 1 และเตรียมโฟมตามวิธีการดัดแปลงการทดลองปีที่ 1 จากนั้นนำโฟมน้ำมะนาวพร้อมดื่มที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบลาดโดยแปรอุณหภูมิเป็น 3 ระดับ คือ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างแต่ละอุณหภูมิ ทุกๆ 10 นาที ไปวิเคราะห์หาความชื้นและค่า a_w และสร้างกราฟแสดงพฤติกรรมการอบแห้ง (Drying rate curve) เพื่อหาพารามิเตอร์ของการอบแห้ง และนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

3.1.4.1 การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ

- 1) ความสามารถในการในการละลายของผงมะนาวสำเร็จรูป ด้วยวิธีการชั่งผงมะนาวสำเร็จรูปมา 1 กรัม เติมน้ำอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คนเป็นเวลา 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักตะกอน และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การละลายของผงมะนาวสำเร็จรูป
- 2) สีของผงมะนาวสำเร็จรูปหลังการชงละลาย ด้วยระบบ CIE (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี Minolta Chroma รุ่น CR - 300
- 3) ความหนืดของผงมะนาวสำเร็จรูปหลังการชงละลาย โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Viscometer: Brookfield digital viscometer)
- 4) ความหนาแน่นของผงมะนาวสำเร็จรูปหลังการชงละลาย โดยใช้ขวดหาความถ่วงจำเพาะ



- 5) อนุภาคของผงมะนาวสำเร็จรูปด้วยเครื่อง Particle size analyzer รุ่น Mastersizer S Ver. 2. 19

3.1.4.2 การวิเคราะห์ทางด้านเคมี

- 1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องพีเอช meter
- 2) ปริมาณกรดซิตริกตามวิธีของ AOAC (2000)
- 3) ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธีการไตเตรทตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานอินโด-ฟีนอล (Indo-phenol) ตามวิธีของ AOAC (2000)
- 4) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand refractometer

3.1.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทำการทดสอบคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส (flavors) และความชอบโดยรวมที่มีต่อผงมะนาวสำเร็จรูปหลังการชงละลาย โดยนำผงมะนาวสำเร็จรูปมาละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง คนจนละลายเทใส่ถ้วยพลาสติกสีขาวปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง เสนอให้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คนใช้วิธีทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนตามความชอบ 1-9 คะแนน โดยเรียงคะแนนจากไม่ชอบมากที่สุดไปหาชอบมากยิ่งขึ้น (ไพโรจน์, 2545) วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์

3.1.6 วิเคราะห์ข้อมูลด้านปริมาณความชื้นและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ผงมะนาวสำเร็จรูปโดยการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น จะใช้ในการพิจารณาเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ผงมะนาวสำเร็จรูป

3.1.7 วิเคราะห์จลนพลศาสตร์การอบแห้งของผลิตภัณฑ์ผงมะนาวสำเร็จรูป โดยการนำผลการวิเคราะห์ความชื้นมาทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง โดยใช้แบบจำลองต่างๆ ดังนี้

- 3.1.7.1 แบบจำลองของ Henderson และ Pabis
- 3.1.7.2 แบบจำลองของ Lewis
- 3.1.7.3 แบบจำลองของ Page
- 3.1.7.4 แบบจำลองของ Two – term exponential

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3.1.8 ศึกษาด้าน sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์มะนาวพร้อมดื่มผงเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และประเมินอายุการเก็บรักษา โดยการสร้าง adsorption isotherm ของน้ำมะนาวพร้อมดื่มผงด้วยวิธี static gravimetric method โดยทำให้เกิดความชื้นสมดุลด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่างๆ ที่มีค่า water activity ต่างกันตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.9 ศึกษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 3 ระดับ ได้แก่ 10 30 และ 50 องศาเซลเซียส ติดตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างจากการชั่งน้ำหนักจนกระทั่งน้ำหนักตัวอย่างคงที่



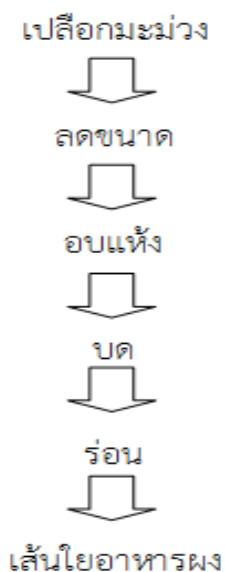
3.2 การทดลองผลิตมะม่วงขึ้นอบแห้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ และการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ

3.2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัตถุดิบ นำเปลือกมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ มาตัดเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1.5×1.5 เซนติเมตร จากนั้นแบ่งตัวอย่างเปลือกมะม่วงเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกนำไปลวกด้วยน้ำร้อนในหม้อต้มควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยเวลาที่ต่างกัน คือ 0 (ตัวอย่างควบคุม), 5, 10 และ 15 นาที ส่วนชิ้นมะม่วงกลุ่มที่สองนำไปแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1 นาน 0 (ตัวอย่างควบคุม), 10, 20 และ 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นของเปลือกมะม่วงที่ผ่านการลวกและการแช่ในสารละลายกรดซิตริกแต่ละสภาวะไปวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารรวม (total fiber) ตามวิธีของ AOAC (2000) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan New Multiple Rank Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วลมต่อปริมาณเส้นใยอาหาร เตรียมชิ้นมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ขนาดประมาณ 1.5×1.5 เซนติเมตร นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้า (Memmert, USA) ที่มีการผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง 2 ระดับ (60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง และ 80 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง) และความเร็วลม 2 ระดับ (1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที) ทำการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้ง (drying characteristic) ค่าสี (ระบบ CIE, Minolta: model CR-300, Japan) และปริมาณของเส้นใยอาหารรวม (AOAC, 2000) ของชิ้นมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละสภาวะ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan New Multiple Rank Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2.3 การศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่เตรียมด้วยตู้อบลมร้อน เตรียมเส้นใยอาหารผงโดยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้า (Memmert, USA) ตามสภาวะที่ส่งผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวม น้อยที่สุดที่ได้ ตามกรรมวิธีในการเตรียมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง ดัดแปลงจาก (Ajila et al., 2010) โดยประกอบด้วยขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.2.1 นำเส้นใยอาหารผงที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่างๆ ดังนี้ ค่าสี (ระบบ CIE, Minolta: model CR-300, Japan) ความหนาแน่นรวม (AOAC, 2000) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) water activity (Aqualab: model CX3TE, USA) ความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยวิธีการปั่นเหวี่ยง (Ang, 1991) ค่าพีเอช (AOAC, 2000) ปริมาณเส้นใยอาหารรวม (AOAC, 2000) และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเส้นใยอาหารผงภายหลังการบดลดขนาดด้วยเครื่องบดแบบค้อน (Armfield: model FT2, England) โดยการร่อนผ่านชุดของตะแกรงร่อน (Endecotts, England) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of

variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan New Multiple Rank Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 3.2.1: ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง

3.2.4 การศึกษาการผลิตเส้นใยอาหารผงโดยการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การเตรียมเปลือกมะม่วง โดยทำการเปลือกมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์โดยใช้มีด เปลือกที่ปอกได้จะถูกเตรียมเป็นสองขนาดคือ (1) ตัดเปลือกมะม่วงให้มีขนาดประมาณ 1.5×1.5 เซนติเมตร และ (2) คละขนาด โดยไม่มีการตัดหลังจากปอกเปลือก จากนั้นนำเปลือกมะม่วงไปอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สองวิธีคือ (1) การตากแดดโดยตรง (direct sun drying) และ (2) การอบแห้งในตู้อบแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก (Green house solar dryer) ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะการอบแห้งของตัวอย่างในระหว่างการอบแห้ง จากนั้นศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการอบแห้งทั้งสองวิธี ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan New Multiple Rank Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2.5 การศึกษาประยุกต์ใช้เส้นใยอาหารผงในผลิตภัณฑ์อาหาร การประยุกต์ใช้เส้นใยอาหารผงที่เตรียมจากเปลือกมะม่วง ทำโดยการเติมเส้นใยอาหารผงลงในส่วนผสมอาหารต้นแบบ 2 ชนิด ได้แก่ ไอศกรีม นม (dairy ice cream) และคุกกี้ (cookies) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ที่มี (i) การเติมขึ้นมะม่วง ปริมาณร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร (ii) การเติมเส้นใยอาหารผง ปริมาณร้อยละ 2.5 โดยมวลต่อปริมาตร (iii) การเติมขึ้นมะม่วงร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร ร่วมกับเส้นใยอาหารผงร้อยละ 2.5 โดยมวลต่อปริมาตร และ (iv) ตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมทั้งขึ้นมะม่วงและเส้นใยอาหารผง โดยมีรายละเอียดในการศึกษาดังนี้

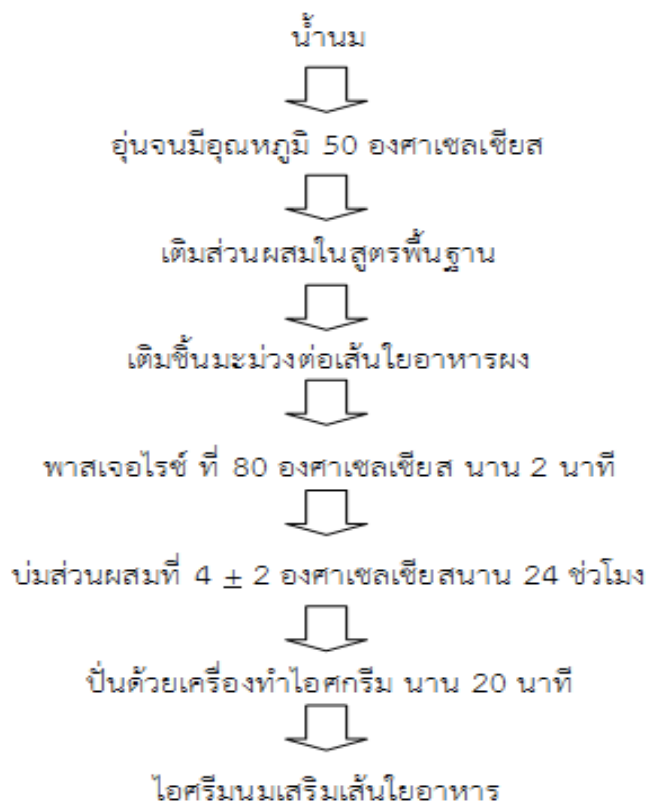
3.2.5.1 การเตรียมชั้นมะม่วง นำมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้มาล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้งที่อุณหภูมิ ห้องจากนั้นทำการปอกเปลือก และตัดเนื้อแยกออกจากเมล็ด ทำการตัดเนื้อมะม่วงให้เป็นลูกเต๋าขนาดประมาณ 1x1x1 เซนติเมตร ทำการคลุกเคล้า ด้วยร้อยละ 6 โดยปริมาตร icing sugar แล้วทิ้งไว้ในตู้เย็น (อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส) นาน ประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบ (Memmert: model ULM-400, USA) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วบรรจุในภาชนะปิดที่มีสารดูดความชื้นเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

3.2.5.2 การเตรียมเส้นโยอาหารผง นำเปลือกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ได้ มาตัดให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 1.5 X 1.5 เซนติเมตร แล้วลวกด้วยน้ำร้อนนาน 3 นาที จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบ (Memmert: model ULM-400, USA) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 27 ชั่วโมง แล้วนำไปบดเป็นผงด้วยเครื่องบดแบบค้อน (Armfield: model FT2, England) นำเส้นใยผงที่ได้ไปร่อนผ่านตะแกรง เส้นโยอาหารผงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง น้อยกว่า 300 ไมโครเมตร จะถูกบรรจุในภาชนะปิดที่มีสารดูดความชื้นเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

3.2.5.3 ส่วนผสมและการผลิตไอศกรีมนมเสริมเส้นโยอาหาร ส่วนผสมของไอศกรีมสูตรพื้นฐาน (based formula) แสดงในตารางที่ 3.2.1 ในการเตรียมส่วนผสมไอศกรีมทำโดยการอุ่นนมจนมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำการเติมส่วนผสมตามตารางที่ 1 ลงไป ทำการคนช้าๆ จนกระทั่งส่วนผสมที่เป็นของแข็งละลายหมด จากนั้นยกลงจากเตาแล้วทำการเติมชั้นมะม่วงและเส้นโยอาหารลงไป กวนผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำส่วนผสมไปพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จากนั้นเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมาปั่นเป็นไอศกรีมโดยใช้เครื่องทำไอศกรีม (Nemox: model Gelatissimo, Italy) นาน 20 นาที ขั้นตอนการเตรียมไอศกรีมนมเสริมเส้นโยอาหาร แสดงในรูปที่ 3.2.2

ตารางที่ 3.2.1: ส่วนผสมในสูตรพื้นฐานไอศกรีมนมที่ใช้ในการศึกษา

ส่วนประกอบ	หน่วย	ปริมาณ
นมพาสเจอร์ไรส์ (pasteurized milk)	มิลลิลิตร	300
น้ำตาล (sugar)	กรัม	60
นมผงพร่องมันเนย (skimmed milk powder)	กรัม	20
วิปปิ้งครีม (whipping cream)	กรัม	115
กัวกัม (guar gum)	กรัม	0.1
กลิ่นวานิลลา (vanilla flavour)	กรัม	2.5



รูปที่ 3.2.2: ขั้นตอนการเตรียมไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหาร

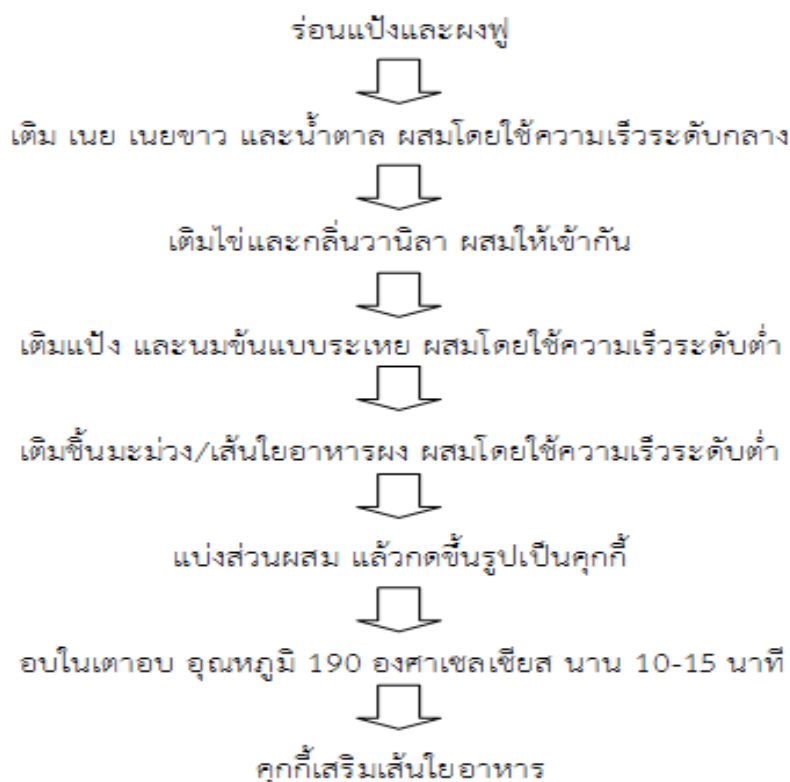
3.2.5.4 ส่วนผสมและการผลิตคุกกี้เสริมเส้นใยอาหาร ส่วนผสมของคุกกี้สูตรพื้นฐาน (based formula) แสดงในตารางที่ 3.2.3 ในการเตรียมคุกกี้ จะทำการร่อนแป้งและผงฟูด้วยตะแกรงร่อนลงในเครื่องผสมอาหาร (Kitchen aid) จากนั้นเติมน้ำมัน เนยขาว และน้ำตาล แล้วตีผสมให้เข้ากันด้วยความเร็วในการผสมระดับกลาง จากนั้นเติมไข่และกลิ่นวานิลาลงไปทำการปั่นผสมให้เข้ากันแล้วจึงเติมแป้งและนมข้นแบบละเอียดลงไปทำการผสมต่อด้วยความเร็วในการผสมระดับต่ำ จากนั้นจึงเติมส่วนผสม และ/หรือเส้นใยอาหารผงลงไป แล้วทำการผสมจนได้ ส่วนผสม (batter) ที่ต้องการ นำ batter มาขึ้นรูปเป็นคุกกี้ บนถาดแล้วนำไปอบในเตาอบขนม ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที ขั้นตอนการเตรียมคุกกี้เสริมเส้นใยอาหาร แสดงในรูปที่ 3.2.3

ตารางที่ 3.2.2: ส่วนผสมในสูตรพื้นฐานคุกกี้ที่ใช้ในการศึกษา

ส่วนประกอบ	หน่วย	ปริมาณ
แป้งข้าวสาลี (wheat flour)	กรัม	125
ผงฟู (baking powder)	ช้อนชา	$\frac{3}{4}$
เนย (butter)	กรัม	60
เนยขาว (shortening)	กรัม	25

ตารางที่ 3.2.2 (ต่อ): ส่วนผสมในสูตรพื้นฐานคุกกี้ที่ใช้ในการศึกษา

ส่วนประกอบ	หน่วย	ปริมาณ
น้ำตาล (sugar)	กรัม	80
ไข่ (egg)	กรัม	30
กลิ่นวานิลลา (vanilla flavour)	ช้อนชา	1/4
นมข้นแบบระเหย (evaporated milk)	ช้อนโต๊ะ	1 ½



รูปที่ 3.2.3: ขั้นตอนการเตรียมคุกกี้เสริมเส้นใยอาหาร

3.2.5.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหาร

1) คุณสมบัติด้านกายภาพ (physical properties) กรณีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมเส้นใยอาหาร จะทำการวิเคราะห์ค่าความหนืด (Brookfield viscometer, USA) ของส่วนผสมไอศกรีม ค่าสี (ระบบ CIE, Minolta: model CR-300, Japan) ค่าการขึ้นฟู (Arbuckle, 1996) อัตราการละลาย (Lee and White, 1991) และลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyser: TA.XT Plus, UK) ของไอศกรีม ส่วนผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมเส้นใยอาหารทำการวัดค่าสี ค่าดัชนีความสว่าง (whiteness index) (สุพิชฌาย์ และ ทวีช, 2552) และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์



2) คุณสมบัติด้านเคมี (chemical properties) ส่วนผสมไอศกรีมจะถูกนำมาวิเคราะห์หา ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ค่าพีเอช โดยพีเอช meter ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดย hand refractometer ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในไอศกรีมจะถูกวิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC, 2000 ส่วนผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมเส้นใยอาหาร จะทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น และปริมาณเส้นใยอาหารรวม ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับกรณีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

3) คุณสมบัติด้านจุลชีววิทยา (microbiological properties) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดจะถูกตรวจนับโดยเทคนิคการ pour plate บน plate count agar (PCA)

4) คุณสมบัติด้านประสาทสัมผัส (sensory properties) ผลิตภัณฑ์ทั้งสองจะถูกทดสอบชิมโดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน จำนวน 2 ครั้ง โดยวิธี 9 point hedonic scale

5) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan New Multiple Rank Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



3.3 การทดลองการผลิตมะม่วงกวนแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบถาด

3.3.1 กระบวนการผลิตมะม่วงกวน

3.3.1.1 คัดมะม่วงสายพันธุ์นวลคำที่นำมาจากมูลนิธิโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่ โดยให้มีระดับความสุกสม่ำเสมอ โดยวัดปริมาณน้ำตาลต่อเปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของวัตถุดิบอยู่ในช่วง 85-95 นำมะม่วงไปล้างทำความสะอาด จากนั้นปอกเปลือกและหั่นเอาส่วนที่เป็นเนื้อมะม่วงแล้วนำเนื้อมะม่วงมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร แบ่งใส่ถุงพลาสติกถุงละ 1 กิโลกรัม เก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อบริการผลิตเป็นมะม่วงกวน

3.3.1.2 ศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของเนื้อมะม่วงก่อนกวน (เนื้อมะม่วงปั่นละเอียด) และหลังกวน วัดความหนืด (viscosity) ด้วยเครื่อง Brookfield ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress กับ shear rate ทดลอง 3 ซ้ำและทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด 3 แบบจำลอง โดยใช้แบบจำลองของ Ostwald-de Waele (power law), Bingham และ Herschel-Bulkley จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Sigma Plot 10.0 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อใช้ทำนายพฤติกรรมการไหลของมะม่วงก่อนกวนและหลังกวนในการพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงแผ่นอบแห้ง และใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.3.1.3 ศึกษาปริมาณกรดซิตริกและปริมาณน้ำตาลทรายต่อการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงแผ่น โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design, Second Order Model ทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 2 ซ้ำ โดยผันแปรปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 0-1.5 น้ำตาลทรายขาวร้อยละ 0-20 ต่อน้ำหนักของเนื้อมะม่วง ดังตารางที่ 3.3.1

3.3.1.4 นำเนื้อมะม่วงปั่นละเอียดไปกวนให้ความร้อนจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 35 องศาบริกซ์ จากนั้นผสมกับสิ่งทดลองทั้ง 10 สิ่งทดลอง เทใส่ถาดและนำมาเกลี่ยให้เป็นแผ่นบนถาดหนาประมาณ 0.2 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความเร็วลมเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 3.3.1: ปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายในระดับต่างๆที่ใช้ในการผลิตมะม่วงแผ่นอบแห้ง

สิ่งทดลองที่	ปริมาณกรดซิตริก		ปริมาณน้ำตาลทราย	
	(%)	code	(%)	code
1	0.22	(-1)	2.93	(-1)
2	1.28	(+1)	2.93	(-1)
3	0.22	(-1)	17.07	(+1)
4	1.28	(+1)	17.07	(+1)

ตารางที่ 3.3.1 (ต่อ): ปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายในระดับต่างๆที่ใช้ในการผลิตมะม่วงแผ่นอบแห้ง

สิ่งทดลองที่	ปริมาณกรดซิตริก		ปริมาณน้ำตาลทราย	
	(%)	code	(%)	code
5	0.00	(-α)	10.00	(0)
6	1.50	(+α)	10.00	(0)
7	0.75	(0)	0.00	(-α)
8	0.75	(0)	20.00	(+α)
9	0.75	(0)	10.00	(0)
10	0.75	(0)	10.00	(0)

3.3.2 การวิเคราะห์

3.3.2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

- 1) ตรวจวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT Plus
- 2) ตรวจวัดสีของมะม่วงแผ่นอบแห้งโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chroma รุ่น CR-400

3.3.2.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

- 1) การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้
- 2) การวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%) ตามวิธีของ AOAC (2000)
- 3) ตรวจวัดค่า water activity (a_w)
- 4) การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.3.2.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสการยอมรับของผู้บริโภคโดยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน ประเมินคุณภาพทางด้านสี (color) กลิ่นโดยรวม (overall flavor) รสหวาน (sweetness) รสเปรี้ยว (sourness) เนื้อสัมผัส (texture) และความชอบโดยรวม (overall acceptability) จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 16.1 เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต และวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น และแสดงผลความสัมพันธ์แบบ Response Surface Methodology (RSM) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.3.3 ศึกษาจลนพลศาสตร์และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนและเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด

3.3.3.1 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของมะม่วงแผ่นอบแห้งโดยผลิตมะม่วงแผ่นจากสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด (การทดลองที่ 1) เทใส่ถาดและนำมาเกลี่ยให้เป็นแผ่นบนถาดหนาประมาณ 0.2 เซนติเมตร อบ



ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดตั้งแต่วันที่ 9:00 – 17:00 น. โดย 2 ชั่วโมงแรก บันทึกน้ำหนักทุก 30 นาที หลังจากนั้นบันทึกทุก 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ และทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด 4 แบบจำลอง ได้แก่ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two term model ตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Sigma Plot 10.0 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.3.3.2 ผลิตมะม่วงแผ่นจากสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด (การทดลองที่ 1) เทใส่ถาดและนำมาเกลี่ยให้เป็นแผ่นบนถาดหนาประมาณ 0.2 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยความเร็วลมเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที และเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความเร็วลมเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที โดยศึกษาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วงแผ่น โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ และกำหนดความชื้นสุดท้ายดังตารางที่ 3.3.2

ตารางที่ 3.3.2: ปริมาณความชื้นของมะม่วงแผ่นอบแห้งในระดับต่างๆ

สิ่งทดลองที่	ร้อยละปริมาณความชื้นของ มะม่วงแผ่น
1	20
2	26.7
3	33.4
4	40

3.3.3.3 การวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1.1) ตรวจวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT Plus

2) การวิเคราะห์ทางเคมี

2.1) ตรวจวัดค่า water activity (a_w)

3) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.1) การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน ประเมินคุณภาพทางด้านสี (color) กลิ่นโดยรวม (overall flavor) รสหวาน (sweetness) รสเปรี้ยว (sourness) เนื้อสัมผัส (texture) และความชอบโดยรวม (overall acceptability) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



3.3.4 ศึกษาหาอายุการเก็บรักษามะม่วงแผ่นในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์, ถุงเมทาไลต์และOriented polypropylene (OPP) ภายใต้สภาวะเร่ง ทำการบรรจุมะม่วงแผ่นในบรรจุภัณฑ์ทั้งสามชนิดและปิดผนึกของนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส สุ่มบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดจากทุกอุณหภูมิ โดยสุ่มจำนวน 2 ซ้ำจากแต่ละสิ่งทดลอง นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์และทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งเป็นเวลา 3 เดือน (ตารางที่ 3.3.3) เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดการหมดอายุการเก็บรักษาแล้วคำนวณหาอายุการเก็บรักษาของมะม่วงแผ่นในบรรจุภัณฑ์ทั้งสามชนิด

ตารางที่ 3.3.3: การตรวจวัดคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์และทางประสาทสัมผัสตลอดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงแผ่นอบแห้ง

ชนิดบรรจุภัณฑ์	อุณหภูมิ (°C)	สัปดาห์ที่												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
อะลูมิเนียม ฟอยล์	25	*	*	-	*	-	*	-	*	-	*	-	*	*
	35	*	*	-	*	-	*	-	*	-	*	*	*	*
	45	#	#	-	#	-	#	#	#	#	#	#	#	#
เมทาไลต์	25	*	*	-	*	-	*	-	*	-	*	-	*	*
	35	*	*	-	*	-	*	-	*	-	*	*	*	*
	45	#	#	-	#	-	#	#	#	#	#	#	#	#
OPP	25	*	*	-	*	-	*	-	*	-	*	-	*	*
	35	*	*	-	*	-	*	-	*	-	*	*	*	*
	45	#	#	-	#	-	#	#	#	#	#	#	#	#

หมายเหตุ: - = คือสัปดาห์ที่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ผล

* = คือสัปดาห์ที่วิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและทดสอบทางประสาทสัมผัส

= คือสัปดาห์ที่วิเคราะห์ทางกายภาพ เคมีและทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.3.4.1 การวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์ทางกายภาพ

- 1.1) ตรวจวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT Plus
- 1.2) ตรวจวัดสีของมะม่วงแผ่นอบแห้งโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chroma รุ่น CR-400



- 2) การวิเคราะห์ทางเคมี
 - 2.1) ตรวจวัดค่า water activity (a_w)
 - 2.2) การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)
- 3) การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา
 - 3.1) การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (2000)
 - 3.2) การหาปริมาณยีสต์และรา ตามวิธีของ AOAC (2000)
 - 3.3) การหาปริมาณอีโคไลและโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (*Escherichia coli* and Total Coliform Bacteria) โดยวิธี MPN (Most Probable Number method) ตามวิธีของ AOAC (2000)
- 4) การทดสอบทางประสาทสัมผัสการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน ประเมินคุณภาพทางด้านสี (color) กลิ่นโดยรวม (overall flavor) เนื้อสัมผัส (texture) และความชอบโดยรวม (overall acceptability)
- 5) การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรม Minitab Statistical Software ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.4 การผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดหวาน

3.4.1 การศึกษาสูตรเบื้องต้นของนมข้าวโพดชั้นหวาน ในการดำเนินการศึกษาสูตรเบื้องต้นนี้ นมข้าวโพดชั้นหวาน ได้ทำการทดลองเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ หลายชนิดในการปรับปรุงคุณสมบัติ และได้เลือกไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแซนแทนกัม โดยระดับของไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ได้จากการตรวจเอกสารและทำการทดลองเบื้องต้น ซึ่งใช้คุณสมบัติทางกายภาพของนมชั้นหวาน เช่น ความหวานและความข้นหนืดเป็นตัวเปรียบเทียบ จากนั้นนำไปทดสอบการยอมรับและทดสอบความพอดีในเพื่อให้ทราบทิศทางของการพัฒนาผลิตภัณฑ์

3.4.1.1 การผลิตนมข้าวโพดชั้นหวานสูตรเบื้องต้น 2 สูตร วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ผันแปรไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.2 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 ทำการทดลอง 2 ซ้ำทำการทดลอง โดยมีสูตรและกระบวนการผลิตดังนี้

สูตรเบื้องต้นของนมข้าวโพดชั้นหวาน

ส่วนผสมสิ่งทดลองที่ 1 (ใช้น้ำตาล 50 กรัมแบ่งผสม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแลคโตส)	กรัมแบ่งผสม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแลคโตส
นมข้าวโพดร้อยละ	53.1
น้ำตาลทรายร้อยละ	44.2
แบะแซร้อยละ	2.1
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ	0.2
แลคโตสร้อยละ	0.3
เกลือร้อยละ	0.1
ส่วนผสมสิ่งทดลองที่ 2 (ใช้น้ำตาล 50 กรัมแบ่งผสม แซนแทนกัม และแลคโตส)	กรัมแบ่งผสม แซนแทนกัม และแลคโตส
นมข้าวโพดร้อยละ	53.2
น้ำตาลทรายร้อยละ	44.2
แบะแซร้อยละ	2.1
แซนแทนกัมร้อยละ	0.1
แลคโตสร้อยละ	0.3
เกลือเกลือ	0.1

3.4.1.2 จากนั้นนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) (Peryam and Pilgrim, 1957) โดย 1 เท่ากับไม่ชอบมากที่สุด 5 เท่ากับบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ และ 9 เท่ากับชอบมากที่สุด และทดสอบความพอดี (just about right scale) ของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน ในด้านรสหวานและด้านความข้นหนืด เพื่อให้ทราบทิศทางของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 100 คน ตัวอย่างที่ใช้ใน



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

การทดสอบชิมมีปริมาณ 15 กรัม บรรจุในถ้วยพลาสติกใสปิดฝา เสนอตัวอย่างพร้อมขนมปังขาวและซอสทาขนมปัง แต่ละตัวอย่างจะถูกกำหนดด้วยรหัสเลขคู่ 3 ตัว สุ่มลำดับการนำเสนอและเสิร์ฟตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง ผู้เข้าร่วมการทดสอบจะได้รับของตอบแทนหลังทำการทดสอบนอกจากนี้ ทำการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ดังนี้

- 1) วัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีด้วยเครื่อง AquaLab LITE, USA
- 2) วัดค่าสี L^* a^* b^* ด้วยเครื่องวัดสีรุ่น SSE 343 (Color Quest II, USA)
- 3) ค่าความหวานโดยใช้เครื่อง Hand-held refractometer (ATAGO, Japan)
- 4) ค่าความข้นหนืดด้วยเครื่อง Bostwick consistometer โดยนำตัวอย่างใส่ลงในช่องตัวอย่างของเครื่อง Bostwick consistometer จนเต็ม ทำการชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างให้เท่ากันทุกครั้ง จากนั้นปล่อยตัวอย่างให้เคลื่อนที่บนสเกลของเครื่อง พร้อมทั้งทำการจับเวลา 30 วินาที บันทึกค่าระยะทางที่ตัวอย่างอาหารเคลื่อนที่ได้ คำนวณค่าความหนืดที่ได้ให้อยู่ในรูปของ ระยะทางต่อเวลา (30 วินาที)

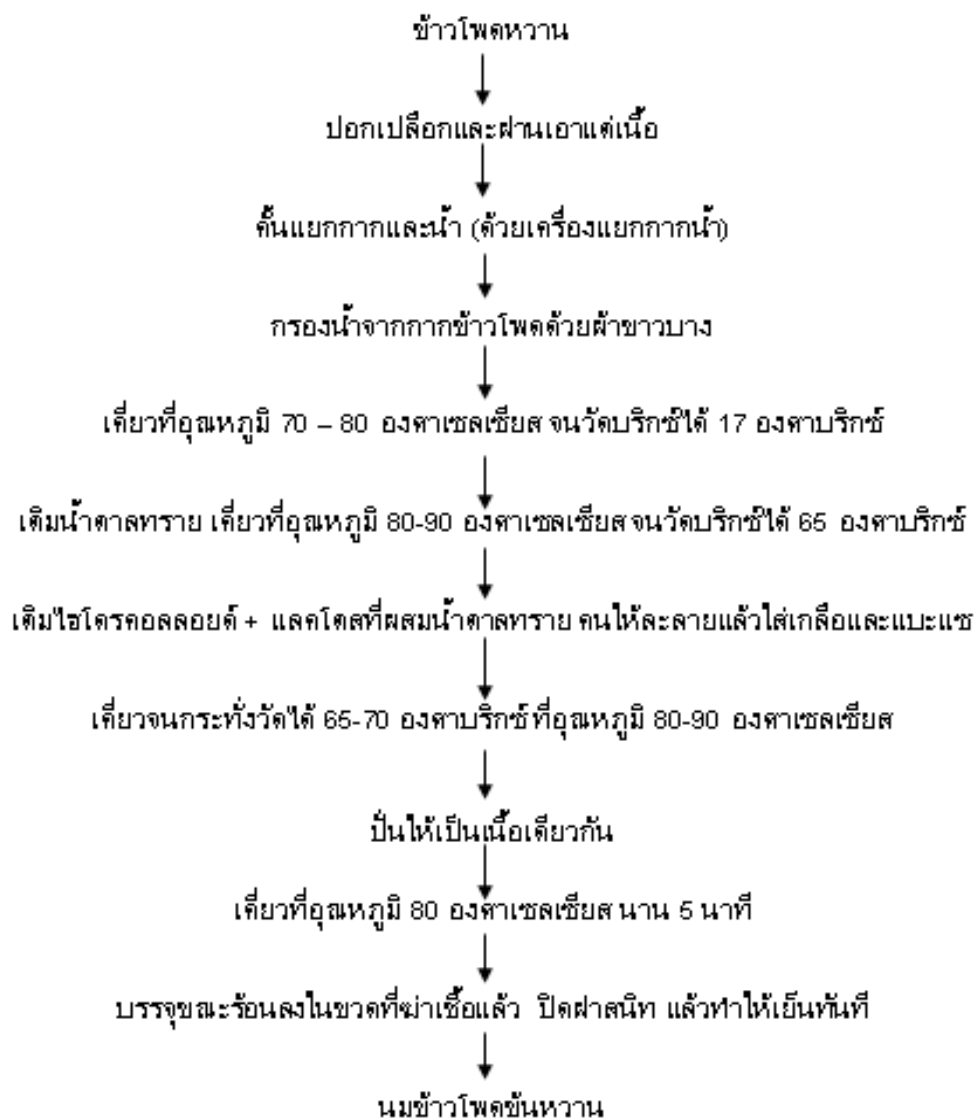
3.4.2 การหาสูตรที่เหมาะสมของนมข้าวโพดชั้นหวานที่ผู้บริโภคมารับ จากผลการทดลองในข้อ 4.1 นำข้อมูลมาหาสูตรที่เหมาะสมของนมข้าวโพดชั้นหวานที่ผู้บริโภค ยอมรับ วางแผนการทดลองแบบ Mixture design โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design-Expert (2004) version 6.0.10 (Statease Inc., USA.) ทำการผันแปรปริมาณส่วนผสม คือ แปะแซ และ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม โดยทุกสูตรผลรวมปริมาณของแปะแซ และ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เท่ากับร้อยละ 2.3 ของส่วนผสมทั้งหมด ส่วนผสมอื่นๆคงที่คือ นำนมข้าวโพดร้อยละ 53.1 น้ำตาลทรายร้อยละ 44.2 แลคโตสร้อยละ 0.3 และเกลือร้อยละ 0.1 ได้สิ่งทดลองที่จะทำการศึกษา 8 สูตรดังนี้

ตารางที่ 3.4.1: ระดับของปัจจัยในแต่ละสิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนแบบส่วนผสม (Mixture design) ของนมข้าวโพดชั้นหวาน

สิ่งทดลอง	แปะแซ (%)	คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (%)
1	2.30	0.00
2	2.00	0.30
3	2.15	0.15
4	2.07	0.22

ตารางที่ 3.4.1 (ต่อ): ระดับของปัจจัยในแต่ละสิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนแบบส่วนผสม (Mixture design) ของนมข้าวโพดชั้นหวาน

สิ่งทดลอง	เบะแซ (%)	คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (%)
5	2.23	0.07
6	2.30	0.00
7	2.00	0.30
8	2.15	0.15



รูปที่ 3.4.1: กรรมวิธีการผลิตนมข้าวโพดชั้นหวาน



3.4.2.1 จากนั้นผลิตภัณณ์นมข้าวโพดชั้นหวานที่ได้จากทุกสูตรนำมา ตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส ดังนี้

- 1) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w , AquaLab LITE, USA)
- 2) ค่าสี $L^* a^* b^*$ (SSE 343 Color Quest II, USA)
- 3) วัดความข้นหนืดโดยใช้เครื่อง Bostwick consistometer
- 4) ค่าความหวานโดยใช้เครื่อง Hand-held refractometer (ATAGO, Japan)
- 5) คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) (Peryam and Pilgrim, 1957) โดย 1 เท่ากับ ไม่ชอบมากที่สุด 5 เท่ากับ บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ และ 9 เท่ากับ ชอบมากที่สุด ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (laboratory test) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 100 คน เตรียมการทดสอบและเสนอตัวอย่างดังได้กล่าวในการทดลองก่อนหน้านี้

3.4.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนายสูตรที่เหมาะสมนมข้าวโพดชั้นหวาน นำผลิตภัณณ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่เหมาะสมที่ได้จากสมการทำนายจากผลการทดลองในการทดลองที่ 2 ซึ่งทำการผลิตตามกรรมวิธีดังกล่าวในการทดลองข้างต้น ทำการทดลองผลิต 2 ซ้ำ และสูตรทำนายดังนี้

สูตรทำนาย (ใช้ 50 กรัมแบ่งผสม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแลคโตส)

นํ้านมข้าวโพดร้อยละ	53.10
นํ้าตาลทราย	44.20
เบะแซ	2.01
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	0.29
แลคโตส	0.30
เกลือ	0.10

3.4.2.3 นำผลิตภัณณ์สูตรที่เหมาะสมที่ทำการพัฒนาได้มาตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส ดังนี้

- 1) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w , AquaLab LITE, USA)
- 2) ค่าสี $L^* a^* b^*$ (SSE 343 Color Quest II, USA)
- 3) วัดความข้นหนืดโดยใช้เครื่อง Bostwick consistometer
- 4) ค่าความหวานโดยใช้เครื่อง Hand-held refractometer (ATAGO, Japan)
- 5) คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) (Peryam and

Pilgrim, 1957) โดย 1 เท่ากับ ไม่ชอบมากที่สุด 5 เท่ากับ บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ และ 9 เท่ากับ ชอบมากที่สุด ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (laboratory test) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 100 คน เตรียมการทดสอบและเสนอตัวอย่างดังได้กล่าวในการทดลองก่อนหน้านี้

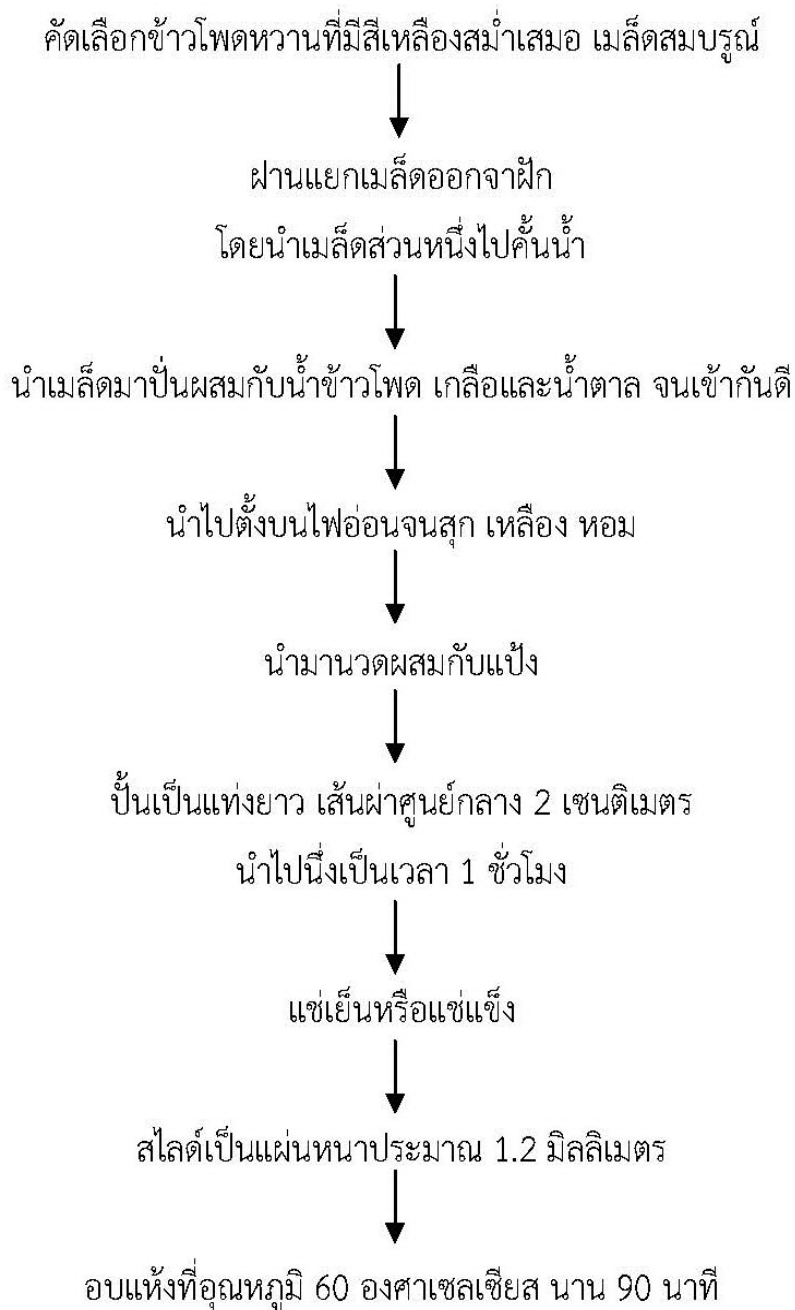
3.4.3 การศึกษาสูตรเบื้องต้นของข้าวเกรียบข้าวโพด ทำการผลิตข้าวเกรียบข้าวโพดสูตรเบื้องต้น 2 สูตร โดยใช้สูตรที่ดัดแปลงสูตรจากสูตรของ สุจินดา, (2550) และสูตรของอรอนงค์ และคณะ (2554) ดังตารางที่ 2.4.1 โดยสูตร 2 มีส่วนผสมของแป้งสาลี และน้ำตาล ต่างจากสูตร 1 ซึ่งไม่มีส่วนผสมดังกล่าว และส่วนผสมต่างๆ มีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อยทำการผลิตตามแผนภาพ 1 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที (เสาวณีย์, 2555) จากนั้นนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) (Peryam and Pilgrim, 1957) โดย 1 เท่ากับ ไม่ชอบมากที่สุด 5 เท่ากับ บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ และ 9 เท่ากับ ชอบมากที่สุด และทดสอบความพอดีของแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Just about right scale) เพื่อให้ทราบทิศทางของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังนี้ 5 = ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก, 4 = ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย, 3 = พอดี, 2 = ปรับให้ลดลงเล็กน้อย และ 1 = ปรับให้ลดลงมาก ในด้านสี กลิ่นรสข้าวโพด รสเค็ม รสหวานและความกรอบด้วยแบบทดสอบคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SuSense, Thailand) ทำการทดสอบกับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 100 คน แต่ละตัวอย่างจะถูกกำหนดด้วยรหัสเลขสุ่ม 3 ตัว สุ่มลำดับการนำเสนอและเสิร์ฟตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.4.2: ส่วนประกอบของข้าวเกรียบข้าวโพดต้นแบบ

ส่วนประกอบ	สูตร 1	สูตร 2
แป้งมันสำปะหลัง	100.00	80.00
แป้งสาลี	-	20.00
ข้าวโพด (ร้อยละของแป้ง)	50.00	20.00
น้ำตาล (ร้อยละของแป้ง)	-	7.00
เกลือ (ร้อยละของแป้ง)	2.50	2.00
น้ำข้าวโพด (ร้อยละของแป้ง)	60.00	57.00

3.4.3.1 การตรวจคุณภาพดังนี้

- 1) % moisture content (AOAC, 2000)
- 2) a_w (AquaLab LITE, USA)
- 3) วัดค่าสี L a b
- 4) วัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer



รูปที่ 3.4.2: กระบวนการผลิตข้าวเกรียบข้าวโพด

3.4.4 การหาสูตรที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ผู้บริโภคยอมรับ จากผลการทดลองในตอน
ที่ 1 นำข้อมูลมาหาสูตรที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ผู้บริโภคยอมรับ โดยการผันแปรปริมาณเกลือและ
ปริมาณน้ำตาล ที่ระดับร้อยละ 2.5 - 3.5 และ 0 - 10 ของน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ วางแผนการทดลองแบบ
Factorial $22 + 2$ cps โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design-Expert (2004) version 6.0.10
(Statease Inc., USA.) ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 3.4.3) จากนั้นผลิตข้าวเกรียบข้าวโพดตาม
กรรมวิธีข้างต้น แต่ทำการปรับกระบวนการในการสไลด์ คือ เพิ่มความหนาของแผ่นข้าวเกรียบเป็น 1.5
มิลลิเมตร (Lertworasirikul, 2008) เนื่องจากแผ่นข้าวเกรียบที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร เมื่อนำไปอบแห้งที่
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที ทำให้ได้แผ่นข้าวเกรียบดิบที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 8-9 แต่
ลักษณะของแผ่นค่อนข้างแห้ง แตก และเมื่อนำไปทอดทำให้ได้ข้าวเกรียบที่ไม่พองเท่าที่ควร จึงปรับเพิ่มความ
หนาของแผ่นข้าวเกรียบในตอนสไลด์ และนำไปอบแห้งตามกระบวนการเดิม เพียงควบคุมความชื้นของแผ่น
ข้าวเกรียบดิบไม่ให้เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวเกรียบ (มผช.๑๐๗/๒๕๔๖)
จากนั้นนำข้าวเกรียบที่ได้ทุกสูตรมาตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส

ตารางที่ 3.4.3: สิ่งทดลองที่ได้จากการผันแปรปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาล

สิ่งทดลอง	ปริมาณเกลือ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ)
1	2.5	0
2	3.5	0
3	2.5	10.0
4	3.5	10.0
5	3.0	5.0
6	3.0	5.0



3.4.5 การศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ผู้บริโภคมารับ จากสูตรที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ได้ นำมาศึกษาหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเกรียบ โดยผันแปรอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 50 - 70 องศาเซลเซียส ผันแปรเวลาในการอบแห้งนาน 60 - 120 นาที วางแผนการทดลองแบบ Factorial $22 + 2$ cps โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design-Expert (2004) version 6.0.10 (Statease Inc., USA.) ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 3.4.4) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดที่ได้จากทุกสูตรมาตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส

ตารางที่ 3.4.4: สิ่งทดลองที่ได้จากการผันแปรเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเกรียบ

สิ่งทดลอง	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	50	60
2	70	60
3	50	120
4	70	120
5	60	60
6	60	60

3.5 การทดลองศึกษาเบื้องต้นในการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพด

3.5.1 การทดสอบสภาวะในการย่อยเมล็ดข้าวโพด

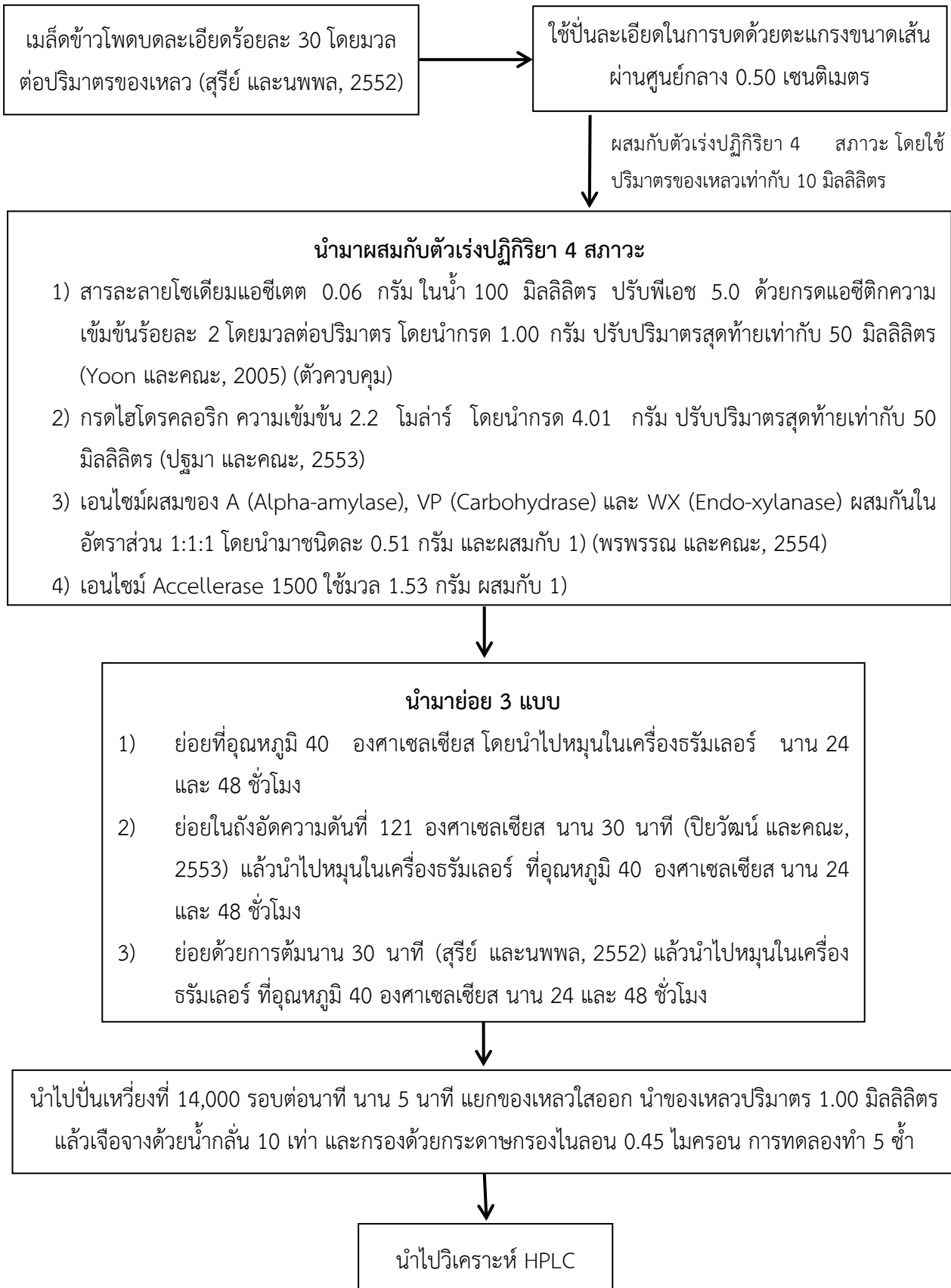
โดยนำ	ฝักข้าวโพดสด	20.0	กิโลกรัม
	แยกส่วนได้		
	เมล็ดข้าวโพด	10.6	กิโลกรัม
	ซังข้าวโพด	5.5	กิโลกรัม
	เปลือกข้าวโพด	3.1	กิโลกรัม
	รวมน้ำหนักทั้งหมด	19.2	กิโลกรัม

3.5.2 การย่อยเมล็ดข้าวโพด โดยตัวเร่งปฏิกิริยา 4 สภาวะ และทำการย่อย 3 แบบ ดังนี้

3.5.2.1 เมล็ดข้าวโพดบดละเอียดร้อยละ 30 โดยมวลต่อปริมาตรของเหลว (สุรีย์ และนพพล, 2552) แล้วนำขวดไปหมุนโดยเครื่องธรัมเมอร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 5 ชั่วโมง ทำการย่อยนาน 24 และ 48 ชั่วโมง ดังนี้

- 1) สารละลายโซเดียมแอสเตต 0.06 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอช 5.0 ด้วยกรดแอสติกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร โดยนำกรด 1.00 กรัม ปรับปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 50 มิลลิลิตร (Yoon และคณะ, 2005) (ตัวควบคุม)
- 2) กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2.2 M โดยนำกรด 4.01 กรัม ปรับปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 50 มิลลิลิตร (ปฐมา และคณะ, 2553)
- 3) เอนไซม์ผสมของ A (Alpha-amylase), VP (Carbohydrase) และ WX (Endo-xylanase) ผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 โดยนำมาชนิดละ 0.51 กรัม และผสมกับ 1) (พรพรรณ และคณะ, 2554)
- 4) เอนไซม์แอสเคอเรส 1500 ใช้มวล 1.53 กรัม ผสมกับ 1) จากนั้นปรับปริมาตรของเหลวเท่ากับ 10 มิลลิลิตร และนำไปต้มนาน 30 นาที (ดัดแปลงมาจาก สุรีย์ และนพพล, 2552)

3.5.2.2 หลังจากการย่อยทุก 24 และ 48 ชั่วโมง ให้ทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 2 มิลลิลิตร ในขั้นตอนที่ 1 – 3 แล้วนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาทีนาน 5 นาที แยกของเหลวใสออกนำของเหลวปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองไนลอน ขนาดรูเปิด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีแบบของเหลวความดันสูง (HPLC)



รูปที่ 3.5.1: แผนผังการทดสอบสภาวะในการย่อยเมล็ดข้าวโพด

3.5.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นน้ำตาลฟรุคโตสของเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส (glucose isomerase)

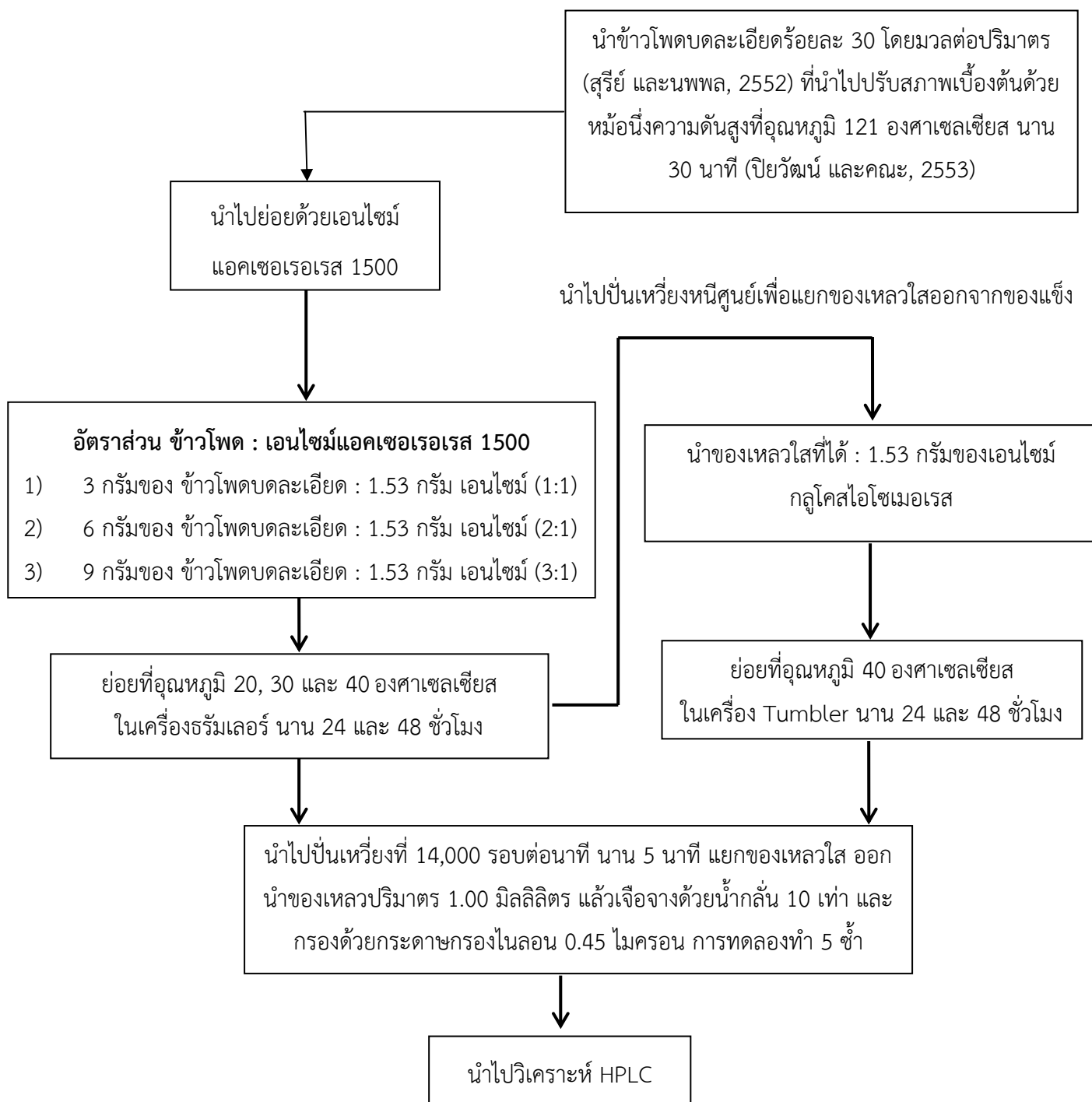
3.5.3.1 การศึกษาผลกระทบระดับค่าพีเอช ต่อเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส เตรียมตัวอย่างโดยนำเนื้อข้าวโพดที่ผ่านการย่อยเบื้องต้นด้วยการนึ่งอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ปริมาณ 3 กรัม ผสมกับสารละลายฟอสเฟตซิเตรทบัฟเฟอร์ ระดับพีเอช 5 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมเอนไซม์ แอคเซอเรส 1500 ปริมาณ 1.53 กรัม จากนั้นจึงนำไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง (อ้างอิงการทดลองในปีที่ 1) แล้วหยุดการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ต่อวัฏดุติด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที (สุคันธรส, 2550) รอให้เย็น จากนั้นจึงปรับระดับค่าพีเอช ด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ให้มีระดับค่าพีเอช ที่ 5, 6 และ 7 เติมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ทำปฏิกิริยาด้วยสภาวะเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจึงให้ความร้อนเพื่อหยุดการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ดังวิธีข้างต้น เก็บตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที ($2,822 \times g$) เป็นเวลา 15 นาที ดูดของเหลวใสแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า ก่อนนำไปกรองผ่านกระดาษฟิลเตอร์ ขนาดรูเปิด 0.45 ไมโครเมตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีแบบของเหลวความดันสูง จากนั้นนำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ไปคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำตาลโดยใช้สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน แต่ละการทดลองทำ 5 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) ขนาด 1 ชุดการทดลองทดลอง $\times$ 3 ระดับค่าพีเอช $\times$ 5 ซ้ำ = 15 สิ่งทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คัดเลือกสภาวะที่ให้น้ำตาลฟรุคโตสสูงที่สุด เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.5.3.2 การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส เตรียมตัวอย่างดังการทดลองที่ 1) เติมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส 1.5 กรัม ใช้สภาวะพีเอช ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้จากการศึกษาในขั้นตอนที่ 1) จากนั้นนำของเหลวที่ได้ไปย่อยในเครื่องธรมเลอร์ ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาจึงหยุดการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที (สุคันธรส, 2550) รอให้เย็นแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีแบบของเหลวความดันสูง เพื่อหาความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตส ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) ขนาด 1 ชุดการทดลอง $\times$ 3 อุณหภูมิ $\times$ 5 ซ้ำ = 15 สิ่งทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คัดเลือกสภาวะที่ให้น้ำตาลฟรุคโตสสูงที่สุด เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.5.3.3 การศึกษาระดับความเข้มข้นของเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสที่เปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุคโตสให้ได้สูงสุดในสภาวะที่เหมาะสม ทดสอบระดับของความเข้มข้นของเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสที่ 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ในการเปลี่ยนสารละลายน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 30 กรัม



ต่อลิตร ให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุคโตสให้ได้สูงสุด ในสารละลายฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์พีเอช 5 แล้วนำไปทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า เมื่อครบตามเวลาจึงหยุดการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที (สุคันธรส, 2550) รอให้เย็น แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยตามข้อ 3.5.3.2



รูปที่ 3.5.2: แผนผังการทดสอบเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลฟรุคโตส

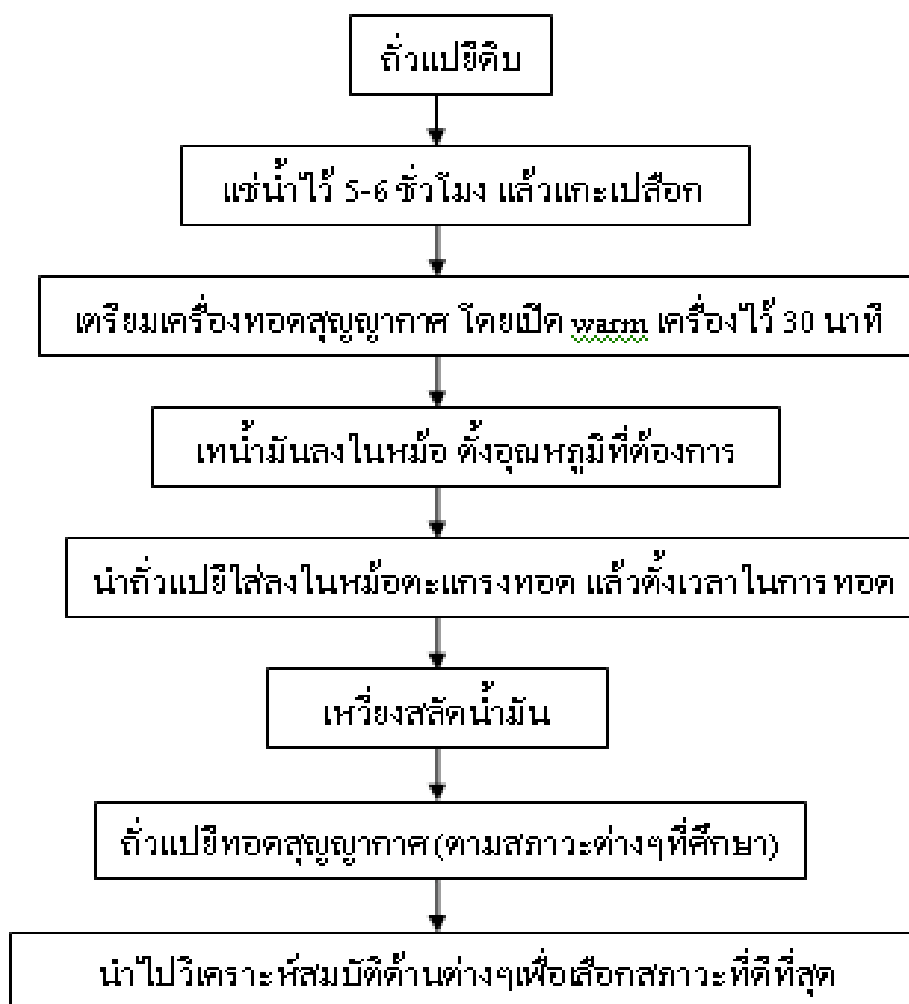
3.5.4 การศึกษาวิธีการทำบริสุทธิ์น้ำเชื่อมกลูโคสฟรุคโตสเบื้องต้น

3.5.4.1 การศึกษาปริมาณผงถ่าน (decolorizing powder, activated carbon) ที่เหมาะสมต่อการลดค่าสีของสารละลายกลูโคสฟรุคโตส นำตัวอย่างสารละลายกลูโคสฟรุคโตสที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนที่ 5.1 มาทำให้บริสุทธิ์ โดยผสมกับผงถ่าน (decolorizing powder, activated carbon) ร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยมวลต่อปริมาตร เพื่อดูดซับสีและกลิ่น กวนผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แยกผงถ่านออกด้วยการกรอง แล้วนำของเหลวที่ได้แช่ในเรซิน อัตราส่วน 1:1 (ของเหลว : เรซิน) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองแยกเรซินออก และนำของเหลวที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ 5,000 รอบต่อนาที ($2,822 \times g$) นาน 15 นาที ดูดส่วนใสเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล และค่าสี ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) ขนาด 1 ชุดทดลอง $\times$ 4 ความเข้มข้นของถ่าน $\times$ 5 ซ้ำ = 20 สิ่งทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คัดเลือกสถานะที่สามารถลดสีของสารละลายกลูโคสฟรุคโตสได้สูงที่สุด

3.5.4.2 การศึกษาทำน้ำเชื่อมกลูโคสฟรุคโตสเข้มข้น (ดัดแปลงจากวิธีการของพัทตร์ประไพ , 2546) โดยการนำสารละลายกลูโคสฟรุคโตสที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.1 มาทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 55 องศาบริกซ์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าสี และความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสด้วยเครื่อง HPLC ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) ขนาด 1 ชุดทดลอง $\times$ 1 อุณหภูมิในการระเหย $\times$ 5 ซ้ำ = 5 สิ่งทดลอง

3.6 การทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากถั่วแปยีเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต

3.6.1 การศึกษาสภาวะต่างๆในการทอดถั่วแปยีด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ เตรียมวัตถุดิบโดยการนำถั่วแปยีดิบแช่น้ำทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาแกะเปลือกด้านนอกและซังน้ำหนัก จากนั้นเตรียมเครื่องทอดสุญญากาศโดยการเปิดวอร์มเครื่องไว้ 30 นาที เทน้ำมันปาล์มลงในหม้อสำหรับใส่น้ำมันแล้วตั้งอุณหภูมิที่ต้องการ เมื่ออุณหภูมิถึงตามที่ต้องการแล้ว ซังถั่วแปยี 500 กรัมแล้วใส่ลงในหม้อตะแกรงสำหรับทอด จากนั้นปิดฝาหม้อตะแกรงแล้วนำไปใส่เครื่องทอดสุญญากาศโดยผันแปร 3 ระดับของอุณหภูมิ (120, 135 และ 150 องศาเซลเซียส) และเวลา (10, 20 และ 30 นาที) วางแผนการทดลองแบบ 32 Factorial in Completely Randomized Design เมื่อกระบวนการทอดสิ้นสุดจะมีกระบวนการเหวี่ยงน้ำมันออกจากถั่วที่ทอดแล้วซึ่งใช้เวลา 15 นาทีการทดลองจะทอดสภาวะละ 2 ซ้ำ จากนั้นนำถั่วแปยีที่ทอดแล้วไปวิเคราะห์ทางด้านเคมี ด้านกายภาพ การทดสอบด้านประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษา



รูปที่ 3.6.1: แสดงขั้นตอนในการศึกษาสภาวะในกระบวนการทอดถั่วแปยีด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ



3.6.2 ศึกษาผลของการทอดถั่วแปยี่ที่สภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 3.6.1 ด้วยเครื่องทอดสุญญากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ถั่วแปยี่ทอดสุญญากาศ

3.6.2.1 หลังจากการทอดถั่วด้วยเครื่องสุญญากาศแล้วจะทำการแบ่งถั่วบางส่วนเพื่อมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพต่างๆ ได้แก่ วัดค่าปริมาณความชื้น (AOAC.2000) วัดค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) การวิเคราะห์สมบัติด้านกายภาพ เช่น การวัดค่าสี (L a b) การวัดคุณลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Instron และวิเคราะห์ด้านเคมีแบบ approximate analysis โดยวัดปริมาณโปรตีนและไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธีเคลดาล์ (Kjeldahl Method : AOAC, 2000) ปริมาณไขมันโดยใช้เครื่องซอล์เทค (AOAC,2000) ปริมาณเถ้า(AOAC, 2000) และการหาค่าความหืนโดยวิธีการวิเคราะห์หาค่า Thiobarbituric acid (TBA) (Buege and Aus,1978) ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ทั้งหมดแสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 3.6.1: อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทดลอง

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (°c)	เวลา	นาที
1	120	1	0
2	120	2	0
3	120	3	0
4	135	1	0
5	135	2	0
6	135	3	0
7	150	1	0
8	150	2	0
9	150	3	0

3.6.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วแปยี่ทอดสุญญากาศแต่ละสิ่งทดลองทำการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design ทดลอง 3 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ศึกษามี 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ และ เวลา วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติทั้งหมดและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' New Multiple Rang test

3.6.2.3 การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บต่อสมบัติทางเคมีด้านการเกิดกลิ่นหืนและทางกายภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ถั่วแปยี่ที่ผ่านการทอดสุญญากาศในแต่ละสภาวะ บางส่วนจะถูกนำมาแบ่งใส่ถุงฟรอยด์ที่มีสมบัติกันแสงและความชื้นโดยปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Vacuum pack) เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งแบ่งเป็น 4 ช่วงด้วยกัน คือ 0 วัน (วันแรกที่ทำทอด) 7 วัน 15 วัน และ 30 วัน เมื่อครบกำหนดตามระยะเวลาที่ทำการเก็บรักษาแล้วจะนำถั่วแปยี่ทอดสุญญากาศแต่ละสภาวะมาทำการ



วิเคราะห์ทางด้านเคมีโดยจะวิเคราะห์เฉพาะค่าความหืนด้วยวิธีการวิเคราะห์หาค่า Thiobarbituric acid (TBA) (Buege and Aus,1978) และด้านกายภาพจะวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Instron (Material testing machines Instron : Model 5565)

3.6.2.4 วิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วแปยีทอดสุญญากาศทุกสิ่งทดลองที่ผ่านการเก็บในแต่ละช่วง โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design ทดลอง 3 ซ้ำ โดยมี 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ เวลา และระยะเวลาการเก็บรักษา วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติทั้งหมดและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' New Multiple Rang test

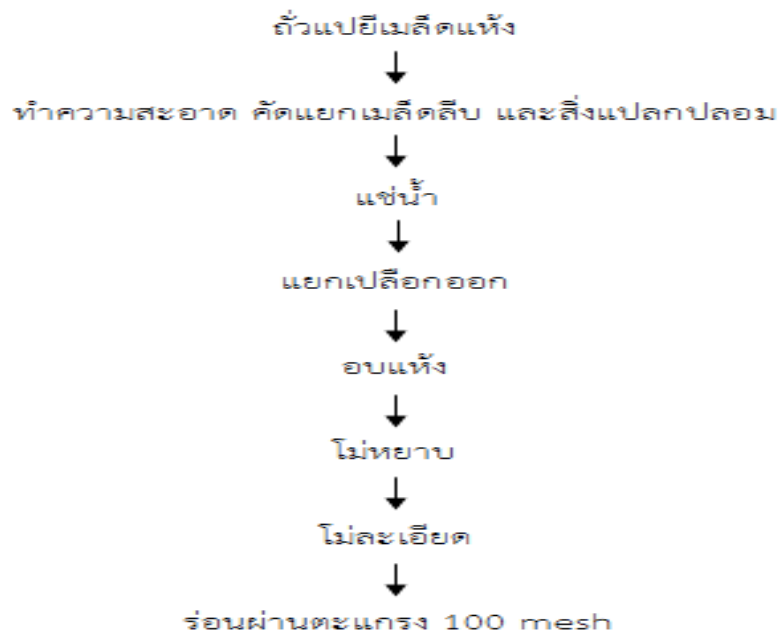
3.6.2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส ตัวอย่างถั่วแปยีทอดสุญญากาศแต่ละสภาวะจะถูกแบ่งออกมาใส่ลงในถุงพลาสติก ถุงละ 5 กรัม ซึ่งถุงจะเขียนรหัสเป็นตัวเลข 3 ตัวต่อตัวอย่างถั่วแปยีทอดแต่ละสภาวะ แล้วทำการทดสอบชิมโดยใช้ผู้ทดสอบชิมซึ่งเป็นนักศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่จำนวน 30 คน ผู้ชิมต้องประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสในลักษณะต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม โดยประเมินคุณภาพโดยการทดสอบแบบ 9 Point Hedonic scale ซึ่งผู้ชิมจะประเมินค่าออกมาเป็นคะแนนตามสเกลที่กำหนด (9=ชอบมากที่สุด, 8=ชอบมาก, 7=ชอบปานกลาง, 6=ชอบเล็กน้อย, 5=เฉยๆ, 4=ไม่ชอบเล็กน้อย, 3=ไม่ชอบปานกลาง, 2=ไม่ชอบมาก, 1=ไม่ชอบมากที่สุด) นอกจากนี้การทดสอบชิมทำการทดสอบในช่วงที่ศึกษาผลของระยะการเก็บของถั่วแปยีทอดสุญญากาศแต่ละช่วงอีกด้วย

3.6.2.6 วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Block Design โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ อุณหภูมิในการทอด เวลาในการทอด และระยะเวลาในการเก็บรักษา วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติทั้งหมดและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' New Multiple Rang test และ Pair t-test

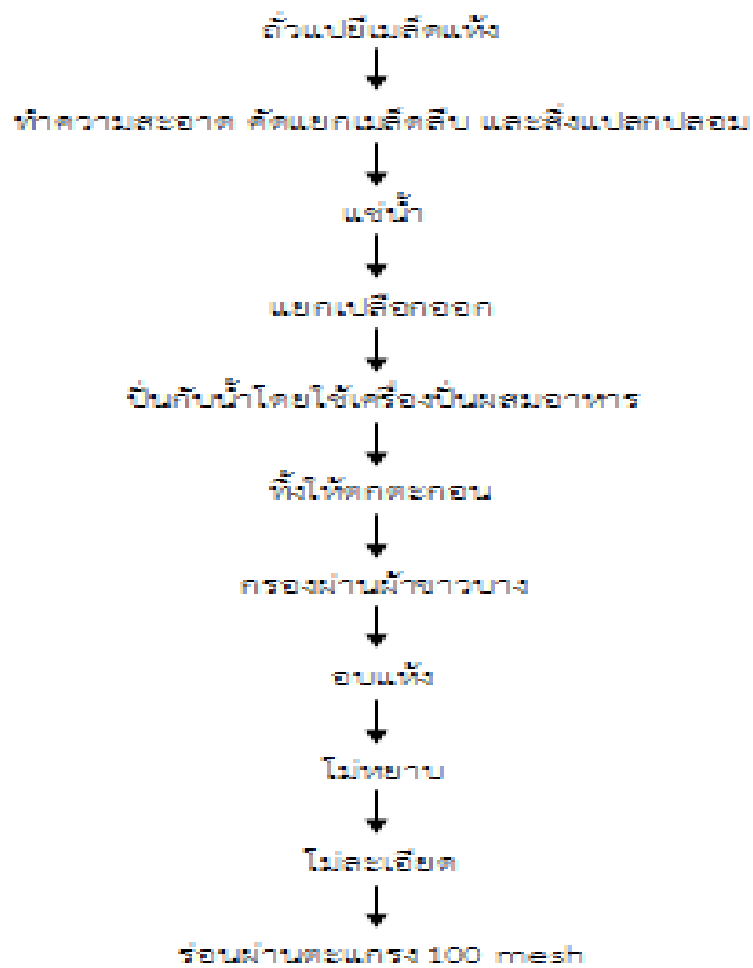
3.6.3 การศึกษาวิธีการผลิตแป้งถั่วแปยีที่เหมาะสม

3.6.3.1 การผลิตแป้งถั่วแปยีโดยการโม่แห้ง ทำการผลิตแป้งถั่วแปยีโดยนำถั่วมาคัด ทำความสะอาด แขน้ำในอัตราส่วนน้ำหนักถั่วต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 แกะเปลือกออก นำไปอบแห้งจนถั่วมีความชื้นลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 10-12 จากนั้นนำไปโม่โดยใช้เครื่องบดแบบค้อน และโม่ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

3.6.3.2 การผลิตแป้งถั่วแปยีโดยการโม่เปียก ทำการผลิตแป้งถั่วแปยีโดยนำถั่วมาคัด ทำความสะอาด แขน้ำในอัตราส่วนน้ำหนักถั่วต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 แกะเปลือกออก นำไม่กับน้ำโดยใช้เครื่องปั่นผสมอาหาร ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองผ่านผ้าขาวบาง นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนแป้งมีความชื้นลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 10-12 จากนั้นนำไปโม่หยาบโดยใช้เครื่องบดแบบค้อน และโม่ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช



รูปที่ 3.6.2: ขั้นตอนการผลิตแป่งตัวแปยี่โดยการม่แห้ง



รูปที่ 3.6.3: ขั้นตอนการผลิตแป่งตัวแปยี่โดยการม่เปียก



3.6.3.3 วางแผนการทดลองแบบ Completed Randomized Design โดยศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาในการแช่ถั่ว คือ 6 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบแห้ง คือ 50 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส (สำหรับการไม่แห้ง) และสัดส่วนของถั่วต่อน้ำที่ใช้ในการไม่เปียก 2 ระดับ คือ 1:4 และ 1:8 (สำหรับการไม่เปียก)

ตารางที่ 3.6.2: การแปรผันปัจจัย ในการผลิตแป้งถั่วแปยี

สูตรที่	ปัจจัยที่ศึกษา		
	ระยะเวลาแช่ถั่ว (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ แห้ง (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วน ถั่วต่อน้ำ
ไม่แห้ง			
1) แช่ 6 ชม. / อบ 50 องศาเซลเซียส	6	50	-
2) แช่ 6 ชม. / อบ 70 องศาเซลเซียส	6	70	-
3) แช่ 12 ชม. / อบ 50 องศาเซลเซียส	12	50	-
4) แช่ 12 ชม. / อบ 70 องศาเซลเซียส	12	70	-
ไม่เปียก			
1) แช่ 6 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:4	6	-	1:4
2) แช่ 6 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:8	6	-	1:8
3) แช่ 12 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:4	12	-	1:4
4) แช่ 12 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:8	12	-	1:8

3.6.3.4 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพ

- 1) คุณสมบัติทางกายภาพ
 - 1.1) ค่าสี
 - 1.2) ค่าความหนืด (RVA)
 - 1.3) คุณสมบัติทางเคมี (AOAC, 2000)
 - 1.4) ค่าความเป็นกรด-ด่าง
 - 1.5) กรดทั้งหมด
 - 1.6) ความชื้น
 - 1.7) เถ้า
 - 1.8) โปรตีน
 - 1.9) ไขมัน

- 1.10) คาร์โบไฮเดรต
- 1.11) อะไมโลส
- 2) คุณสมบัติทางหน้าที่ (Deshpande *et al*, 1982)
 - 2.1) การดูดน้ำ
 - 2.2) การดูดน้ำมัน
 - 2.3) การเกิดเจล
- 3) นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หามาวิเคราะห์ผลทางสถิติ Analysis of Variance

และหาความแตกต่างทางสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ SPSS 17.0

3.6.4 การแปรรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้แป้งถั่วแปยเป็นส่วนผสม นำแป้งถั่วแปยมาใช้แปรรูปผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยใช้สูตรต้นแบบที่ดัดแปลงจากสูตรของพนิดา (2555) ทดแทนแป้งสาลีที่เป็นส่วนผสมหลักในปริมาณเท่ากับร้อยละ 10, 20 และ 30 ของแป้งในสูตร ดังตารางที่ 3.6.3 วางแผนการทดลองแบบ Completed Randomized Design ทำการผลิต และทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัส รวมทั้งประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale และให้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 30 คน จากนั้นนำสูตรที่ได้รับการคัดเลือกมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

ตารางที่ 3.6.3: ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตคุกกี้

ส่วนผสม	สูตรต้นแบบ	ปริมาณแป้งถั่วแปยที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในสูตร		
		10%	20%	30%
แป้งสาลีตราบัวแดง (กรัม)	200	180	160	140
แป้งถั่วแปย (กรัม)	0	20	40	60
เนยสดแช่เย็น (กรัม)	150	150	150	150
น้ำตาลทราย (กรัม)	120	120	120	120
ไข่ไก่ (ฟอง)	1	1	1	1
น้ำ (กรัม)	12.5	12.5	12.5	12.5
เกลือ (กรัม)	3	3	3	3
ผงฟู (กรัม)	3	3	3	3
วานิลลาผง (กรัม)	2	2	2	2



3.6.5 การศึกษาวิธีการผลิตถั่วแปยี่ถั่วสนุนไพโร

3.6.5.1 การคัดเลือกวิธีแปรรูปถั่วแปยี่ นำถั่วแปยี่ที่ผ่านการแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมงมาแกะเปลือกออก แล้วนึ่งในรังถึงเป็นเวลา 40 นาที จากนั้นนำมาแปรรูปให้สุกกรอบโดยใช้ 2 วิธี คือ การคั่วด้วยเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และการทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที เปรียบเทียบกับถั่วที่ไม่ผ่านการนึ่ง วางแผนการทดลองแบบ Completed Randomized Design (CRD) ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี และค่าความแข็ง (hardness)

3.6.5.2 ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคั่วถั่วแปยี่กับสนุนไพโร นำถั่วแปยี่ที่ผ่านการคัดเลือกจากตอนที่ 1 โดยเลือกวิธีการแปรรูปที่ทำให้ถั่วสุกกรอบและมีค่าความแข็งน้อยที่สุด มาคั่วร่วมกับสนุนไพโรทอด 3 ชนิด ได้แก่ ใบมะกรูด กระเทียมจีน และพริกชี้ฟ้าแดง โดยนำสนุนไพโรแต่ละชนิดมาล้างทำความสะอาด แล้วผึ่งให้แห้ง ใบมะกรูด ฉีกเป็นสองส่วนตามแนวเส้นกลางใบ ทอดพอกรอบ กระเทียม ผานเป็นแผ่นบาง ทอดพอให้มีเหลืองทองไม่ถึงกับกรอบ พริกชี้ฟ้าแห้งเด็ดขั้วออกทอดพอกรอบ แล้วหักให้เป็นท่อนๆ ทำการผลิตโดยดัดแปลงจากสูตรที่มีส่วนผสมดังนี้ ถั่วแปยี่ที่ผ่านการแปรรูป 180 กรัม ใบมะกรูดทอด 11.3 กรัม กระเทียมจีนทอด 6.5 กรัม พริกชี้ฟ้าแดงทอด 2.2 กรัม และเกลือ 2 กรัม ทำการผลิตโดยศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการคั่วถั่วกับสนุนไพโรเท่ากับ 150 และ 180 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 5 และ 10 นาที ใช้เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟคั่วให้กลิ่นรสจากน้ำมันสนุนไพโรคลุกเคล้าเข้ากันกับถั่ว วางแผนการทดลองแบบ Completed Randomized Design วิธีการคั่วนำถั่วแปยี่และสนุนไพโรทอดทั้ง 3 ชนิด ใส่ลงในเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ ตั้งอุณหภูมิและเวลาตามกำหนดไว้ เมื่อครบเวลานำถั่วคั่วสนุนไพโรมาคลุกกับเกลือป่นในขณะที่ร้อนอยู่ให้เข้ากัน รอให้เย็นจึงเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท ผลิตรสชาติที่ได้นำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีและค่าความแข็ง รวมทั้งประเมินการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่นรสสนุนไพโร ความกรอบ และความชอบรวม เพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale และใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 30 คน

3.6.5.3 ศึกษาหาสัดส่วนของสนุนไพโรที่เหมาะสมในการผลิตถั่วแปยี่ถั่วสนุนไพโรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ใบมะกรูด กระเทียมจีน และพริกชี้ฟ้าแดง ในการแปรรูปถั่วแปยี่ถั่วสนุนไพโร โดยแปรสัดส่วนของสนุนไพโรจากสูตรพื้นฐาน คือ กระเทียมจีนทอดร้อยละ 2.5-4.0 พริกชี้ฟ้าแดงทอด 0.6-1.6% และใบมะกรูดทอดร้อยละ 4.4-6.9 วางแผนการทดลองแบบ Mixture Design ได้จำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 3.6.4

3.6.5.4 แปรรูปถั่วแปยี่ถั่วสนุนไพโรโดยใช้อุณหภูมิและเวลาที่คัดเลือกได้ นำสิ่งทดลองที่ผลิตได้ทั้งหมดไปทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ด้วยแบบทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Susense, Thailand) โดยเสิร์ฟตัวอย่างถั่วสนุนไพโรตัวอย่างละ 8-10 ชิ้น บรรจุในถ้วยชิมที่มีฝาปิด ให้ผู้ทดสอบดื่มน้ำและดมกลิ่นเมล็ดกาแฟคั่วก่อนทดสอบตัวอย่างถัดไป ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ นำไปวิเคราะห์สมการถดถอย (regression analysis) และ



หาจุดที่เหมาะสม (optimaization) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0.2 (Minneapolis, Minnesota) จากนั้นทำการผลิตถั่วแปยี้คั่วสมุนไพรตามสูตรใหม่ที่คำนวณได้จากสมการ และนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต

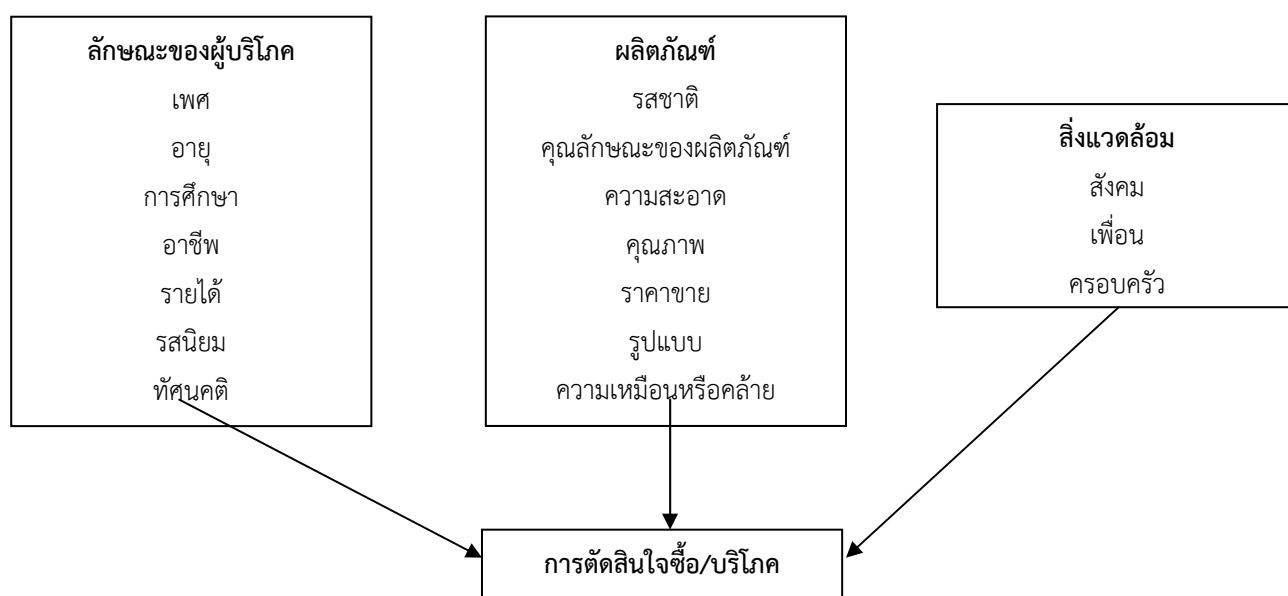
ตารางที่ 3.6.4: ปริมาณกระเทียมจีนทอด พริกชี้ฟ้าแดงทอด และใบมะกรูดทอดสำหรับผลิตถั่วแปยี้คั่วสมุนไพร

สิ่งทดลองที่	กระเทียมจีนทอด (ร้อยละ)	พริกชี้ฟ้าแดงทอด (ร้อยละ)	ใบมะกรูดทอด (ร้อยละ)
1	4.0	1.6	4.4
2	4.0	0.6	5.4
3	3.25	1.1	5.65
4	3.25	1.6	5.15
5	2.5	1.6	5.9
6	2.5	0.6	6.9
7	2.88	8.5	6.28
8	2.5	1.6	5.9
9	4.0	0.6	5.4

3.7 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคเชิงพาณิชย์ในด้านต้นทุน ราคา และรสชาติประสาทสัมผัส

3.7.1 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค และความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อสินค้าเกษตรที่ได้พัฒนาผลิ ตขึ้น มา เพื่อเข้าถึงความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อสินค้าการเกษตรที่ผลิตขึ้นมา ผู้ตอบแบบสอบถามจะถูกคัดเลือก โดยวิธีสุ่มตัวอย่างโดยไม่จำกัดเพศและอายุ แบบสอบถามจะมีการสอบถามข้อมูลเบื้องต้นของผู้ตอบ แบบสอบถาม เช่น เพศ อายุ การศึกษา รายรับ พฤติกรรมการซื้ออาหาร เป็นต้น เพื่อให้สามารถประเมิน คำตอบจากผู้ตอบแบบสอบถามในกลุ่มต่างๆ ให้สอดคล้องกับข้อมูลผลิตภัณฑ์และราคา เช่น รสชาติ ประโยชน์ ราคา มีความเหมาะสมต่อผู้บริโภคหรือไม่ เป็นต้น โดยผู้ตอบแบบสอบถามจะได้เห็นและชิมผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ก่อน จุดประสงค์ของคำถามในส่วนนี้เพื่อที่จะประเมินความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถามในแง่มุมต่าง ๆ เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ นอกจากนี้ยังให้ผู้ตอบแบบสอบถามได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับราคาที่เหมาะสม ของผลิตภัณฑ์หากสินค้านั้นถูกวางจำหน่าย

3.7.2 ออกแบบสอบถามกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ทราบการตอบรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ ตามแบบสอบถามที่จัดทำขึ้นจากกรอบแนวคิดดังนี้



รูปที่ 3.7.1: กรอบแนวคิด

3.7.3 จัดประชุมคณะผู้วิจัยเพื่อคัดเลือกพื้นที่เก็บแบบสอบถามและวางแผนการเก็บแบบสอบถาม
3.7.4 ลงพื้นที่เก็บแบบสอบถามโดยให้ผู้บริโภคได้ลองชิมผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง และตอบแบบสอบถาม
3.7.5 วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามตามวิธีของ White, Case, & Pratt (2010) โดยข้อมูลจากแบบสอบถามจะถูกนำมาประเมินคู่กันกับข้อมูลจากการประเมินต้นทุนเพื่อที่จะคำนวณหาราคาที่เหมาะสมในการวางขาย

3.7.6 สรุปลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูป และผลตอบรับจากผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การทดลองศึกษากระบวนการผลิตผงมะนาวพร้อมดื่มสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม - เมท

4.1.1 ผลของปริมาณน้ำมะนาว ปริมาณน้ำตาลทราย และปริมาณน้ำผึ้งที่มีต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวพร้อมดื่ม

ตารางที่ 4.1.1: คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมะนาวสดพันธุ์พิจิตร 1

องค์ประกอบ	ค่าที่วัดได้
ค่าสี L^*	29.03±0.76
ค่าสี a^*	-2.01±0.32
ค่าสี b^*	0.24±0.16
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	11.69±0.08
ความหนืด (เซนติพอยซ์)	3.39±0.22
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.03±0.00
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	6.88±0.12
ความเป็นกรดต่าง (pH)	2.34±0.02
ปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	6.56±0.13
ปริมาณวิตามินซี (mg/100 ml)	28.27±0.47

ตารางที่ 4.1.2: สัดส่วนส่วนผสมของสูตรน้ำมะนาวพร้อมดื่มตามแผนการทดลองแบบ mixture design (100 กรัม)

สิ่งทดลอง	สูตรที่ 1 (A)	สูตรที่ 2 (B)	สูตรที่ 3 (C)	สูตรที่ 4 (D)	สูตรที่ 5 (E)
น้ำมะนาว (กรัม)	59.70	39.80	59.70	79.60	59.70
น้ำตาลทราย (กรัม)	9.95	29.85	29.85	9.95	19.90
น้ำผึ้ง (กรัม)	29.85	29.85	9.95	9.95	19.90
เกลือ (กรัม)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50



ตารางที่ 4.1.3: คุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวพร้อมดื่ม

สิ่งทดลอง (สูตร)	สี	กลิ่นมะนาว	กลิ่นน้ำผึ้ง	รสเปรี้ยว	รสหวาน	ความชอบ โดยรวม
1	6.16±1.39 ^a	5.72±1.51 ^a	5.60±1.79 ^b	5.66±1.78 ^b	5.44±1.73 ^b	5.80±1.40 ^{bc}
2	6.28±1.71 ^a	5.68±1.42 ^a	6.30±1.7 ^c	5.82±1.80 ^b	5.90±1.85 ^b	6.30±1.48 ^c
3	6.94±1.26 ^b	6.62±1.34 ^b	5.56±1.48 ^b	6.86±1.58 ^c	6.38±1.83 ^c	6.90±1.58 ^d
4	6.44±1.60 ^{ab}	5.52±1.95 ^a	4.28±1.86 ^a	4.18±2.41 ^a	3.42±1.72 ^a	3.74±1.6 ^a
5	6.62±1.46 ^{ab}	5.66±1.72 ^a	5.36±1.79 ^b	5.68±2.16 ^b	5.34±1.99 ^b	5.62±1.71 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่าง
นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.1.4: คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมะนาวพร้อมดื่ม (สูตรที่ 3)

องค์ประกอบ	ค่าที่วัดได้
ค่าสี L^*	25.70±0.80
ค่าสี a^*	-0.61±0.32
ค่าสี b^*	3.67±0.20
ความหนืด (เซนติพอยซ์)	10.00±0.45
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.20±0.00
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	43.25±0.27
ความเป็นกรดต่าง (pH)	2.19±0.01
ปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	6.29±0.82
ปริมาณวิตามินซี (mg/100 ml)	16.83±0.41

ตารางที่ 4.1.5: คุณภาพทางกายภาพและเคมีบางประการของเครื่องต้มน้ำมะนาวสูตรที่ 3

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	ค่าที่วัดได้
ค่าสี L*	25.70±0.80
ค่าสี a*	-0.61±0.32
ค่าสี b*	3.67±0.20
ความหนืด (เซนติพอยด์)	10.00±0.45
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.20±0.00
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	43.25±0.27
ความเป็นกรดต่าง (pH)	2.19±0.01
ปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	6.29±0.82
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	16.83±0.41

4.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาในการตีโฟมที่มีต่อค่าโอเวอร์รัน ความคงตัวและความหนาแน่นของโฟม

4.1.2.1 สมบัติทางกายภาพของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว เมื่อใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิด ก่อให้เกิดโฟม ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1.6 – 4.1.8

ตารางที่ 4.1.6: ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิด โฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น (นาที)	ปริมาณเมทโรเซล (ร้อยละ)				
	0.05	0.33	0.60	0.90	1.17
10	8.28±5.35Bc	90.98±26.25Cb	179.35±1.85Ea	172.61±14.61Da	121.16±22.09Bb
15	40.73±17.68Ac	176.17±3.64Bb	241.35±7.24Da	174.49±20.29Db	161.66±7.89Bb
20	50.37±20.69Ad	191.81±8.95ABc	313.17±9.24Ca	254.16±19.89Cb	254.86±15.93Ab
25	49.53±4.03Ad	209.73±1.21Ac	333.39±2.06Ba	314.69±12.65Ba	255.13±22.22Ab
30	39.73±13.91Ae	213.54±2.55Ad	450.42±19.21Aa	365.28±17.29Ab	290.99±46.66Ac

หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.1.7: ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาทีก) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น (นาทีก)	ปริมาณเมทโรเซล (ร้อยละ)				
	0.05	0.33	0.60	0.90	1.17
10	612.75±21.23Aa	4.90±0.01Ab	6.04±1.52Ab	0.09±0.08Ab	1.08±0.91Ab
15	316.53±1.28Ba	2.74±0.38Bb	1.09±0.55Bc	0.08±0.05Ac	0.99±0.85Ac
20	263.66±0.01Ca	0.78±0.24Cb	0.06±0.08Bc	0.02±0.02Ac	0.01±0.01Ac
25	250.37±0.64Ca	0.36±0.04Db	0.06±0.02Bb	0.02±0.01Ab	0.02±0.01Ab
30	184.02±0.03Da	0.33±0.05Db	0.07±0.03Bc	0.01±0.01Ac	0.00±0.00Ad

- หมายเหตุ:**
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.1.8: ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวโดยใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น (นาทีก)	ปริมาณเมทโรเซล (ร้อยละ)				
	0.05	0.33	0.60	0.90	1.17
10	1.63±0.22Aa	0.89±0.11Ab	0.85±0.05Ab	0.70±0.08Ab	0.75±0.05ABb
15	1.28±0.42ABa	0.69±0.09Bb	0.80±0.06Ab	0.69±0.08Ab	0.81±0.09Ab
20	1.28±0.34ABa	0.72±0.02Bb	0.59±0.06Bb	0.51±0.02Bbc	0.64±0.07BCb
25	1.16±0.73ABa	0.71±0.05Bb	0.55±0.05BCc	0.53±0.06Bc	0.65±0.09BCbc
30	0.89±0.06Ba	0.71±0.05Bb	0.49±0.01Cd	0.51±0.03Bd	0.59±0.04Cc

- หมายเหตุ:**
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



4.1.2.2 สมบัติทางกายภาพของโฟม เมื่อใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1.9 – 4.1.11

ตารางที่ 4.1.9: ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น (นาที)	ปริมาณ GMS (ร้อยละ)				
	5	10	15	20	25
10	1.45±0.72Bc	1.01±0.63Dc	71.69±2.55Ba	65.34±0.74Ab	66.84±1.21Ab
15	6.29±4.63Ad	38.22±9.09Cc	78.86±15.81ABa	60.57±3.09Ab	43.99±10.71Bbc
20	7.59±0.16Ad	103.59±0.81Ab	106.97±3.22Aa	36.11±0.56Bc	34.37±1.09BCc
25	8.81±1.24Ab	97.17±13.00ABa	71.61±32.11Ba	34.61±5.19BCb	30.10±6.73Cb
30	9.56±1.55Ad	84.53±2.91Ba	47.92±1.00Bb	30.81±1.03Cc	28.94±0.14Cc

หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.1.10: ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น (นาที)	ปริมาณ GMS (ร้อยละ)				
	5	10	15	20	25
10	73.55±1.28Aa	68.95±0.27Ab	12.07±0.06Ac	0.46±0.01Dd	0.24±0.10Cd
15	72.37±2.95Aa	26.19±5.53Bb	9.32±0.19Bc	1.11±0.19Cd	0.32±0.09Cd
20	70.89±5.52Aa	7.34±6.41Cb	0.02±0.02Db	1.94±0.07Bb	0.57±0.01ABb
25	69.02±2.38Aa	3.16±2.28Cb	0.47±0.08Cb	2.07±0.09Bb	0.65±0.12Ab
30	70.85±5.38Aa	0.71±0.85Cb	0.30±0.05Cb	2.99±0.01Ab	0.49±0.22Bb

หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ตารางที่ 4.1.11: ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น (นาที)	ปริมาณ GMS (ร้อยละ)				
	5	10	15	20	25
10	2.62±0.09Aa	2.39±0.11Ab	1.62±0.04Ac	1.74±0.06Bc	1.35±0.07Bd
15	2.42±0.22ABa	1.78±0.12Bb	1.53±0.50Ab	1.82±0.12Bb	1.79±0.09Ab
20	2.36±0.05Ba	1.27±0.13Cd	1.29±0.17Ad	2.07±0.12Ab	1.87±0.05Ac
25	2.37±0.07Ba	1.26±0.24Cc	1.47±0.19Ac	2.08±0.05Ab	1.89±0.10Ab
30	2.36±0.09Ba	1.23±0.26Ac	1.66±0.09Ac	2.09±0.09Ab	1.89±0.10Abc

หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.2.3 สมบัติทางกายภาพของโฟม เมื่อใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1.12 – 2.1.14

ตารางที่ 4.1.12: ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น (นาที)	ปริมาณของอัลบูมินจากไข่ (ร้อยละ)				
	0.5	5.5	10.5	15.5	20.5
10	11.13±2.47Ad	90.59±4.52Cc	85.25±6.89Cc	158.00±9.66Aa	104.85±11.38Ab
15	5.23±0.83Bc	99.87±15.96BCb	94.94±10.14Cb	152.67±12.75ABa	103.82±21.99Ab
20	6.49±1.52Bd	108.35±1.59ABc	175.93±6.83Ba	150.51±5.08ABb	101.29±2.53ABc
25	4.42±1.18Be	112.53±8.81ABc	178.90±11.94Ba	139.75±8.52BCb	88.00±13.04ABd
30	3.18±2.13Bd	123.46±0.71Ab	203.08±6.96Aa	133.01±3.13Cb	74.44±14.64Bc

หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ตารางที่ 4.1.13: ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

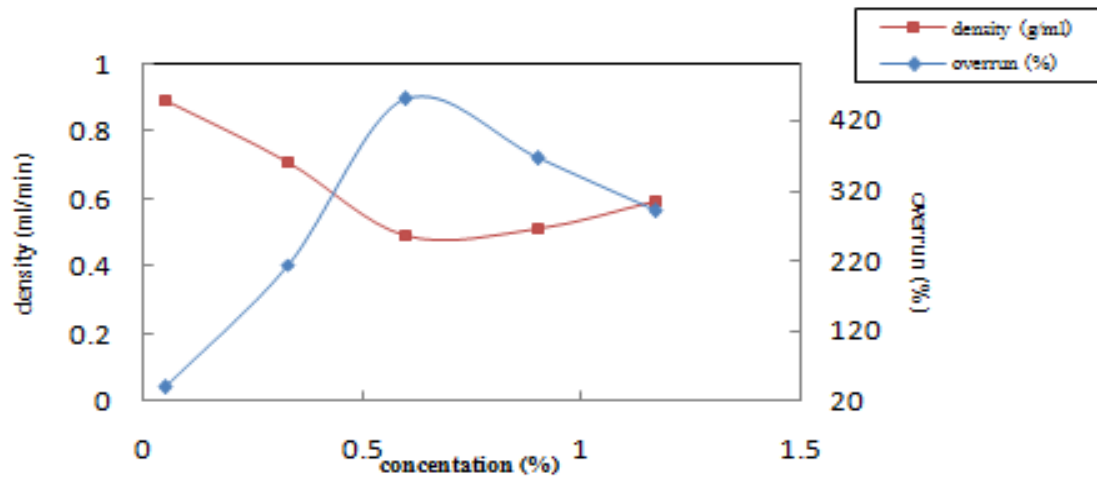
เวลาที่ใช้ตีปั่น (นาที)	ปริมาณของอัลบูมินจากไข่ (ร้อยละ)				
	0.5	5.5	10.5	15.5	20.5
10	71.56±3.34Da	1.49±0.00Ab	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab
15	83.43±3.48Da	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab
20	118.34±2.89Ca	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab
25	142.88±28.99Ba	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab
30	188.08±0.14Aa	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab	0.00±0.00Ab

หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

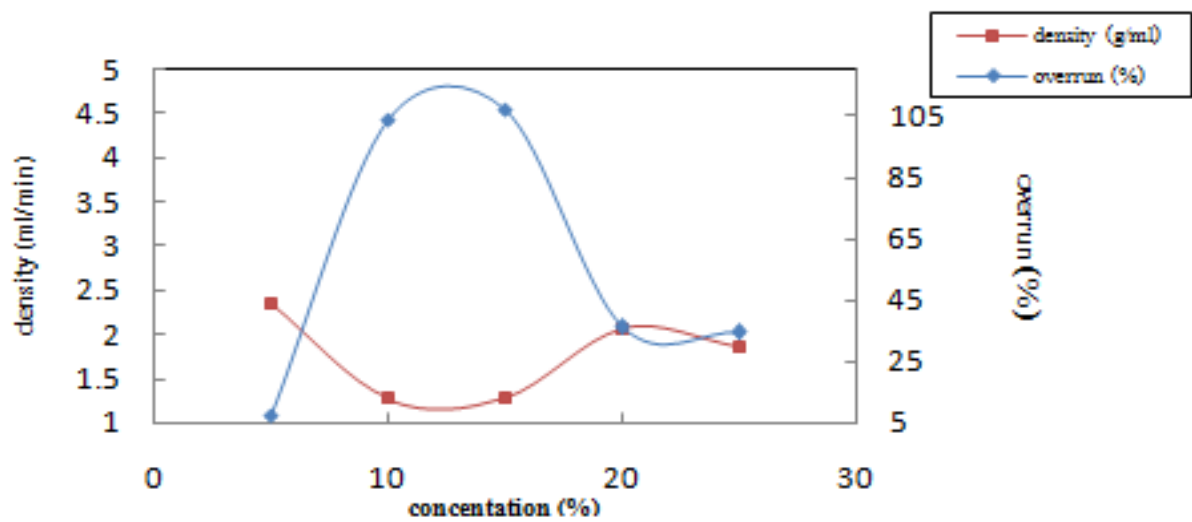
ตารางที่ 4.1.14: ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น (นาที)	ปริมาณของอัลบูมินจากไข่ (ร้อยละ)				
	0.5	5.5	10.5	15.5	20.5
10	2.25±0.09BCa	1.18±0.05Ac	1.13±0.04Acd	1.05±0.04Cd	1.33±0.07Cb
15	2.23±0.19Ca	1.17±0.13Abc	1.06±0.26Ac	1.22±0.04Bbc	1.47±0.14BCb
20	2.44±0.03Ba	0.93±0.02Bd	0.79±0.02Be	1.22±0.06Bc	1.61±0.01BCb
25	2.32±0.06BCa	0.91±0.08Bd	0.78±0.02Be	1.33±0.04Ac	1.67±0.09Ab
30	2.75±0.05Aa	0.89±0.05Bd	0.77±0.04Bc	1.36±0.02Ac	1.69±0.06Ab

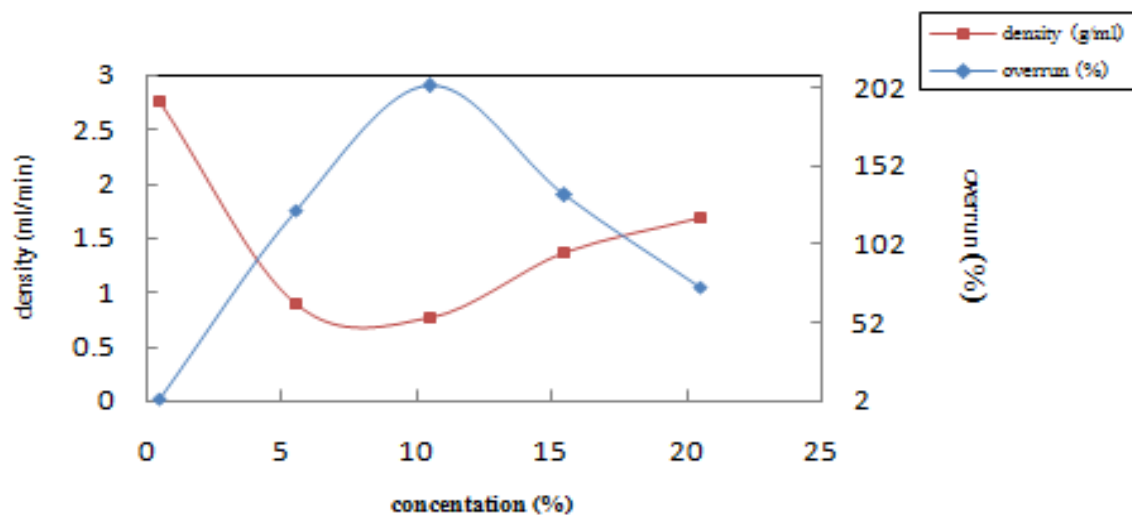
หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



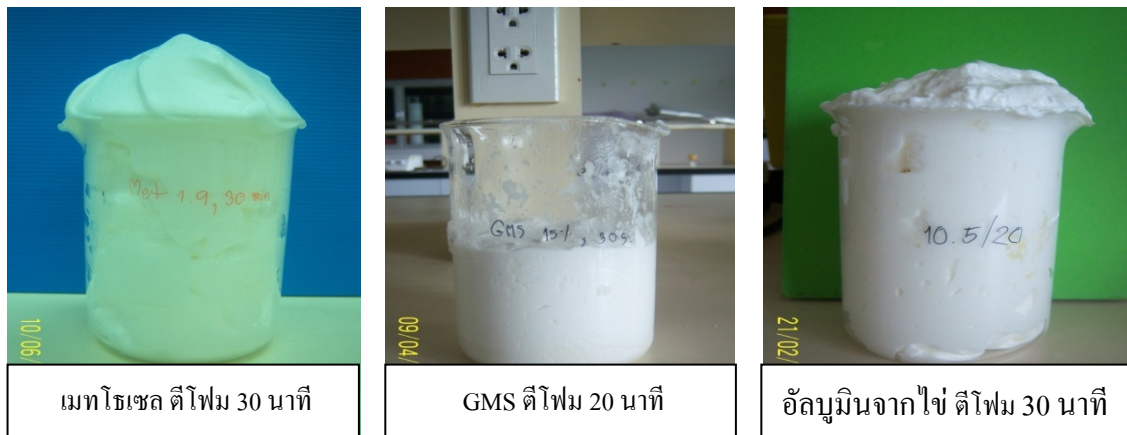
(a)



(b)



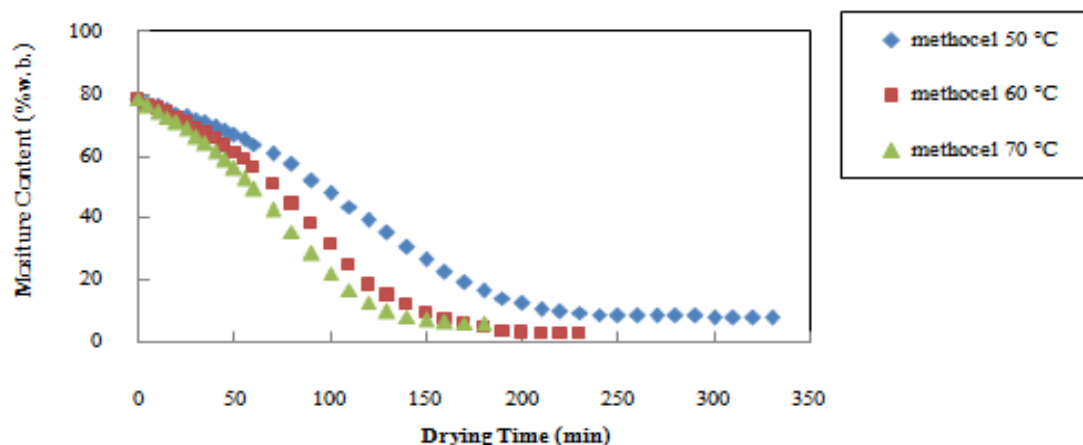
(c)



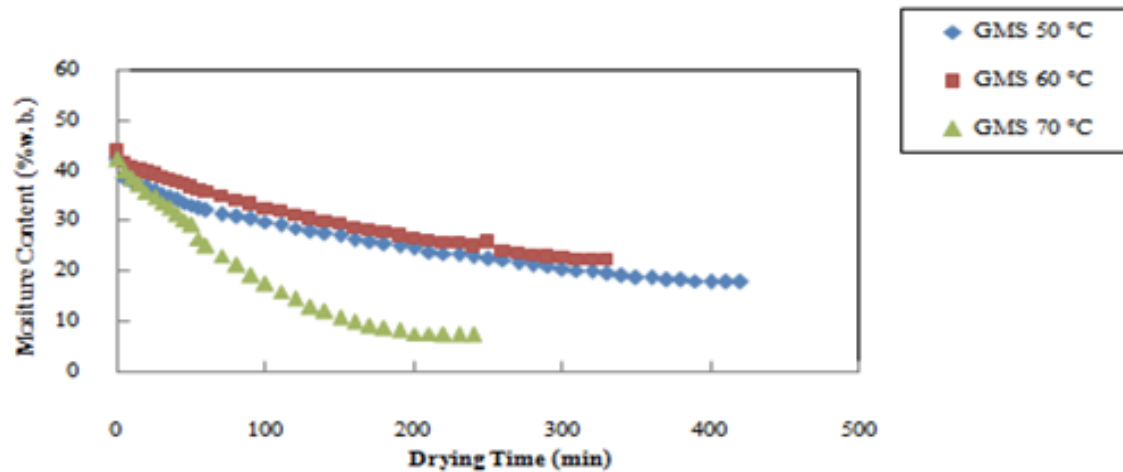
(d)

- รูปที่ 4.1.1:
- (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟมที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม
 - (b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม
 - (c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟมที่ใช้ อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม
 - (d) ลักษณะของโฟมหลังการตีปั่นของสารก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ เมทโรเซล GMS และอัลบูมินจากไข่

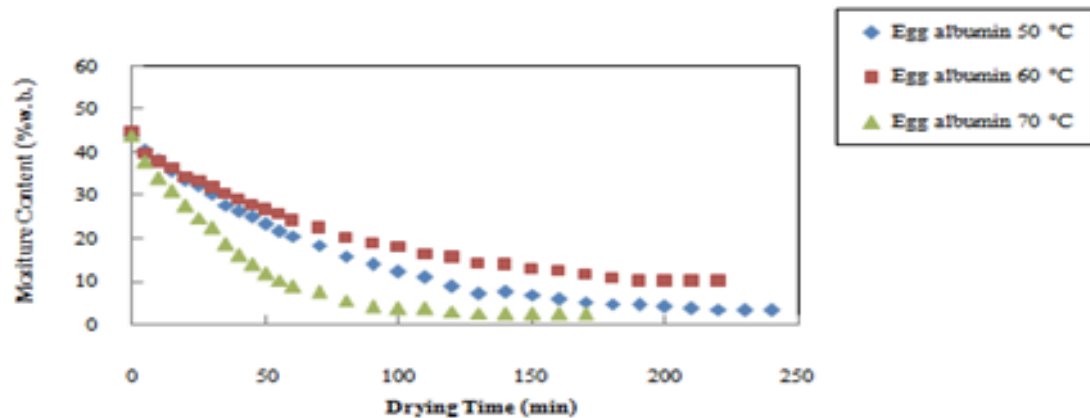
4.1.3 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องตีน้ำมะนาวที่อุณหภูมิร้อนต่างๆ



- รูปที่ 4.1.2:
- การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องตีน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นก่อให้เกิดโฟมและอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

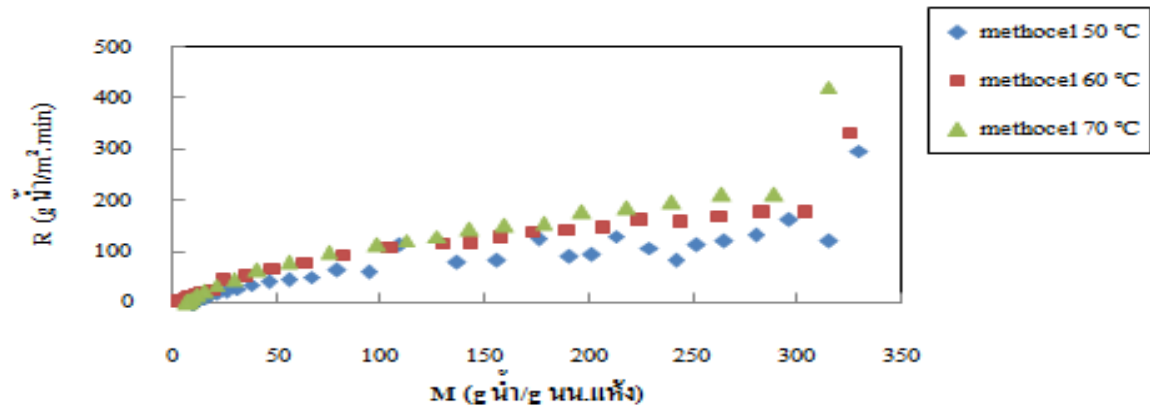


รูปที่ 4.1.3: การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโคม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

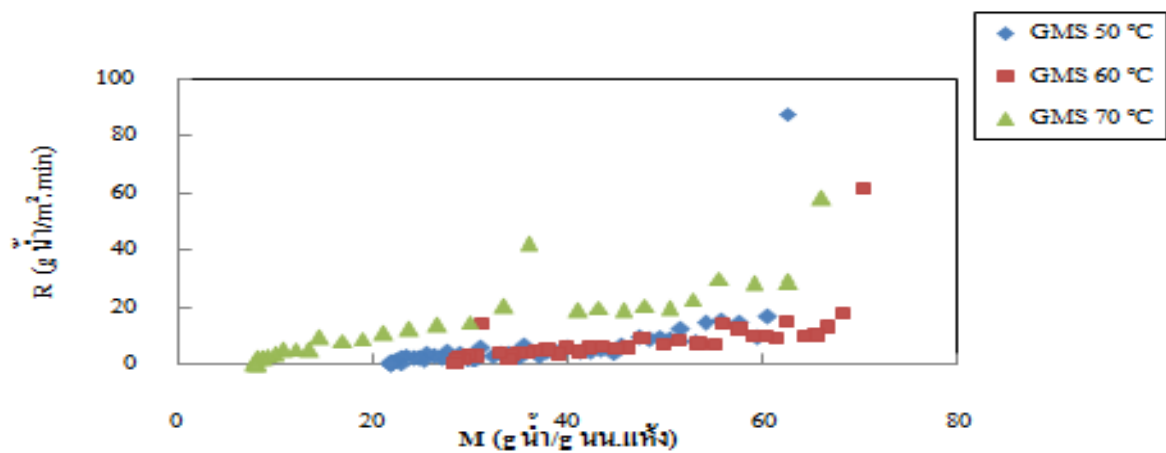


รูปที่ 4.1.4: การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโคม และอบแห้งที่อุณหภูมิลม 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

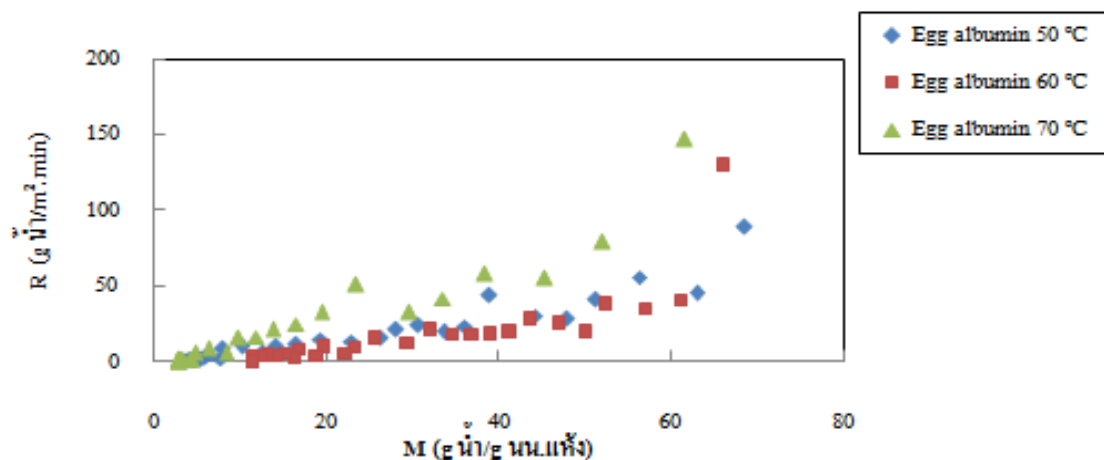
จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า การอบแห้งโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวมีระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้น เพราะมีอัตราการลดความชื้นที่สูง ซึ่งลักษณะกราฟจะมีความชันและจะสังเกตได้ว่าการลดความชื้นของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวจะอยู่ในช่วงอัตราการต่ำลง (Falling rate) ดังแสดงในรูปที่ 4.1.5 – 4.1.7



รูปที่ 4.1.5: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1.6: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส



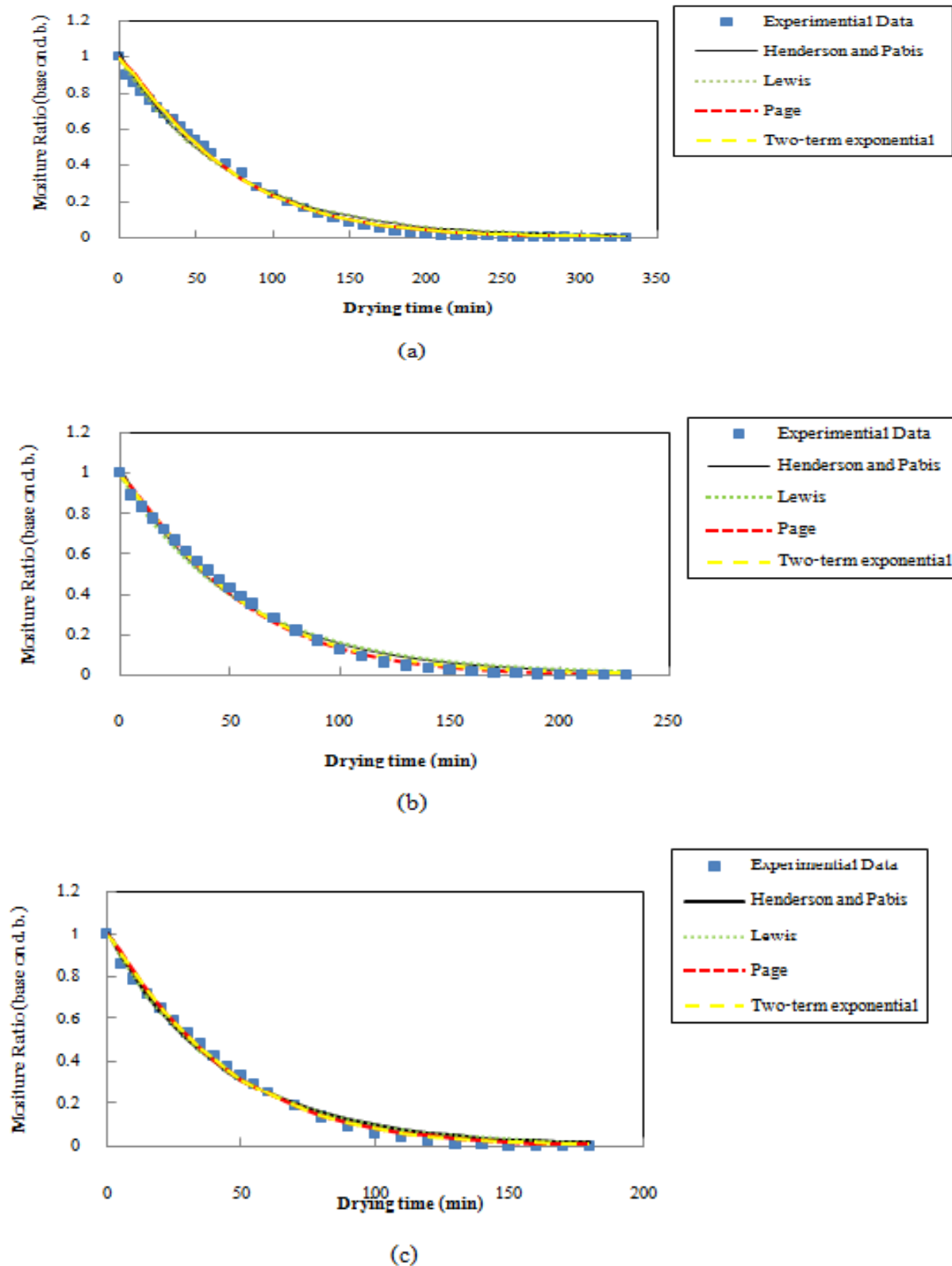
รูปที่ 4.1.7: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟมและอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

4.1.4 จลนพลศาสตร์การอบแห้งของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว

4.1.4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลอง จากการนำโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาวไปอบแห้ง และการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโฟม ตลอดระยะเวลาการทำแห้งจนน้ำหนักคงที่ เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (MR) ตามสมการที่ (3.1) เพื่อหาแบบจำลองที่ใช้ทำนายผลการอบแห้งของโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ค่าคงที่และพารามิเตอร์ต่างๆของการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งใช้สมการของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term exponential พบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการอบแห้งโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาว ให้ค่าคงที่ของแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1.15 - 3.1.17 ซึ่งมีการแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ RMSE, R²adj และ χ^2 ที่ได้จากสมการแต่ละสมการ

ตารางที่ 4.1.15: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

อุณหภูมิ (°C)	แบบจำลอง	สมการ	RMSE	R ² adj	χ^2
50	Henderson and Pabis	MR = 1.0238 exp(-0.0144t)	0.03009	0.9908	0.00095
		MR = exp(-0.014t)	0.03101	0.9904	0.00099
	Lewis Page Two – term exponential	MR = exp(-0.007t1.1555)	0.02130	0.9954	0.00048
		MR = 1.6613exp(-0.0184t) + (1 – 1.6613) exp(-0.0184*1.6613t)	0.02028	0.9958	0.00043
60	Henderson and Pabis	MR = 1.0279 exp(-0.0190t)	0.02855	0.9915	0.00087
		MR = exp(-0.0184t)	0.02992	0.9910	0.00093
	Lewis Page Two – term exponential	MR = exp(-0.0095t1.1613)	0.01853	0.9964	0.00037
		MR = 1.6703exp(-0.0243t) + (1 – 1.6703) exp(-0.0243*1.16703t)	0.01885	0.9960	0.00033
70	Henderson and Pabis	MR = 1.0103 exp(-0.0232t)	0.02538	0.9928	0.00070
		MR = exp(-0.0230t)	0.02560	0.9930	0.00068
	Lewis Page Two – term exponential	MR = exp(-0.0153t1.1053)	0.02028	0.9954	0.00045
		MR = 1.5846exp(-0.0287t) + (1 – 1.5846) exp(-0.0287*1.5846t)	0.01885	0.9960	0.00039

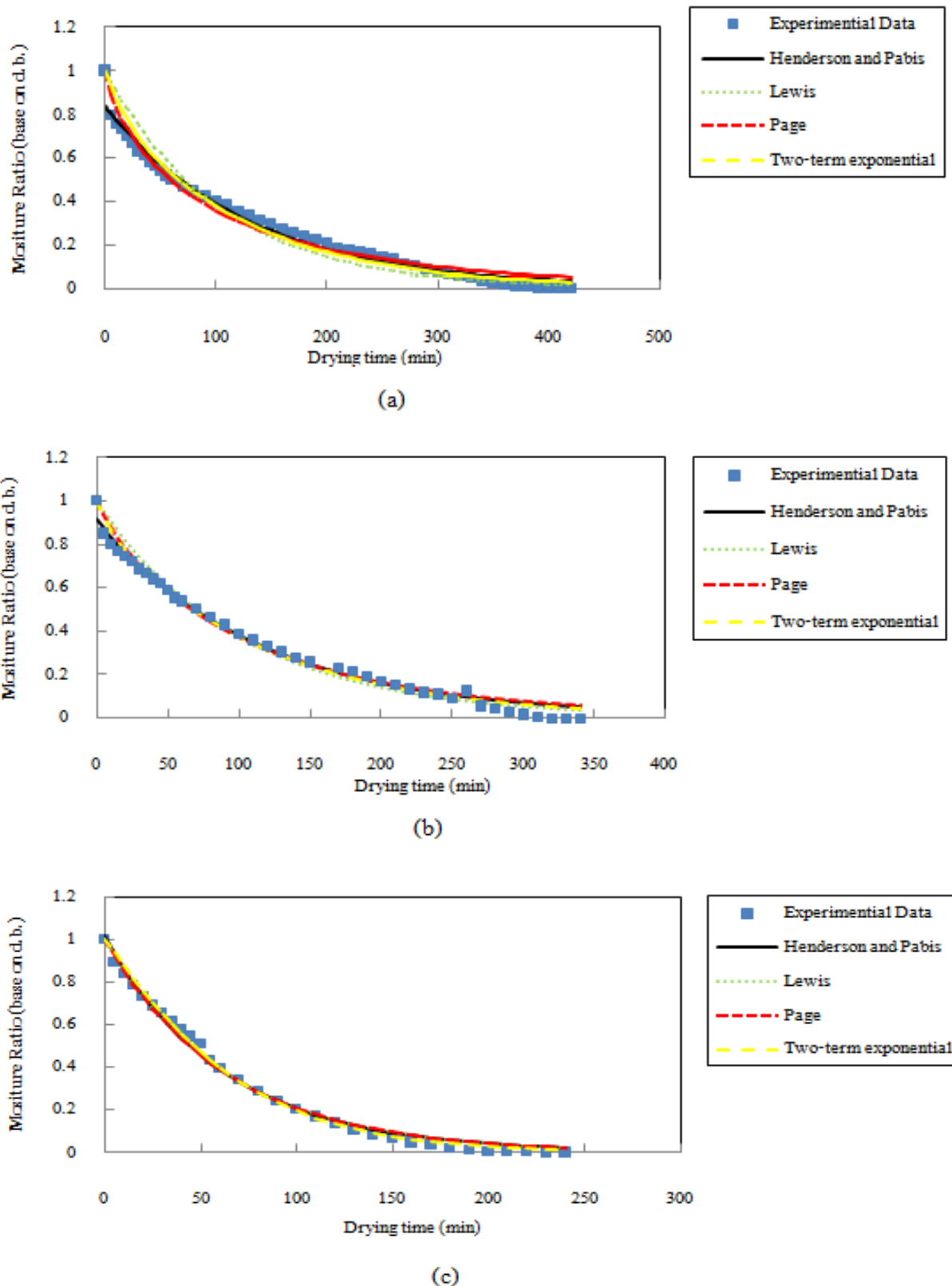


รูปที่ 4.1.8: การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้เมทิลเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ตารางที่ 4.1.16: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง
โพมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

อุณหภูมิ (°C)	แบบจำลอง	สมการ	RMSE	R ² adj	χ^2
50		MR = 0.8369 exp(-0.0077t)	0.03429	0.9819	0.00262
	Henderson and	MR = exp(-0.0096t)	0.06519	0.9360	0.00434
	Pabis Lewis Page	MR = exp(-0.0350t0.7326)	0.03793	0.9779	0.00150
	Two – term	MR = 0.1562exp(-0.0515t) + (1	0.04371	0.9706	0.00199
	exponential	– 0.1562) exp(-0.0515*0.1562t)			
60		MR = 0.9192 exp(-0.0088t)	0.02810	0.9899	0.00083
	Henderson and	MR = exp(-0.0098t)	0.04071	0.9794	0.00170
	Pabis Lewis Page	MR = exp(-0.0172t0.8813)	0.03406	0.9852	0.00122
	Two – term	MR = 0.0852exp(-0.1033t) + (1	0.02928	0.9891	0.00090
	exponential	– 0.0852) exp(-0.1033*0.0852t)			
70		MR = 1.0140 exp(-0.0159t)	0.02762	0.9920	0.00082
	Henderson and	MR = exp(-0.0157t)	0.02802	0.9920	0.00081
	Pabis Lewis Page	MR = exp(-1.1145t0.0097)	0.02144	0.9951	0.00049
	Two – term	MR = 1.6042exp(-0.0199t) + (1	0.02001	0.9958	0.00043
	exponential	– 1.6042) exp(-0.0199*1.6042t)			

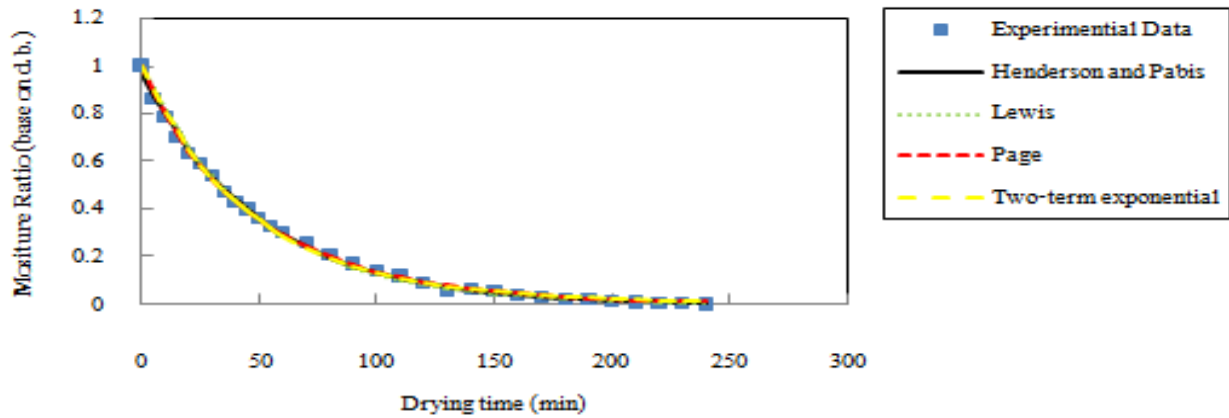


รูปที่ 4.1.9: การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโคมเครื่องตีน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

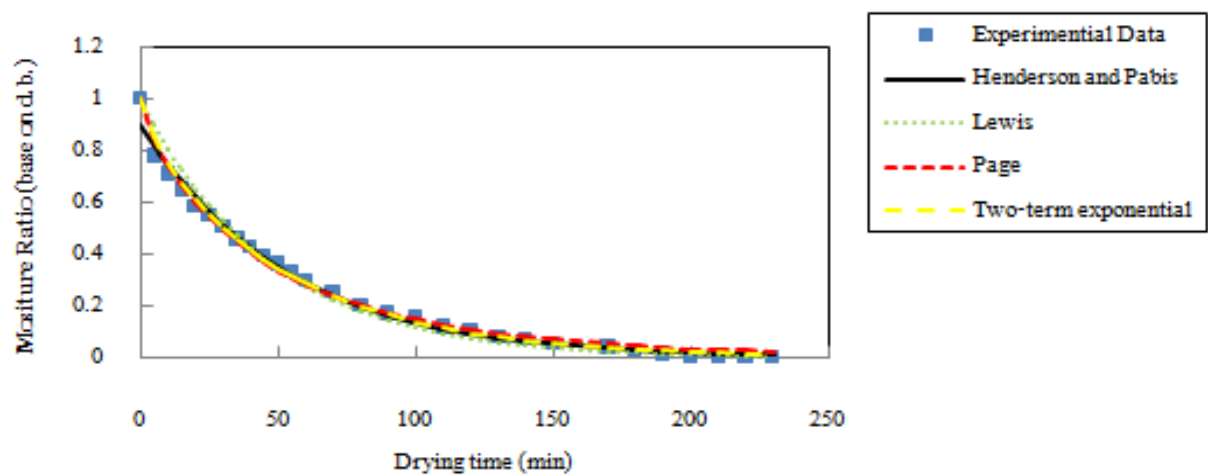


ตารางที่ 4.1.17: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง
โคมเครื่องต้มน้ำมันาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโคม

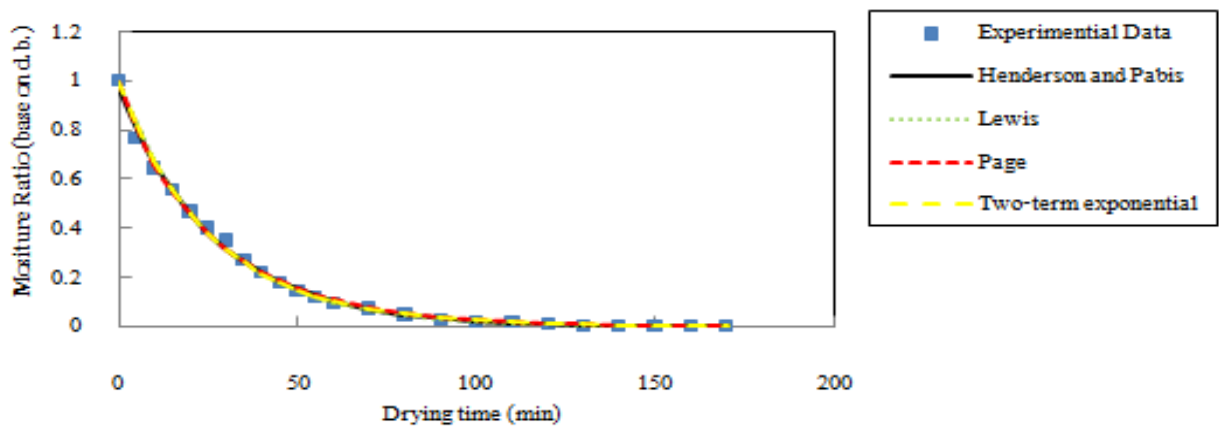
อุณหภูมิ (°C)	แบบจำลอง	สมการ	RMSE	R ² adj	χ^2
50	Henderson and Pabis Lewis Page Two – term exponential	MR = 0.9647 exp(-0.0199t)	0.01082	0.9985	0.00013
		MR = exp(-0.0208t)	0.01510	0.9972	0.00024
		MR = exp(-0.0273t0.9308)	0.01039	0.9986	0.00012
		MR = 0.5592exp(-0.0272t) + (1	0.01345	0.9977	0.00019
		– 0.5592) exp(-0.0272*0.5592t)			
60	Henderson and Pabis Lewis Page Two – term exponential	MR = 0.9012 exp(-0.0189t)	0.02450	0.9914	0.00064
		MR = exp(-0.0215t)	0.03897	0.9791	0.00157
		MR = exp(-0.0448t0.8148)	0.02256	0.9927	0.00055
		MR = 0.1353exp(-0.1354t) + (1	0.02076	0.9939	0.00046
		– 0.1353) exp(-0.1354*0.1353t)			
70	Henderson and Pabis Lewis Page Two – term exponential	MR = 0.9693 exp(-0.0370t)	0.01394	0.9973	0.00021
		MR = exp(-0.0382t)	0.01633	0.9965	0.00028
		MR = exp(-0.0469t0.9407)	0.01416	0.9972	0.00022
		MR = 0.6609exp(-0.0443t) + (1	0.01605	0.9964	0.00028
		– 0.6609) exp(-0.0443*0.6609t)			



(a)



(b)



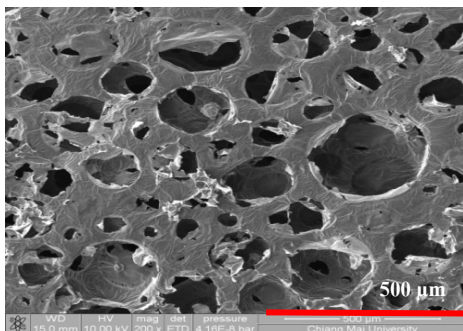
(c)

รูปที่ 4.1.10: การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อลูมิเนียมจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

4.1.5 ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาว

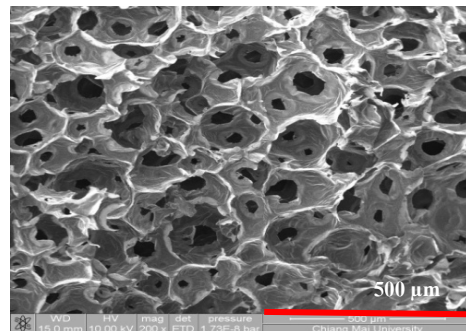
เมื่อนำโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีโฟม-เมท ตามสภาวะที่ได้นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยจะอบแห้งตามระยะเวลาที่ได้นำมาตีปั่นโฟมใหม่อีกครั้ง เมื่อตีปั่นโฟมเสร็จให้นำโฟมที่ได้มาอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาด การอบแห้งตามระยะเวลาที่ได้ จากนั้นนำโฟมที่แห้งแล้วออกมาชุดเพื่อให้หลุดออกจากถาด แล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกไม่ต้องบดเก็บไว้ในลักษณะแบบแผ่นเพื่อไปส่องดูลักษณะของรูพรุน และส่วนที่สองนำไปบดให้เป็นผงเพื่อนำผงที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสทั้งก่อนและหลังการขงละลาย โดยแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ ได้ดังนี้

4.1.5.1 ลักษณะของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวหลังจากอบแห้งแล้ว แต่ยังไม่ได้ทำการบดเป็นผงเมื่อได้โฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ผ่านการอบแห้งในอุณหภูมิต่างๆ ที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกันแล้ว จากนั้นนำไปส่องดูด้วยเครื่องโฟกัส ไอออนบีม (Focused Ion Beam) กำลังขยาย 200X เพื่อดูลักษณะของรูพรุนของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1.11 – 4.1.13



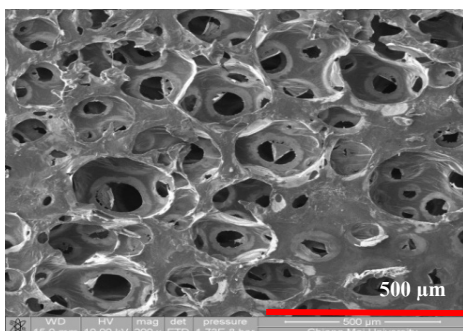
(a)

ผิวหน้า methocel 50 องศาเซลเซียส



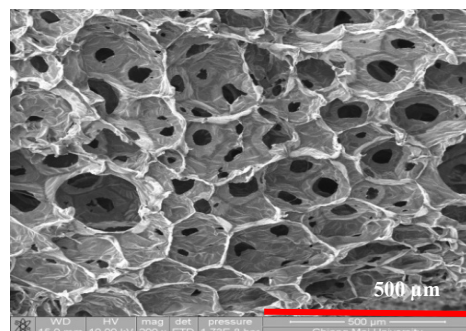
(b)

ภาคตัดขวาง methocel 50 องศาเซลเซียส



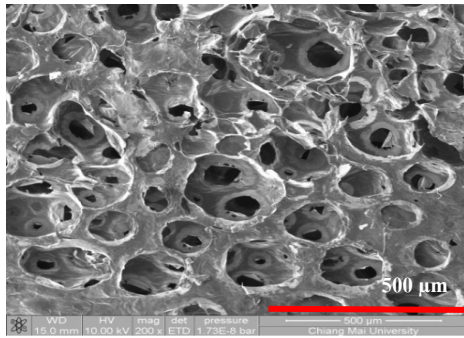
(c)

ผิวหน้า methocel 60 องศาเซลเซียส

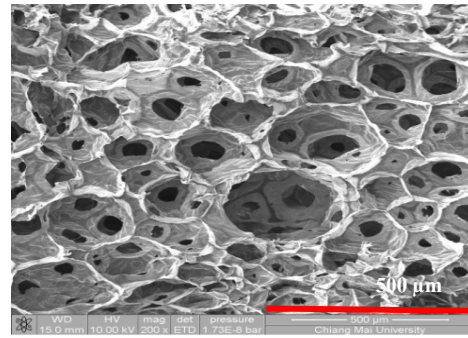


(d)

ภาคตัดขวาง methocel 60 องศาเซลเซียส



(e)

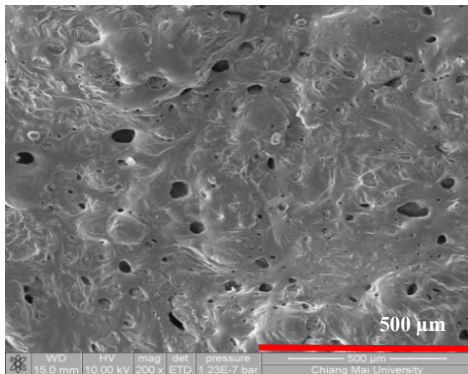


(f)

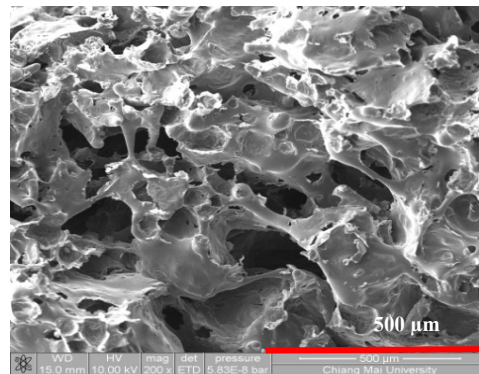
ผิวหน้า methocel 70 องศาเซลเซียส

ภาคตัดขวาง methocel 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.1.11: ลักษณะของรูปพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาคตัดขวางของโพรที่ไซเมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโพร อบแห้งในอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200X)



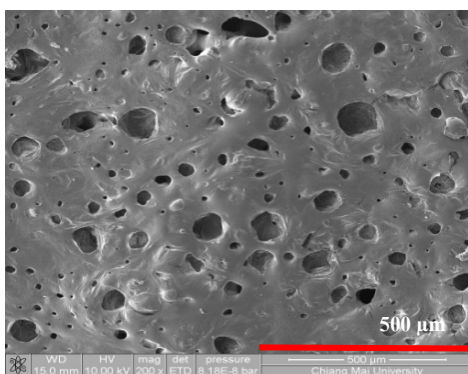
(a)



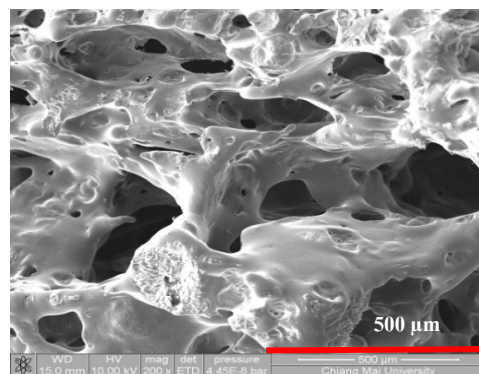
(b)

ผิวหน้า GMS 50 องศาเซลเซียส

ภาคตัดขวาง GMS 50 องศาเซลเซียส



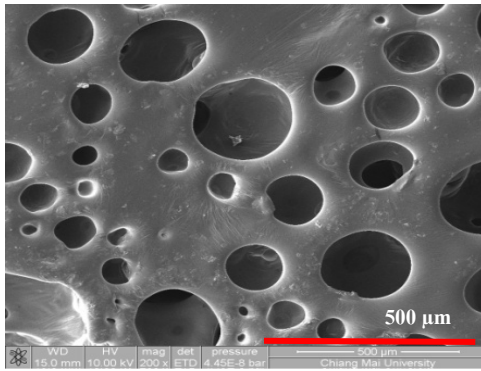
(c)



(d)

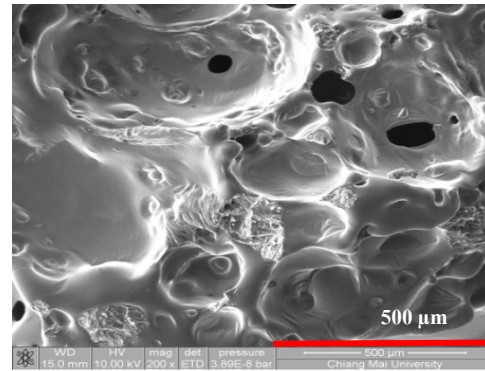
ผิวหน้า GMS 60 องศาเซลเซียส

ภาคตัดขวาง GMS 60 องศาเซลเซียส



(e)

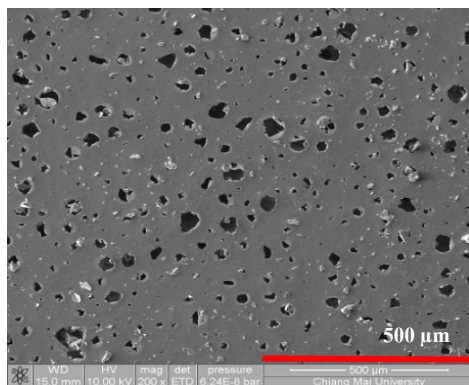
ผิวหน้า GMS 70 องศาเซลเซียส



(f)

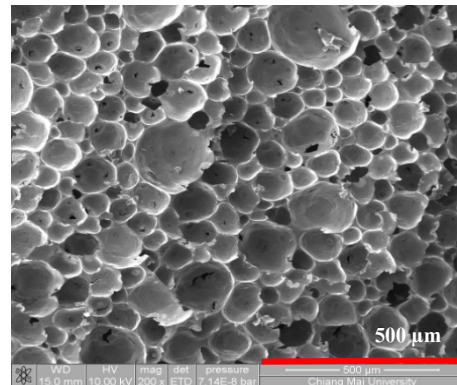
ภาคตัดขวาง GMS 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.1.12: ลักษณะของรูพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาคตัดขวางของโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิด โฟม อบแห้งในอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200X)



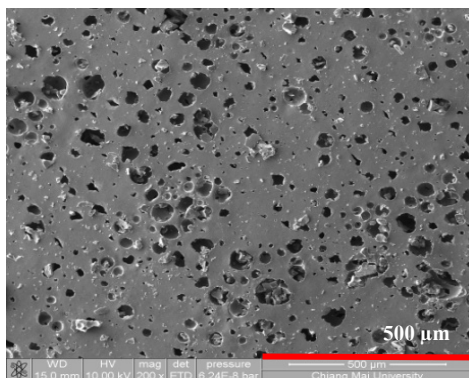
(a)

ผิวหน้า egg albumin 50 องศาเซลเซียส



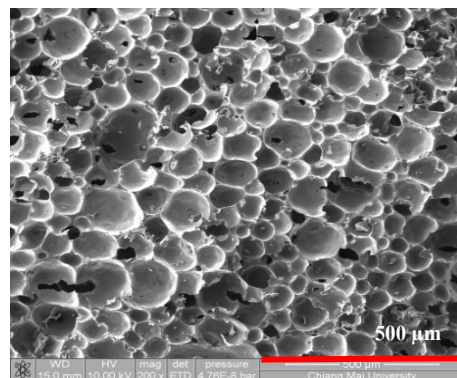
(b)

ภาคตัดขวาง egg albumin 50 องศาเซลเซียส



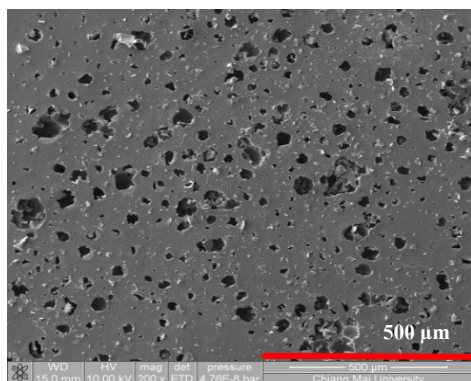
(c)

ผิวหน้า egg albumin 60 องศาเซลเซียส

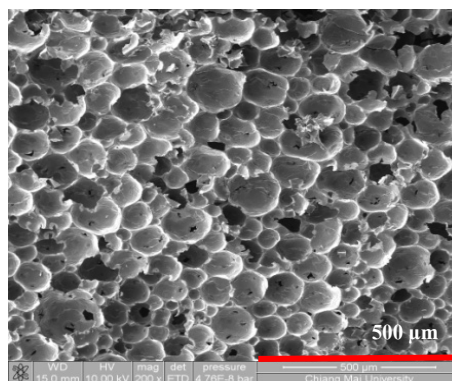


(d)

ภาคตัดขวาง egg albumin 60 องศาเซลเซียส



(e)



(f)

ผิวหน้า egg albumin 70 องศาเซลเซียส ภาควัตถว egg albumin 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.1.13: ลักษณะของรูพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาควัตถวของโฟมที่ใช้ของอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม อบแห้งในอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200X)

4.1.5.2 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง ก่อนการขงละลาย นำโฟมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่แห้งแล้วมาบดให้เป็นผงจากนั้นนำเครื่องต้มน้ำมะนาวผง ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.18

ตารางที่ 4.1.18: คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง ก่อนการขงละลาย

คุณภาพทางกายภาพ และเคมี	อุณหภูมิ (°C)	สารก่อให้เกิดโฟม		
		เมทโรเซล (0.60% w/w)	GMS (15%w/w)	อัลบูมินจากไข่ (10.5%w/w)
ค่าสี				
L*	50	87.11±0.79bA	87.82±0.25bA	88.89±0.29aA
	60	85.63±0.97bAB	87.16±0.85bA	88.73±0.14aB
	70	83.38±2.79bB	87.55±0.17aA	88.55±0.29aB
a*	50	-0.78±0.03bC	-0.26±0.05aB	-0.91±0.03cC
	60	-0.46±0.04bB	-0.25±0.05aB	-0.25±0.06aA
	70	0.23±0.22aA	-0.09±0.06bA	-0.58±0.11cB
b*	50	6.26±0.61cB	7.18±0.19bC	9.53±0.09aB
	60	6.06±0.32bB	8.39±0.03aB	8.56±0.20aC
	70	7.68±0.54cA	14.81±0.37aA	10.59±0.25bA

ตารางที่ 4.1.18 (ต่อ): คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง ก่อนการขงละลาย

คุณภาพทางกายภาพ และเคมี	อุณหภูมิ (°C)	สารก่อให้เกิดโฟม		
		เมทโรเซล (0.60% w/w)	GMS (15%w/w)	อัลบูมินจากไข่ (10.5%w/w)
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	50	16.74±0.51aA	11.85±0.21bA	11.89±0.43Ba
	60	15.46±0.24aB	10.25±0.07bB	7.73±0.17cC
	70	15.31±0.22aB	12.39±0.54bA	9.15±0.57cB
aw	50	0.23±0.22bA	0.27±0.01aB	0.27±0.01aB
	60	0.18±0.01cB	0.31±0.00aA	0.29±0.00bA
	70	0.16±0.03cB	0.26±0.00aC	0.24±0.01bC
ขนาดอนุภาค (µm)	50	58.82±0.73bB	75.57±0.47aB	48.58±0.26cA
	60	58.59±0.38bB	74.74±1.59aB	48.53±0.38cA
	70	60.39±0.38bA	88.06±0.78aA	39.05±0.28cB

หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.5.3 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง เมื่อใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.1.18

4.5.1.4 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง เมื่อใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 3.1.17

4.1.5.5 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง เมื่อใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้ อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.1.18

4.1.5.6 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง หลังการขงละลาย นำเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงมาทำการขงละลาย โดยนำเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงละลายในอัตราส่วน ผง:น้ำ คือ 1:3 ในน้ำอุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ทำการคนจนเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง ละลายจนหมด จากนั้นนำ



เครื่องต้มน้ำมะนาวที่ละลายเรียบร้อยแล้วไปวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.19

ตารางที่ 4.1.19: คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง หลังการขงละลาย

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	อุณหภูมิ (°C)	สารก่อให้เกิดโฟม		
		เมทโรเซล (0.60% w/w)	GMS (15%w/w)	อัลบูมินจากไข่ (10.5%w/w)
ค่าสี				
L*	50	26.47±0.19cA	61.84±0.49aA	53.16±1.78bB
	60	26.32±0.29cA	60.96± 0.50aA	55.82± 0.82bAB
	70	25.85±0.63bA	55.85±0.69aB	57.61±1.34aA
a*	50	-0.45±0.19aA	-1.54±0.03bA	-2.79±0.27cA
	60	-0.31±0.03aA	-1.64±0.07bA	-2.81±0.06cA
	70	-0.33±0.06aA	-1.59±0.11bA	-2.51±0.04cA
b*	50	1.94±0.13bB	0.74±0.12bB	4.94±2.15aA
	60	2.15±0.17aAB	2.08±0.45aA	0.32±0.67bB
	70	2.84±0.59bA	1.17±0.44cB	6.16±0.63aA
ความสามารถในการคืนรูป (ร้อยละ)	50	94.84±1.49aA	77.77±1.44cAB	82.63±0.34bB
	60	94.39±0.57aA	76.00±0.00cB	87.00±2.65bA
	70	95.79±0.55aA	79.24±0.67bA	81.25±2.64bB
ความหนืด (เซนติพอยด์)	50	18.34±1.26aA	12.50±1.00bA	18.00±0.50aA
	60	17.67±0.77aA	10.17±1.53bB	16.67±0.29aB
	70	18.34±0.77aA	12.67±0.29bA	13.17±0.29bC
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	50	1.11±0.01aA	1.08±0.01bA	1.11±0.00aA
	60	1.11±0.00aA	1.07±0.00cB	1.09±0.00bB
	70	1.11±0.01aA	1.08±0.01bA	1.09±0.01aB
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	50	27.00±0.20aA	20.20±0.80cB	24.80±0.20bB
	60	26.80±0.20aAB	22.57±0.38cA	25.97±0.06bA
	70	26.54±0.23aB	22.00±1.00cA	25.00±0.20bB
ความเป็นกรดต่าง (pH)	50	2.72±0.05aB	2.68±0.03bA	3.30±0.01aB
	60	2.76±0.05bA	2.22±0.02cB	3.13±0.02aC
	70	2.75±0.03bA	2.68±0.02cA	3.52±0.03aA

ตารางที่ 4.1.19 (ต่อ): คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังการชงละลาย

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	อุณหภูมิ (°C)	สารก่อให้เกิดโฟม		
		เมทโรเซล (0.60% w/w)	GMS (15% w/w)	อัลบูมินจากไข่ (10.5% w/w)
ปริมาณกรดทั้งหมด	50	1.86±0.05aB	1.26±0.06bC	1.79±0.09aA
ซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	60	2.16±0.30aAB	1.39±0.04bB	1.38±0.05bB
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ100 มิลลิลิตร)	70	2.47±0.11aA	1.51±0.03bA	1.30±0.05cB
	50	1.12±0.24cA	1.45±0.07bA	3.72±0.11aA
	60	1.12±0.24aA	1.60±0.53aA	1.25±0.31aB
	70	1.40±0.24bA	2.17±0.41aA	1.32±0.22cB

- หมายเหตุ:
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.5.7 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังการชงละลายที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.1.19

4.1.6 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

เมื่อทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ดังที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงมาทำการชงละลาย และนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale คุณลักษณะด้านสี กลิ่นมะนาว กลิ่นน้ำผึ้ง รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.20

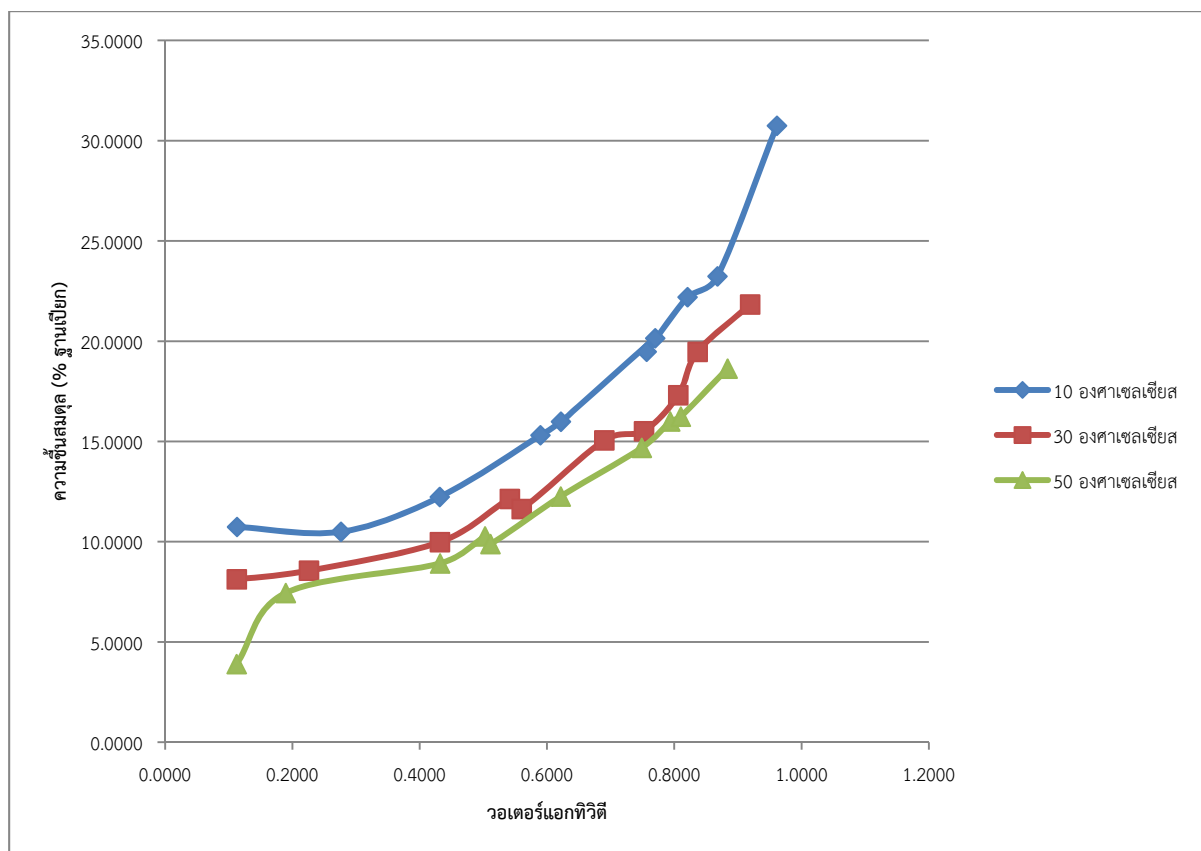
ตารางที่ 4.1.20: คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

สิ่งทดลอง(อุณหภูมิ)	สี	กลิ่นมะนาว	กลิ่นน้ำผึ้ง	รสเปรี้ยว	รสหวาน	ความชอบโดยรวม
50 องศาเซลเซียส	6.46±1.39a	5.70±1.46a	4.64±1.40a	6.06±1.81a	5.00±1.21a	5.82±1.27a
60 องศาเซลเซียส	6.46±1.45a	5.74±1.52a	4.64±1.44a	6.20±1.49a	5.50±1.49a	6.28±1.31a
70 องศาเซลเซียส	6.56±1.50a	5.94±1.45a	4.76±1.64a	6.22±1.58a	5.50±1.58a	6.22±1.57a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.7 ผลของอุณหภูมิต่อ adsorption isotherm ของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

ผลการเก็บรักษาเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงไว้ที่สภาวะบรรยากาศแตกต่างกันจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ แสดงดังรูปที่ 4.1.14

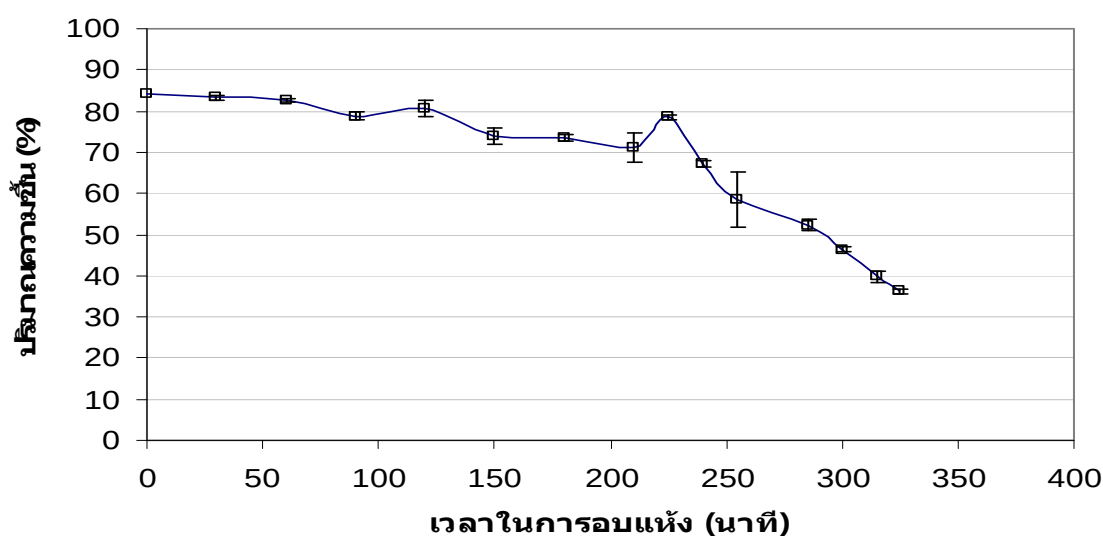


รูปที่ 4.1.14: adsorption isotherm ของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

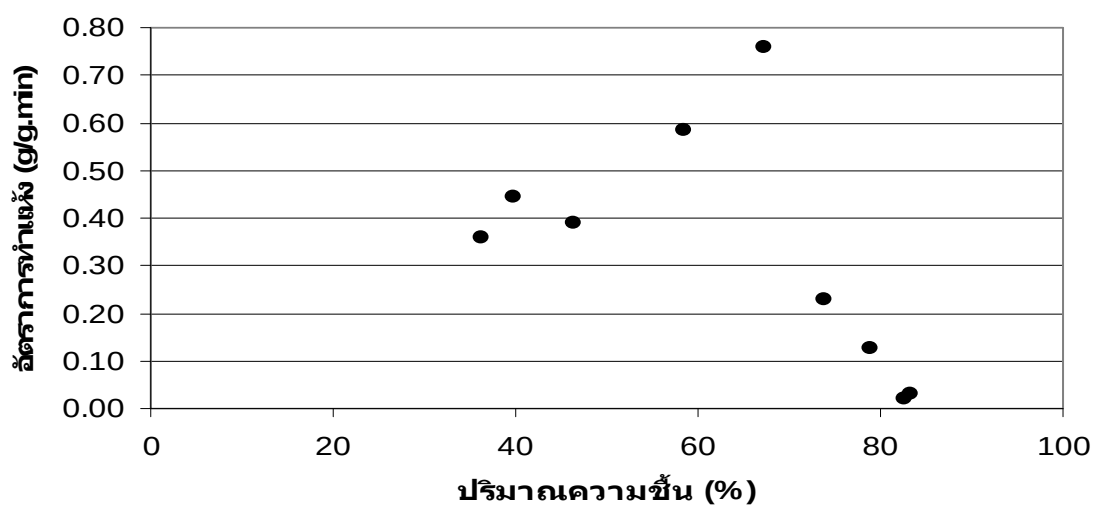
4.2 การทดลองผลิตมะม่วงขึ้นอบแห้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ และการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ

4.2.1 ลักษณะการลดความชื้นของขึ้นมะม่วง และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และ อัตราการอบแห้ง

ขึ้นมะม่วงสุกที่มีลักษณะเป็นลูกเต๋ารูปร่างขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนขนาดห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 4.2.1) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงกับอัตราการทำแห้ง (รูปที่ 4.2.2)



รูปที่ 4.2.1: กราฟการทำแห้งขึ้นมะม่วงสุกขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนระดับห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.2.2: กราฟอัตราการทำแห้งขึ้นมะม่วงสุกขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนระดับห้องปฏิบัติการ

4.2.2 ผลของปริมาณความชื้นเริ่มต้นในชั้นมะม่วงที่มีต่อสมบัติของชิ้นมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟขนาดเล็ก

สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะม่วงชิ้นอบแห้งด้วยไมโครเวฟขนาดเล็ก แสดงใน ตารางที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.1: สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะม่วงชิ้นอบแห้งด้วยไมโครเวฟขนาดเล็ก

กำลังงาน (W)	ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณความชื้น (%)	ค่าออกเทอร์มอลิตีวี่ดี (a _w)	ค่าความแข็ง (g)	ความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ^{ns}	ความหนาแน่น (g/ml) ^{ns}
360	36.18	0.5	35.80 ± 3.64 ^{c,d}	0.86 ± 0.21 ^c	11.28 ± 36.86 ^{d,e,f}	3.87 ± 2.15	1.17 ± 0.02
		1.0	27.91 ± 3.29 ^e	0.81 ± 0.02 ^d	181.63 ± 58.25 ^{c,d}	6.37 ± 1.42	1.24 ± 0.10
		1.5	25.94 ± 1.52 ^e	0.78 ± 0.02 ^d	197.31 ± 52.39 ^c	6.90 ± 0.51	1.19 ± 0.01
	46.44	0.5	42.15 ± 2.83 ^a	0.92 ± 0.01 ^a	57.64 ± 17.28 ^f	4.88 ± 0.16	1.23 ± 0.05
		1.0	40.53 ± 1.92 ^{a,b}	0.90 ± 0.01 ^{a,b}	86.25 ± 6.37 ^{e,f}	6.29 ± 1.59	1.24 ± 0.06
		1.5	36.74 ± 0.86 ^c	0.88 ± 0.01 ^{b,c}	106.91 ± 34.42 ^{e,f}	11.32 ± 1.89	1.17 ± 0.08
600	36.18	0.5	27.71 ± 2.02 ^e	0.79 ± 0.02 ^d	185.60 ± 40.65 ^{c,d}	5.20 ± 2.16	1.30 ± 0.10
		1.0	27.09 ± 0.81 ^e	0.79 ± 0.02 ^d	324.30 ± 40.27 ^b	3.33 ± 0.42	1.40 ± 0.33
		1.5	18.16 ± 0.63 ^f	0.67 ± 0.04 ^e	581.50 ± 64.40 ^a	7.08 ± 2.73	1.18 ± 0.07
	46.44	0.5	41.06 ± 2.86 ^{a,b}	0.91 ± 0.01 ^{a,b}	61.01 ± 12.2 ^f	4.52 ± 4.36	1.17 ± 0.07
		1.0	37.99 ± 0.52 ^{b,c}	0.90 ± 0.01 ^{a,b}	72.43 ± 9.08 ^{e,f}	6.67 ± 3.20	1.21 ± 0.08
		1.5	32.44 ± 0.96 ^d	0.86 ± 0.01 ^c	134.98 ± 29.44 ^{c,d,e}	11.34 ± 2.28	1.26 ± 0.08

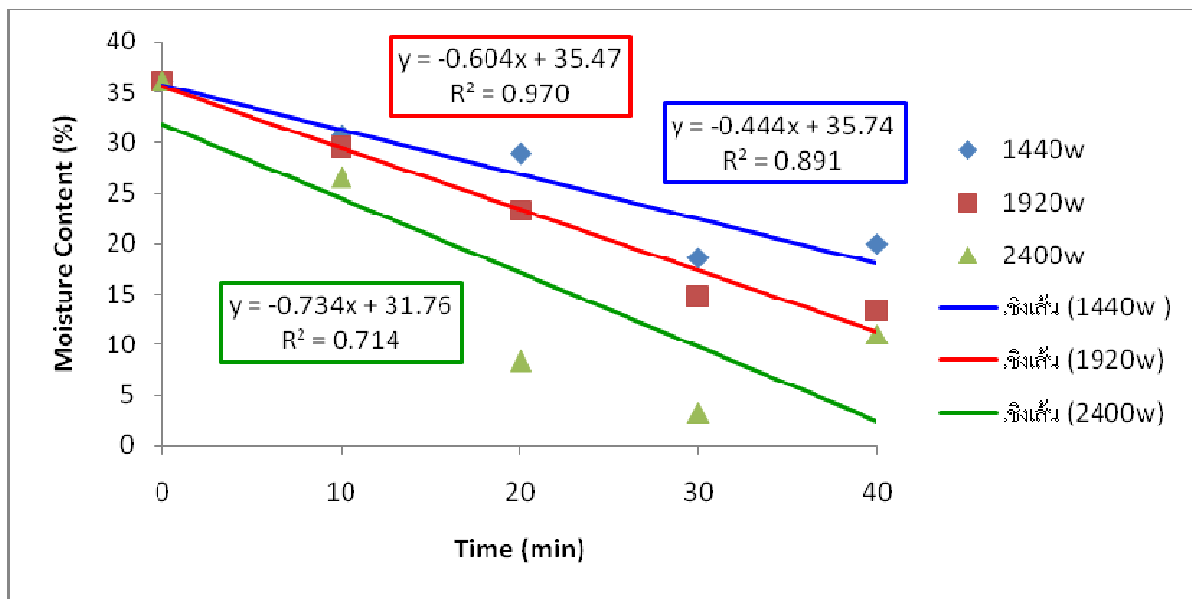
หมายเหตุ: - ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับในแนวดิ่งที่แตกต่างกัน แสดง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

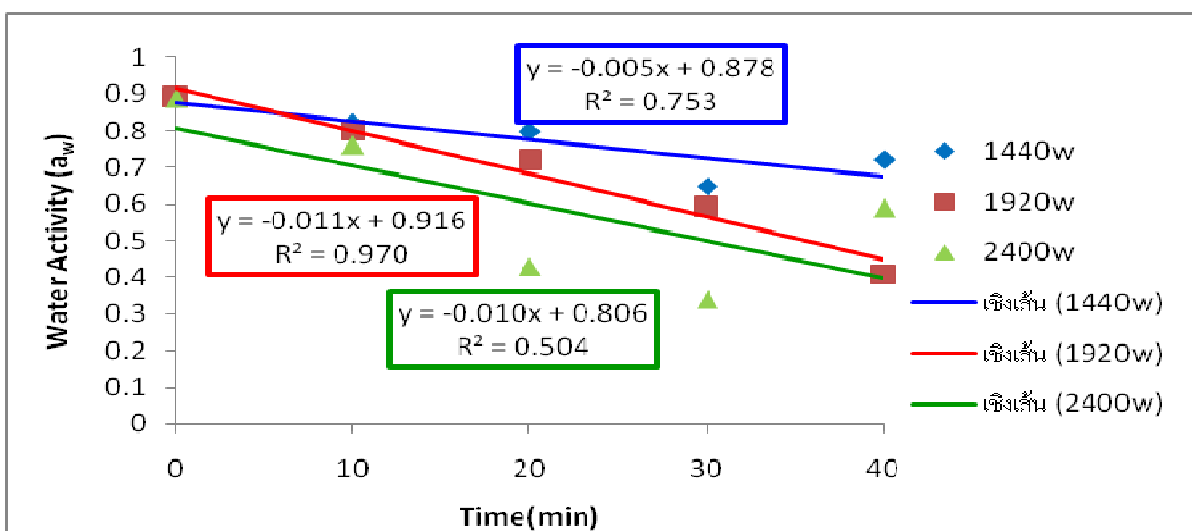
- ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.3 ผลของกำลังงานของเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศระดับอุตสาหกรรม และเวลาในการอบแห้งต่อสมบัติของมะม่วงขึ้นอบแห้ง

ผลของกำลังงานไมโครเวฟที่มีต่อปริมาณความชื้นของมะม่วงขึ้นอบแห้งภายใต้สุญญากาศ (รูปที่ 4.2.3) และแนวโน้มการลดลงของค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เทียบกับเวลาการอบแห้งขึ้นมะม่วงด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน (รูปที่ 4.2.4)

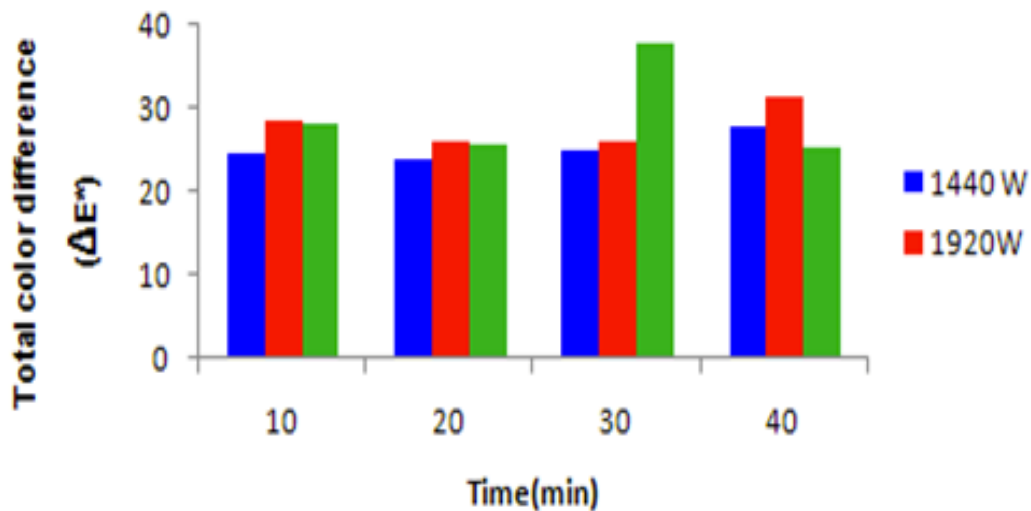


รูปที่ 4.2.3: กราฟสมการเชิงเส้นแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของขึ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน

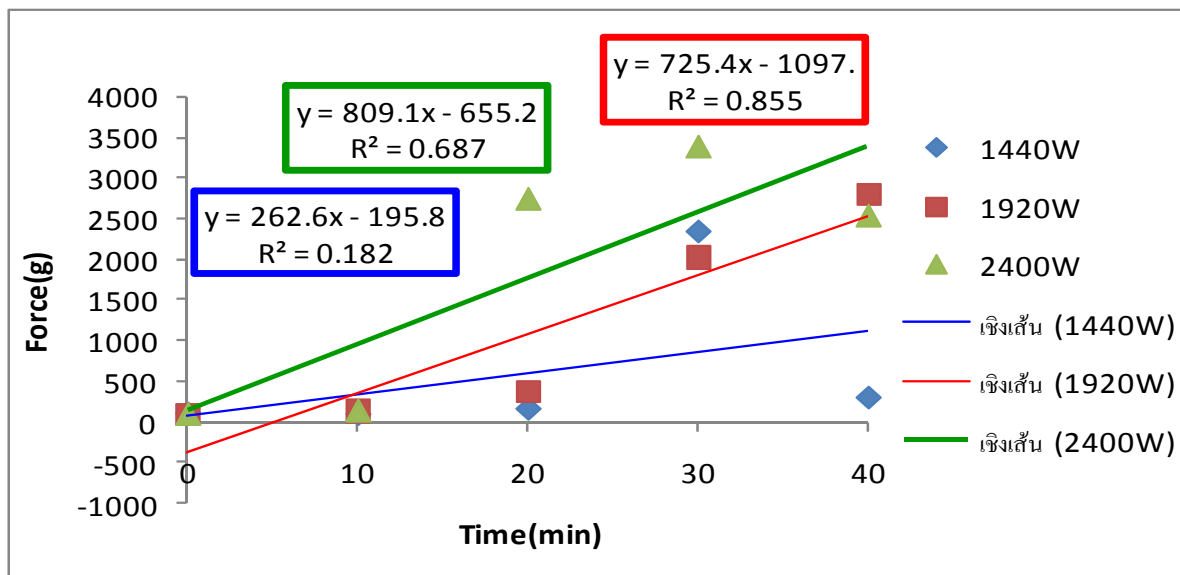


รูปที่ 4.2.4: กราฟสมการเชิงเส้นแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของขึ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน

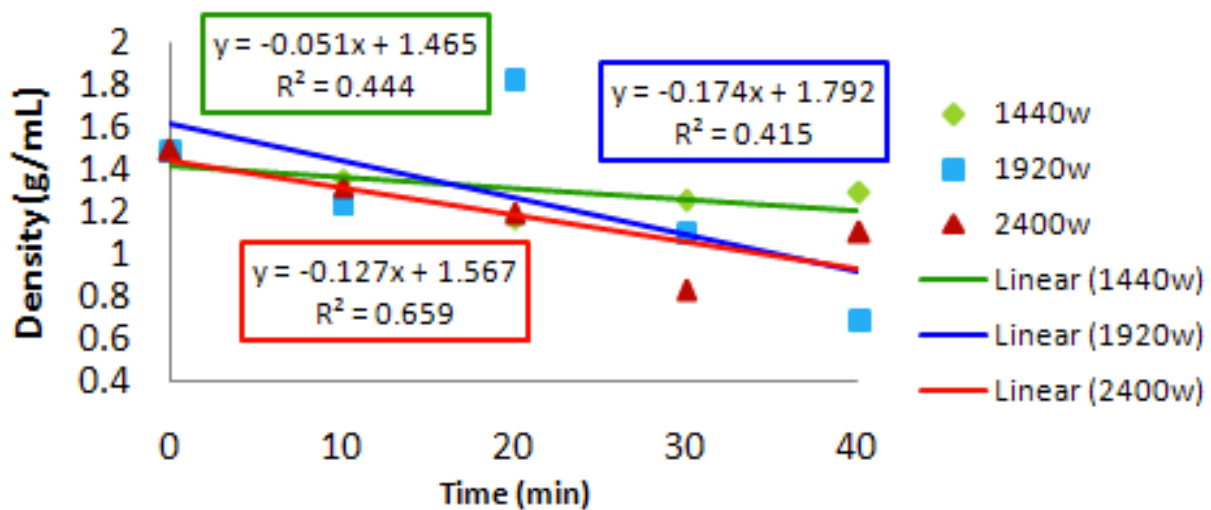
การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ค่าความแข็ง (hardness) และความหนาแน่น (density) ของขึ้นมะม่วงอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.2.5 - 4.2.7 ตามลำดับ ค่าทางตัวเลขของการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของขึ้นมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟสุญญากาศที่สภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 4.2.2 และผลของกำลังงาน และเวลาที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆ ของมะม่วงขึ้นอบแห้ง แสดงในตารางที่ 4.2.3 - 4.2.4



รูปที่ 4.2.5: แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของขึ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน



รูปที่ 4.2.6: กราฟสมการเชิงเส้นแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (hardness) ของขึ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน



รูปที่ 4.2.7: กราฟสมการเชิงเส้นแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น (density) ของชิ้นมะม่วงขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน

ตารางที่ 4.2.2: คุณภาพทางเคมีและกายภาพ ของมะม่วงชิ้นอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศระดับอุตสาหกรรมที่กำลังและเวลาต่างๆ

กำลังงาน (W)	เวลา (นาที)	ปริมาณความชื้น (%)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w)	ค่าความแข็ง (g)	ความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*)	ความหนาแน่น (g/ml)
1440	10	30.68±0.64	0.82±0.05	90.00±38.99	24.30±5.35	1.36±0.20
	20	28.91±3.34	0.80±0.02	155.21±36.57	23.60±5.40	1.17±0.13
	30	18.52±13.12	0.64±0.18	2327.44±3053.06	24.80±10.27	1.24±0.42
	40	20.01±4.32	0.72±0.13	291.58±174.46	27.65±11.36	1.29±0.11
1920	10	29.45±3.63	0.80±0.03	133.11±21.92	28.31±2.62	1.24±0.13
	20	23.30±4.66	0.72±0.03	363.84±215.02	25.92±7.57	1.84±0.49
	30	14.72±11.15	0.59±0.26	2018.48±2295.88	25.98±9.03	1.10±0.34
	40	13.28±10.84	0.41±0.02	2781.65±811.32	31.07±8.99	0.70±0.09
2400	10	26.55±6.49	0.76±0.02	136.68±60.12	27.84±12.85	1.32±0.15
	20	8.36±2.91	0.43±0.00	2730.90±693.37	25.45±10.62	1.19±0.64
	30	3.31±2.03	0.34±0.04	3370.63±34.70	37.65±5.89	0.83±0.11
	40	11.02±6.99	0.59±0.13	2525.56±1076.57	25.06±6.92	1.10±0.31

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ



ตารางที่ 4.2.3: ผลของกำลังงานที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆของมะม่วงขึ้นอบแห้ง

กำลังงาน (W)	ปริมาณความชื้น (%)	ค่า วอเตอร์ แอกติวิตี้ (a_w)	ค่า ΔE^{*ns}	ค่า ความแข็ง (g)	ความหนาแน่น (g/ml) ^{ns}
1440	24.53 ± 7.83 ^a	0.75 ± 0.12 ^a	25.09 ± 7.47	716.06 ± 1526.94 ^b	1.27 ± 0.20
1920	20.18 ± 9.44 ^a	0.63 ± 0.19 ^{a,b}	27.82 ± 6.79	1324.27 ± 1505.72 ^{a,b}	1.22 ± 0.50
2400	12.31 ± 10.04 ^b	0.53 ± 0.18 ^b	29.00 ± 9.69	2190.94 ± 1397.70 ^a	1.11 ± 0.34

- หมายเหตุ
- ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับในแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

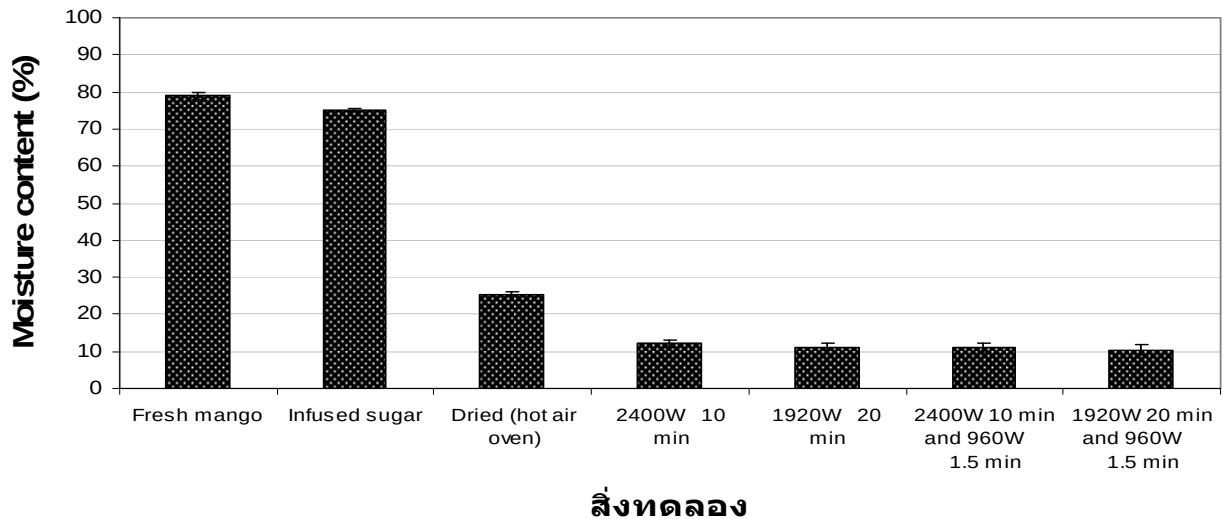
ตารางที่ 4.2.4: ผลของเวลาที่ใช้ในการอบที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆ ของมะม่วงขึ้นอบแห้ง

เวลาในการ อบ (นาท)	ปริมาณความชื้น (%)	ค่า วอเตอร์ แอกติวิตี้ (a_w)	ค่า ΔE^{*ns}	ค่าความแข็ง (g)	ความหนาแน่น (g/ml) ^{ns}
10	28.90 ± 3.84 ^a	0.80 ± 0.04 ^a	26.82 ± 7.33	119.93 ± 40.78 ^b	1.31 ± 0.14
20	20.19 ± 9.93 ^{a,b}	0.65 ± 0.18 ^b	24.99 ± 7.14	1083.32 ± 1320.26 ^{a,b}	1.40 ± 0.50
30	12.18 ± 10.50 ^b	0.52 ± 0.20 ^b	29.48 ± 9.66	2572.18 ± 1822.17 ^a	1.06 ± 0.30
40	14.77 ± 7.38 ^b	0.57 ± 0.16 ^b	27.93 ± 8.44	1866.26 ± 1367.63 ^a	1.03 ± 0.31

- หมายเหตุ
- ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับในแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.4 การอบด้วยตู้อบลมร้อนขนาดใหญ่ที่ใช้งานในระดับอุตสาหกรรม

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งมะม่วงขึ้นด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ แสดงในรูปที่ 4.2.8



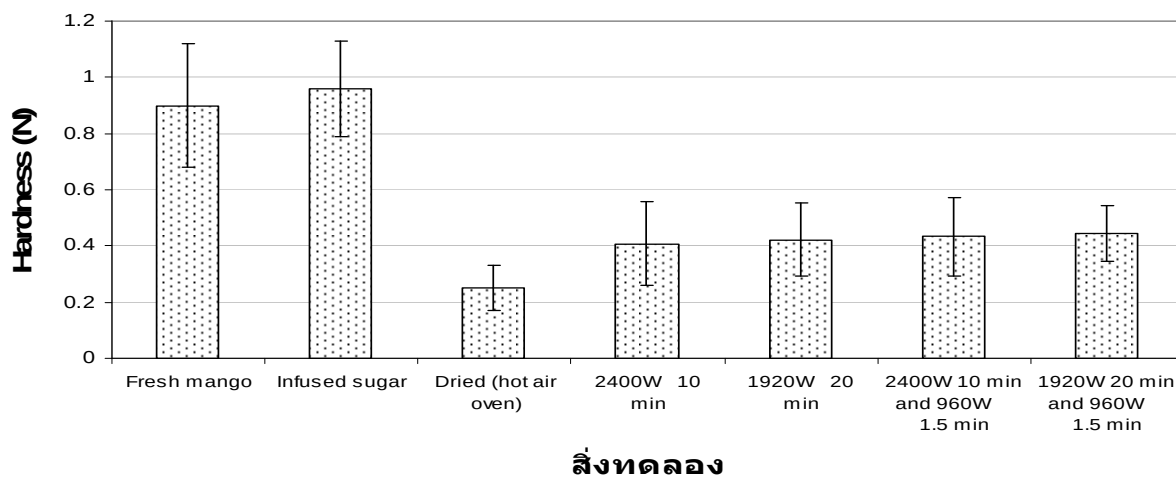
รูปที่ 4.2.8: การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ของขึ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ แสดงในรูปที่ 4.2.9



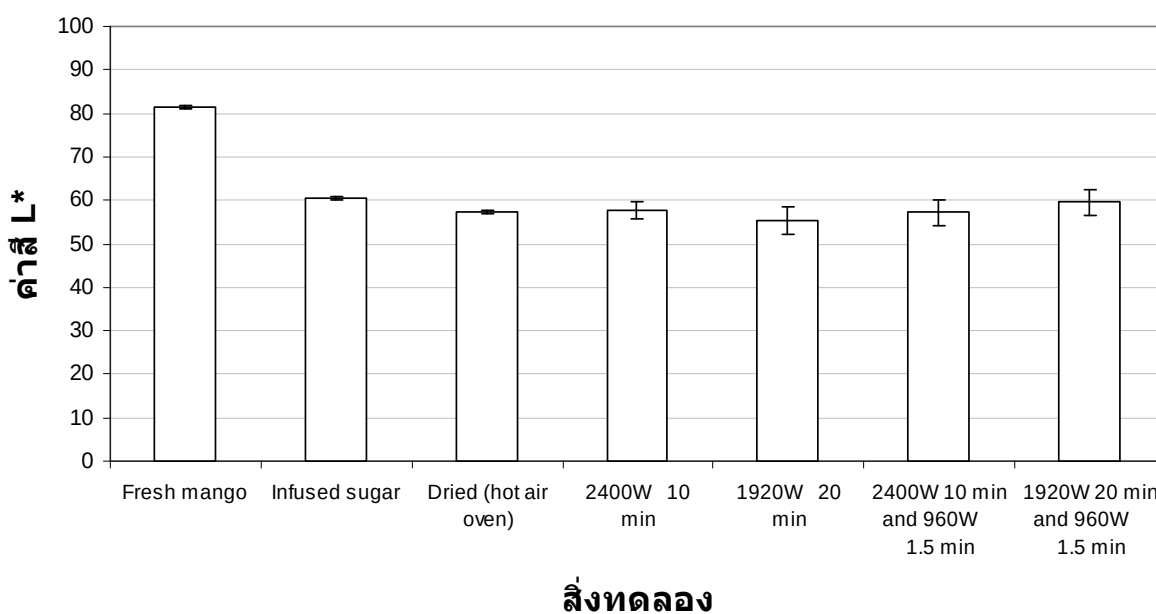
รูปที่ 4.2.9: การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ของขึ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (hardness) ของชิ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ แสดงในรูปที่ 4.2.10

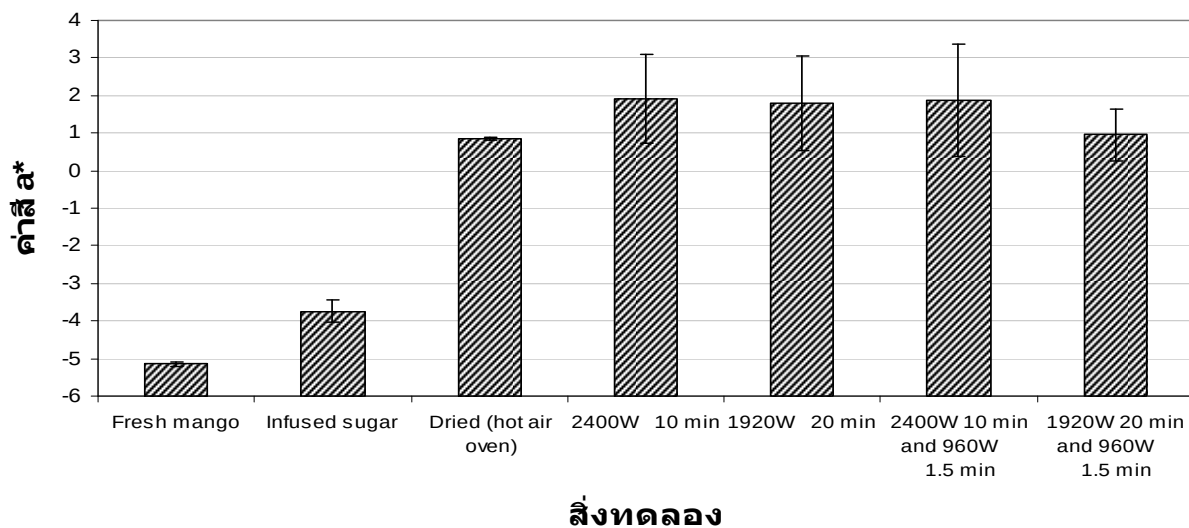


รูปที่ 4.2.10: การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (hardness) ของชิ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ค่าสี a^* และ b^* ของชิ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ แสดงในรูปที่ 4.2.11, 4.2.12 และ 4.2.13 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2.11: การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของชิ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

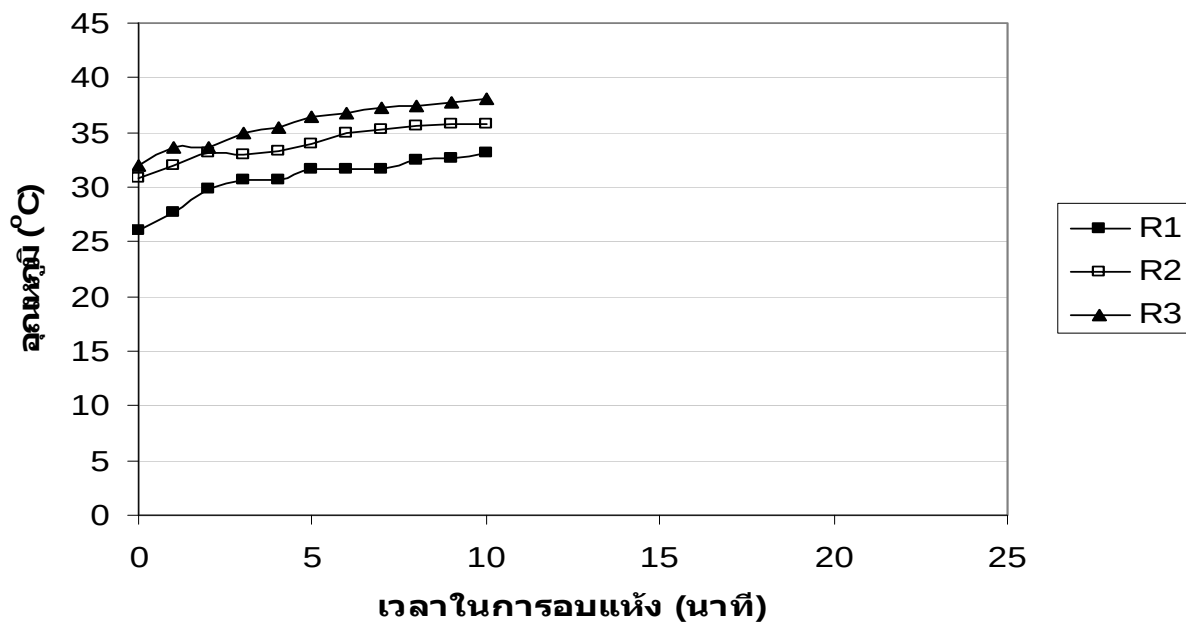


รูปที่ 4.2.12: การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของชิ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟ
สุญญากาศ

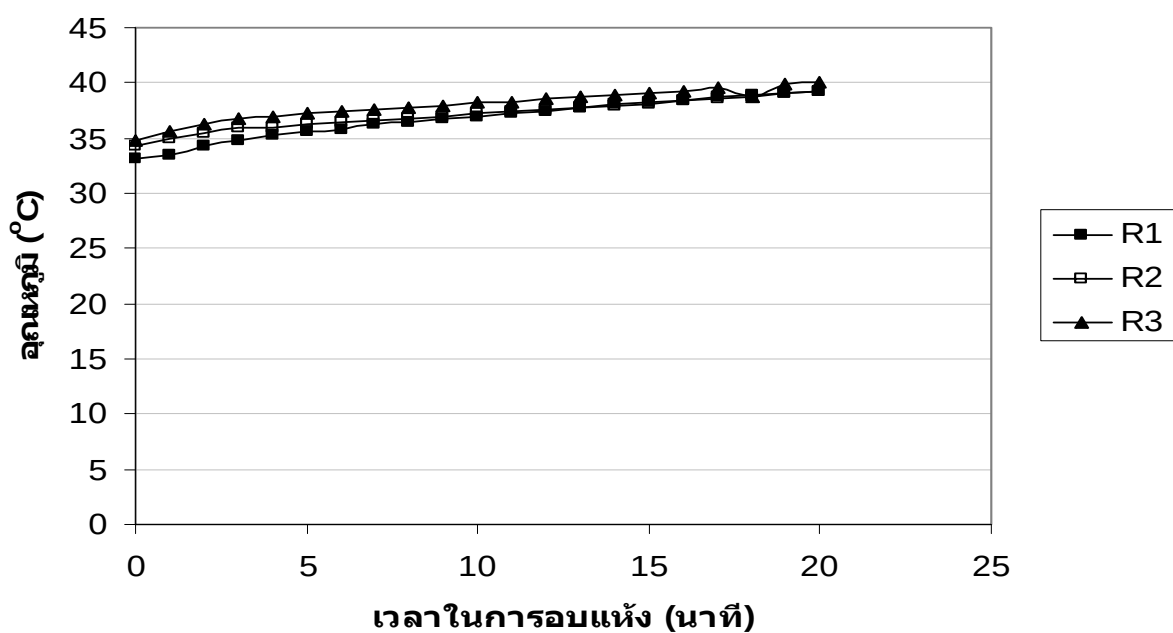


รูปที่ 4.2.13: การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของชิ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟ
สุญญากาศ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตู้อบระหว่างการอบด้วยไมโครเวฟระดับสูงทั้งสองระดับ (2400 วัตต์ และ 1920 วัตต์) แสดงในรูปที่ 4.2.14 และ 4.2.15 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2.14: การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ ในระหว่างการอบขึ้นมะม่วง โดยใช้กำลังงาน 2400 วัตต์ นาน 10 นาที



รูปที่ 4.2.15: การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ ในระหว่างการอบขึ้นมะม่วง โดยใช้กำลังงาน 1920 วัตต์ นาน 10 นาที

4.2.5 สถานะที่เหมาะสมในการเตรียมเปลือกมะม่วงเพื่อทำเส้นใยอาหารผง

4.2.5.1 ผลของการลวกด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างกันของเปลือกมะม่วงด้วยน้ำร้อนต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวม แสดงในตารางที่ 4.2.5

ตารางที่ 4.2.5: ผลของการลวกเปลือกมะม่วงด้วยน้ำร้อน (70 องศาเซลเซียส) ด้วยเวลาต่างกัน ที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวม

ระยะเวลาในการลวก (นาที)	ปริมาณเส้นใยอาหารรวม (%) ns
0 (ตัวอย่างควบคุม)	3.60 ± 0.54
5	2.32 ± 0.16
10	2.31 ± 0.05
15	2.58 ± 0.60

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.5.2 ผลของการแช่ในกรดอินทรีย์ที่เวลาต่างกันของการแช่เปลือกมะม่วงในกรดอินทรีย์ต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวม แสดงในตารางที่ 4.2.6

ตารางที่ 4.2.6: ผลของการแช่เปลือกมะม่วงด้วยน้ำกรดซิตริก (ความเข้มข้นร้อยละ 1) ด้วยเวลาต่างกัน ที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวม

ระยะเวลาในการแช่ (นาที)	ปริมาณเส้นใยอาหารรวม (%) ns
0 (ตัวอย่างควบคุม)	3.60 ± 0.54
10	2.78 ± 0.47
20	2.50 ± 0.12
30	2.62 ± 0.32

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.6 ผลของอุณหภูมิและความเร็วลมต่อปริมาณเส้นใยอาหารในเปลือกมะม่วง

ผลของตัวแปรด้านการปฏิบัติการต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวม สี และการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของชิ้นเปลือกมะม่วง แสดงผลในตารางที่ 4.2.7, 4.2.8 และรูปที่ 3.2.16 ตามลำดับ กราฟอัตราการทำแห้งเปลือกมะม่วง แสดงในรูปที่ 3.2.17

ตารางที่ 4.2.7: ผลของอุณหภูมิ และความเร็วของลมร้อนที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวมของเปลือกมะม่วงอบแห้ง

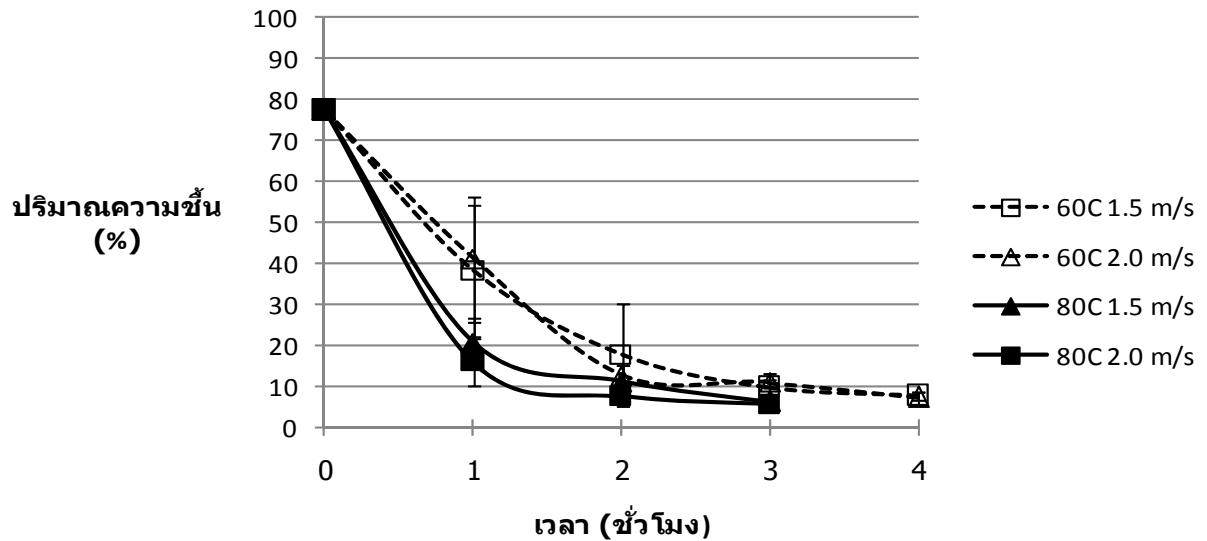
อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	ปริมาณเส้นใยอาหารรวม (%)
60	1.5	11.78 ^b ± 0.77
	2.0	10.21 ^{ab} ± 0.18
80	1.5	9.18 ^{ab} ± 0.50
	2.0	9.94 ^a ± 0.68

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ตัวอักษรที่ต่างกันในสัณฐานแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

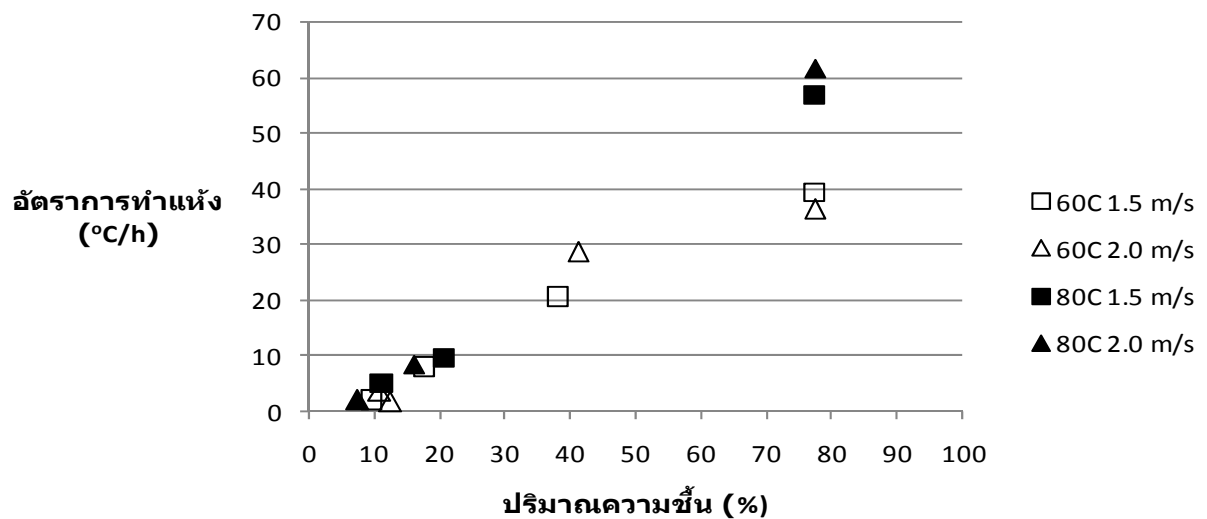
ตารางที่ 4.2.8: ผลของอุณหภูมิ และความเร็วของลมร้อนที่มีต่อค่าสีของเปลือกมะม่วงอบแห้ง

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	ค่าสี ns		
		L*	a*	b*
60	1.5	26.84 ± 1.73	9.38 ± 1.97	10.27 ± 1.00
	2.0	28.90 ± 5.76	9.83 ± 1.56	12.06 ± 3.26
80	1.5	29.48 ± 1.02	10.68 ± 1.49	10.84 ± 1.21
	2.0	30.56 ± 1.76	11.84 ± 1.17	13.05 ± 0.67

หมายเหตุ: - ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 3.2.16: ผลของอุณหภูมิ และความเร็วของลมร้อนที่มีต่อปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วงอบแห้ง



รูปที่ 3.2.17: กราฟอัตราการแห้งเปลือกมะม่วง ที่อุณหภูมิ และความเร็วของลมร้อน ที่ใช้ในการศึกษา

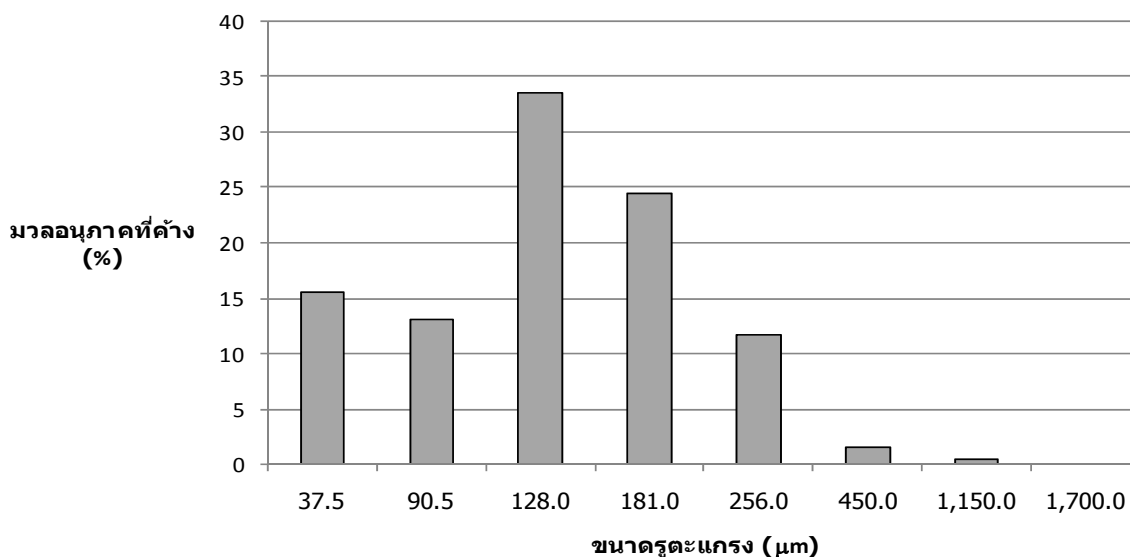
4.2.7 คุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่เตรียมด้วยตู้อบลมร้อน

คุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการอบแห้งขึ้นของเปลือกมะม่วงในตู้อบลมร้อน แสดงในตารางที่ 4.2.9 ส่วนการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผง แสดงในรูปที่ 4.2.18

ตารางที่ 4.2.9: คุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง

คุณสมบัติ	หน่วย	ปริมาณ
L*	-	65.28 ± 3.12
a*	-	10.38 ± 1.01
b*	-	35.47 ± 1.89
ความหนาแน่นรวม (bulk density)	กรัมต่อมิลลิลิตร	0.70 ± 0.01
ปริมาณความชื้น (moisture content)	%	8.29 ± 1.32
Water activity	-	0.38 ± 0.01
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity)	กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง	4.75 ± 0.08
ค่า pH	-	4.4 ± 0.12
ปริมาณเส้นใยอาหารรวม	ร้อยละ	12.96 ± 0.55

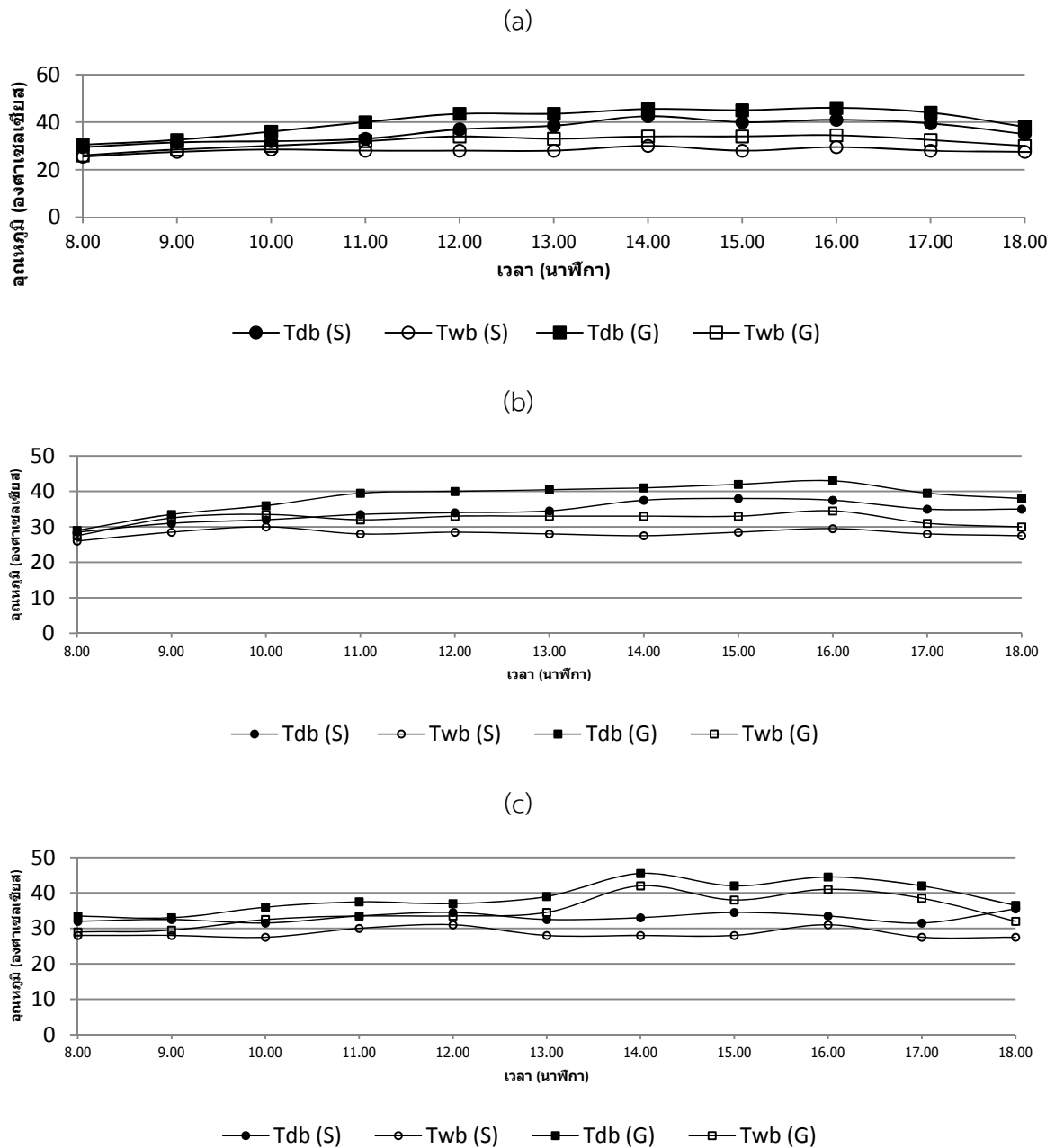
หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.2.18: การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง

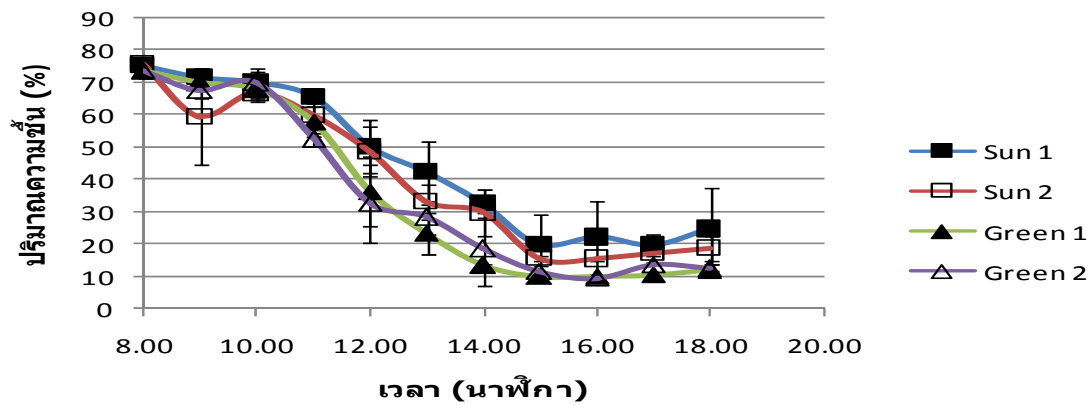
4.2.8 การผลิตเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงโดยการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

4.2.8.1 คุณลักษณะการอบแห้ง โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในเปลือกมะม่วงสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศร้อน แสดงในรูปที่ 4.2.19 และ 4.2.20 ตามลำดับ

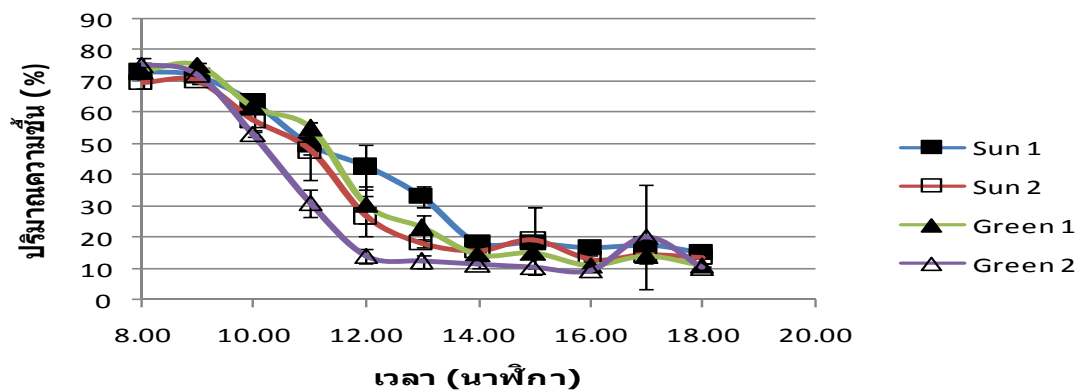


รูปที่ 4.2.19: การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการอบแห้งด้วยพลังแสงอาทิตย์ โดย Tdb หมายถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (องศาเซลเซียส); Twb หมายถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก (องศาเซลเซียส); S หมายถึงการตากแดดโดยตรง; และ G หมายถึงการอบแห้งในตู้อบแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก (a, b และ c หมายถึง การทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ)

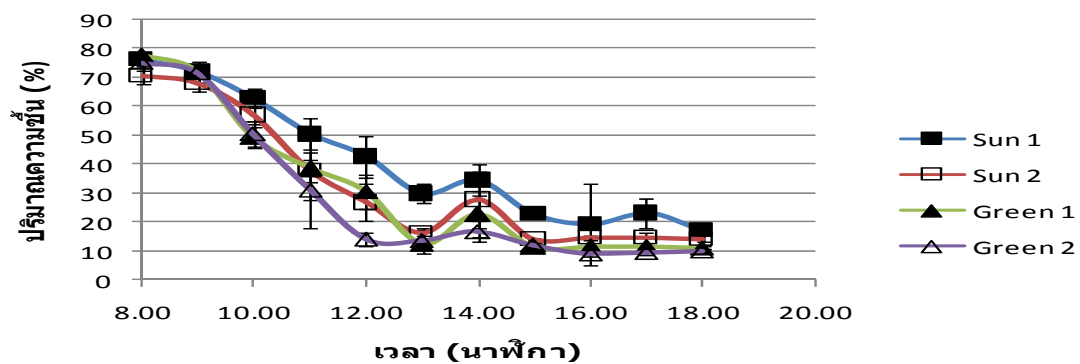
(a)



(b)

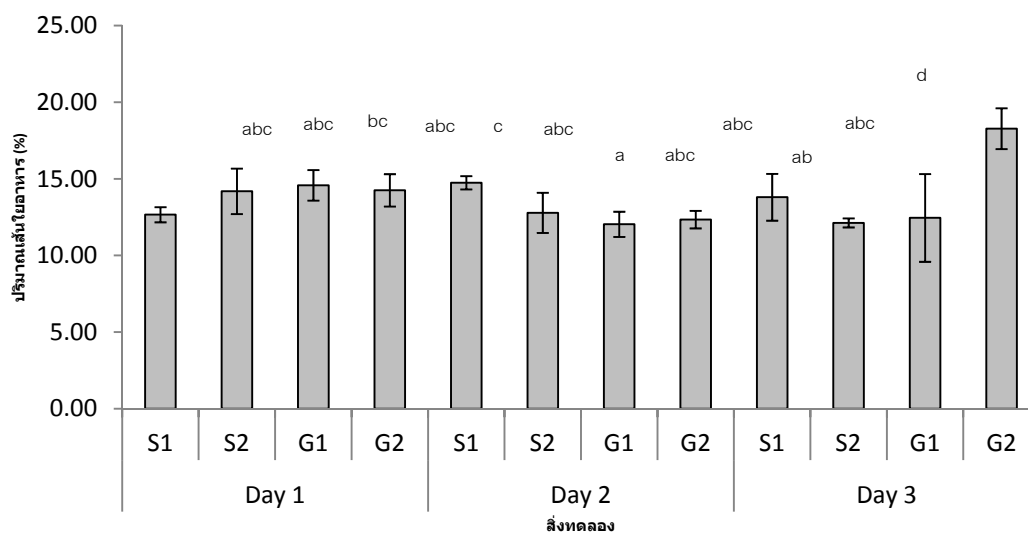


(c)

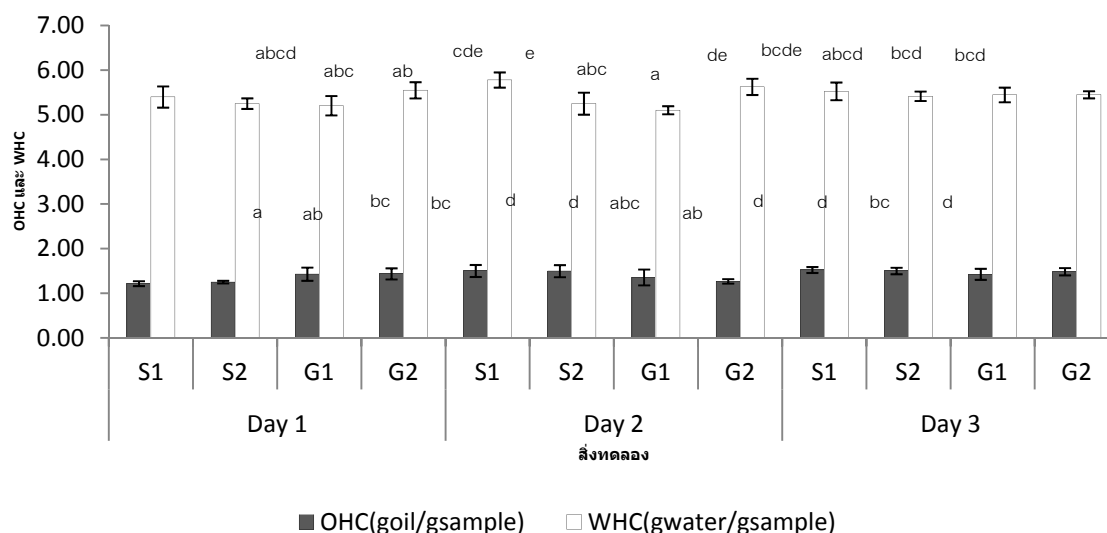


รูปที่ 4.2.20: ผลของขนาดเปลือกมะม่วง (1: ขนาดประมาณ 1.5 x 1.5 เซนติเมตร และ 2: คละขนาด) และวิธีการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ (sun: การตากแดดโดยตรง และ Green: การอบแห้งในตู้อบแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก) ต่อปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วง โดย (a) การทดลองที่ 1 (b) การทดลองที่ 2 และ (c) การทดลองที่ 3

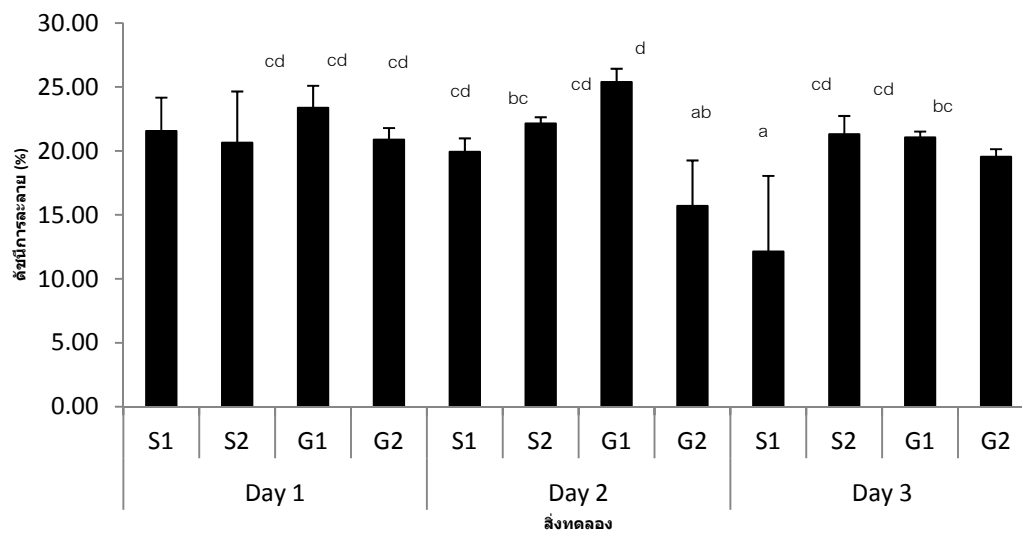
4.2.8.2 คุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงของวิธีการทำแห้งเปลือกมะม่วงด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงแสดงในรูปที่ 4.2.21 – 4.2.22 และดัชนีการละลาย (WSI) แสดงในรูปที่ 4.2.23



รูปที่ 4.2.21: ผลของวิธีการทำแห้งโดยแสงอาทิตย์และขนาดของชิ้นมะม่วงต่อปริมาณใยอาหารในเส้นใยอาหารผง



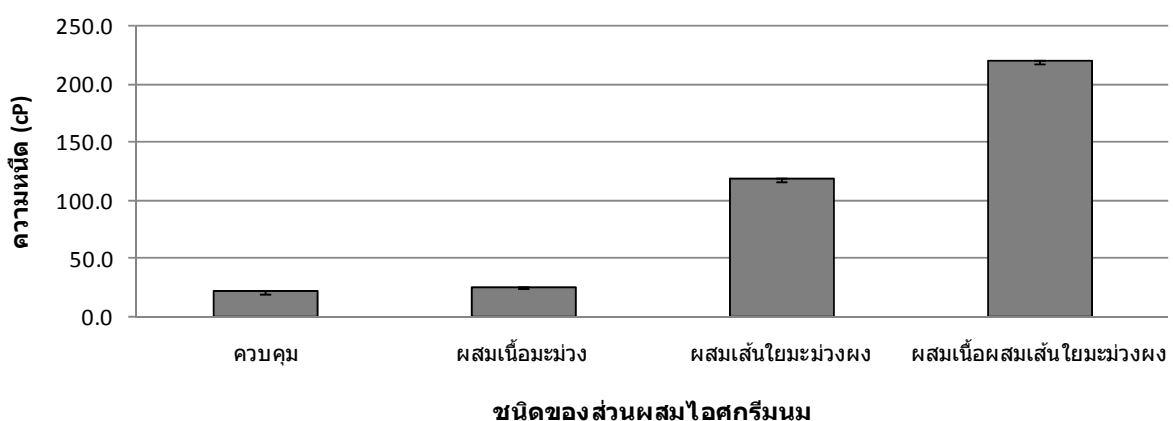
รูปที่ 4.2.22: ผลของวิธีการทำแห้งโดยแสงอาทิตย์และขนาดของชิ้นมะม่วงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (oil holding capacity, OHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) ปริมาณใยอาหารในเส้นใยอาหารผง ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



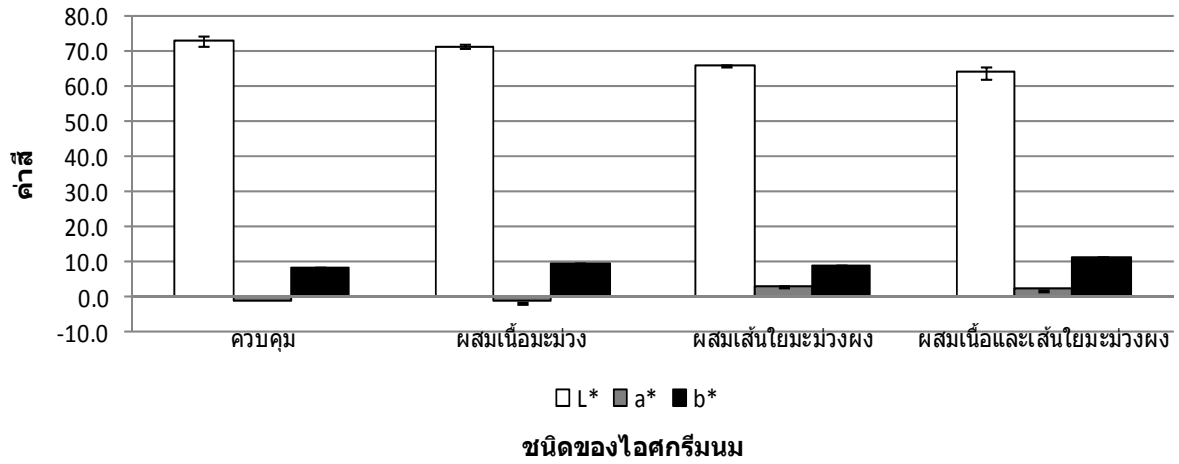
รูปที่ 4.2.23: ผลของวิธีการทำแห้งโดยแสงอาทิตย์และขนาดของชิ้นมะม่วงต่อค่าดัชนีการละลายของเส้นใยอาหารผง

4.2.9 การประยุกต์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

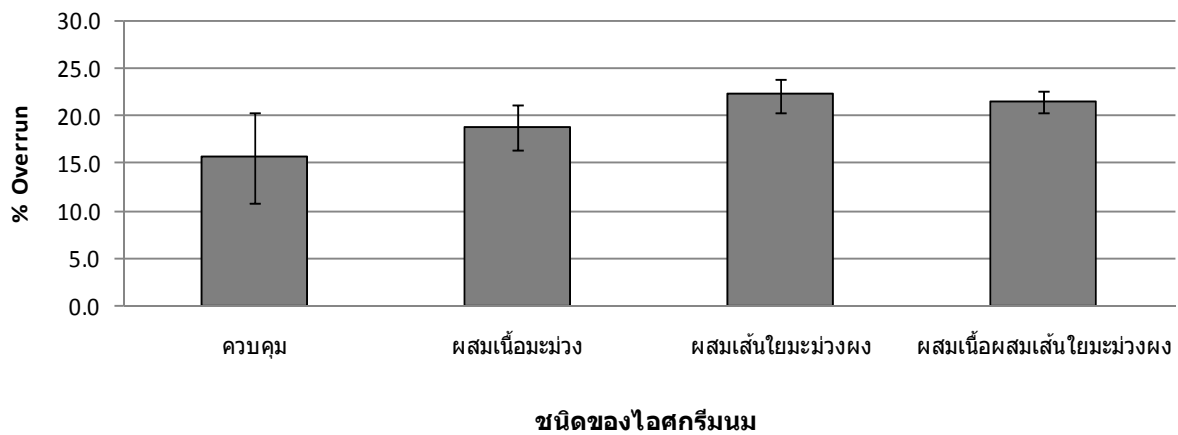
4.2.9.1 ไอศกรีมนม เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของส่วนผสม และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total microbial number) ของตัวอย่างไอศกรีมนมที่มีการเติมชิ้นมะม่วงสด และเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงแสดงในรูปที่ 4.2.24-4.2.31 แสดงในตารางที่ 4.2.10 คุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างไอศกรีม แสดงในรูปที่ 4.2.32



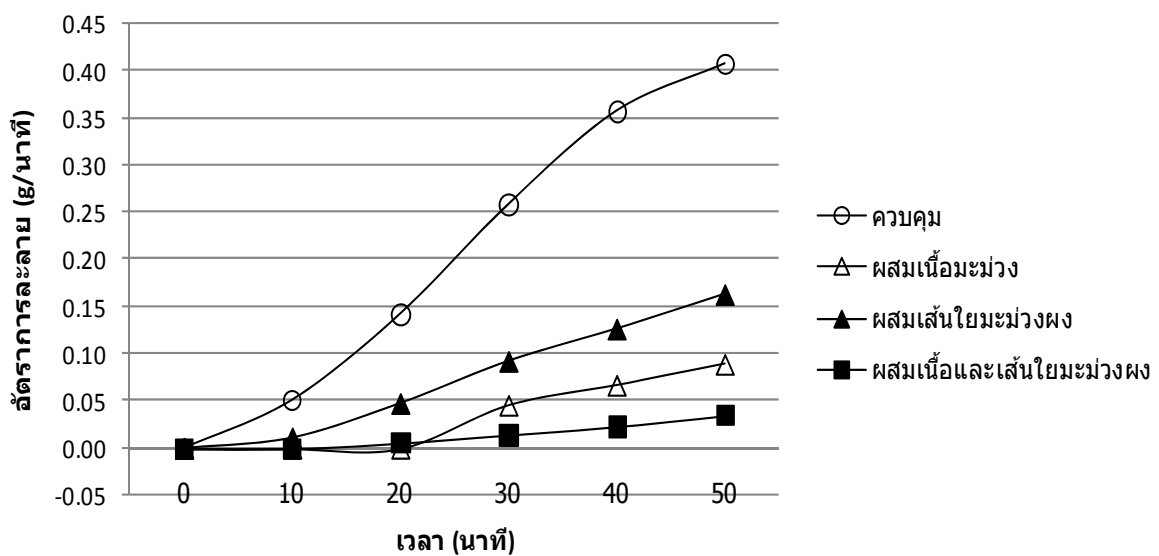
รูปที่ 4.2.24: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมนม



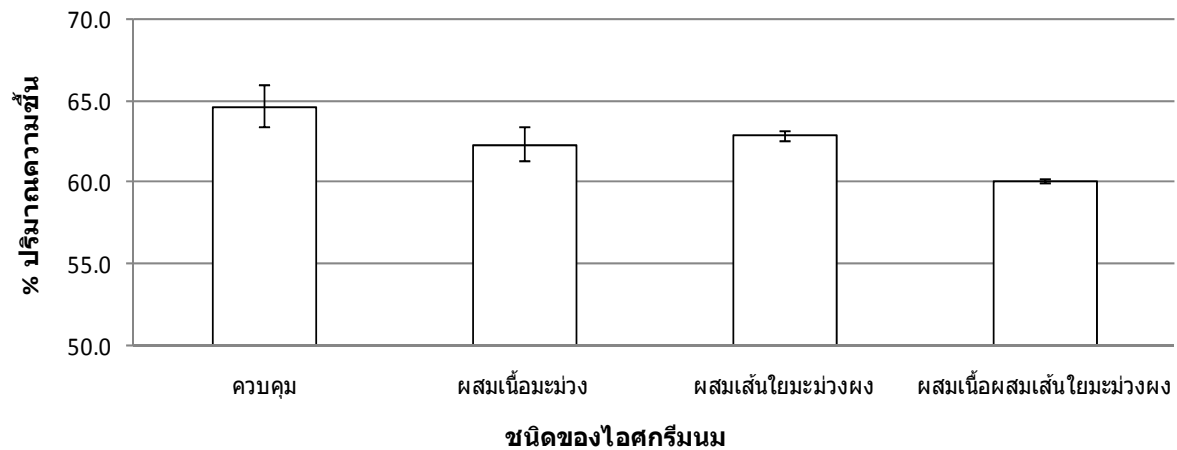
รูปที่ 4.2.25: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าสีของไอศกรีมนม



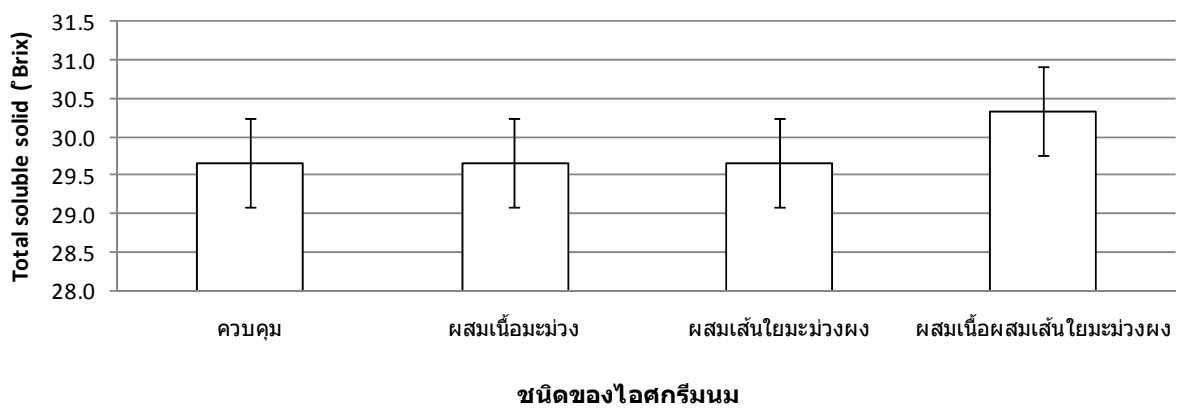
รูปที่ 4.2.26: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าการขึ้นฟู (overrun) ของไอศกรีมนม



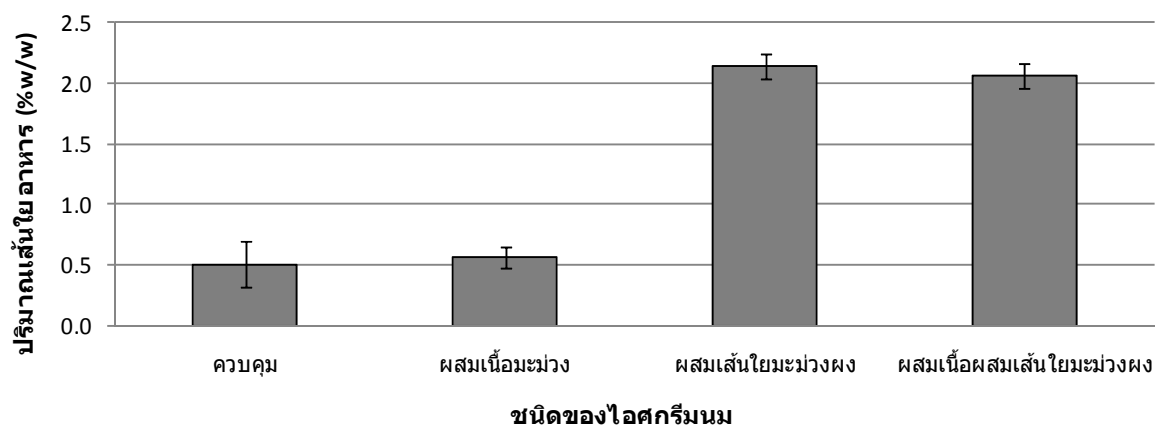
รูปที่ 4.2.27: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่ออัตราการละลายของไอศกรีมนม



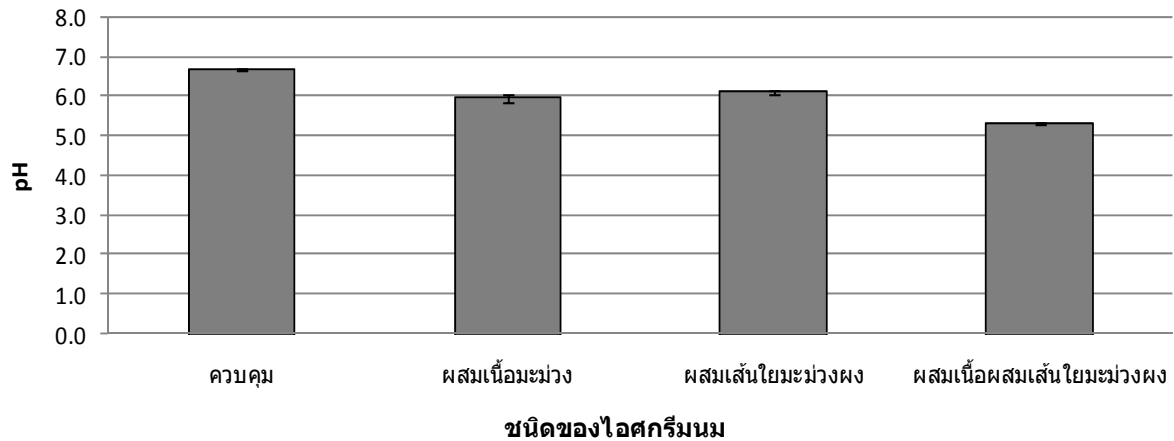
รูปที่ 4.2.28: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณความชื้นของไอศกรีมนม



รูปที่ 4.2.29: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) ของไอศกรีมนม



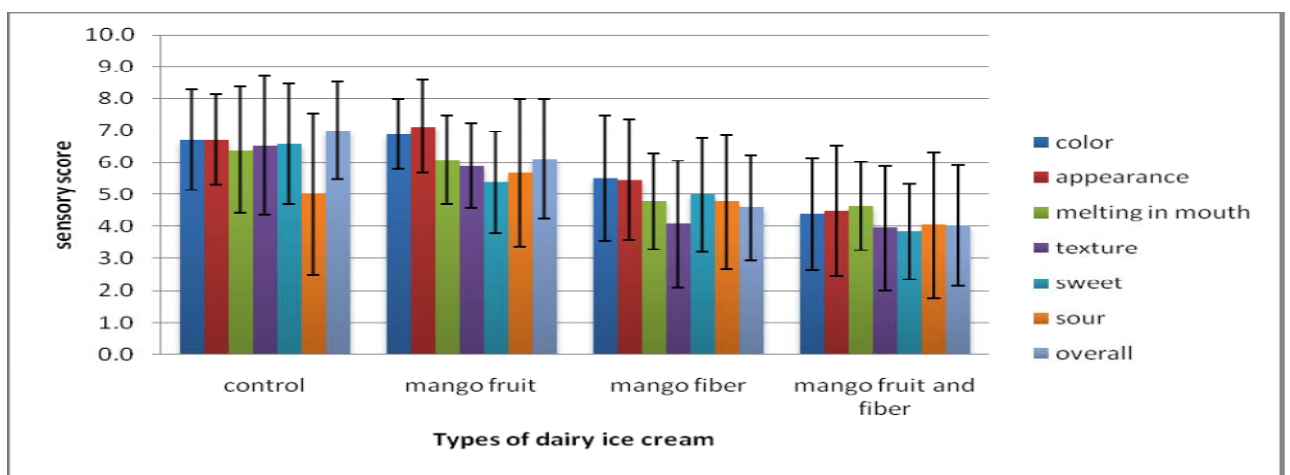
รูปที่ 4.2.30: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวมทั้งหมดของไอศกรีมนม



รูปที่ 4.2.31: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไอศกรีมนม

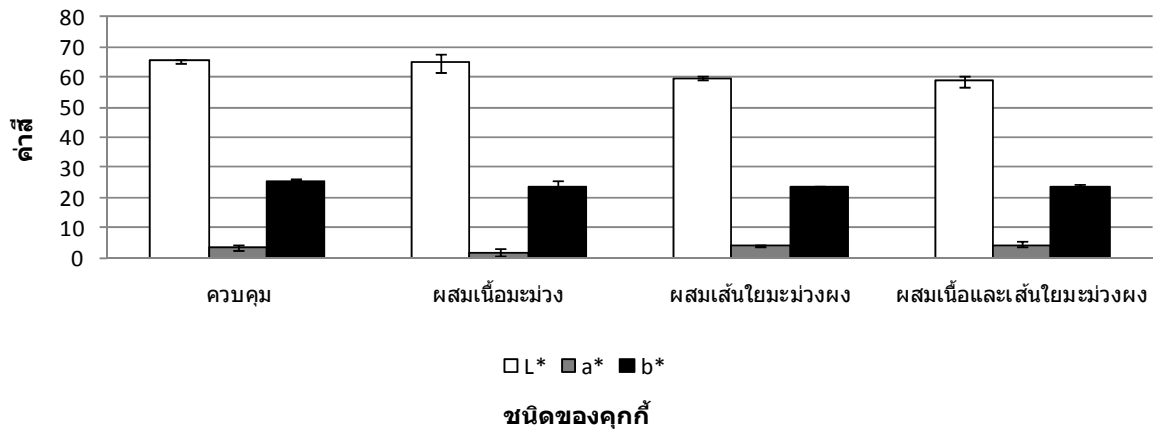
ตารางที่ 4.2.10: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total microbial number) ในไอศกรีมนม

ตัวอย่าง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)
ควบคุม	49.50 ± 48.77
ผสมเนื้อมะม่วง 5.0 %	40.00 ± 31.22
ผสมเส้นใยมะม่วงผง 2.5 %	856.00 ± 736.42
ผสมเนื้อมะม่วง 5.0 % และผสมเส้นใยมะม่วงผง 2.5 %	716.67 ± 590.96

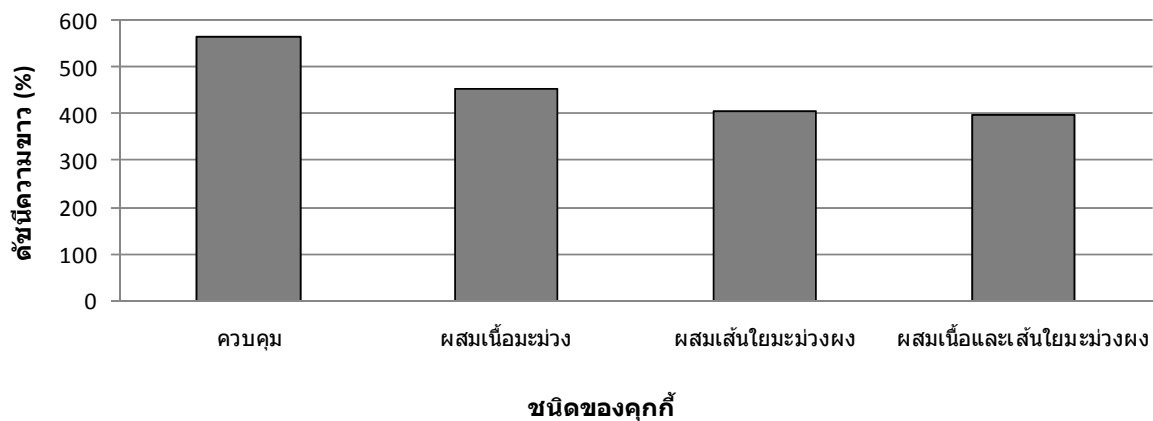


รูปที่ 4.2.32: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของไอศกรีมนม

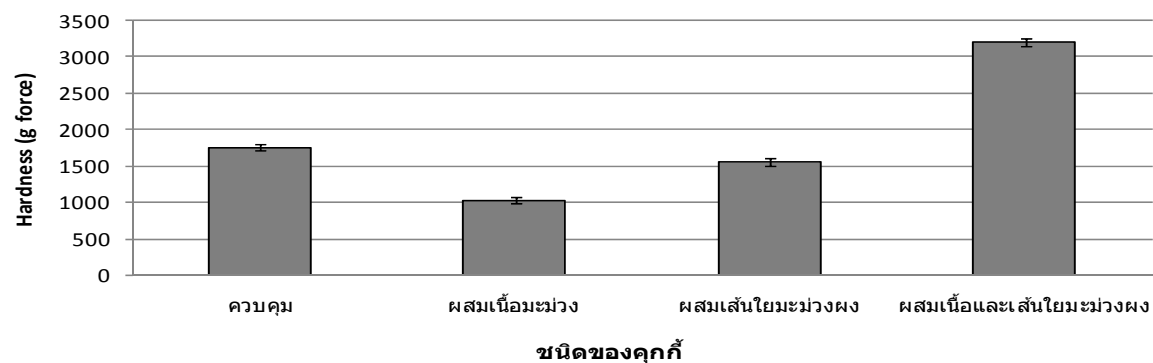
4.2.9.2 คุณก็ เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของคุณก็ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2.33 - 4.2.38 ส่วนคุณสมบัติด้านจุลชีววิทยาแสดงในตารางที่ 4.2.11 และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของคุณก็แสดงในรูปที่ 4.2.39



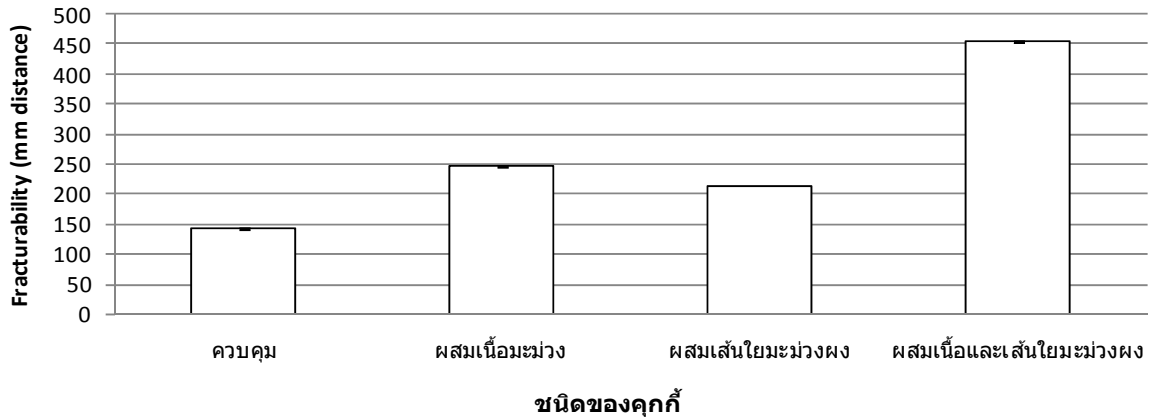
รูปที่ 4.2.33: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าสี ของคุณก็



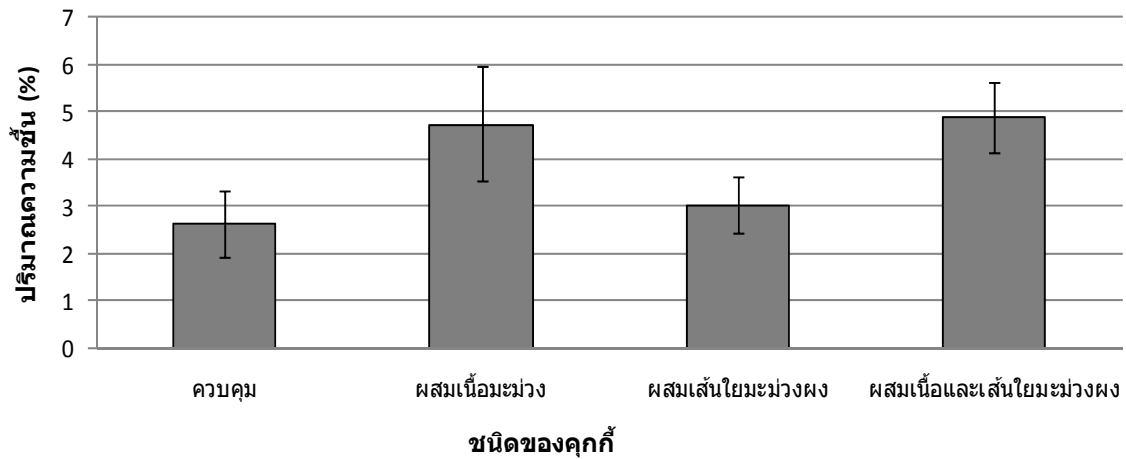
รูปที่ 4.2.34: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อค่าดัชนีความขาว (whiteness index) ของคุณก็



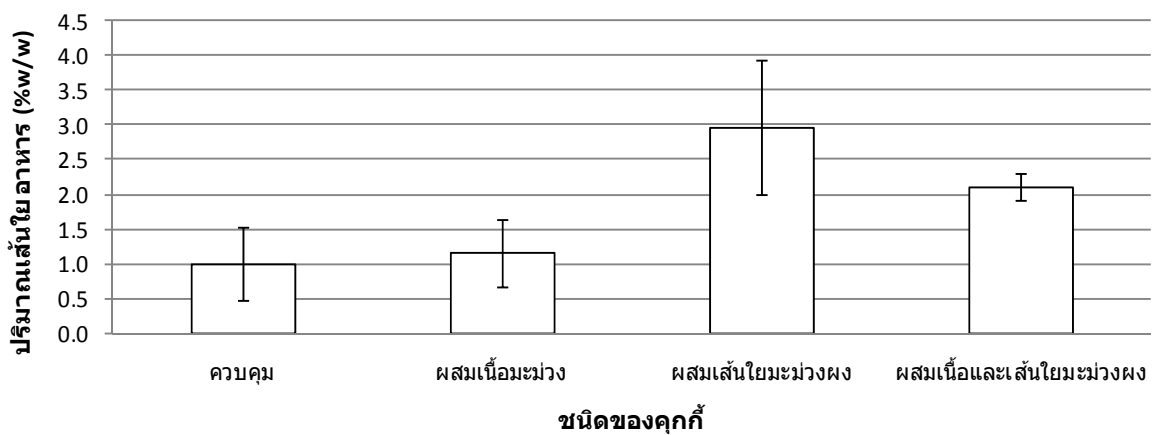
รูปที่ 4.2.35: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อความแข็ง (hardness) ของคุณก็



รูปที่ 4.2.36: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อ fracturability ของคุกกี้



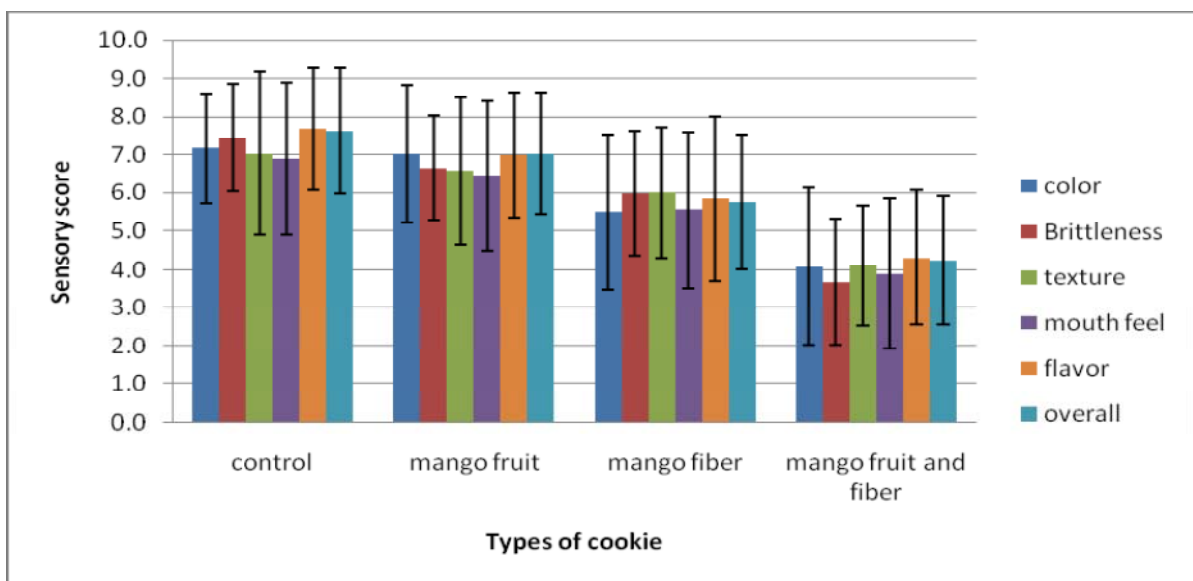
รูปที่ 4.2.37: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณความชื้น (moisture content) ของคุกกี้



รูปที่ 4.2.38: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณเส้นใยอาหาร (fiber content) ของคุกกี้

ตารางที่ 4.2.11: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total microbial number) ในผลิตภัณฑ์คุกกี้

ตัวอย่าง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)
ควบคุม	203.33 ± 95.04
ผสมเนื้อมะม่วง 5.0 %	46.67 ± 25.17
ผสมเส้นใยมะม่วงผง 2.5 %	20.00 ± 10.00
ผสมเนื้อมะม่วง 5.0 % และผสมเส้นใยมะม่วงผง 2.5 %	26.67 ± 20.82



รูปที่ 4.2.39: ผลของการเติมเนื้อมะม่วง และเส้นใยมะม่วงผง ต่อคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของคุกกี้

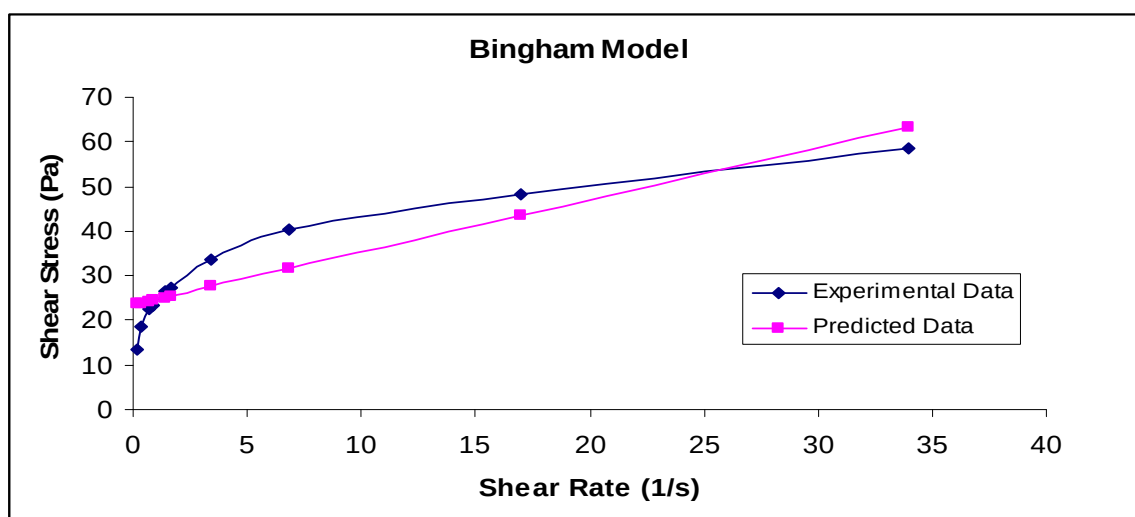
4.3 การทดลองการผลิตมะม่วงกวนแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบถาด

4.3.1 ศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของเนื้อมะม่วงกวนและหลังกวน และพัฒนาระบวนการผลิตมะม่วงกวน

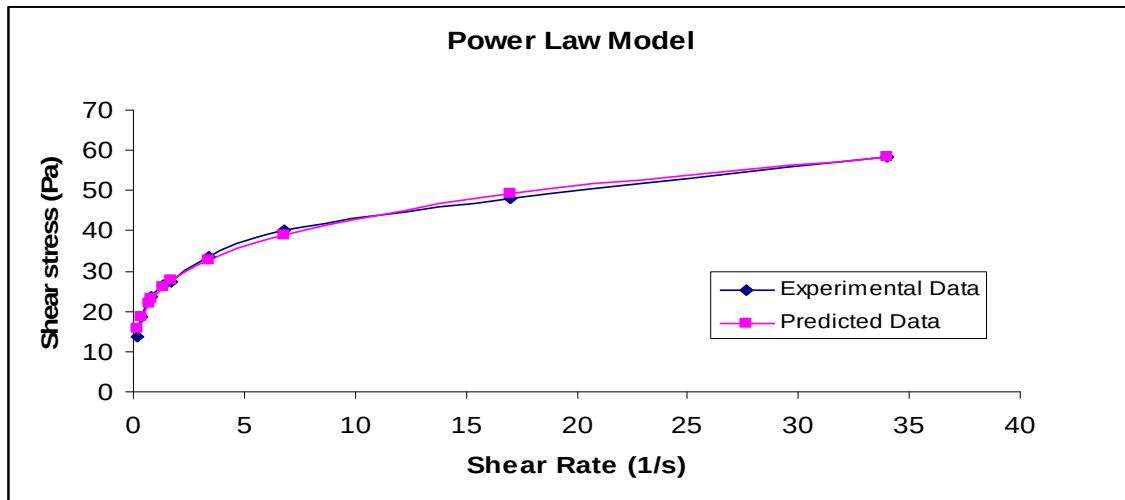
4.3.1.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียด ผลการศึกษาคุณลักษณะ

ตารางที่ 4.3.1: คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียด

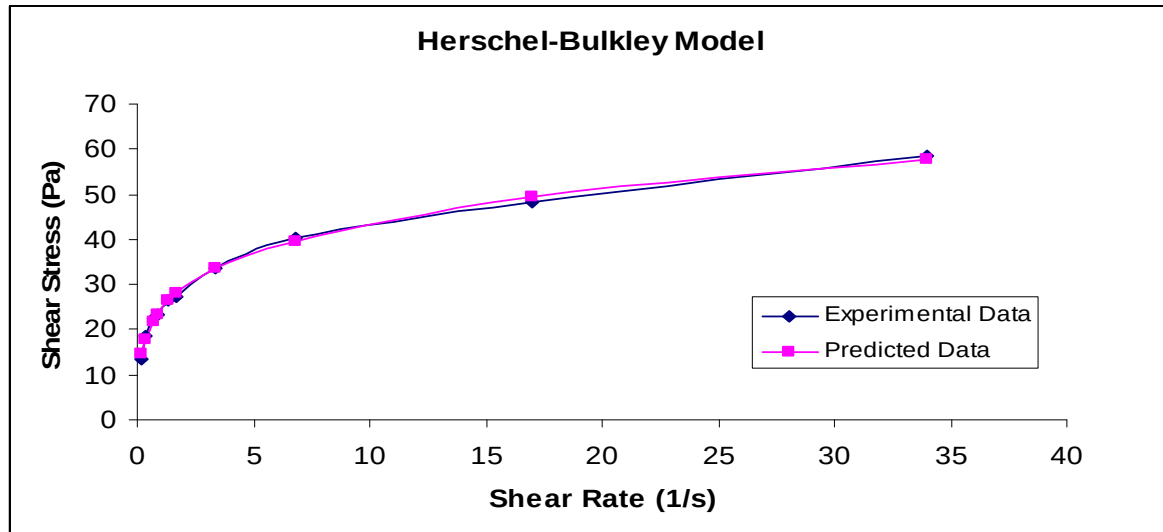
คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ	Mean $\pm$ SD
pH	4.69 $\pm$ 0.1447
Total soluble solids ($^{\circ}$ Brix)	15.48 $\pm$ 0.6145
Total titratable acidity (%)	0.32 $\pm$ 0.0809
Moisture content (%) (wet basis)	82.31 $\pm$ 0.0932
ค่าสี L*	43.71 $\pm$ 0.1609
C* (Chroma)	39.30 $\pm$ 0.4104
h $^{\circ}$ (Hue angle)	86.51 $\pm$ 0.1562



รูปที่ 4.3.1: แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate กับ Shear stress โดยใช้แบบจำลอง Bingham



รูปที่ 4.3.2: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate กับ Shear stress โดยใช้แบบจำลอง Power Law



รูปที่ 4.3.3: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate กับ Shear stress โดยใช้แบบจำลอง Herschel-Bulkley

ตารางที่ 4.3.2: ค่าพารามิเตอร์แสดงความสามารถในการทำนายค่าความหนืดของเนื้อมะม่วงปั่นละเอียด โดยใช้แบบจำลองของ Bingham, Power Law และ Herschel- Bulkley

Model	Parameter				R^2_{adj}	χ^2	RMSE
	τ_0	$\eta_{\infty B}$	K	n			
Bingham	14.7032	0.6592	-	-	0.8327	10.1464	3.1853
Power Law	-	-	15.1755	0.2296	0.9842	0.9567	0.9781
Herschel-Bulkley	0.0363	-	15.1385	0.23	0.9820	1.0934	1.0457

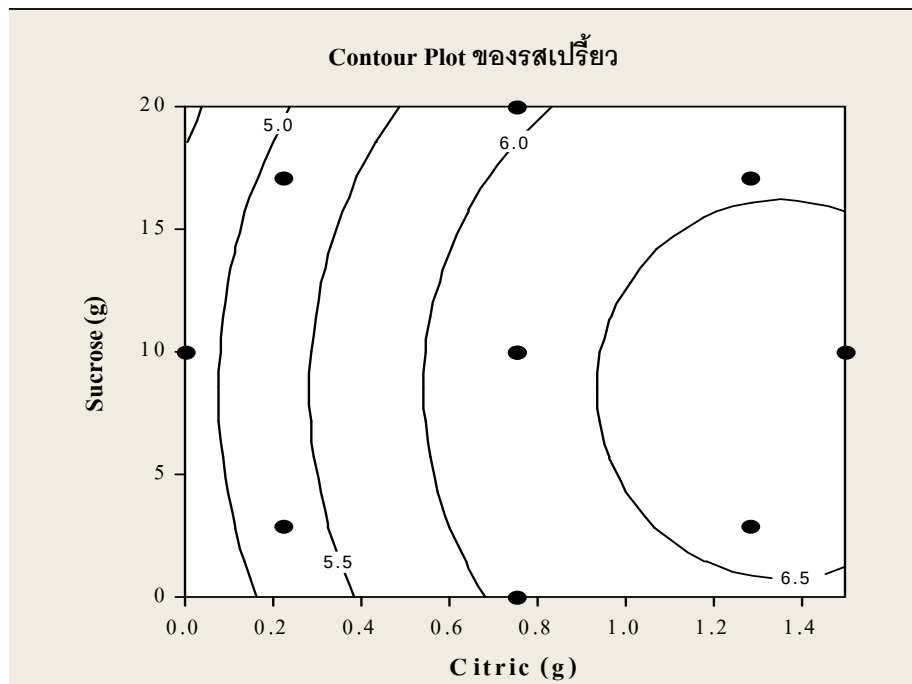
ตารางที่ 4.3.3: คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่น

Treatment	Citric (g)	Sucrose (g)	สี	กลิ่น โดยรวม	รสเปรี้ยว	รสหวาน	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
1	0.22	2.93	6.0	6.0	5.1	5.7	5.7	5.7
2	1.28	2.93	6.9	6.4	6.4	6.1	6.4	6.6
3	0.22	17.07	6.7	6.1	5.2	5.8	6.4	6.1
4	1.28	17.07	7.2	6.7	6.7	6.6	6.6	6.8
5	0.00	10.00	6.5	6.2	4.9	5.8	6.2	6.0
6	1.50	10.00	6.8	6.7	6.6	6.0	6.4	6.7
7	0.75	0.00	6.6	6.5	6.3	6.2	6.3	6.6
8	0.75	20.00	6.7	6.3	5.7	6.0	5.7	6.1
9	0.75	10.00	6.5	6.2	6.4	6.3	5.9	6.3
10	0.75	10.00	6.8	6.4	6.2	6.2	6.4	6.5

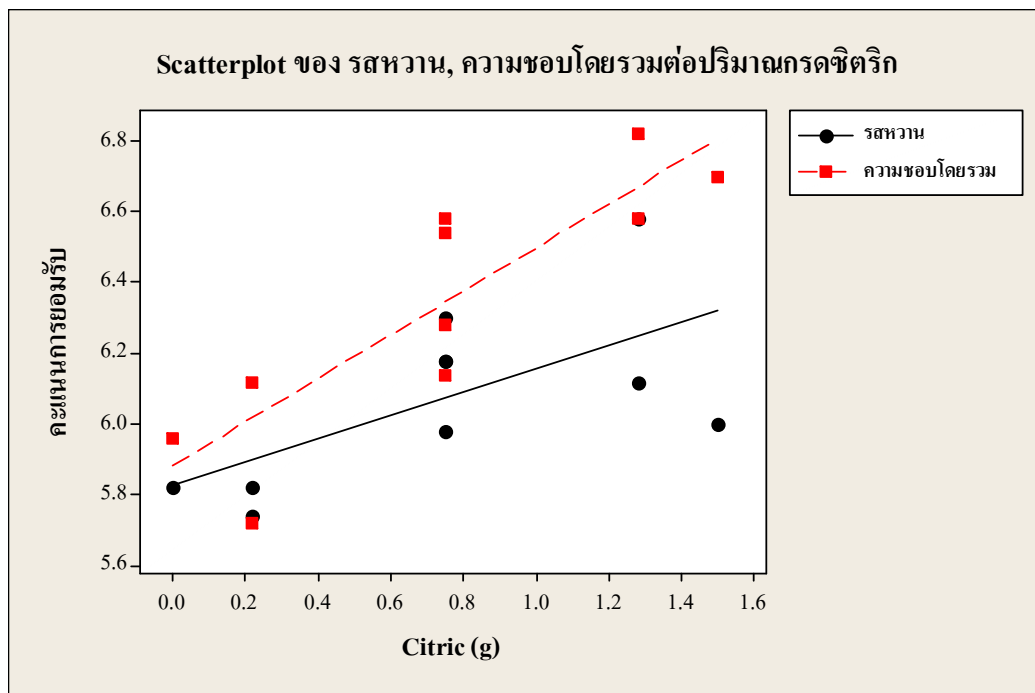
ตารางที่ 4.3.4: สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยอมรับด้านรสเปรี้ยว รสหวานและความชอบโดยรวม ต่อปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทราย

ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัส	สมการ [#] (uncoded equation)	Adjusted R^2
รสเปรี้ยว	$4.59 + 2.76 * \text{Citric acid} + 0.05 * \text{Sucrose} - 1.02 * \text{Citric acid}^2 - 0.003 \text{Sucrose}^2$	0.9250
รสหวาน	$5.82 + 0.33 * \text{Citric acid}$	0.3413
ความชอบโดยรวม	$5.88 + 0.61 * \text{Citric acid}$	0.7161

หมายเหตุ: [#] = $p < 0.05$



รูปที่ 4.3.4: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อการยอมรับด้านรสเปรี้ยว



รูปที่ 4.3.5: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก ต่อการยอมรับด้านรสหวานและความชอบโดยรวม

ตารางที่ 4.3.5: คุณภาพทางเคมีของมะม่วงแผ่น

Treatment	Citric (g)	Sucrose (g)	MC (%wb)	pH	a _w	Titrateable Acidity (%)
1	0.22	2.93	25.16	4.46	0.6407	1.67
2	1.28	2.93	33.03	3.76	0.6857	3.39
3	0.22	17.07	26.06	4.47	0.6723	1.30
4	1.28	17.07	30.08	3.79	0.6893	2.51
5	0.00	10.00	24.35	4.70	0.6927	1.10
6	1.50	10.00	32.94	3.70	0.7010	3.12
7	0.75	0.00	29.28	4.04	0.6233	2.79
8	0.75	20.00	29.24	4.07	0.6983	1.77
9	0.75	10.00	27.96	4.05	0.6970	2.10
10	0.75	10.00	29.67	4.06	0.7170	2.08

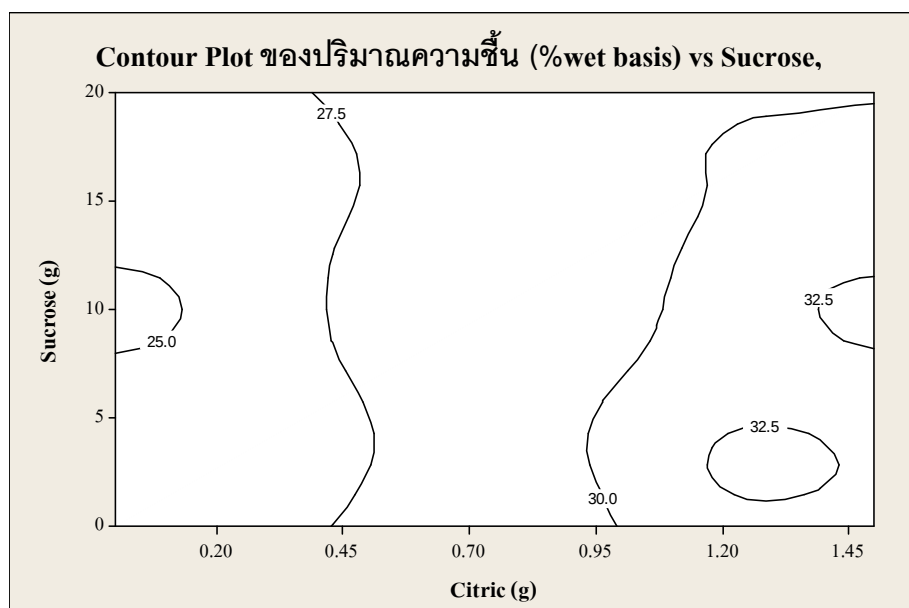
ตารางที่ 4.3.6: คุณภาพทางกายภาพของมะม่วงแผ่น

Treatment	Citric (g)	Sucrose (g)	L*	C*	h°	Hardness (N)	Tensile (N)
1	0.22	2.93	31.747	18.390	56.143	3284.27	1039.63
2	1.28	2.93	41.133	20.320	52.857	1826.48	675.12
3	0.22	17.07	35.213	19.250	55.347	1458.27	499.70
4	1.28	17.07	39.300	21.073	56.400	1404.85	444.11
5	0.00	10.00	34.447	20.250	54.770	2074.23	673.62
6	1.50	10.00	33.780	24.420	55.573	1244.59	562.46
7	0.75	0.00	39.870	18.303	51.330	2624.60	1087.53
8	0.75	20.00	38.380	20.063	54.530	1326.61	416.84
9	0.75	10.00	34.250	21.137	54.597	1817.93	562.98
10	0.75	10.00	36.260	19.763	53.577	1903.80	558.76

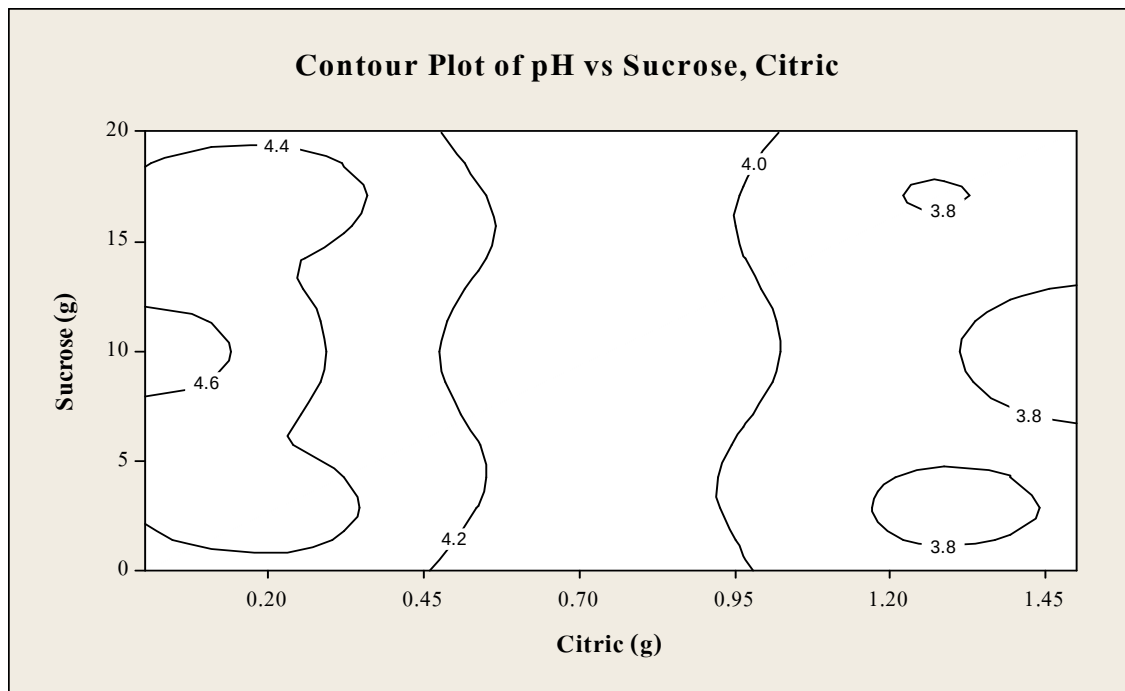
ตารางที่ 4.3.7: สมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพต่อปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทราย

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ	สมการ [#] (uncoded equation)	Adjusted R ²
MC (% , wb)	$22.97 + 8.23 * \text{Citric acid} + 0.156 * \text{Sucrose} - 0.257 * \text{Citric acid} * \text{Sucrose}$	0.9503
pH	$4.69 - 1.05 * \text{Citric acid} + 0.262 * \text{Citric acid}^2$	0.9981
a _w	$0.6174 + 0.0174 * \text{Citric acid} + 0.0112 * \text{Sucrose} - 0.0004 \text{Sucrose}^2$	0.6719
MC (% , wb)	$22.97 + 8.23 * \text{Citric acid} + 0.156 * \text{Sucrose} - 0.257 * \text{Citric acid} * \text{Sucrose}$	0.9503
Acidity (%)	$1.487 + 1.714 * \text{Citric acid} - 0.060 * \text{Sucrose} + 0.002 \text{Sucrose}^2 - 0.035 * \text{Citric acid} * \text{Sucrose}$	0.9976
Hardness	$3945.94 - 1569.00 * \text{Citric acid} - 192.67 * \text{Sucrose} + 2.51 * \text{Sucrose}^2 + 93.62 * \text{Citric acid} * \text{Sucrose}$	0.9434
Tensile Strength	$1309.13 - 342.03 * \text{Citric acid} - 78.03 * \text{Sucrose} + 1.61 * \text{Sucrose}^2 + 20.60 * \text{Citric acid} * \text{Sucrose}$	0.9411

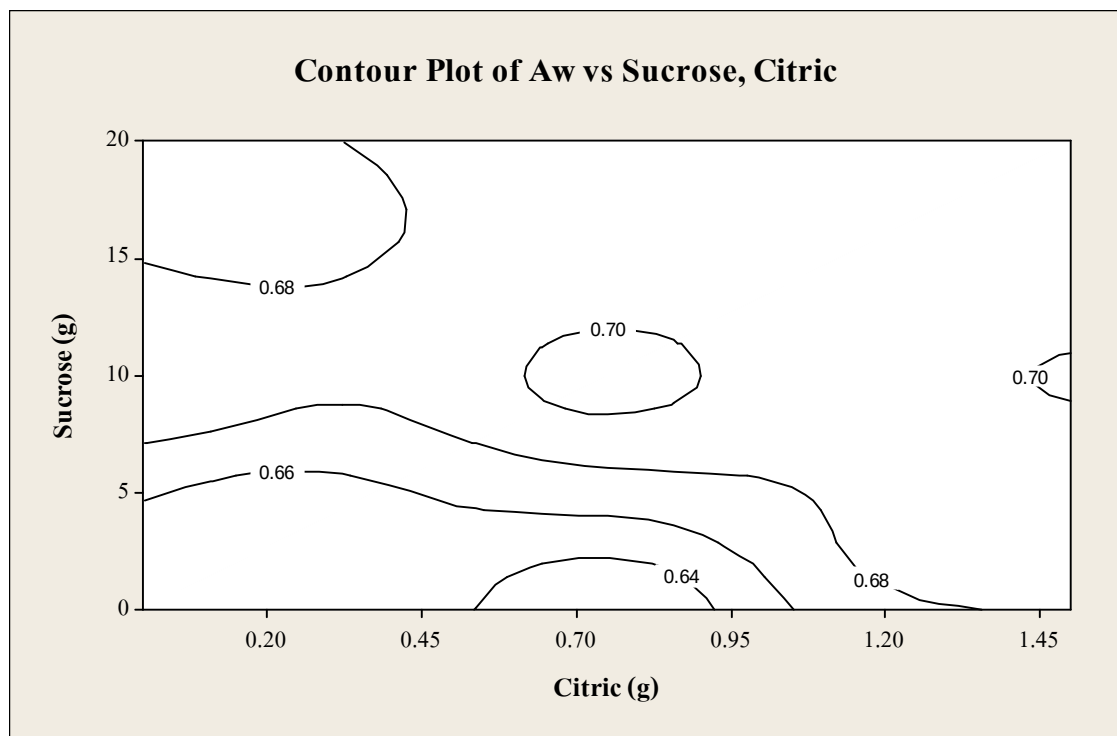
หมายเหตุ: [#] = p < 0.05



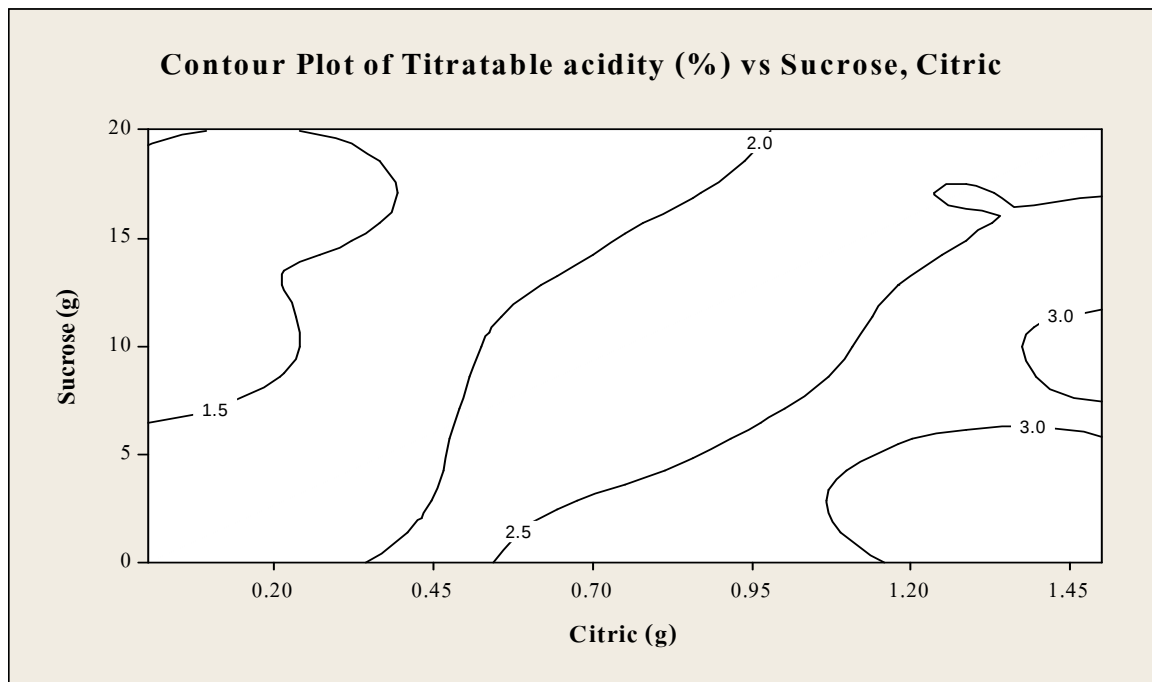
รูปที่ 4.3.6: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริกและน้ำตาลทรายต่อปริมาณความชื้น (%wet basis)



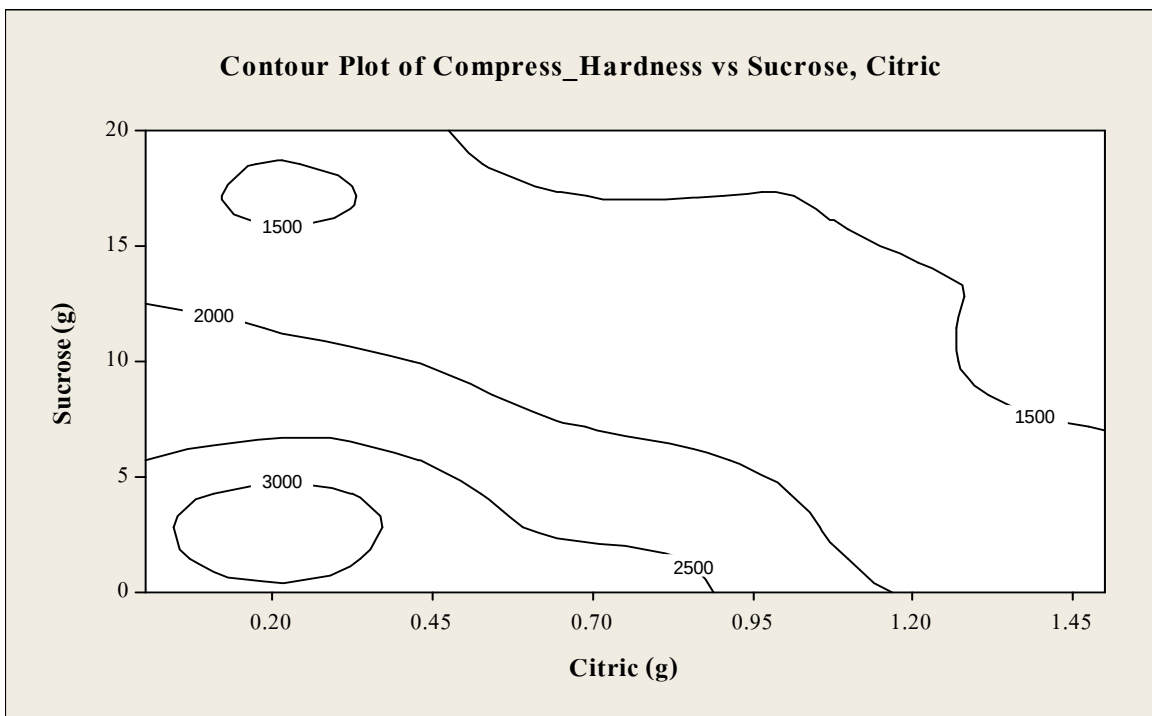
รูปที่ 4.3.7: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า pH



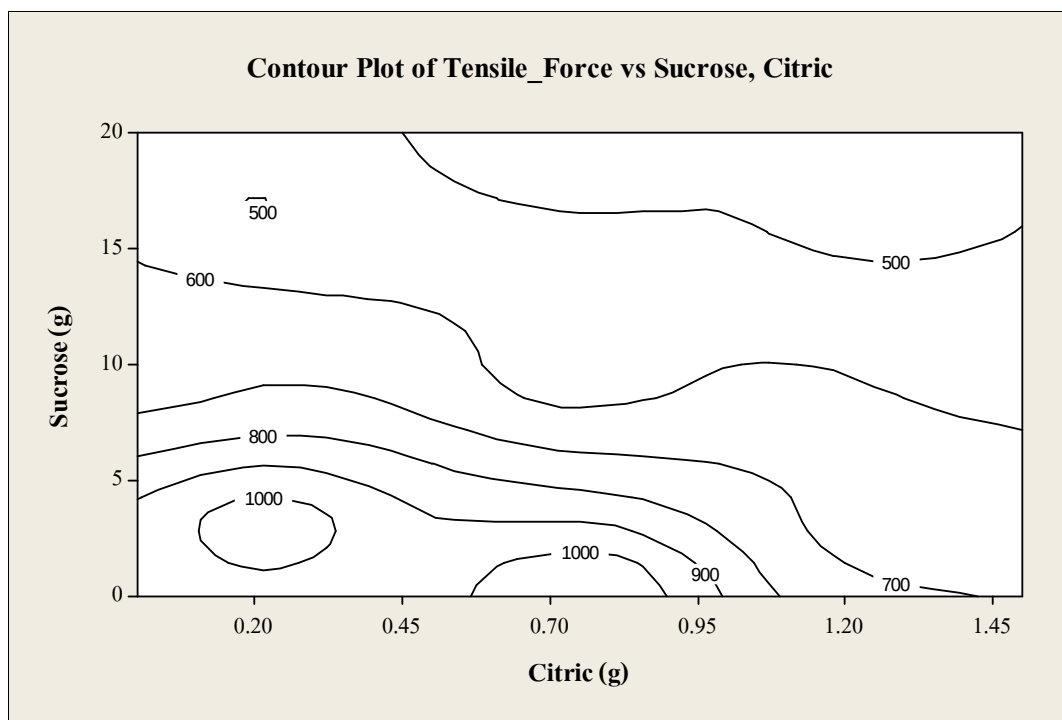
รูปที่ 4.3.8: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า a_w



รูปที่ 4.3.9: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า titratable acidity (%)



รูปที่ 4.3.10: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า Hardness (N)



รูปที่ 4.3.11: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริก และน้ำตาลทรายต่อค่า Tensile strength (N)

ตารางที่ 4.3.8: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two term ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด

Model name	Equation	R^2_{adj}	RMSE	χ^2
Henderson and Pabis	$MR = 1.0274 * \exp(-0.0102 * t)$	0.9981	0.0141	0.000199
Lewis	$MR = \exp(-0.0099 * t)$	0.9975	0.0162	0.000262
Page	$MR = \exp(-0.0069 * t^{1.0777})$	0.9986	0.0120	0.000145
Two term	$MR = 0.5138 * \exp(-0.0102 * t) + 0.5136 * \exp(-0.0102 * t)$	0.9980	0.0144	0.000206

ตารางที่ 4.3.9: เปรียบเทียบค่า a_w ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด

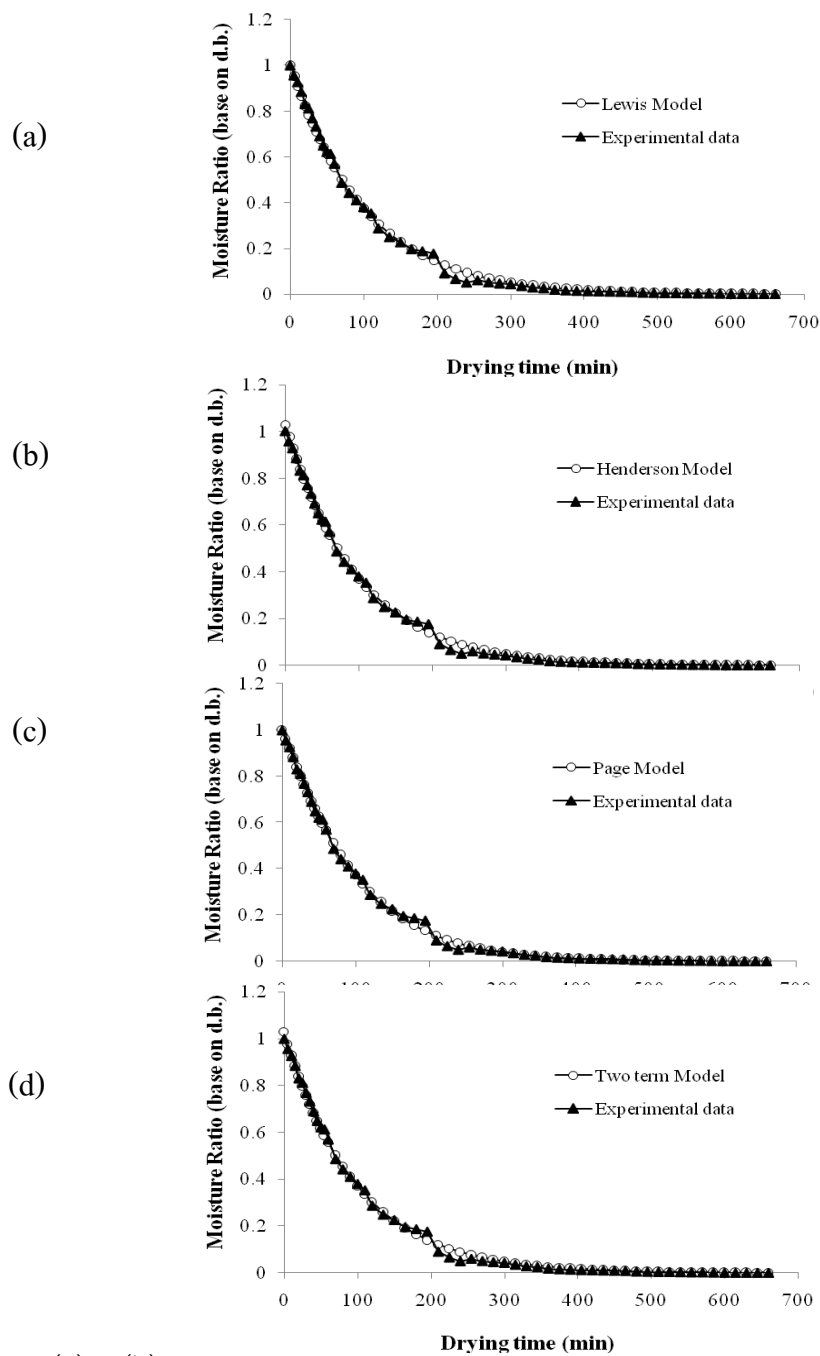
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่า a_w
20.0	0.608 ± 0.008^d
26.7	0.720 ± 0.013^c
33.4	0.815 ± 0.013^b
40.0	0.886 ± 0.007^a

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแนวตั้ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$

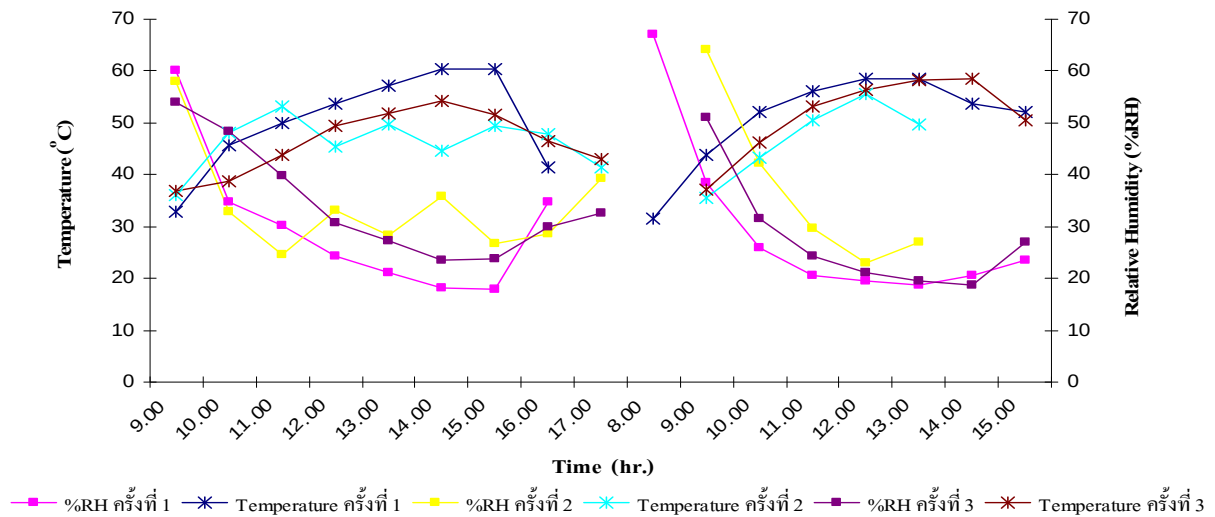
ตารางที่ 4.3.10: ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีปริมาณความชื้น 4 ระดับ

ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	สี	กลิ่นรส โดยรวม	รสเปรี้ยว	รสหวาน	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
20.0	7.10 ± 0.91^b	6.50 ± 0.79^b	6.28 ± 1.36^b	6.58 ± 0.79^b	6.14 ± 1.44^b	6.62 ± 0.83^b
26.7	7.66 ± 0.52^a	7.04 ± 0.78^a	6.98 ± 0.80^a	6.98 ± 0.69^a	6.90 ± 0.91^a	7.04 ± 1.01^a
33.4	7.26 ± 0.63^b	6.64 ± 0.85^b	6.36 ± 1.19^b	6.58 ± 0.70^b	6.42 ± 1.11^b	6.60 ± 0.81^b
40.0	7.00 ± 0.78^b	6.42 ± 0.86^b	6.12 ± 1.15^b	6.42 ± 0.81^b	5.96 ± 1.23^b	6.22 ± 0.95^c

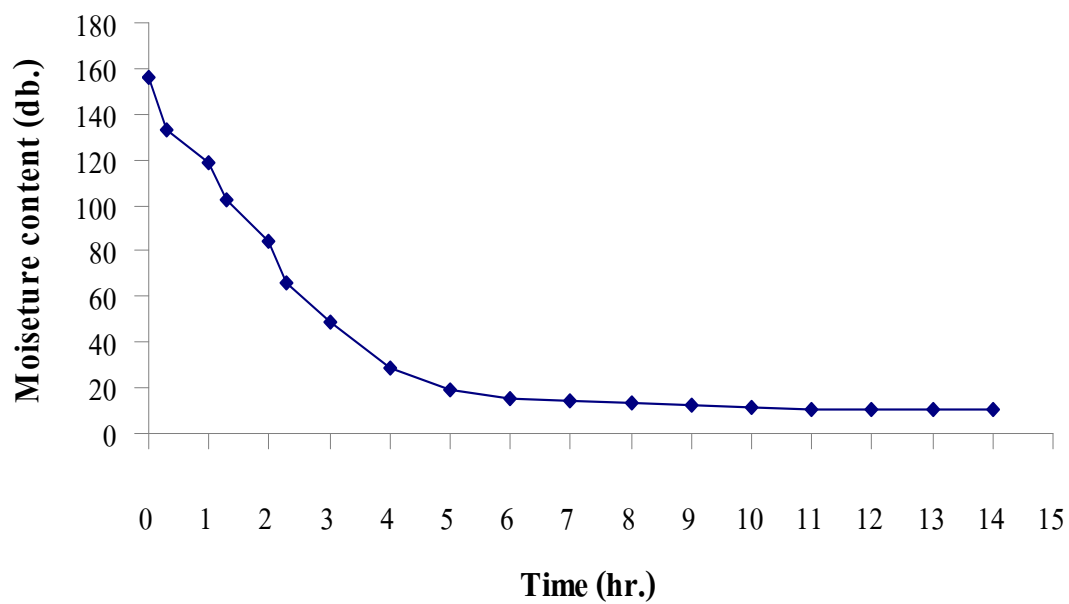
หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแนวตั้ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$



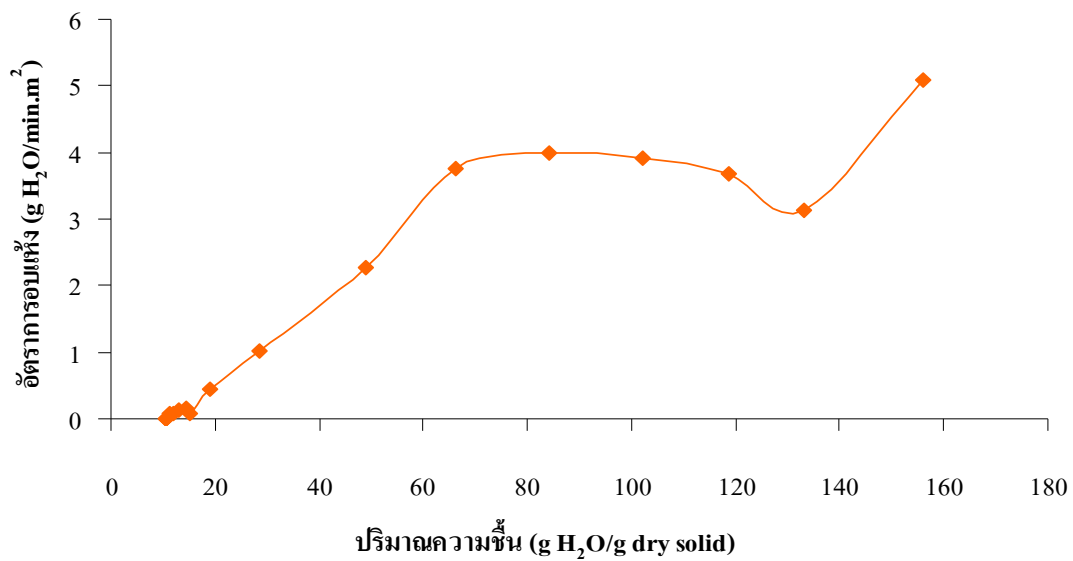
รูปที่ 4.3.12: (a), (b), (c), และ (d): การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของมะม่วงแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่ได้จากการทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการของ Henderson and Pabis Model (a), Lewis Model (b), Page model (c) และ Two term model (d)



รูปที่ 4.3.13: กราฟแสดงอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศภายในและภายนอกตู้อบแห้ง ครั้งที่ 1 (17-18 พฤษภาคม 2555) ครั้งที่ 2 (21-22 พฤษภาคม 2555) ครั้งที่ 3 (23-24 พฤษภาคม 2555)



รูปที่ 4.3.14: กราฟแสดงการลดความชื้นของมะม่วงแผ่นระหว่างการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.3.15: ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 4.3.11: เปรียบเทียบค่า a_w ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์

ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	a_w
20.0	0.570 ± 0.011^d
26.7	0.692 ± 0.001^c
33.4	0.799 ± 0.005^b
40.0	0.814 ± 0.001^a

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$

ตารางที่ 4.3.12: ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปริมาณความชื้น 4 ระดับ

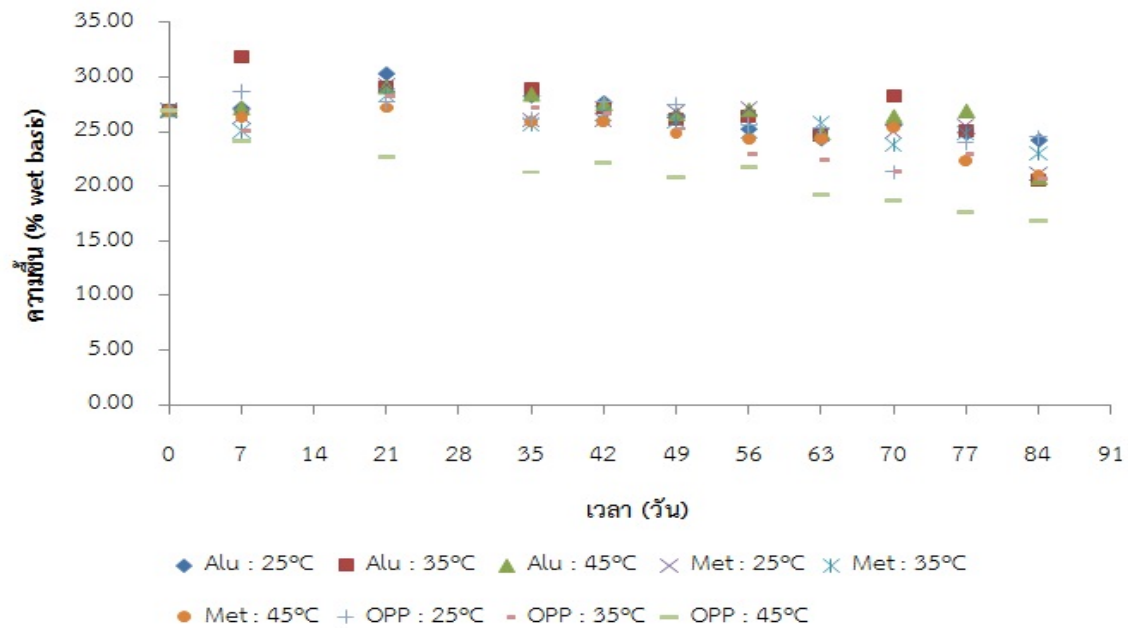
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	สี	กลิ่นรส โดยรวม	รสเปรี้ยว	รสหวาน	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
20.0	7.38±1.01 ^{ns}	6.94±1.25 ^{ns}	6.60±1.64 ^{ns}	6.70±1.47 ^{ns}	5.92±1.59 ^b	6.58±1.23 ^{ns}
26.7	7.54±1.07	6.76±1.08	6.48±1.59	6.60±1.39	6.82±1.41 ^a	7.00±1.14
33.4	7.42±1.18	6.90±1.17	6.24±1.32	6.56±1.37	6.04±1.99 ^b	6.50±1.33
40.0	7.62±0.88	6.96±1.34	6.26±1.43	6.46±1.07	6.20±1.67 ^{ab}	6.58±1.34

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p>0.05$

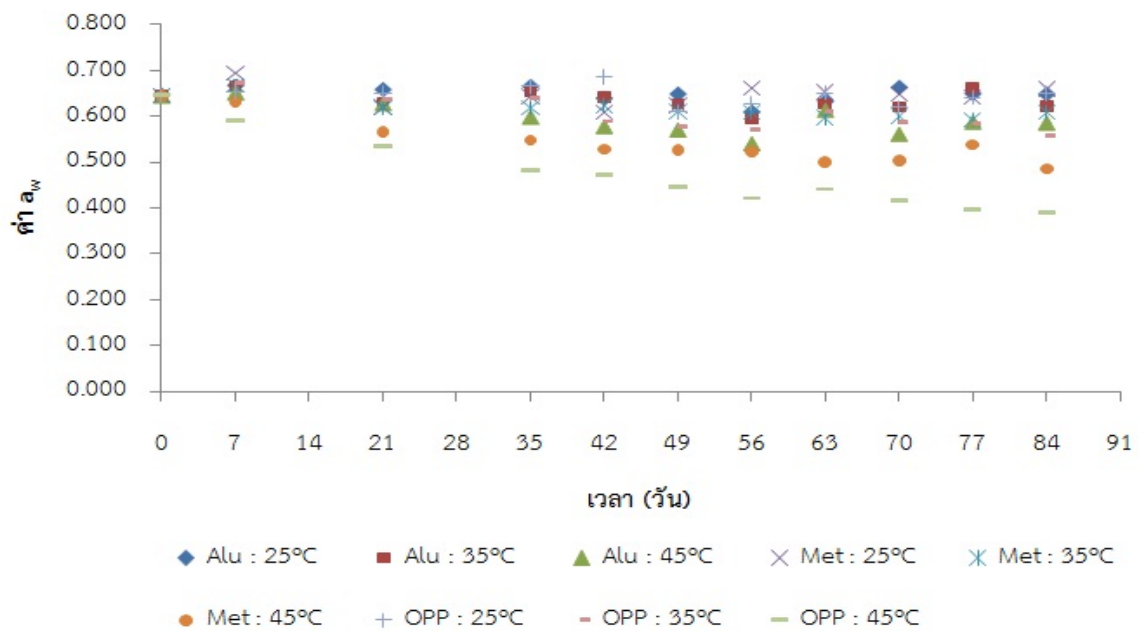
ตารางที่ 4.3.13: เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีกายภาพและทดสอบประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบถาด

คุณภาพ	ชนิดของเครื่องอบแห้ง	
	พลังงานแสงอาทิตย์	แบบถาด
ทางเคมีกายภาพ		
a_w ^{ns}	0.692±0.001	0.720±0.013
ค่าสี L* ^{ns}	53.89±2.83	52.37±2.56
ค่าสี C* ^{ns}	60.52±4.19	59.07±3.93
ค่าสี h° ^{ns}	77.94±2.03	77.25±1.97
ทางประสาทสัมผัส		
สี ^{ns}	7.60±1.05	7.66±0.52
กลิ่น ^{ns}	6.98±0.96	7.04±0.78
รสเปรี้ยว ^{ns}	6.56±1.54	6.98±0.79
รสหวาน ^{ns}	6.80±1.09	6.98±0.68
เนื้อสัมผัส ^{ns}	6.82±1.41	6.90±0.91
ความชอบโดยรวม ^{ns}	7.00±1.14	7.04±1.01

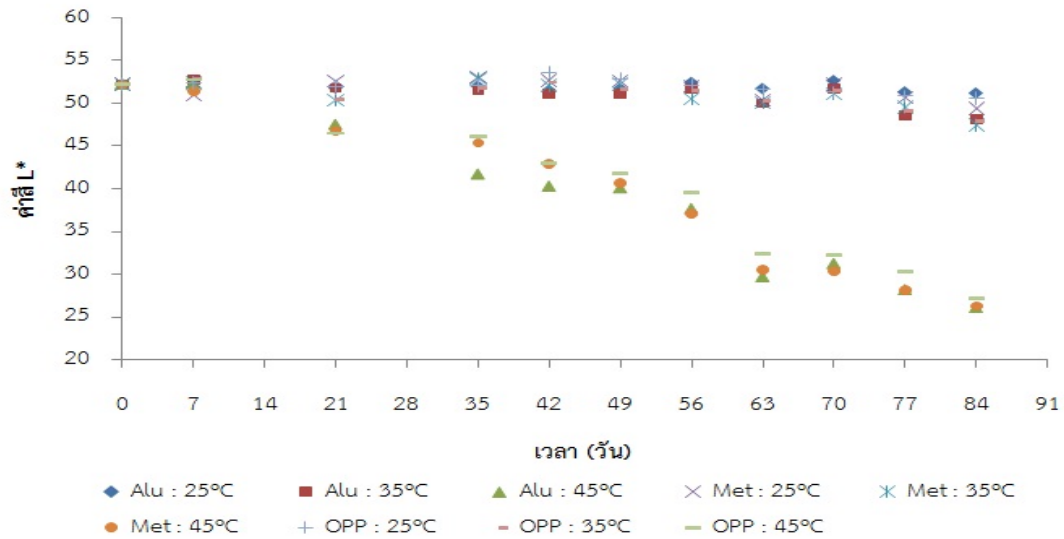
หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแนวนอน
- ns หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p>0.05$



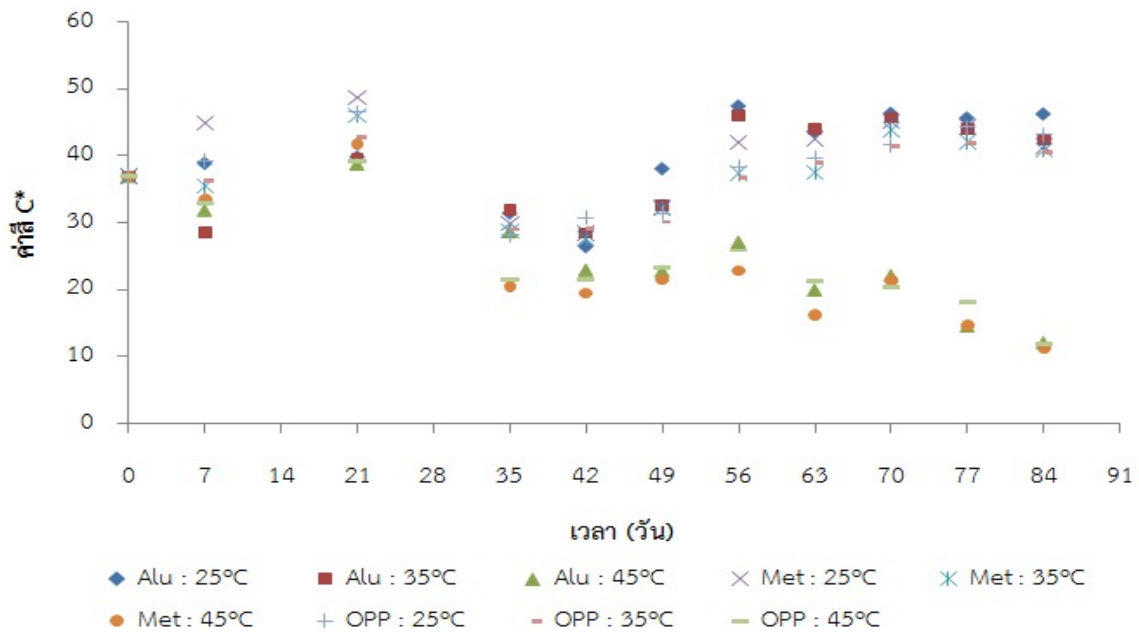
รูปที่ 4.3.16: การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาล์ท (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา



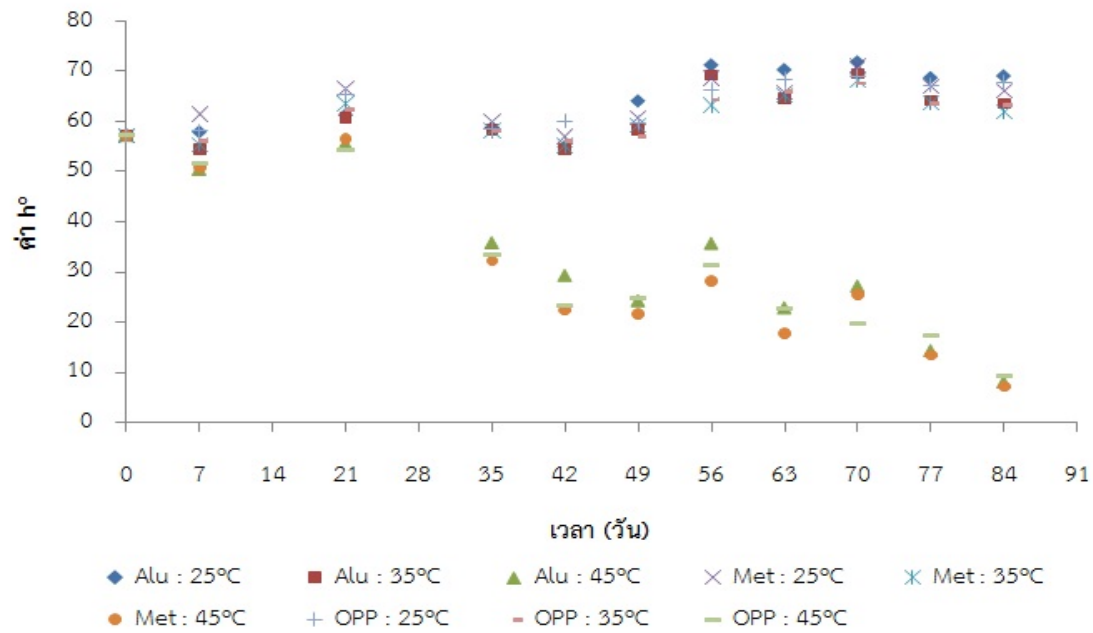
รูปที่ 4.3.17: การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาล์ท (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา



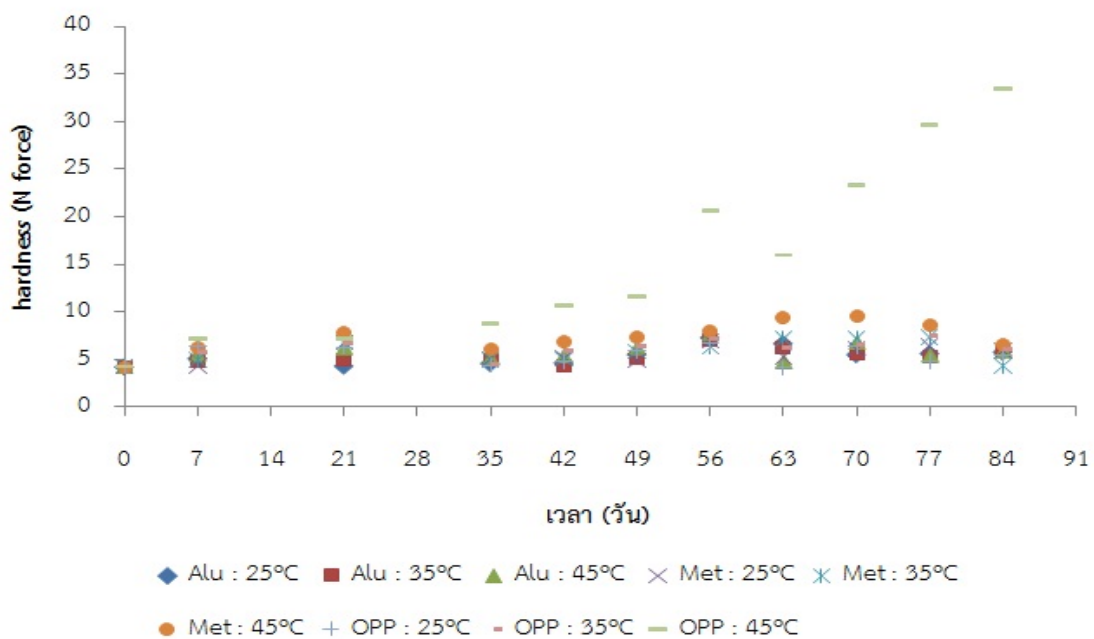
รูปที่ 4.3.18: การเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาลิท์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา



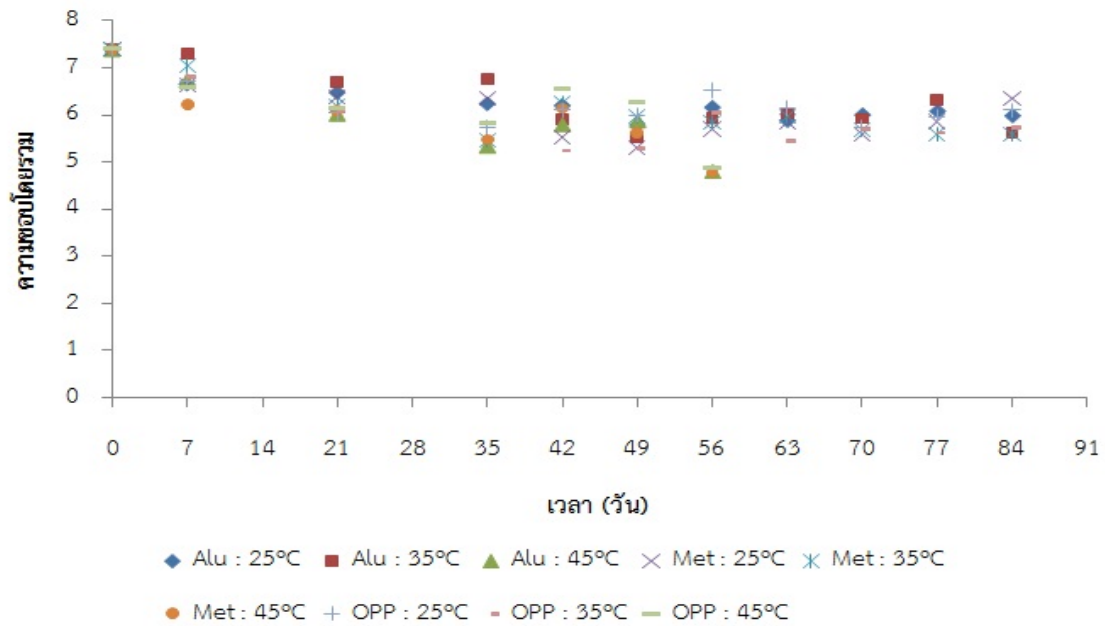
รูปที่ 4.3.19: การเปลี่ยนแปลงค่าสี C^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียม (Alu) ถุงเมทาลิท์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา



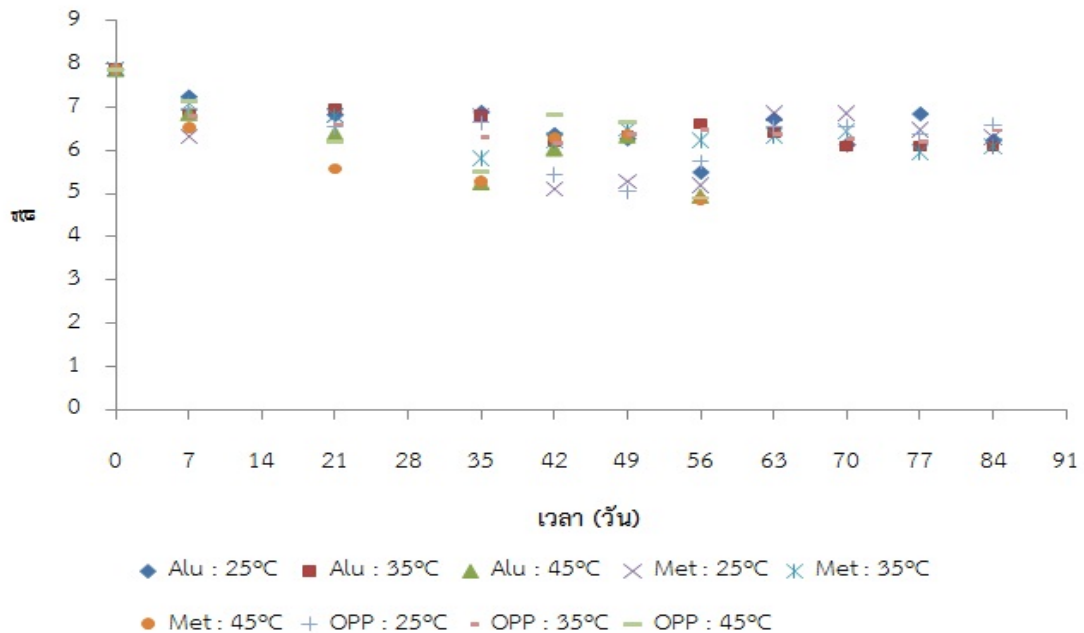
รูปที่ 4.3.20: การเปลี่ยนแปลงค่า h° ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา



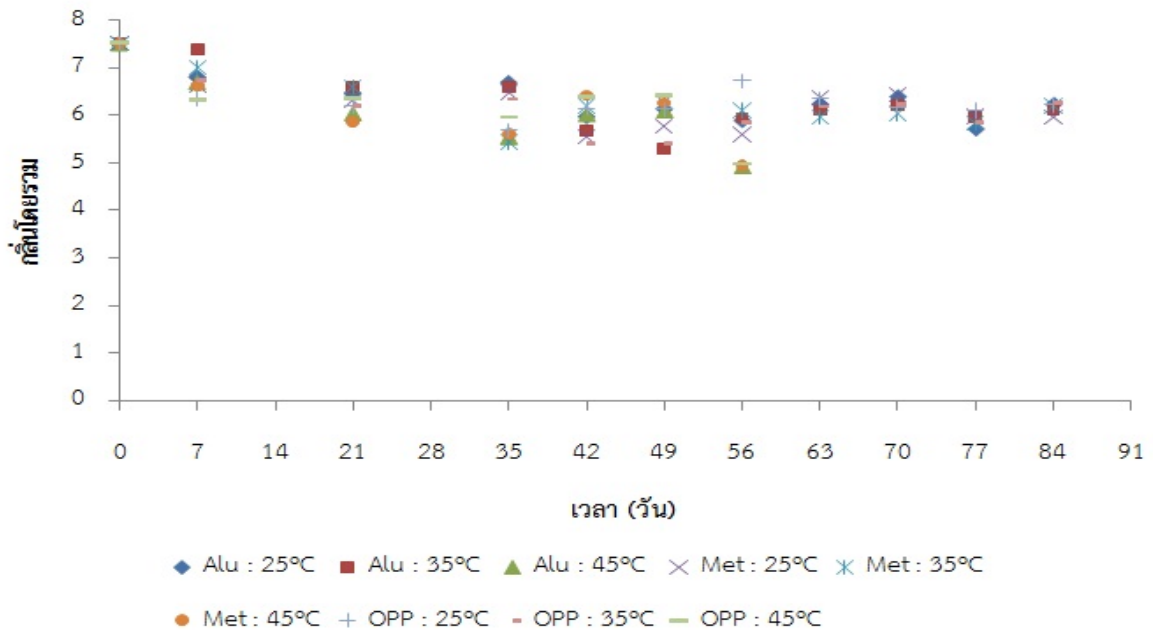
รูปที่ 4.3.21: การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในระหว่างการเก็บรักษา



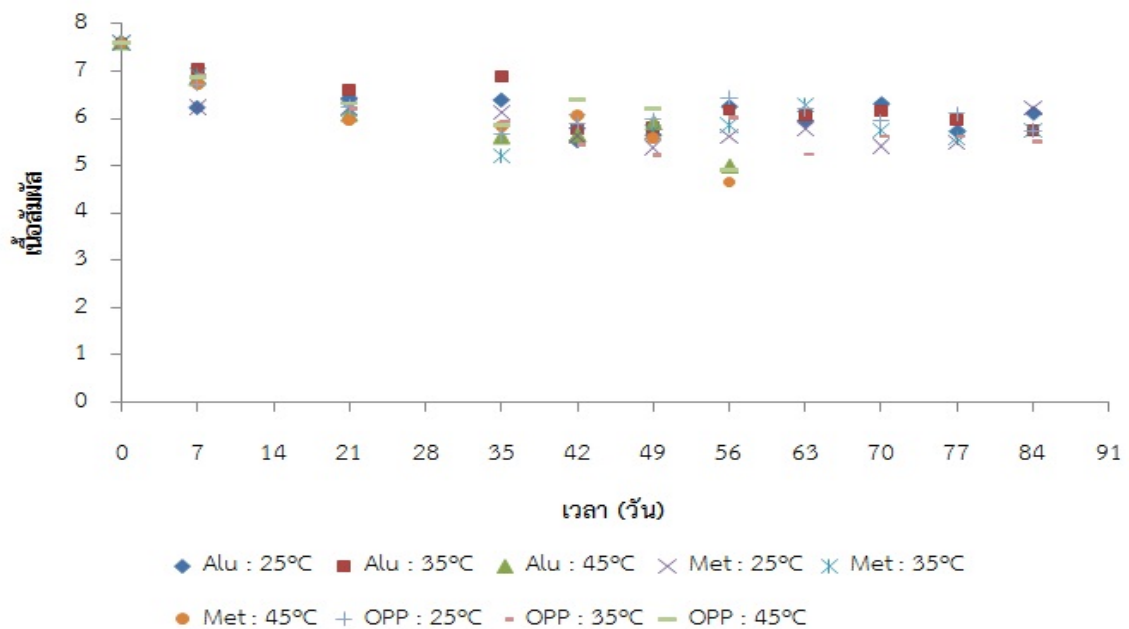
รูปที่ 4.3.22: การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา (n=50)



รูปที่ 4.3.23: การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านสีของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา (n=50)



รูปที่ 4.3.24: การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านกลั่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา (n=50)



รูปที่ 4.3.25: การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Alu) ถุงเมทาไลต์ (Met) และถุง OPP ที่อุณหภูมิแตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา (n=50)

ตารางที่ 4.3.14: ค่าตัวแปรจากสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วง
แผ่นอบแห้งกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกันที่บรรจุในถุง
อะลูมิเนียมฟอยล์

คุณภาพ	อุณหภูมิ (°C)	rate constant, k (หน่วย/วัน)	R ²
ทางกายภาพ			
ค่า L*	25	0.0048	0.087
	35	0.0427	0.642
	45	0.3281	0.969*
ทางประสาทสัมผัส			
สี	25	0.0154	0.459
	35	0.0166	0.743*
	45	0.0383	0.688*
กลิ่นโดยรวม	25	0.0137	0.580
	35	0.0175	0.522
	45	0.0332	0.734*
เนื้อสัมผัส	25	0.0118	0.347
	35	0.0183	0.711*
	45	0.0378	0.854*
ความชอบโดยรวม	25	0.0134	0.676*
	35	0.019	0.677*
	45	0.0362	0.803*

หมายเหตุ: ค่าสังเกตที่มีเครื่องหมาย * ตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไปจะนำไปใช้คำนวณหาอายุการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.3.15: ค่าตัวแปรจากสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกันที่บรรจุในถุงเมทาไลต์

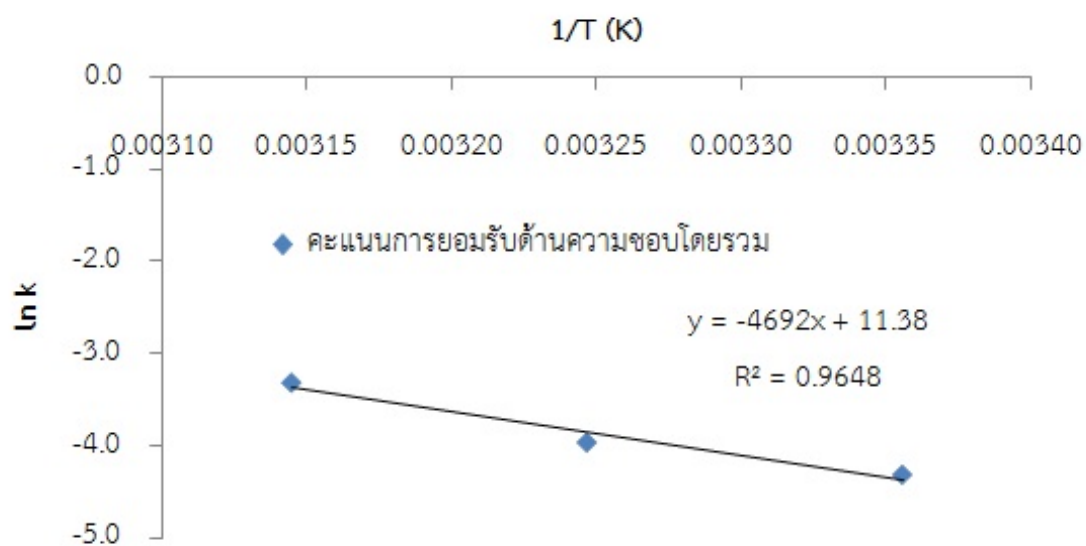
คุณภาพ	อุณหภูมิ (°C)	rate constant, k (หน่วย/วัน)	R ²
ทางกายภาพ			
ค่า L*	25	0.0205	0.237
	35	0.0409	0.500
	45	0.3283	0.958*
ทางประสาทสัมผัส			
สี	25	0.0093	0.092
	35	0.0159	0.578
	45	0.0323	0.476
กลิ่นโดยรวม	25	0.0123	0.370
	35	0.0146	0.505
	45	0.0287	0.560
เนื้อสัมผัส	25	0.0153	0.455
	35	0.0168	0.495
	45	0.0395	0.839*
ความชอบโดยรวม	25	0.014	0.416
	35	0.0183	0.685*
	45	0.0323	0.722*

หมายเหตุ: ค่าสังเกตที่มีเครื่องหมาย * ตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไปจะนำไปใช้คำนวณหาอายุการเก็บรักษา

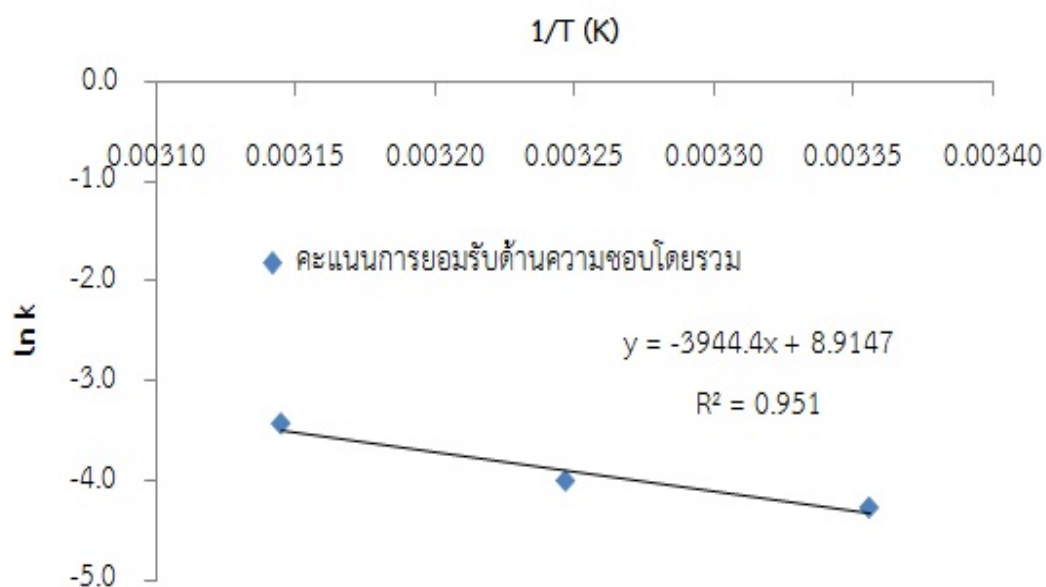
ตารางที่ 4.3.16: ค่าตัวแปรจากสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วง
แผ่นอบแห้งกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกันที่บรรจุในถุง
OPP

คุณภาพ	อุณหภูมิ (°C)	rate constant, k (หน่วย/วัน)	R ²
ทางกายภาพ			
ค่า L*	25	0.0182	0.337
	35	0.0373	0.492
	45	0.3088	0.954*
ทางประสาทสัมผัส			
สี	25	0.0116	0.179
	35	0.0118	0.472
	45	0.0344	0.531
กลิ่นโดยรวม	25	0.0072	0.187
	35	0.0121	0.319
	45	0.0258	0.537
เนื้อสัมผัส	25	0.0133	0.460
	35	0.0215	0.661*
	45	0.0334	0.737*
ความชอบโดยรวม	25	0.0111	0.406
	35	0.0172	0.536
	45	0.0274	0.570

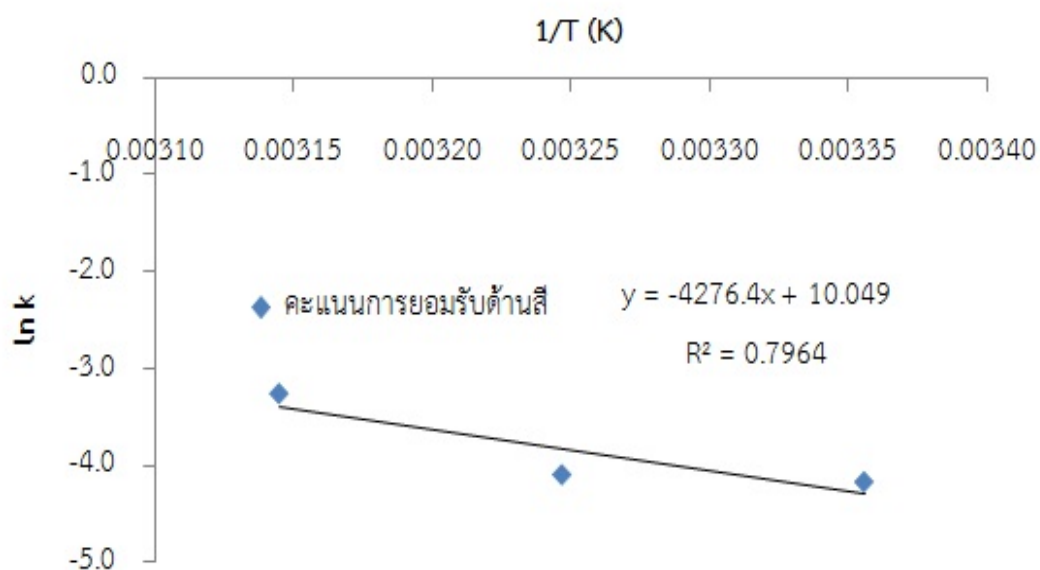
หมายเหตุ: ค่าสังเกตที่มีเครื่องหมาย * ตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไปจะนำไปใช้คำนวณหาอายุการเก็บรักษา



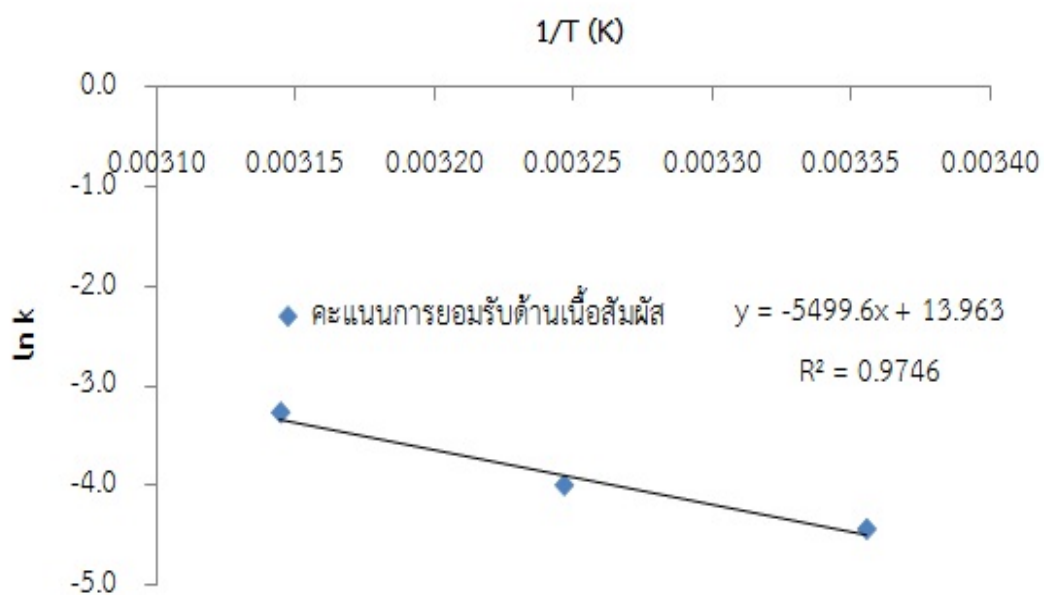
รูปที่ 4.3.26: Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์



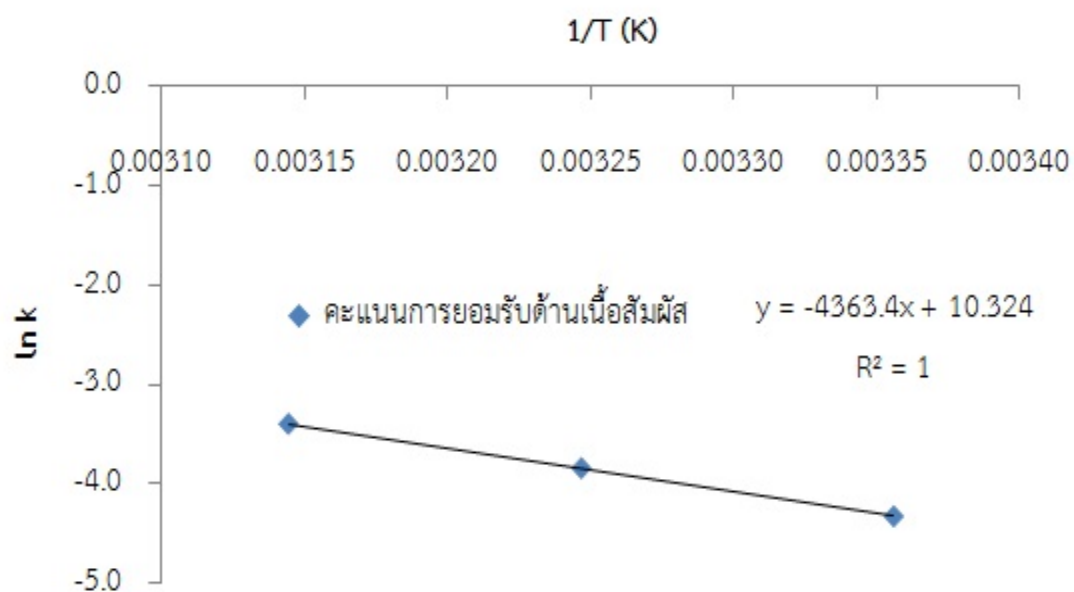
รูปที่ 4.3.27: Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุงเมทาไลต์



รูปที่ 4.3.28: Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์



รูปที่ 4.3.29: Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์



รูปที่ 4.3.30: Arrhenius plot ของคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุด้วยถุง OPP

ตารางที่ 4.3.17: ค่า E_a และค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

คุณภาพ	อุณหภูมิ (°C)	Q ₁₀	E _a (kJ/mol K)	R ²
ทางกายภาพ				
ค่า L*	25	8.9	166.43	1.000
	35	7.7		
	45	6.8		
ทางประสาทสัมผัส				
สี	25	1.6	35.55	0.796
	35	1.5		
	45	1.5		
กลิ่นโดยรวม	25	1.6	34.69	0.928
	35	1.5		
	45	1.5		

ตารางที่ 4.3.17: ค่า E_a และค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

คุณภาพ	อุณหภูมิ (°C)	Q_{10}	E_a (kJ/mol K)	R^2
เนื้อสัมผัส	25	1.8	45.72	0.975
	35	1.8		
	45	1.7		
ความชอบโดยรวม	25	1.7	39.01	0.965
	35	1.6		
	45	1.6		

ตารางที่ 4.3.18: ค่า E_a และค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาลิท์ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

คุณภาพ	อุณหภูมิ (°C)	Q ₁₀	E _a (kJ/mol K)	R ²
ทางกายภาพ				
ค่า L*	25	4.2	108.62	0.912
	35	3.8		
	45	3.5		
ทางประสาทสัมผัส				
สี	25	1.9	48.96	0.990
	35	1.8		
	45	1.8		
กลิ่นโดยรวม	25	1.5	33.15	0.883
	35	1.5		
	45	1.5		
เนื้อสัมผัส	25	1.6	37.02	0.809
	35	1.6		
	45	1.5		

ตารางที่ 4.3.18: ค่า E_a และค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

คุณภาพ	อุณหภูมิ (°C)	Q_{10}	E_a (kJ/mol K)	R^2
ความชอบโดยรวม	25	1.5	32.79	0.951
	35	1.5		
	45	1.5		

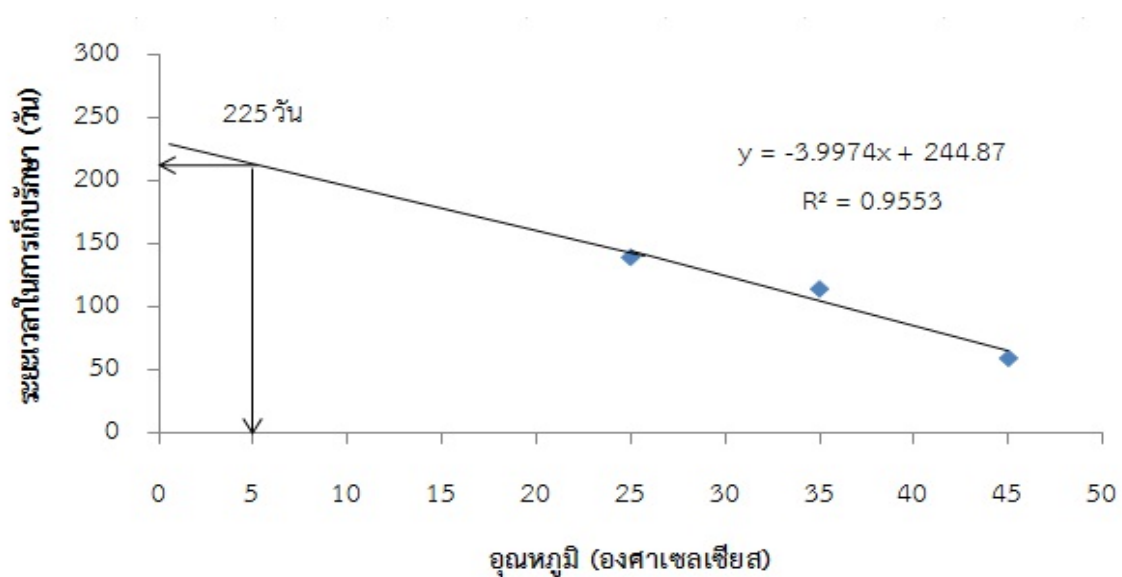
ตารางที่ 4.3.19: ค่า E_a และค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP ในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

คุณภาพ	อุณหภูมิ (°C)	Q ₁₀	E _a (kJ/mol K)	R ²
ทางกายภาพ				
ค่า L*	25	4.3	110.90	0.915
	35	3.9		
	45	3.6		
ทางประสาทสัมผัส				
สี	25	1.7	42.36	0.746
	35	1.7		
	45	1.6		
กลิ่นโดยรวม	25	1.9	50.16	0.984
	35	1.9		
	45	1.8		
เนื้อสัมผัส	25	1.6	36.28	1.000
	35	1.6		
	45	1.5		
ความชอบโดยรวม	25	1.6	35.57	0.999
	35	1.5		
	45	1.5		

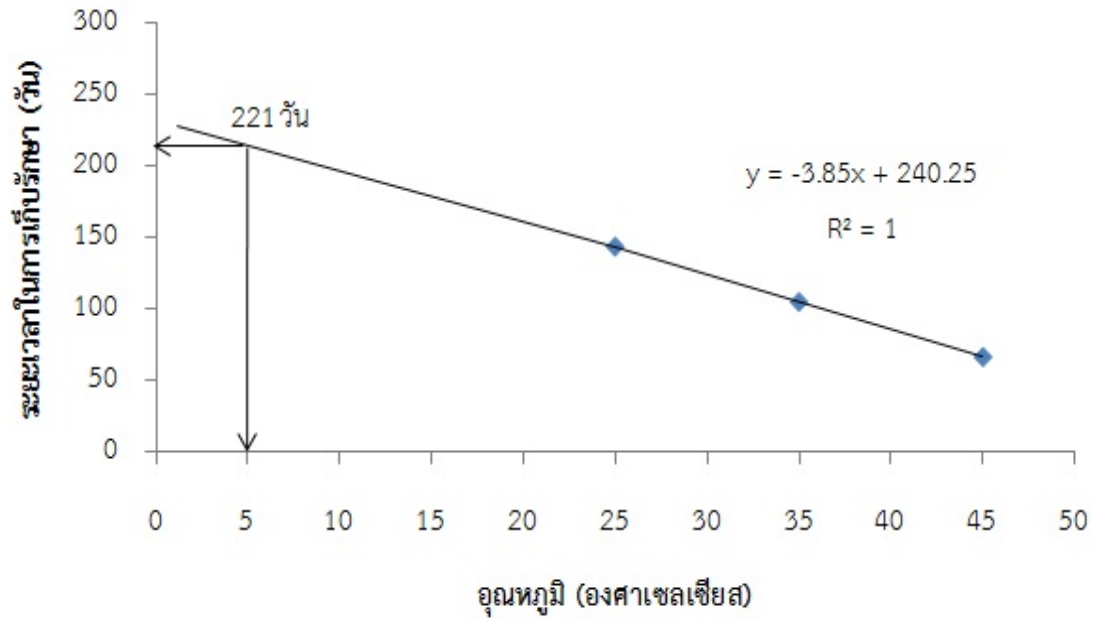
ตารางที่ 4.3.20: อายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

คุณภาพ	อุณหภูมิ (°C)	อายุการเก็บ (วัน)		
		อะลูมิเนียมฟอยล์	เมทาไลต์	OPP
ทางประสาทสัมผัส				
สี	25	220	U	U
	35	141	U	U
	45	63	U	U
เนื้อสัมผัส	25	179	U	108
	35	119	U	90
	45	59	U	72
ความชอบโดยรวม	25	140	144	U
	35	115	105	U
	45	60	67	U

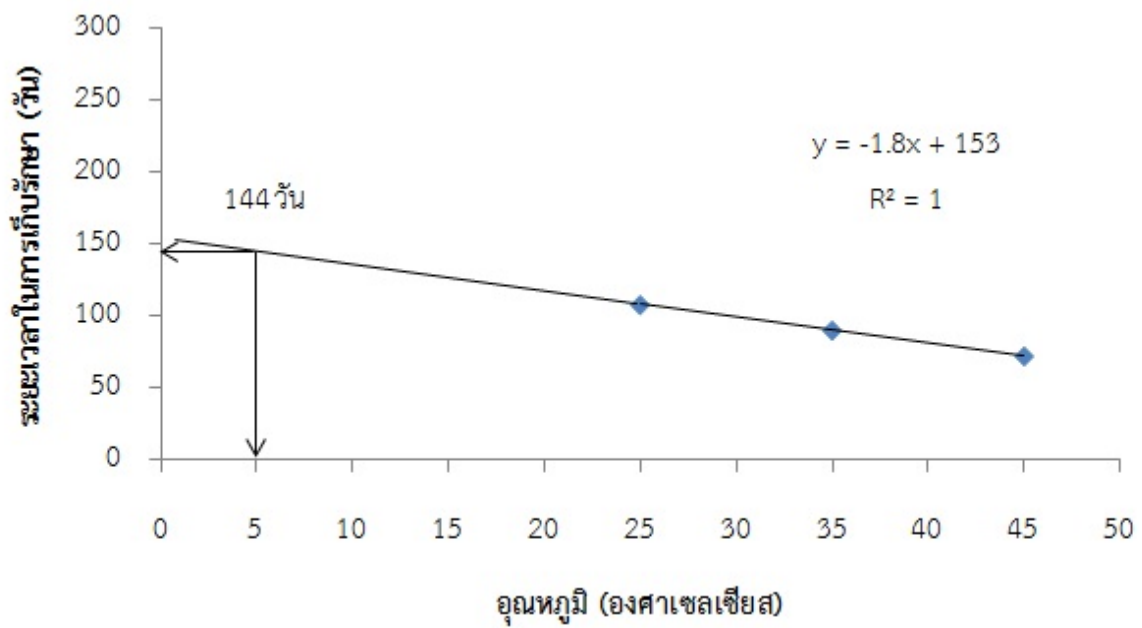
หมายเหตุ: U คือ Unpredictable



รูปที่ 4.3.31: การทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3.32: การทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3.33: การทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



4.4 การผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดหวาน

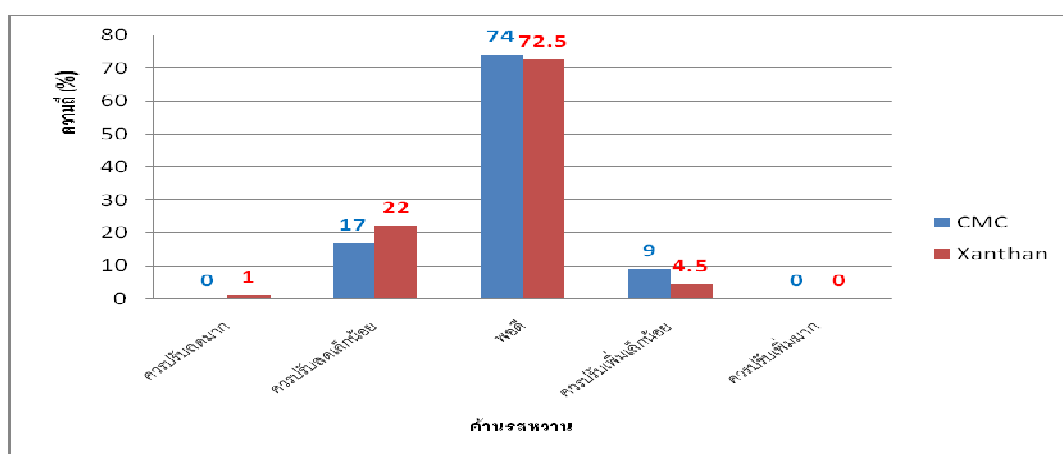
4.4.1 การศึกษาสูตรเบื้องต้นของนมข้าวโพดชั้นหวาน

จากการทำการทดลองผันแปรไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดได้แก่ Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ร้อยละ 0.2 และ Xanthan gum ร้อยละ 0.1 ในสูตรนํ้ามข้าวโพดชั้นหวาน จากนั้นนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายจำนวน 100 คน และทดสอบความพอดีของผลิตภัณฑ์นํ้ามข้าวโพดชั้นหวาน ทั้ง 2 สูตร ได้ผลดังตารางที่ 4.4.1 และรูปที่ 4.4.1 – 4.4.2

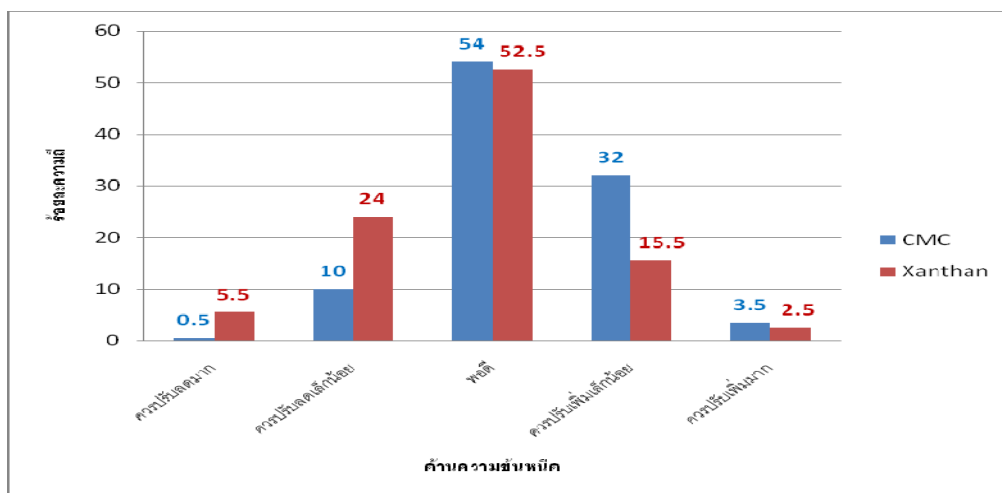
ตารางที่ 4.4.1: ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ นํ้ามข้าวโพดชั้นหวานแต่ละสิ่งทดลอง (n=100)

คุณลักษณะ	คะแนนการยอมรับ	คะแนนการยอมรับ	P value
	CMC 0.2 %	Xanthan gum 0.1 %	
ความชอบโดยรวม	6.6±1.2	6.7±1.1	0.607
สี	6.9±1.2	7.0±1.2	0.574
กลิ่นข้าวโพด (โดยการดม)	6.5±1.3	6.6±1.3	0.762
กลิ่นรสข้าวโพด (โดยการชิม)	6.6±1.3	6.5±1.3	0.849
รสชาติโดยรวม	6.5±1.2	6.6±1.3	0.464
รสหวาน	5.9±1.6	6.0±1.6	0.600
ความข้นหนืด	6.5±1.4	6.4±1.5	0.676

หมายเหตุ: คะแนนการยอมรับโดยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 คะแนน (9-point hedonic scale)



รูปที่ 4.4.1: ร้อยละความพอดีของนมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ CMC และ Xanthan เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด



รูปที่ 4.4.2: ร้อยละความพอดีของนมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ CMC และ Xanthan เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด

จากตารางที่ 4.4.1 พบว่า ผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานทั้ง 2 สิ่งทดลอง คือ สูตรที่ใช้ Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ร้อยละ 0.2 และสูตรที่ใช้ Xanthan gum ร้อยละ 0.1 มีคะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) โดยมีคะแนนการยอมรับอยู่ในช่วง 6.5-7.0 หรืออยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง สำหรับการทดสอบความพอดิ์ด้านรสหวานจากรูปที่ 2 จะเห็นว่าทั้ง 2 สูตรผู้บริโภคมกกว่าร้อยละ 70 เห็นว่ามีความพอดิ์แล้ว และมีค่า net scores (ผลต่างของร้อยละที่ผู้บริโภคนเห็นว่าควรปรับเพิ่มกับที่เห็นว่าควรปรับลด) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 ส่วนการทดสอบความพอดิ์ด้านความข้นหนืดจะเห็นว่าทั้ง 2 สูตรผู้บริโภคประมาณร้อยละ 50 ที่เห็นว่าความข้นหนืดมีความพอดิ์แล้ว แต่สูตรที่ใช้ CMC มีค่า net scores มากกว่า 20 ($(32+3.5) - (10+0.5) = 25$) จากนั้นเมื่อนำนำนมข้าวโพดชั้นหวานทั้งสองสิ่งทดลองไปตรวจคุณภาพทางเคมีกายภาพ ได้ผลตารางที่ 4.4.2

ตารางที่ 4.4.2: ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานแต่ละสิ่งทดลอง

คุณภาพ	CMC 0.2 %	Xanthan gum 0.1 %	P value
a_w	0.830±0.003 a	0.826±0.002 a	0.828
L^*	44.56± 0.24 a	44.66±0.18 a	0.435
a^*	-2.68±0.10 a	-2.60±0.06 a	0.105
b^*	26.52±0.02 b	27.76±0.21 a	0.000

ตารางที่ 4.4.2 (ต่อ): ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานแต่ละสิ่งทดลอง

คุณภาพ	CMC 0.2 %	Xanthan gum 0.1 %	P value
°Brix	65.00±0.47 a	64.00±0.67 a	0.643
Viscosity (cm/30sec)	12.12±0.06 a	8.30±0.25 b	0.000

หมายเหตุ: - *ค่าเฉลี่ยจาก 2 ซ้ำการทดลอง และ 3 ซ้ำการวัดค่า
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนอน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 4.4.2 พบว่า ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ค่าสี L* a* b* ค่าความหวาน ของตัวอย่างนมข้าวโพดชั้นหวานทั้ง 2 สิ่งทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) โดยมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.826 ± 0.002 ถึง 0.830 ± 0.003 ค่าสี L* มีค่าอยู่ในช่วง 44.56 ± 0.24 ถึง 44.66 ค่าสี a* มีค่าอยู่ในช่วง -2.68 ± 0.10 ถึง -2.60 ± 0.06 ส่วนค่าสี b* มีค่าอยู่ในช่วง 26.52 ± 0.02 ถึง 27.76 ± 0.21 และค่าความหวาน มีค่าอยู่ในช่วง 64.00 ± 0.67 ถึง 65.00 ± 0.47

สำหรับค่าความข้นหนืดพบว่า ความข้นหนืดของน้ำนมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ CMC ร้อยละ 0.2 มีค่ามากกว่าความข้นหนืดของน้ำนมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ Xanthan gum ร้อยละ 0.1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยน้ำนมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่ใช้ CMC ร้อยละ 0.2 มีค่าความข้นหนืดเท่ากับ 12.12 ± 0.06 และน้ำนมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ Xanthan gum ร้อยละ 0.1 มีค่าความข้นหนืดเท่ากับ 8.3 ± 0.25 จากการวัดค่าความข้นหนืดของนมชั้นหวานที่ขายในท้องตลาด (ตรามะลิ) มีค่า 13 เซนติเมตรต่อสามสิบวินาที

ในการหาสูตรที่เหมาะสมของนมข้าวโพดชั้นหวานที่ผู้บริโภคยอมรับ ทำการทดลองหาสูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน โดยผันแปรปริมาณแบะแซและ CMC ทั้งหมด 8 สูตร ได้ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.4.3 และ 4.4.4

ตารางที่ 4.4.3: คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพในแต่ละสิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนแบบส่วนผสม (Mixture design) ของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน

สิ่งทดลอง	a_w	L^*	a^*	b^*	Viscosity (cm/30sec)	°Brix
1	0.827±0.002 bcd	38.34±0.30 d	-2.79±0.06	20.96±0.63 d	18.90±0.52 e	66
2	0.830±0.003 ab	37.69±0.05 d	-2.72±0.03	20.77±0.06 d	10.90±0.52 a	65
3	0.834±0.001 a	38.07±0.04 d	-2.64±0.09	21.24±0.15 d	15.07±0.23 c	65
4	0.830±0.001 abc	39.32±0.12 c	-2.75±0.10	23.16±0.09 c	15.53±0.29 c	65
5	0.826±0.001 bcd	38.37±0.26 d	-2.78±0.05	21.37±0.46 d	11.53±0.29 a	66
6	0.825±0.001 d	40.10±0.19 b	-2.73±0.08	23.66±0.10 bc	17.60±0.52 d	66
7	0.827±0.002 bcd	41.03±0.11 a	-2.71±0.04	25.24±0.17 a	10.53±0.29 a	66
8	0.825±0.002 cd	40.61±0.51 ab	-2.76±0.11	24.31±0.26 b	13.53±0.29 b	66

หมายเหตุ: - *ค่าเฉลี่ยจาก 2 ซ้ำการทดลอง และ 3 ซ้ำการวัดค่า
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนอน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

นำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนในส่วนของคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานทั้ง 8 สูตร พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า a_w , L^* , a^* และค่าความหนืดแตกต่างกัน จากตารางที่ 4.4.4 พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานแตกต่างกัน ยกเว้นคุณลักษณะสีและกลิ่นรสข้าวโพด ซึ่งการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Design-Expert เพื่อให้ได้สมการถดถอยที่เหมาะสม ซึ่งสมการดังกล่าวจะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ปริมาณแบะแซและ CMC) และตัวแปรตาม (คุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน) ทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในโครงสร้างของสมการ แล้วคัดเลือกเฉพาะตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ซึ่งตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป เพื่อให้ได้สมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้อง และมีค่า R^2 (Coefficient of determination) สูง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ศึกษา ทั้งนี้ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากที่สุด และจากการวิเคราะห์หาสมการถดถอย พบว่า ปริมาณแบะแซและ CMC ที่ใช้มีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์เท่านั้น ดังตารางที่ 4.4.5

ตารางที่ 4.4.4: คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในแต่ละสิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนแบบส่วนผสม (Mixture design) ของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน

สิ่งทดลอง	ความชอบโดยรวม	สี	กลิ่นข้าวโพด	กลิ่นรสข้าวโพด	รสชาติโดยรวม	ความหวาน	ความข้นหนืด
1	6.5±1.2 ab	6.6±1.2	6.3±1.2	6.5±1.2 a	6.6±1.2 a	6.2±1.5 ab	6.1±1.4 a
2	6.0±1.4 bc	6.4±1.2	6.2±1.2	6.1±1.3 ab	6.3±1.3 ab	6.0±1.6 ab	5.2±2.1 b
3	6.7±1.1 a	6.7±1.0	6.4±1.3	6.5±1.2 a	6.7±1.2 a	6.4±1.4 a	6.2±1.7 a
4	6.7±1.2 a	6.6±1.1	6.3±1.2	6.6±1.2 a	6.6±1.2 a	6.2±1.5 ab	6.3±1.4 a
5	6.6±1.2 a	6.8±1.1	6.5±1.3	6.5±1.3 a	6.6±1.3 a	6.1±1.5 ab	6.3±1.4 a
6	5.8±1.4 c	6.6±1.3	6.2±1.3	5.6±1.5 b	6.0±1.5 b	5.6±1.6 b	4.8±1.7 b
7	6.6±1.2 a	6.7±1.2	6.2±1.2	6.4±1.3 a	6.8±1.2 a	6.3±1.5 ab	6.4±1.5 a
8	6.6±1.3 a	6.7±1.1	6.3±1.4	6.4±1.5 a	6.6±1.1 a	6.0±1.6 ab	6.0±1.4 a

หมายเหตุ: - *ค่าเฉลี่ยจาก 2 ซ้ำการทดลอง และ 3 ซ้ำการวัดค่า
- ตัวภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนอน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.4.5: สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแบะแซและ CMC ที่ใช้ต่อค่าคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน

ค่าคุณภาพ	สมการถดถอย	Adjusted R ²	ระดับนัยสำคัญ (p)
Viscosity	= +7.91* แบะแซ-13167.72* CMC+9183.60 * แบะแซ* CMC-1534.32* แบะแซ* CMC *(แบะแซ-CMC)	0.9246	0.0034

จากนั้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานที่มีคุณภาพเหมาะสมจึงกำหนดเกณฑ์ในการให้โปรแกรมคำนวณหาสูตรที่เหมาะสม โดยให้ค่า viscosity อยู่ในช่วง 12-14 cm/30sec เนื่องจากการวัดค่าความข้นหนืดของนมชั้นหวานที่ขายในท้องตลาด (ตรามะลิ) มีค่า viscosity เท่ากับ 13 เซนติเมตรต่อสามวินาที และกำหนดเกณฑ์คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะให้มีค่ามากกว่า 6 คะแนน สร้างสมการทำนายสูตรที่เหมาะสมพบว่า ผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย แบะแซร้อยละ 2.01 และ CMC ร้อยละ 0.29 โดยส่วนผสมอื่นคงที่ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งจากสูตรนี้สามารถทำนายค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน มีค่าความข้นหนืดเท่ากับ 12 และมีความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.5 ความชอบด้านสีเท่ากับ 6.6 ความชอบด้านกลิ่น

ข้าวโพดเท่ากับ 6.2 ความชอบด้านกลิ่นรสข้าวโพดเท่ากับ 6.4 ความชอบด้านรสหวานเท่ากับ 6.6 ความชอบด้านความข้นหนืดเท่ากับ 6.1

การตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนายสูตรที่เหมาะสมนมข้าวโพดชั้นหวาน เมื่อทดลองผลิตผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่เหมาะสมที่ผ่านการพัฒนาจากผลการทดลองในการทดลองที่ 2 นำมาตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.4.6 และ 4.4.7

ตารางที่ 4.4.6: คุณภาพทางด้านเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่เหมาะสม

คุณภาพ	นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่เหมาะสม
a_w	0.857 ± 0.007
L^*	43.09 ± 0.40
a^*	-3.91 ± 0.43
b^*	27.18 ± 0.90
$^{\circ}\text{Brix}$	65.87 ± 0.68
Viscosity (cm/30sec)	13.02 ± 0.12

หมายเหตุ: *ค่าเฉลี่ยจาก 2 ซ้ำการทดลอง และ 3 ซ้ำการวัดค่า

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่ผ่านการพัฒนาแล้วมีสีเหลืองอ่อน มีค่าสี L^* , a^* , b^* เท่ากับ 43.09 ± 0.40 , 3.91 ± 0.43 และ 27.18 ± 0.90 ตามลำดับ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 65.87 ± 0.68 และมีค่า a_w เท่ากับ 0.857 ± 0.007 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความข้นหนืดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์นมชั้นหวานที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด และมีค่าความข้นหนืดที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าทำนาย (12) โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 8.3

ตารางที่ 4.4.7: คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่ผ่านการพัฒนาแล้ว

ค่าคุณภาพ	คะแนนความชอบต่อมนข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่เหมาะสม
ความชอบโดยรวม	7.4 ± 1.0
ความชอบด้านสี	7.2 ± 1.1

ตารางที่ 4.4.7 (ต่อ): คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่ผ่านการพัฒนาแล้ว

ค่าคุณภาพ	คะแนนความชอบต่อนมข้าวโพด ชั้นหวานสูตรที่เหมาะสม
ความชอบด้านกลิ่นข้าวโพด	7.0±1.3
ความชอบด้านกลิ่นรสข้าวโพด	7.1±1.2
ความชอบรสหวาน	6.7±1.5
ความชอบด้านความข้นหนืด	7.0±1.2

หมายเหตุ: - *ค่าเฉลี่ยจาก 2 ซ้ำการทดลอง และ 3 ซ้ำการวัดค่า
- คะแนนการยอมรับโดยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 คะแนน (9-point hedonic scale)

การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่ผ่านการพัฒนาแล้ว ดังตารางที่ 4.4.7 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยจนถึงปานกลาง และมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมากกว่า 6 คะแนน

4.4.2 การศึกษาสูตรเบื้องต้นของข้าวเกรียบข้าวโพด

จากการทดลองศึกษาสูตรเบื้องต้นของข้าวเกรียบข้าวโพด ทำการผลิตข้าวเกรียบข้าวโพดสูตรเบื้องต้น 2 สูตร โดยสูตร 2 มีส่วนผสมของแป้งสาลี และน้ำตาล ต่างจากสูตร 1 ซึ่งไม่มีส่วนผสมดังกล่าว และส่วนผสมต่างๆ มีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อย จากนั้นตรวจคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบทั้ง 2 สูตร ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4.8 และ 4.4.9 ตามลำดับ พบว่า ค่าความชื้น ค่า a_w และความหนาแน่นของข้าวเกรียบทั้ง 2 สูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่าความชื้นของข้าวเกรียบสูตร 2 มีค่าสูงกว่าสูตร 1 คือ 2.10 และ 1.71 ตามลำดับ

ส่วนค่าสี L^* a^* b^* และแรงกด มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยค่าสี L^* สูตร 2 มากกว่าซึ่งแสดงว่ามีความสว่างมากกว่าและเข้าใกล้สีขาว ค่าสี a^* ของข้าวเกรียบสูตร 2 มีค่าต่ำกว่าสูตร 1 ค่าสี b^* ของสูตร 1 มากกว่าเพราะค่า b^* มากแสดงว่าให้สีเหลืองที่มากกว่า และแรงกดของข้าวเกรียบสูตร 1 น้อยกว่า

ตารางที่ 4.4.8: ค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบข้าวโพดทั้ง 2 สูตรที่ใช้ในการคัดเลือกสูตรต้นแบบ

คุณลักษณะ	สูตร 1	สูตร 2
ความชื้น (ร้อยละ)	1.71 ± 0.12 a	2.10 ± 0.10 b
a _w	0.272 ± 0.009 a	0.225 ± 0.007 b
L*	71.24 ± 4.31 a	72.14 ± 4.16 a
a*	-2.14 ± 0.57 a	-0.94 ± 0.48 a
b*	29.38 ± 3.34 a	22.16 ± 3.79 a
แรงกด (นิวตัน)	3.76 ± 0.81 a	4.09 ± 1.15 a
ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	0.26 ± 0.00 a	0.29 ± 0.00 b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสเค็ม รสหวาน และความกรอบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสเค็ม และความกรอบ สูตร 1 มีค่ามากกว่าสูตร 2 ส่วนคะแนนความชอบในด้านรสหวานของสูตร 2 มีค่ามากกว่า

ตารางที่ 4.4.9: ค่าคะแนนการยอมรับเฉลี่ย* ของผู้บริโภค (n=100) ที่มีต่อข้าวเกรียบทั้ง 2 สูตร

คุณลักษณะ	สูตร 1	สูตร 2
ความชอบโดยรวม	6.1 ± 1.2 a	5.8 ± 1.4 a
ลักษณะปรากฏ	6.4 ± 1.2 a	5.7 ± 1.3 b
สี	6.4 ± 1.3 a	5.8 ± 1.3 b
กลิ่นรสข้าวโพด	5.6 ± 1.6 a	5.6 ± 1.6 a
รสเค็ม	5.7 ± 1.3 a	5.6 ± 1.4 b
รสหวาน	5.4 ± 1.3 b	6.0 ± 1.3 a
ความกรอบ	6.7 ± 1.2 a	6.1 ± 1.7 b

หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

- * ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนความชอบระดับ 9 คะแนน (9-point hedonic scale)

เมื่อพิจารณาร้อยละความพอดีของสูตรที่ 1 (ตารางที่ 4.4.10) ในงานวิจัยนี้ได้ตั้งเกณฑ์ร้อยละความพอดีอยู่ที่ร้อยละ 70 จากตารางที่ 4.4.8 ในเรื่องความกรอบของข้าวเกรียบ พบว่า มีความพอดีร้อยละ 76.00 จึงไม่ต้องปรับปรุงในคุณลักษณะนี้ ส่วนเรื่องรสเค็มและรสหวานนั้นมีค่าความพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70 จึงทำการผันแปรปริมาณเกลือจากเดิมร้อยละ 2.50 เป็นช่วงระหว่างร้อยละ 2.50 และร้อยละ 3.50 ของปริมาณแป้ง และปรับในด้านรสหวาน โดยการผันแปรปริมาณน้ำตาลจากเดิมร้อยละ 0 เป็นช่วงร้อยละ 0 และร้อยละ 10.00 ของปริมาณแป้ง

ตารางที่ 4.4.10: ร้อยละคะแนนความพอดีเฉลี่ยที่ผู้บริโภคมีต่อข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน

คุณลักษณะ	ปรับให้ลดลง มาก	ปรับให้ลดลง เล็กน้อย	พอดี	ปรับให้เพิ่มขึ้น เล็กน้อย	ปรับให้ เพิ่มขึ้นมาก	Net effect
สูตร 1						
สี	0.50	16.00	68.00	13.00	2.50	1.00
กลิ่นรสข้าวโพด	2.00	2.00	25.50	50.00	20.50	66.50
รสเค็ม	0.50	14.50	47.50	31.50	6.00	22.50
รสหวาน	0.50	1.00	43.50	47.50	7.50	53.50
ความกรอบ	0.00	2.00	76.00	18.00	4.00	-
สูตร 2						
สี	0.50	2.00	42.00	48.00	7.50	53.00
กลิ่นรสข้าวโพด	1.50	1.00	34.00	52.00	11.50	61.00
รสเค็ม	0.00	0.50	41.50	52.50	5.50	57.50
รสหวาน	0.00	7.00	61.50	26.50	5.00	24.50
ความกรอบ	1.50	20.00	53.00	20.50	5.00	4.00

หมายเหตุ: - จากคะแนนความพอดี 5 ระดับ (n=100)

- Net effect = ร้อยละของคำตอบที่บอกว่า “ให้ปรับเพิ่ม” ลบด้วยร้อยละของคำตอบที่บอกว่า “ให้ปรับลด”

การหาสูตรที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ผู้บริโภคยอมรับ เมื่อทำการปรับสูตรของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพด โดยทำการผันแปรปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาล ได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบข้าวโพด ดังตารางที่ 4.4.11พบว่า ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.321 - 0.358 ค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.76 - 3.28 ซึ่งค่าความชื้นที่วิเคราะห์ได้อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของข้าวเกรียบ (มผช. ๑๐๗/๒๕๔๖) ต้องมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ค่าสี L^* a^* และ b^* อยู่ในช่วง 64.62 - 71.96, (-2.36) - (-2.94) และ 19.12 - 22.36 ตามลำดับ ค่าแรงกดของข้าวเกรียบอยู่ในช่วง 4.37 - 4.81 นิวตัน และค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.19 - 0.24 กรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 4.4.11: ค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบทั้ง 6 สิ่งทดสอบ จากการศึกษาสูตรที่เหมาะสม

ปริมาณ เกลือ	ปริมาณ น้ำตาล	a_w	ความชื้น (ร้อยละ)	L^*	a^*	b^*	แรงกด (นิวตัน)	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)
2.5	0.0	0.347	3.28	64.62	-2.63	22.36	4.74	0.21
3.5	0.0	0.321	2.85	65.50	-2.94	22.19	4.37	0.21
2.5	10.0	0.358	2.78	67.65	-2.65	21.77	4.74	0.24
3.5	10.0	0.344	2.76	71.83	-2.80	20.54	4.79	0.21
3.0	5.0	0.346	3.04	71.96	-2.61	19.12	4.47	0.19
3.0	5.0	0.338	2.92	67.48	-2.36	20.70	4.81	0.19

ตารางที่ 4.4.12: ค่าคะแนนการยอมรับเฉลี่ย* ของผู้บริโภค (n=100) ที่มีต่อข้าวเกรียบทั้ง 6 สิ่งทดสอบ จากการศึกษาสูตรที่เหมาะสม

ปริมาณ เกลือ (%)	ปริมาณ น้ำตาล(%)	ความชอบ โดยรวม	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่นรส ข้าวโพด	รสเค็ม	รสหวาน	ความ กรอบ
2.5	0.0	6.2	6.5	6.6	5.9	5.6	5.4	7.2
3.5	0.0	6.4	6.6	6.5	6.1	5.7	5.4	7.3
2.5	10.0	7.0	6.6	6.6	6.5	6.2	6.3	7.6
3.5	10.0	7.0	6.8	6.7	6.6	6.1	6.2	7.5
3.0	5.0	6.7	6.7	6.5	6.5	5.9	6.0	7.3
3.0	5.0	6.6	6.6	6.4	6.2	6.2	5.9	7.4

หมายเหตุ: - * ค่าเฉลี่ยจากการให้คะแนนความชอบระดับ 9 คะแนน (9-point hedonic scale)

ผลการทดสอบด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ทำการผันแปรปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาล พบว่า คะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง คือ 6.2 - 7.0 ด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 6.5 - 6.8 ด้านสีอยู่ในช่วง 6.4 - 6.7 ด้านกลิ่นรสข้าวโพดอยู่ในช่วง 5.9 - 6.6 ด้าน

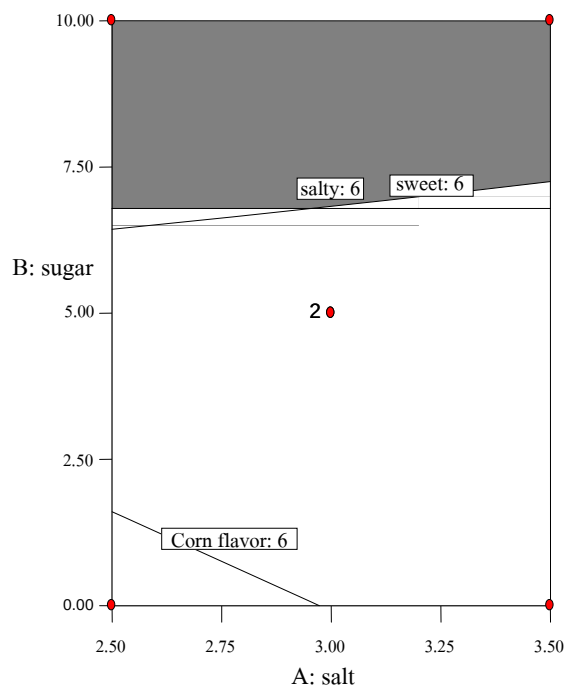
รสเค็มอยู่ในช่วง 5.6 - 6.2 ด้านรสหวานอยู่ในช่วง 5.4 - 6.3 และด้านความกรอบอยู่ในช่วง 7.2 - 7.6 (ตารางที่ 4.4.12)

จากการนำผลการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาสมการถดถอย เพื่อหาผลของปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของข้าวเกรียบข้าวโพด ดังตารางที่ 4.4.13 พบว่า ปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพด้านความชอบโดยรวม ลักษณะปรากฏ กลิ่นรสข้าวโพด รสเค็ม รสหวาน ความกรอบ และค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.4.13: สมการรีเกรสชันของค่าความชอบโดยรวม ลักษณะปรากฏ กลิ่นรสข้าวโพด รสเค็ม รสหวาน ความกรอบ และค่า a_w ของข้าวเกรียบข้าวโพดทั้ง 6 สิ่งทดลอง

Parameters	Regression equation	Adj. R2	Significance level
ความชอบโดยรวม	$= 5.97 + 0.11 (\text{salt}) + 0.09 (\text{sugar}) - 7.00 \times 10^{-3}$	0.9566	0.0259
ลักษณะปรากฏ	$= 6.19 + 0.12 (\text{salt}) + 0.019 (\text{sugar})$	0.8157	0.0368
กลิ่นรสข้าวโพด	$= 5.45 + 0.19 (\text{salt}) + 0.05 (\text{sugar}) * \text{temp2} *$	0.8404	0.0296
รสเค็ม	$= 5.64 + 0.05 (\text{sugar})$	0.7668	0.0140
รสหวาน	$= 5.49 - 0.02 (\text{salt}) + 0.10 (\text{sugar}) - 7.00 \times 10^{-3}$	0.9266	0.0437
ความกรอบ	$= 7.22 + 0.03 (\text{sugar})$	0.7665	0.0140
a_w	$= 0.39 - 0.02 (\text{salt}) + 1.67 \times 10^{-3} (\text{sugar})$	0.8495	0.0271

จากนั้นนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสม โดยยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งขอบเขตของคุณภาพ คือ คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสมากกว่าเท่ากับ 6.0 ได้ปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมในพื้นที่สี่เท่า ดังรูปที่ 4.4.3 พบว่า ปริมาณเกลืออยู่ในช่วงร้อยละ 2.5 ถึง 3.5 และปริมาณน้ำตาลอยู่ในช่วงร้อยละ 6.8 ถึง 10.0



รูปที่ 4.4.3: การหาจุดที่เหมาะสม (optimization) ของปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาล (พื้นที่สีเทา)

ผลคะแนนการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค เมื่อทำการปรับสูตรข้าวเกรียบข้าวโพดหลังจากการใช้สเกลความพอดีแล้ว โดยเลือกใช้ปริมาณเกลือร้อยละ 3.3 ของและน้ำตาลร้อยละ 7.7 พบว่า คะแนนความชอบในด้านความชอบโดยรวม ลักษณะปรากฏ กลิ่นรสข้าวโพด รสเค็ม รสหวานและความกรอบ มีคะแนน 6.7, 6.5, 6.2, 6.1, 6.2 และ 7.2 ตามลำดับ โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10 (ตารางที่ 4.4.14) ดังนั้น จึงใช้ปริมาณเกลือและน้ำตาลที่ทำการปรับมาเป็นสูตรต้นแบบได้

ตารางที่ 4.4.14: คะแนนความชอบจากสูตรที่คัดเลือกและค่าจากการทำนายและร้อยละของความคลาดเคลื่อน

คุณลักษณะ	ค่าทดลอง จากสูตรที่คัดเลือก	ค่าทำนายจากสมการ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
ความชอบโดยรวม	6.8	6.7	1.47
ลักษณะปรากฏ	6.7	6.5	2.99
กลิ่นรสข้าวโพด	6.5	6.2	4.62
รสเค็ม	6.0	6.1	1.67

ตารางที่ 4.4.14 (ต่อ): คะแนนความชอบจากสูตรที่คัดเลือกและค่าจากการทำนายและร้อยละของความคลาดเคลื่อน

คุณลักษณะ	ค่าทดลอง จากสูตรที่คัดเลือก	ค่าทำนายจากสมการ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
รสหวาน	6.1	6.2	1.64
ความกรอบ	7.4	7.2	2.70

การศึกษากกรรมวิธีที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ผู้บริโภคมารับเมื่อทำการศึกษากกรรมวิธี การผลิตข้าวเกรียบข้าวโพด โดยทำการผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง ผลการ วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบข้าวโพดได้ผลดังตารางที่ 4.4.15 พบว่า ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.274 - 0.381 ค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.47 - 2.90 ค่าสี L^* a^* และ b^* อยู่ในช่วง 67.13 - 73.57, (-0.74) - (-2.77) และ 17.38 - 21.00 ตามลำดับ โดยข้าวเกรียบมีสีค่อนข้างสว่างและออกไปทางเหลืองเล็กน้อย ค่าแรงกดของข้าว เกรียบอยู่ในช่วง 4.37 - 7.01 นิวตัน และค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.15 - 0.22 กรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 4.4.15: ค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบทั้ง 6 สิ่งทดลอง จากการศึกษากรรมวิธีการผลิต

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	a_w	ความชื้น (ร้อยละ)	L^*	a^*	b^*	แรงกด (นิวตัน)	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)
50	60	0.381	2.90	67.13	-2.77	18.45	4.37	0.22
70	60	0.369	2.75	70.13	-2.64	18.75	5.76	0.17
50	120	0.360	2.34	68.90	-1.86	15.65	5.87	0.15
70	120	0.274	1.47	69.78	-0.74	19.03	7.01	0.18
60	90	0.319	1.62	73.57	-2.53	17.38	5.96	0.16
60	90	0.292	1.61	69.26	-2.03	21.00	6.18	0.15

ตารางที่ 4.4.16: ค่าคะแนนการยอมรับเฉลี่ย* ของผู้บริโภค (n=100) ที่มีต่อข้าวเกรียบทั้ง 6 สิ่งทดลอง จาก การศึกษากรรมวิธีการผลิต

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความชอบ โดยรวม	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่นรส ข้าวโพด	รส เค็ม	รสหวาน	ความกรอบ
50	60	6.2	5.9	6.0	5.6	5.7	5.7	6.8
70	60	6.6	6.3	6.3	5.8	5.9	6.0	7.1
50	120	6.6	6.7	6.3	6.0	5.8	6.0	7.3
70	120	6.8	6.1	6.2	6.3	5.9	6.1	7.4
60	90	6.7	6.4	6.4	6.2	6.1	6.2	7.2
60	90	6.6	6.6	6.5	6.2	6.2	6.3	7.3

หมายเหตุ: - * ค่าเฉลี่ยจากการให้คะแนนความชอบระดับ 9 คะแนน (9-point hedonic scale)

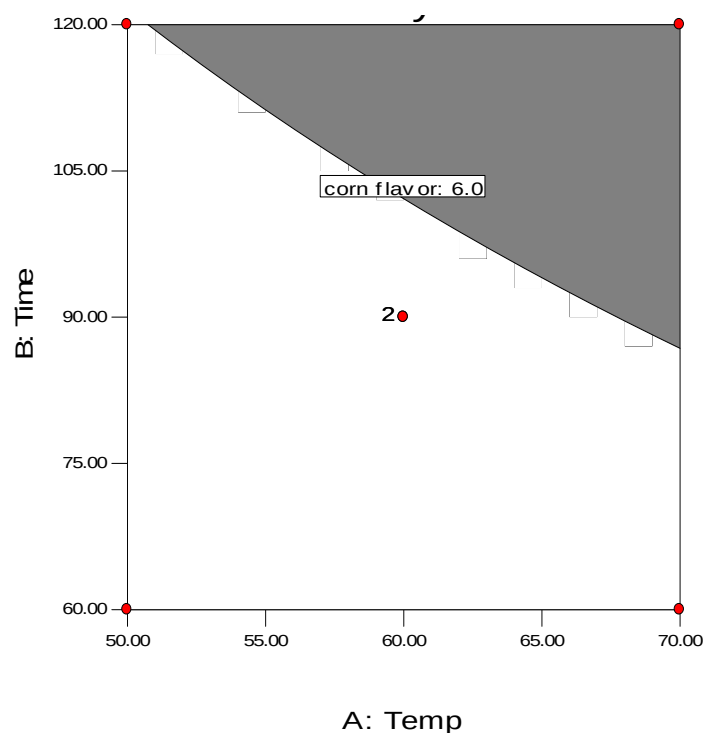
ผลการทดสอบด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ทำการผันแปรผันแปร อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง พบว่า คะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย คือ 6.2 - 6.8 ด้าน ลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 5.9 - 6.7 ด้านสีอยู่ในช่วง 6.0 - 6.5 ด้านกลิ่นรสข้าวโพดอยู่ในช่วง 5.6 - 6.3 ด้านรส เค็มอยู่ในช่วง 5.7 - 6.2 ด้านรสหวานอยู่ในช่วง 5.7 - 6.3 และด้านความกรอบอยู่ในช่วง 6.8 - 7.4 (ตารางที่ 4.4.16)

จากการนำผลการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาสมการถดถอย เพื่อหาผลของอุณหภูมิและเวลา ในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของข้าวเกรียบข้าวโพด ดังตารางที่ 4.4.17 พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมี ต่อคุณภาพด้านกลิ่นรสข้าวโพด ความกรอบ และค่าแรงกด อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.4.17: สมการรีเกรสชันของค่าความชอบด้านกลิ่นรสข้าวโพด ความกรอบ และค่าแรงกดของข้าวเกรียบข้าวโพดทั้ง 6 สิ่งทดลอง จากการศึกษากรรมวิธีการผลิต

Parameters	Regression equation	Adj. R2	Significance level (p<0.05)
Corn flavor	$= 5.08 + 3. \times 10^{-3}(\text{Temp}) + 2.00 \times 10^{-3}(\text{Time}) + 8.33 \times 10^{-5}(\text{Temp})(\text{Time})$	0.9991	0.0189
crispy	$= 6.51 + 7.00 \times 10^{-3}(\text{Time})$	0.7401	0.0389
hardness	$= -0.12 + 0.06(\text{Temp}) + 0.02(\text{Time}) * \text{temp}^2$	0.9779	0.0110

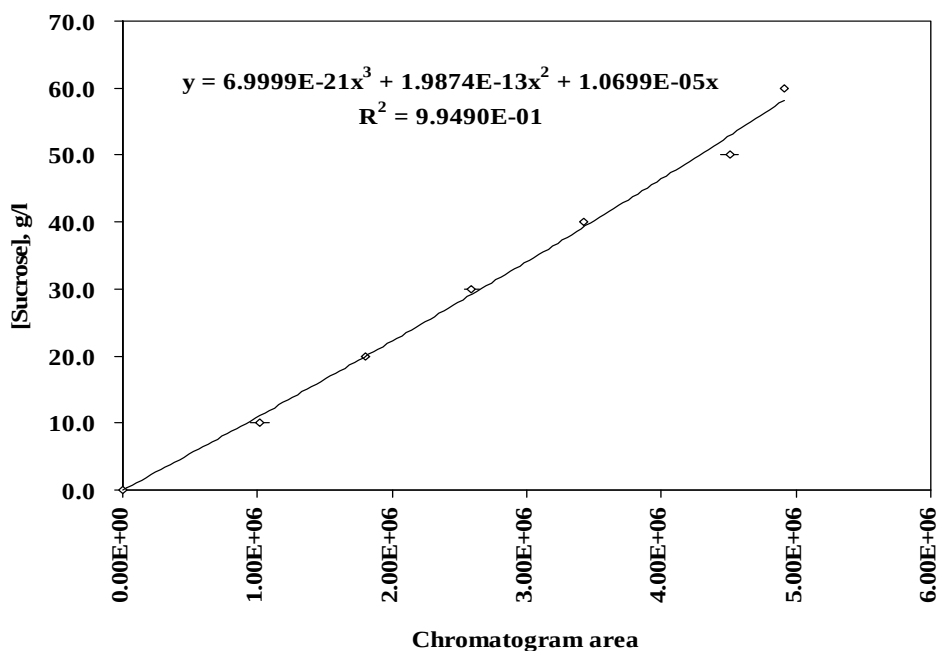
จากนั้นนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม โดยยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งขอบเขตของคุณภาพ คือ คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสมากกว่าเท่ากับ 6.0 ได้อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมในพื้นที่สี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 4.4.4 พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 51 ถึง 70 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบแห้งอยู่ในช่วง 87 ถึง 120 นาที



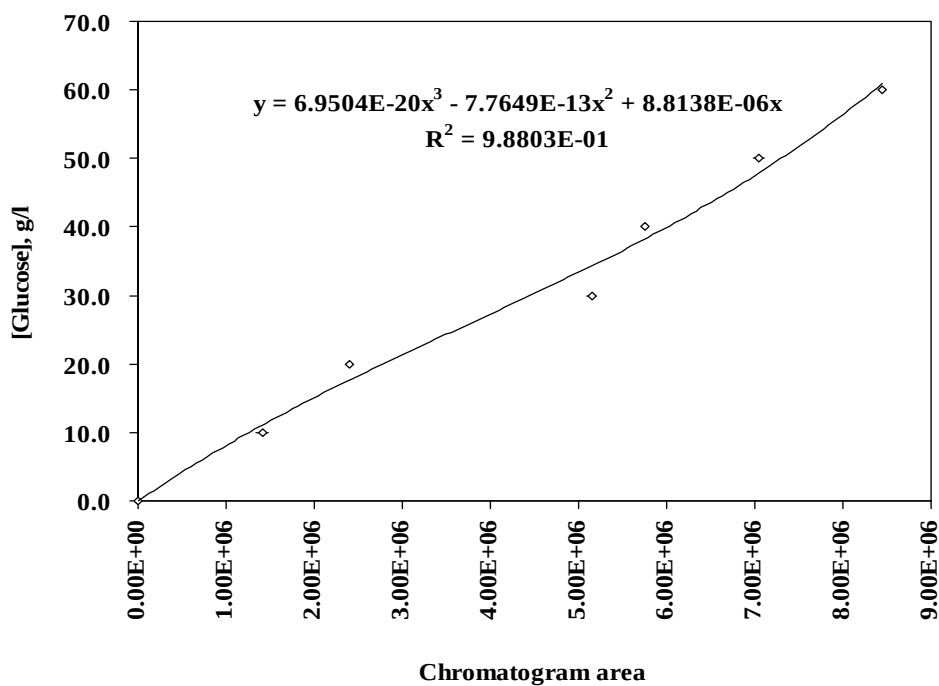
รูปที่ 4.4.4: การหาจุดที่เหมาะสม (optimization) ของอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง (พื้นที่สี่เหลี่ยม)

4.5 การทดลองศึกษาเบื้องต้นในการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพด

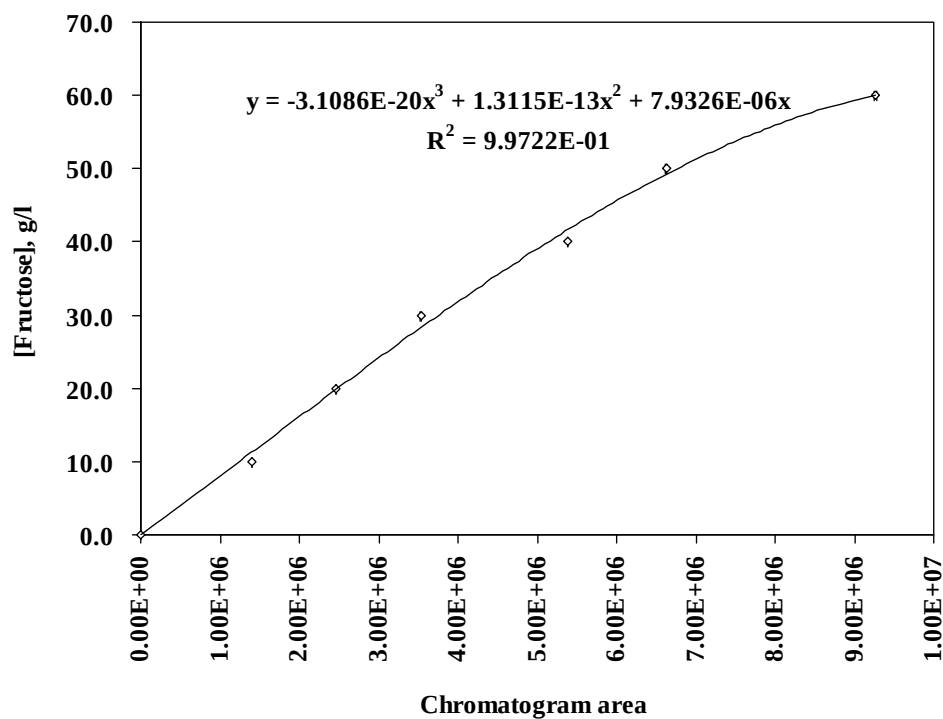
4.5.1 การทดสอบสภาวะในการย่อยข้าวโพด



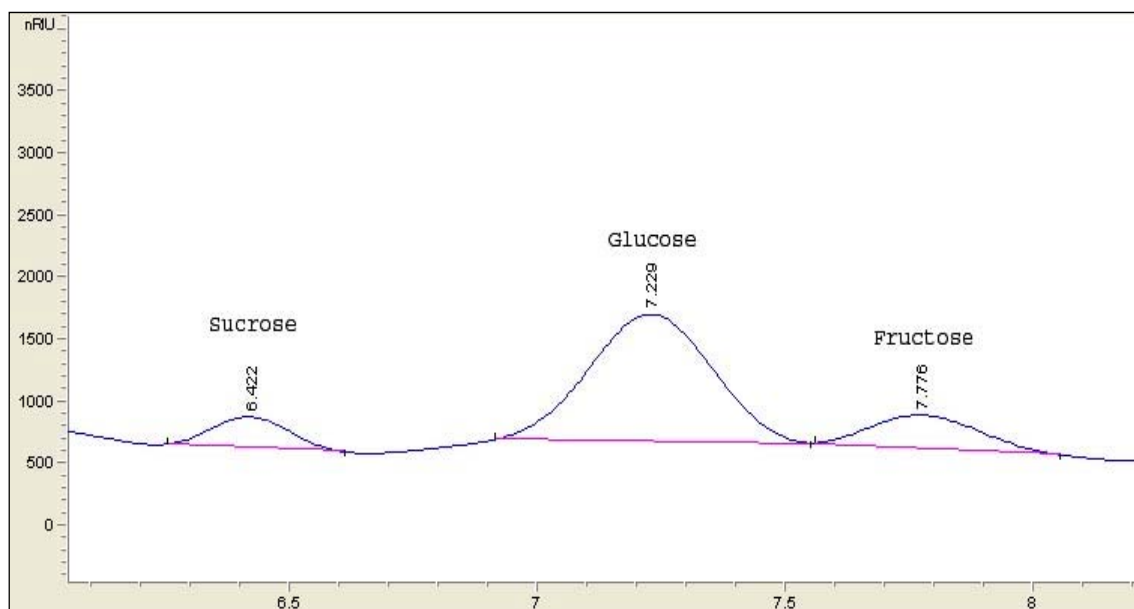
รูปที่ 4.5.1: เส้นโค้งมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส และพื้นที่ใต้กราฟ โครมาโตแกรม



รูปที่ 4.5.2: เส้นโค้งมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส และพื้นที่ใต้กราฟโครมาโตแกรม



รูปที่ 4.5.3: เส้นโค้งมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโตส และพื้นที่ใต้กราฟโครมาโตแกรม



รูปที่ 4.5.4: ตัวอย่างโครมาโตแกรมน้ำตาลที่ได้จากการย่อยข้าวโพดบดละเอียดด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2.2 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.5.1: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในสารละลายโซเดียมอะซีเตต

Species	Interval							
	0 th – 24 th h				24 th – 48 th h			
Glucose (g/L)	0.0 ± 0.1	I	A		0.0 ± 0.0	I	A	
Fructose (g/L)	0.0 ± 0.1	I	A		0.0 ± 0.0	I	A	
Sucrose (g/L)	0.5 ± 0.0	I	B		0.0 ± 0.0	II	A	
Total sugar (g/L)	0.5 ± 0.2	I	A,B		0.0 ± 0.0	II	A	
Specific sugar (% g/g corn)	0.2 ± 0.1	I	A		0.0 ± 0.0	I	A	

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.2: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในกรดไฮโดรคลอริก

Species	Interval							
	0 th – 24 th h				24 th – 48 th h			
Glucose (g/L)	2.2 ± 0.4	I	A		0.0 ± 0.4	II	A	
Fructose (g/L)	2.4 ± 0.3	I	A		0.3 ± 0.3	II	A	
Sucrose (g/L)	1.1 ± 0.1	I	B		0.0 ± 0.1	II	A	
Total sugar (g/L)	5.7 ± 0.5	I	C		0.3 ± 0.4	II	A	
Specific sugar (% g/g corn)	1.9 ± 0.2	I	A		0.1 ± 0.2	II	A	

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.3: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในเอนไซม์ผสม A + VP + WX

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	15.4 ± 1.7	I	A	0.0 ± 2.0	II	A
Fructose (g/L)	0.0 ± 0.1	I	B	1.1 ± 0.4	II	A
Sucrose (g/L)	0.0 ± 0.0	I	B	1.8 ± 0.1	II	A
Total sugar (g/L)	15.4 ± 1.7	I	A	2.9 ± 2.1	II	A
Specific sugar (% g/g corn)	5.2 ± 0.6	I	C	1.0 ± 0.7	II	A

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.4: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในเอนไซม์ Accellerase

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	2.2 ± 0.6	I	A,C	0.0 ± 0.5	II	A,B
Fructose (g/L)	0.0 ± 0.3	I	B	0.0 ± 0.2	I	A
Sucrose (g/L)	1.1 ± 0.0	I	A	1.1 ± 0.0	II	B
Total sugar (g/L)	3.3 ± 0.7	I	C	1.1 ± 0.6	II	A,B
Specific sugar (% g/g corn)	1.1 ± 0.2	I	A	0.4 ± 0.2	II	A

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.5: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้มในสารละลายโซเดียมอะซีเตต

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	0.0 ± 0.4	I	A	0.0 ± 0.2	I	A
Fructose (g/L)	0.9 ± 0.4	I	A	0.0 ± 0.4	I	A
Sucrose (g/L)	0.0 ± 0.2	I	A	0.7 ± 0.7	I	A
Total sugar (g/L)	0.9 ± 0.6	I	A	0.7 ± 0.8	I	A
Specific sugar (% g/g corn)	0.3 ± 0.2	I	A	0.2 ± 0.3	I	A

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.6: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้มในกรดไฮโดรคลอริก

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	4.9 ± 0.2	I	A	0.0 ± 0.3	II	A
Fructose (g/L)	4.2 ± 0.2	I	B	0.0 ± 0.2	II	A
Sucrose (g/L)	1.7 ± 0.0	I	C	0.0 ± 0.1	II	A
Total sugar (g/L)	10.8 ± 0.3	I	D	0.0 ± 0.4	II	A
Specific sugar (% g/g corn)	3.6 ± 0.1	I	E	0.0 ± 0.1	II	A

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.7: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้มในเอนไซม์ผสม A + VP + WX

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	10.9 ± 2.4	I	A	0.0 ± 2.1	II	A
Fructose (g/L)	0.0 ± 0.2	I	B	0.0 ± 0.2	I	A
Sucrose (g/L)	0.0 ± 0.5	I	B	0.0 ± 0.1	I	A
Total sugar (g/L)	10.9 ± 2.4	I	A	0.0 ± 2.2	II	A
Specific sugar (% g/g corn)	3.6 ± 0.8	I	C	0.0 ± 0.7	II	A

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.8: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้มในเอนไซม์ Accellerase

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	18.9 ± 0.4	I	A	4.9 ± 0.3	II	A
Fructose (g/L)	0.8 ± 0.1	I	B	0.8 ± 0.1	I	B
Sucrose (g/L)	5.0 ± 0.2	I	C	0.0 ± 0.2	II	C
Total sugar (g/L)	24.7 ± 0.5	I	D	5.7 ± 0.4	II	A
Specific sugar (% g/g corn)	8.2 ± 0.2	I	E	1.9 ± 0.1	II	D

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.9: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในสารละลายโซเดียมอะซีเตต

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	0.0 ± 0.2	I	A	0.0 ± 0.0	I	A
Fructose (g/L)	0.0 ± 0.2	I	A	0.0 ± 0.1	I	A
Sucrose (g/L)	0.0 ± 0.1	I	A	0.0 ± 0.1	I	A
Total sugar (g/L)	0.0 ± 0.3	I	A	0.0 ± 0.1	I	A
Specific sugar (% g/g corn)	0.0 ± 0.1	I	A	0.0 ± 0.0	I	A

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.10: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในกรดไฮโดรคลอริก

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	4.5 ± 0.2	I	A	0.0 ± 0.2	II	A
Fructose (g/L)	4.7 ± 0.2	I	A	0.0 ± 0.2	II	A
Sucrose (g/L)	0.0 ± 0.0	I	B	1.7 ± 0.0	II	B
Total sugar (g/L)	9.2 ± 0.3	I	C	1.7 ± 0.3	II	B
Specific sugar (% g/g corn)	3.1 ± 0.1	I	D	0.6 ± 0.1	II	C

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.11: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ผสม A + VP + WX

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	3.5 ± 3.6	I	A	0.0 ± 3.4	I	A
Fructose (g/L)	0.0 ± 0.2	I	A	0.0 ± 0.2	I	A
Sucrose (g/L)	0.0 ± 0.4	I	A	0.0 ± 0.2	I	A
Total sugar (g/L)	3.5 ± 3.6	I	A	0.0 ± 3.4	I	A
Specific sugar (% g/g corn)	1.2 ± 1.2	I	A	0.0 ± 1.1	I	A

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.12: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Glucose (g/L)	12.8 ± 1.8	I	A	13.0 ± 2.3	I	A
Fructose (g/L)	0.5 ± 0.2	I	B	0.7 ± 0.2	I	B
Sucrose (g/L)	7.3 ± 0.9	I	C	0.0 ± 0.9	II	B
Total sugar (g/L)	20.6 ± 2.0	I	D	13.7 ± 2.5	I	A
Specific sugar (% g/g corn)	6.9 ± 0.7	I	C	4.6 ± 0.8	I	C

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ



4.5.2 การทดสอบอัตราส่วนของข้าวโพดที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase และอุณหภูมิที่เหมาะสม แล้วจึงใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุกโตสที่มีมูลค่าสูงกว่า

ตารางที่ 4.5.13: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 3 กรัมข้าวโพด

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Sucrose (g/L)	5.64 ± 0.02	I	A	0.19 ± 0.00	I	A
Glucose (g/L)	14.01 ± 0.03	I	B	4.89 ± 0.05	I	B
Fructose (g/L)	1.65 ± 0.00	I	C	0.95 ± 0.00	I	C
Total sugar (g/L)	21.30 ± 0.03	I	D	6.03 ± 0.05	I	D
Specific sugar (% g/g)	7.10 ± 0.01	I	E	2.01 ± 0.02	I	E

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.14: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 3 กรัมข้าวโพด

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Sucrose (g/L)	13.11 ± 0.05	I	A	6.41 ± 0.07	I	A
Glucose (g/L)	21.62 ± 0.07	I	B	9.52 ± 0.10	I	B
Fructose (g/L)	0.50 ± 0.00	I	C	0.51 ± 0.00	I	C
Total sugar (g/L)	35.23 ± 0.09	I	D	16.44 ± 0.12	I	D
Specific sugar (% g/g)	11.74 ± 0.03	I	E	5.48 ± 0.04	I	E



หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.15: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 6 กรัมข้าวโพด

Species	Interval		
	0 th – 36 th h		
Sucrose (g/L)	0.52 ± 0.01	I	A
Glucose (g/L)	4.53 ± 0.04	I	B
Fructose (g/L)	2.32 ± 0.02	I	A,B,C
Total sugar (g/L)	7.37 ± 0.05	I	D
Specific sugar (% g/g)	2.46 ± 0.02	I	C

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.16: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 9 กรัมข้าวโพด

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Sucrose (g/L)	4.92 ± 0.02	I	A	0.63 ± 0.00	I	A
Glucose (g/L)	11.06 ± 0.03	I	B	6.83 ± 0.05	I	B
Fructose (g/L)	1.51 ± 0.00	I	C	0.21 ± 0.02	I	C
Total sugar (g/L)	17.49 ± 0.03	I	D	7.67 ± 0.05	I	D
Specific sugar (% g/g)	5.83 ± 0.01	I	E	2.56 ± 0.02	I	E



หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.17: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 9 กรัมข้าวโพด

Species	Interval					
	0 th – 24 th h			24 th – 48 th h		
Sucrose (g/L)	11.99 ± 0.10	I	A	7.92 ± 0.10	I	A
Glucose (g/L)	15.02 ± 0.12	I	B	12.36 ± 0.16	I	B
Fructose (g/L)	0.39 ± 0.00	I	C	0.46 ± 0.01	I	C
Total sugar (g/L)	27.39 ± 0.16	I	D	20.74 ± 0.19	I	D
Specific sugar (% g/g)	9.13 ± 0.05	I	E	6.91 ± 0.06	I	E

หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5.18: การออกแบบ Experimental Design โดยโปรแกรม Design Expert Version 6

Variable	Coded levels		
	-1	0	1
Ratio of corn (X1) g(corn/ 1.53g enzyme)	3	6	9
Temperature (X2), °C	30	35	40
Time (X3), hour	24	36	48



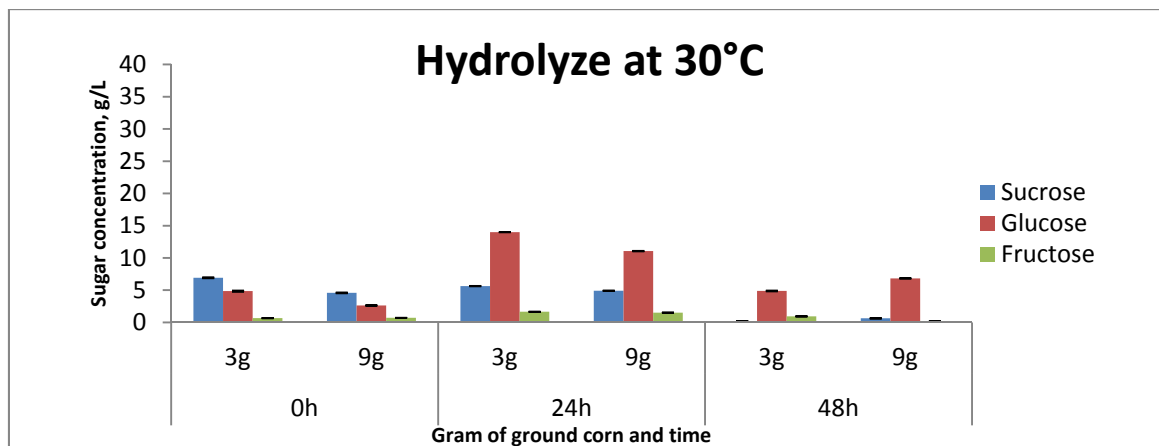
ตารางที่ 4.5.19: ผลการทดลองใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเปลี่ยนสารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน ปริมาณ 30 กรัมต่อลิตร ให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุกโตส

Sugar g/L	ปริมาณน้ำตาลที่เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสสามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลฟรุกโตส					
	0 ชั่วโมง	ร้อยละ	24 ชั่วโมง	ร้อยละ	48 ชั่วโมง	ร้อยละ
Sucrose	-	-	0.64 ± 0.22	2.15	0.98 ± 0.03	3.27
Glucose	30.00 ± 0.05	100	15.58 ± 1.46	51.93	15.00 ± 1.09	50.00
Fructose	-	-	13.78 ± 1.73	45.93	14.02 ± 1.30	46.73

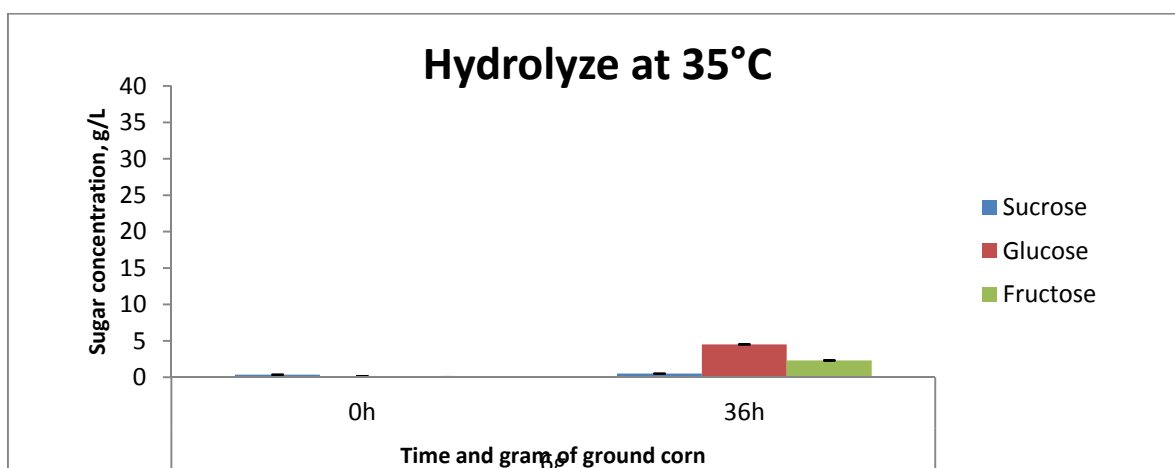
ตารางที่ 4.5.20: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในเอนไซม์ Accellerase ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 3 กรัมข้าวโพด แล้วใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเปลี่ยน ให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุกโตส

Species	Interval					
	$0^{\text{th}} - 24^{\text{th}} \text{ h}$			$24^{\text{th}} - 48^{\text{th}} \text{ h}$		
Sucrose (g/L)	9.14 ± 0.41	I	A	7.51 ± 0.42	I	A
Glucose (g/L)	13.09 ± 0.94	I	B	13.34 ± 0.71	I	B
Fructose (g/L)	2.18 ± 0.81	I	C	1.28 ± 0.36	I	C
Total sugar (g/L)	24.41 ± 1.31	I	D	22.13 ± 0.90	I	D
Specific sugar (% g/g)	8.32 ± 0.44	I	A	7.38 ± 0.30	I	A

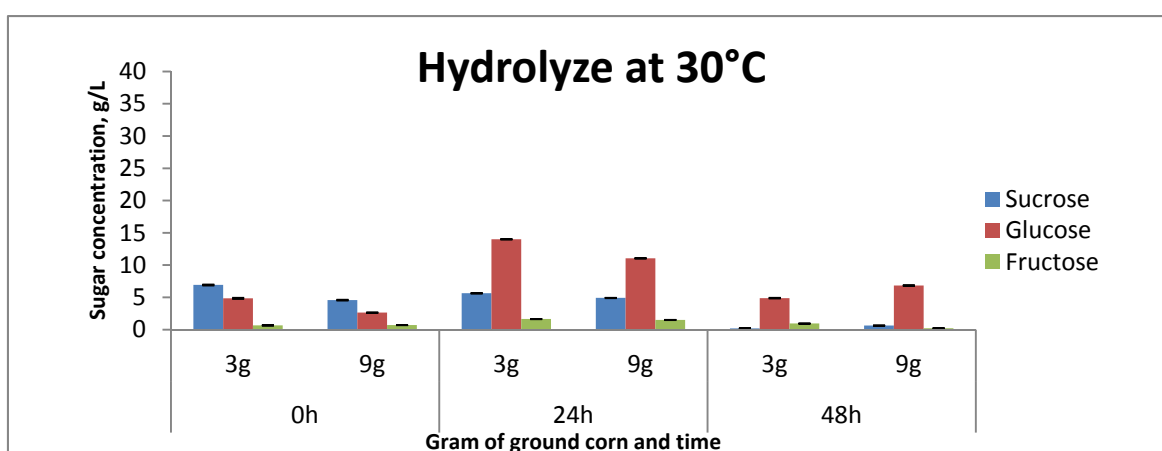
หมายเหตุ: ตัวเลขโรมันที่เหมือนกัน (I-II) และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-C) เป็นตัวแทนของความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอลัมน์ของแถว และความแตกต่างของแถวที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.5.5: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในอัตราส่วน 3 และ 9 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 – 48 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5.6: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในอัตราส่วน 6 กรัม ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 – 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5.7: ผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในอัตราส่วน 3 และ 9 กรัม ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 – 48 ชั่วโมง

4.5.3 การทดลองการศึกษาเบื้องต้นเพื่อการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพดสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 4.5.21: การเปรียบเทียบการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 30 กรัม/ลิตร ให้เป็นน้ำตาลฟรุกโทสด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความเข้มข้น 1.5 กรัม ในสารละลายฟอสเฟตซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้สภาวะเขย่าใน tumbler และ shaker

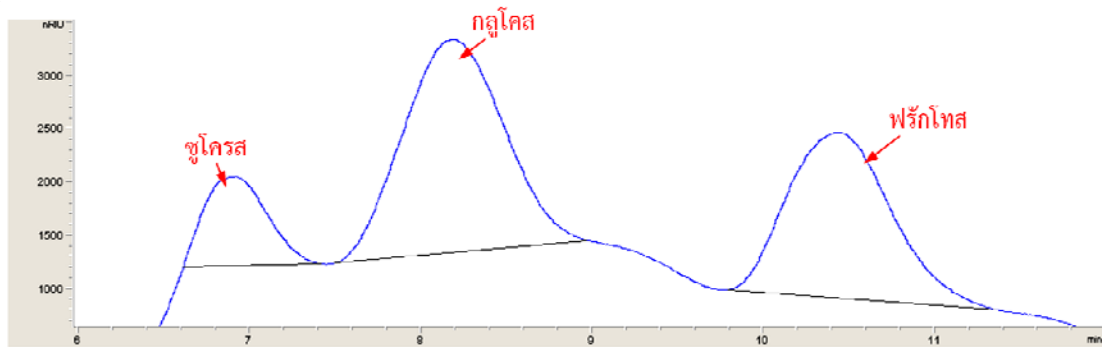
สภาวะในการเขย่า	ปริมาณน้ำตาล (กรัม/ลิตร)			
	ซูโครส	กลูโคส	ฟรุกโทส	น้ำตาลทั้งหมด
tumbler	2.91±0.87 ^a	15.48±0.74 ^a	12.32±0.69 ^a	30.71±0.95 ^a
shaker	1.89±0.01 ^a	14.30±0.02 ^a	13.31±0.08 ^a	29.51±0.06 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

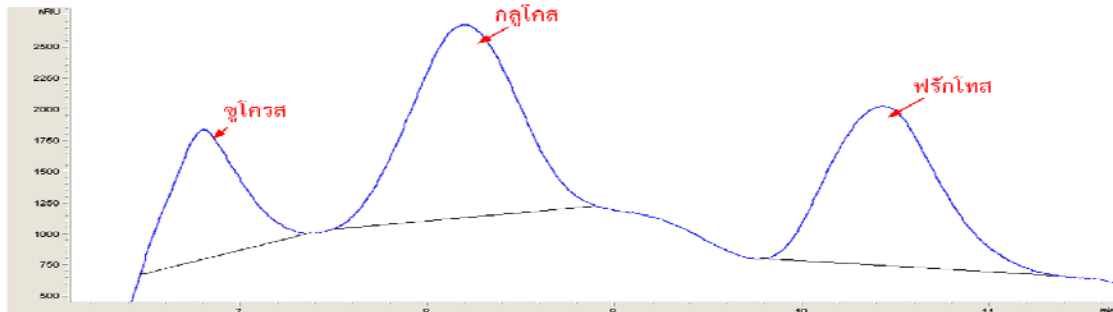
ตารางที่ 4.5.22: ความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโทสที่ได้จากการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสที่ระดับ pH 5, 6 และ 7 ด้วยสารละลายฟอสเฟตซิเตรทบัฟเฟอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

ระดับ pH	ปริมาณน้ำตาล (กรัม/ลิตร)			
	ซูโครส	กลูโคส	ฟรุกโทส	น้ำตาลโดยทั้งหมด
ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น	7.94±0.09	18.01±0.36	2.31±0.89	28.27±0.47
5	6.09±0.30 ^b	11.73±0.72 ^a	8.72±0.94 ^a	26.54±0.16 ^a
6	4.99±0.36 ^c	10.50±0.73 ^a	8.03±0.37 ^b	23.52±0.02 ^b
7	9.02±0.04 ^a	8.82±0.45 ^b	5.61±0.25 ^c	23.45±0.57 ^b

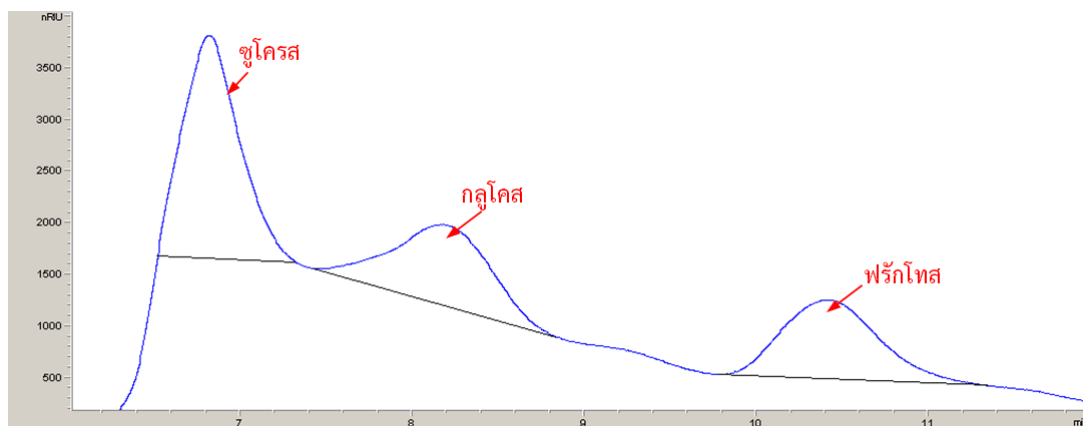
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.5.8: โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า



รูปที่ 4.5.9: โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 6 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

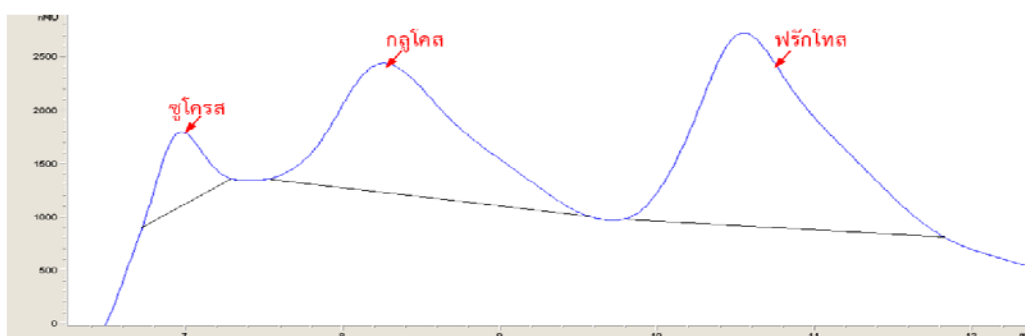


รูปที่ 4.5.10: โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 7 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

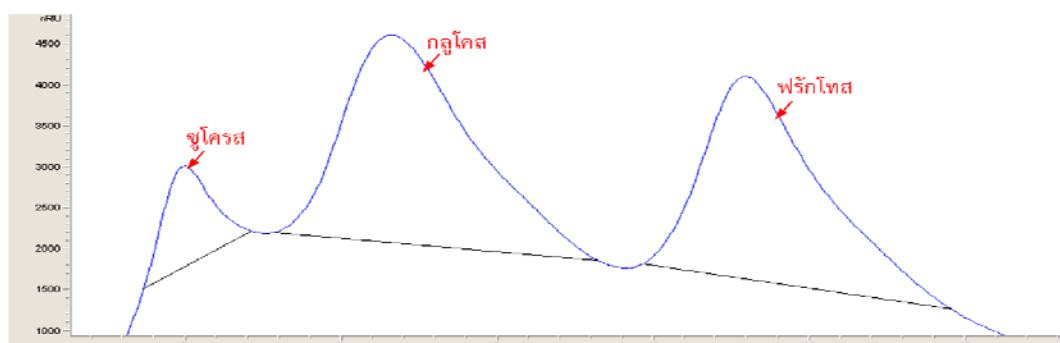
ตารางที่ 4.5.23: ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างซีที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ในสารละลายฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำตาล (กรัม/ลิตร)			
	ซูโครส	กลูโคส	ฟรุคโตส	น้ำตาลโดยรวม
ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น	4.96±0.09	21.79±0.79	2.70±0.22	29.45±0.94
40	3.22±0.08 ^c	11.04±0.45 ^b	10.70±0.60 ^b	24.96±0.13 ^c
50	4.00±0.85 ^a	14.66±0.86 ^a	11.94±0.41 ^a	30.60±0.92 ^a
60	3.73±0.42 ^b	13.73±0.27 ^b	10.92±0.21 ^b	28.38±0.90 ^b

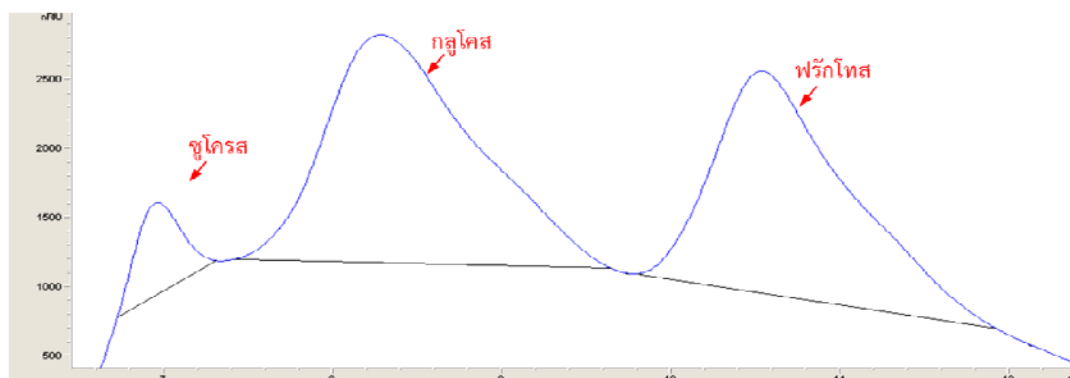
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.5.11: โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า



รูปที่ 4.5.12: โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า



รูปที่ 4.5.13: โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลของตัวอย่างที่ได้จากการเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสปริมาณ 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

ตารางที่ 4.5.24: ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุคโตส ด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความเข้มข้น 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

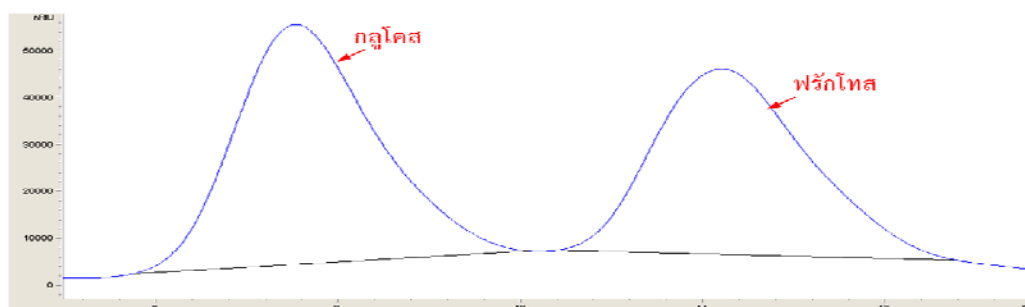
ความเข้มข้น เอนไซม์ (กรัม)	ปริมาณน้ำตาล (กรัม/ลิตร)			
	ก่อนย่อย		หลังย่อย	
	กลูโคส	ฟรุคโตส	กลูโคส	ฟรุคโตส
1.0	30.00±0.05 ^a	-	15.67±0.17 ^a	14.52±0.73 ^a
1.5	30.00±0.05 ^a	-	15.26±0.22 ^a	14.82±0.18 ^a
2.0	30.00±0.05 ^a	-	15.62±0.88 ^a	14.83±0.32 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

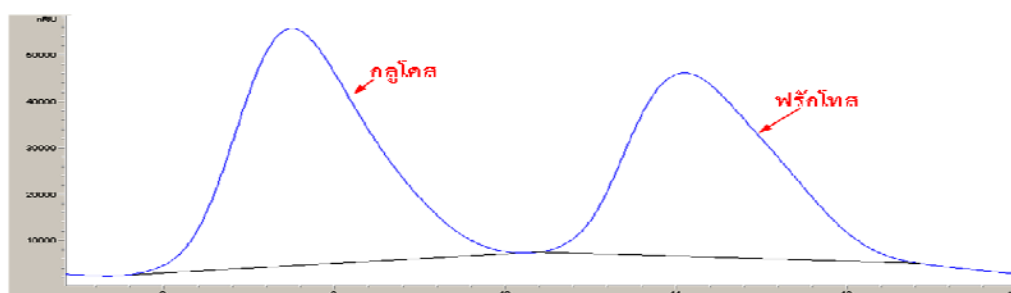
ตารางที่ 4.5.25: ปริมาณร้อยละของน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตสด้วย เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความเข้มข้น 2.0 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

ความเข้มข้น เอนไซม์ (กรัม)	ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ)			
	ก่อนย่อย		หลังย่อย	
	กลูโคส	ฟรุกโตส	กลูโคส	ฟรุกโตส
1.0	100.00 ^a	-	52.23 ^a	48.40 ^a
1.5	100.00 ^a	-	50.87 ^a	49.40 ^a
2.0	100.00 ^a	-	52.07 ^a	49.43 ^a

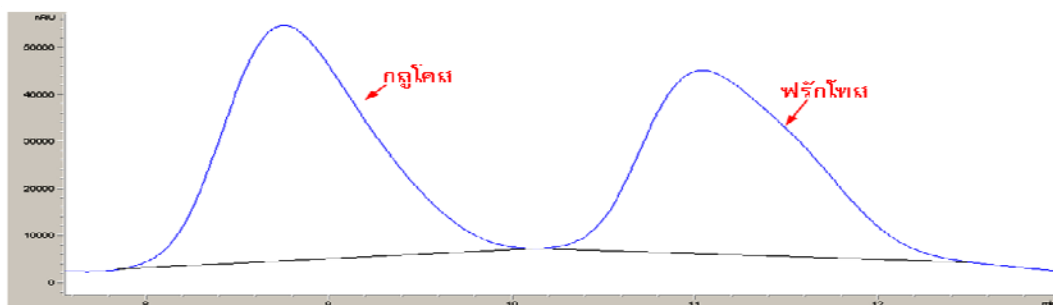
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.5.14: โครมาโตแกรมของปริมาณน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตส ด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความเข้มข้น 1.0 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า



รูปที่ 4.5.15: โครมาโตแกรมของปริมาณน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตส ด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความเข้มข้น 1.5 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

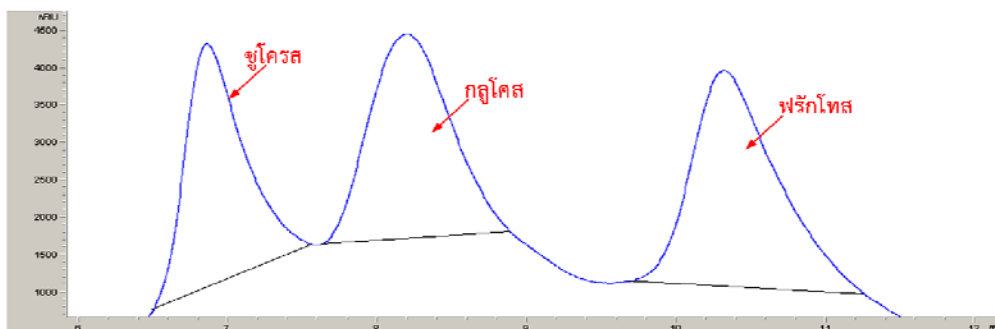


รูปที่ 4.5.16: โครมาโตแกรมของปริมาณน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลฟรุคโตส ด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสความเข้มข้น 2.0 กรัม ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

ตารางที่ 4.5.26: ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ในระดับขยายขนาดที่ 1,000 มิลลิลิตร ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า และการทำให้เข้มข้น

สภาวะ	ปริมาณน้ำตาล (กรัม/ลิตร)			
	ซูโครส	กลูโคส	ฟรุคโตส	น้ำตาลทั้งหมด
ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น	6.52±0.31 ^b	21.06±0.69 ^a	2.06±0.22 ^c	29.61±0.43 ^b
หลังย่อยด้วยเอนไซม์ glucose isomerase	7.06±0.56 ^b	11.95±0.94 ^c	10.22±0.52 ^b	29.23±0.28 ^b
หลังการทำให้เข้มข้น 55 องศาบริกซ์	11.46±0.29 ^a	16.48±0.84 ^b	14.04±0.33 ^a	41.98±0.72 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.5.17: โครมาโตแกรมปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโทสที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ กลูโคสไอโซเมอเรส ในระดับขยายขนาดที่ 1,000 มิลลิลิตร ในสารละลายฟอสเฟตซีเตรท บัฟเฟอร์ pH 5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า

5.5.4 การศึกษาวิธีการทำบริสุทธิ์น้ำเชื่อมกลูโคสฟรุคโทสเบื้องต้น

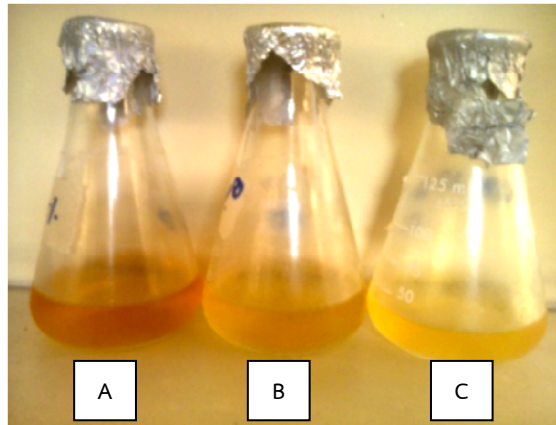
ตารางที่ 4.5.27: ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของสารละลายกลูโคสฟรุคโทสหลังเติมผงถ่านที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยมวลต่อปริมาตร

ปริมาณผงถ่าน (ร้อยละ)	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
0	62.68 ± 0.05^d	-0.62 ± 0.07^a	51.00 ± 0.07^a
1	63.35 ± 0.35^c	-0.80 ± 0.64^b	31.40 ± 0.05^b
3	63.49 ± 0.07^b	-0.83 ± 0.02^b	30.00 ± 0.01^c
5	63.51 ± 0.07^a	-0.81 ± 0.03^b	29.30 ± 0.02^d

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.5.18: สารละลายกลูโคสฟรุคโทสที่ได้จากการกระบวนการไอโซเมอไรเซชัน และไม่ได้มีการเติมผงถ่าน (ตัวควบคุม)



รูปที่ 4.5.19: สารละลายกลูโคสฟรุกโตสที่เติมผงถ่านร้อยละ 1 (A), 3 (B) และ 5 (C) โดยมวลต่อปริมาตร เพื่อลดสีให้เกิดความสว่างขึ้น



รูปที่ 4.5.20: น้ำเชื่อมกลูโคสฟรุกโตสเข้มข้น 55 องศาบริกซ์

4.6 การทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากถั่วแปยีเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต

4.6.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีถั่วแปยีสด และทอดด้วยวิธีดั้งเดิม



รูปที่ 4.6.1: ถั่วแปยีทอดทั้งเปลือก

ที่มา : <http://maesod.igetweb.com/index.php?mo=3&art=224238>

ตารางที่ 4.4.1: สมบัติทางกายภาพและเคมีของถั่วแปยีสด และ ถั่วแปยีทอด

ลักษณะสมบัติทางกายภาพ	ถั่วแปยีสด	ถั่วแปยีทอด
ค่าสี L	70.39±1.28	53.05 ± 1.14
ค่าสี a*	1.52±0.55	5.92 ± 1.40
ค่าสี b*	17.99±1.52	24.44 ± 1.44
ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w)	0.50±0.01	0.30 ± 0.02
ปริมาณความชื้น (%)	9.27±0.10	2.26 ± 0.25
ปริมาณโปรตีน (%)	19.53±0.83	20.82 ± 0.71
ปริมาณไขมัน (%)	1.80±0.25	15.47 ± 0.49
ปริมาณเถ้า (%)	3.12±0.55	3.64 ± 0.03
ค่าความหืน หรือ TBARS (mgMAD/kg sample)	NT	1.58 ± 0.05
ค่าความแข็ง หรือ Hardness (N)	NT	2889.7 ± 151.69

หมายเหตุ: - ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ
 - NT = Not test (ไม่ได้ทำการทดสอบ)

ตารางที่ 4.6.2: ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของแก้วเปียทออสัญญากาศ

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า ^{ns} (ร้อยละ)	ค่าสถิติ	
						L	a* b*
120	0.16 ±0.05	1.58 ±0.42 ^b	25.08 ±1.64	4.67 ±2.47	3.66 ±0.17	62.45 ±4.87 ^b	1.96 ±0.97 ^a 24.92 ±0.98 ^b
135	0.10 ±0.02	0.40 ±0.18 ^a	25.22 ±1.19	3.36 ±0.78	4.15 ±0.67	56.27 ±0.80 ^a	3.31 ±0.60 ^b 17.98 ±0.38 ^a
150	0.10 ±0.02	0.45 ±0.14 ^a	25.95 ±1.24	5.42 ±1.54	3.60 ±0.18	55.41 ±1.50 ^a	7.18 ±0.71 ^c 25.88 ±0.60 ^b

ตารางที่ 4.6.3: ผลของเวลาที่มีต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของแก้วเปียทออสัญญากาศ

เวลาที่ใช้ทอด	ค่ากิจกรรมของน้ำ ^{ns} (a_w)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณโปรตีน ^{ns} (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า ^{ns} (ร้อยละ)	ค่าสถิติ	
						L ^{ns}	a* b* ^{ns}
10	0.12 ±0.03	1.01 ±0.68 ^b	25.38 ±1.70	3.21 ±0.87 ^a	3.99 ±0.40	60.14 ±5.38	3.51 ±2.66 ^a 23.04 ±4.12
20	0.12 ±0.05	0.83 ±0.65 ^{ab}	25.09 ±1.01	4.56 ±1.79 ^{ab}	3.83 ±0.40	57.64 ±3.28	4.02 ±2.39 ^a 22.86 ±3.98
30	0.12 ±0.05	0.60 ±0.56 ^a	25.78 ±1.42	5.68 ±2.01 ^b	3.60 ±0.31	56.34 ±3.65	4.92 ±2.34 ^b 22.88 ±3.63

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- อักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)



ตารางที่ 4.6.4: ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของแก้วเบรียทออสัญญากาศ

ปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ*เวลา)	ค่ากิจกรรมของน้ำ (a _w)	ปริมาณความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	ปริมาณโปรตีน ^{ns} (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน ^{ns} (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า ^{ns} (ร้อยละ)	ค่าสถิติ	
						L ^{ns}	a* ^{ns} b* ^{ns}
120*10	0.15 ±0.03	1.82 ±0.53	24.81 ±3.18	2.90 ±0.87	3.70 ±0.29	67.02 ±1.39	0.84 ±0.05 25.06 ±1.23
120*20	0.17 ±0.07	1.65 ±0.30	24.75 ±1.48	5.12 ±3.41	3.64 ±0.15	60.40 ±5.39	2.12 ±0.44 24.60 ±1.24
120*30	0.15 ±0.08	1.28 ±0.43	25.68 ±0.20	5.99 ±2.81	3.62 ±0.20	59.92 ±4.96	2.93±0.09 25.08 ±1.21
135*10	0.11 ±0.03	0.60 ±0.50	24.83 ±0.60	2.66 ±0.32	4.47 ±0.00	56.82 ±0.83	3.05 ±0.71 17.82 ±0.18
135*20	0.10 ±0.01	0.38 ±0.06	25.34 ±0.20	3.54 ±0.64	4.33 ±0.01	56.61 ±0.03	2.92 ±0.01 17.85 ±0.32
135*30	0.08 ±0.01	0.21 ±0.01	25.48 ±2.50	3.88 ±1.00	3.66 ±0.59	55.38 ±0.29	3.95 ±0.25 18.26 ±0.60
150*10	0.11 ±0.01	0.60 ±0.01	26.50±0.41	4.05 ±0.85	3.79±0.04	56.58 ±0.18	6.66 ±0.64 26.23 ±0.69
150*-20	0.08 ±0.01	0.45 ±0.056	25.19 ±1.55	5.03 ±0.87	3.52 ±0.11	55.92 ±1.25	7.03 ±0.71 26.12 ±0.44
150*30	0.12 ±0.02	0.30 ±0.11	26.18 ±1.81	7.19 ±0.14	3.50 ±0.23	53.73 ±0.86	7.87 ±0.21 25.30 ±0.26

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- อักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)
- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



ตารางที่ 4.6.5: ผลการศึกษาปัจจัยเดี่ยวที่มีผลต่อค่า TBARS (mgMAD/kg sample)

ปัจจัยที่ศึกษา		ค่า TBARS (mgMAD/kg sample)
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ^{ns}	120 องศาเซลเซียส	0.99 ±1.31
	135 องศาเซลเซียส	1.05 ±0.65
	150 องศาเซลเซียส	1.14 ±1.69
เวลาที่ใช้ในการทอด(นาที) ^{ns}	10 นาที	1.29 ±1.59
	20 นาที	0.90 ±1.07
	30 นาที	0.99 ±1.11
ระยะเวลาการเก็บ(วัน)	ทอดเสร็จใหม่	0.36 ±0.26 ^a
	7 วัน	0.51 ±0.30 ^a
	15 วัน	0.59 ±0.40 ^a
	30 วัน	2.78 ±1.50 ^b

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- อักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6.6: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและอุณหภูมิต่อค่า TBARS (mgMAD/kg sample)

ระยะเวลาการเก็บ*อุณหภูมิ	ค่า TBARS (mgMAD/kg sample)
ทอดเสร็จใหม่*120 องศาเซลเซียส	0.18 ±0.11 ^a
7 วัน*120 องศาเซลเซียส	0.40 ±0.13 ^a
15 วัน*120 องศาเซลเซียส	0.62 ±0.30 ^a
30 วัน*120 องศาเซลเซียส	2.75±1.63 ^c
ทอดเสร็จใหม่*135 องศาเซลเซียส	0.68 ±0.15 ^a
7วัน*135 องศาเซลเซียส	0.82 ±0.30 ^a
15วัน*135 องศาเซลเซียส	0.98 ±0.28 ^{ab}
30วัน*135 องศาเซลเซียส	1.74 ±0.96 ^b
ทอดเสร็จใหม่*150 องศาเซลเซียส	0.22 ±0.06 ^a



ตารางที่ 4.6.6 (ต่อ): ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและอุณหภูมิต่อค่า TBARS
(mgMAD/kg sample)

ระยะเวลาการเก็บ*อุณหภูมิ	ค่า TBARS (mgMAD/kg sample)
7วัน*150 องศาเซลเซียส	0.32 ±0.13 ^a
15 วัน*150 องศาเซลเซียส	0.18 ±0.08 ^a
30วัน*150 องศาเซลเซียส	3.85 ±1.19 ^d

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- อักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6.7: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและเวลาที่ใช้ในการทอดต่อค่า TBARS
(mgMAD/kg sample)

ระยะเวลาการเก็บ*เวลาที่ใช้ในการทอด	ค่า TBARS (mgMAD/kg sample)
ทอดเสร็จใหม่*10 นาที	0.32 ±0.26 ^a
ทอดเสร็จใหม่*20 นาที	0.34 ±0.29 ^a
ทอดเสร็จใหม่*30 นาที	0.40 ±0.26 ^a
7 วัน*10 นาที	0.50 ±0.18 ^a
7 วัน*20 นาที	0.50 ±0.45 ^a
7 วัน*30 นาที	0.54 ±0.25 ^a
15วัน*10 นาที	0.64 ±0.52 ^a
15วัน*20 นาที	0.50 ±0.33 ^a
15 วัน*30 นาที	0.63 ±0.40 ^a
30 วัน*10 นาที	3.71 ±1.39 ^c
30วัน*20 นาที	2.24 ±1.40 ^b
30วัน*30 นาที	2.39 ±1.49 ^b

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- อักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ตารางที่ 4.6.8: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการหอดต่อค่า TBARS (mgMAD/kg sample)

อุณหภูมิ* เวลาที่ใช้ในการหอด	ค่า TBARS ^{ns} (mgMAD/kg sample)
120 องศาเซลเซียส *10 นาที	0.95 ±1.23
120 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.84 ±1.34
120 องศาเซลเซียส *30 นาที	1.17±1.50
135 องศาเซลเซียส *10 นาที	1.37 ±1.04
135 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.91 ±0.32
135 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.88 ±0.20
150 องศาเซลเซียส *10 นาที	1.57 ±2.35
150 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.93 ±1.37
150 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.93 ±1.31

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6.9: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการหอดต่อค่า TBARS (mgMAD/kg sample)

ระยะเวลาการเก็บ*อุณหภูมิ*เวลาที่ใช้ในการหอด	ค่า TBARS ^{ns} (mgMAD/kg sample)		
หอดเสร็จใหม่*120 องศาเซลเซียส *10 นาที	0.12	±	0.17
7วัน*120 องศาเซลเซียส *10 นาที	0.43	±	0.19
15วัน*120 องศาเซลเซียส *10 นาที	0.45	±	0.16
30วัน*120 องศาเซลเซียส *10 นาที	2.81	±	1.09
หอดเสร็จใหม่*120 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.15	±	0.07
7วัน*120 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.30	±	0.04
15วัน*120 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.45	±	0.11



ตารางที่ 4.6.9 (ต่อ): ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดต่อ
ค่า TBARS (mgMAD/kg sample)

ระยะเวลาการเก็บ*อุณหภูมิ*เวลาที่ใช้ในการทอด	ค่า TBARS ^{ns} (mgMAD/kg sample)		
30วัน*120 องศาเซลเซียส *20 นาที	2.48	±	2.31
ทอดเสร็จใหม่*120 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.26	±	0.03
7วัน*120 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.49	±	0.11
15วัน*120 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.96	±	0.25
30วัน*120 องศาเซลเซียส *30 นาที	2.97	±	2.56
ทอดเสร็จใหม่*135 องศาเซลเซียส *10 นาที	0.59	±	0.25
7วัน*135 องศาเซลเซียส *10 นาที	0.64	±	0.23
15วัน*135 องศาเซลเซียส *10 นาที	1.29	±	0.02
30วัน*135 องศาเซลเซียส *10 นาที	2.96	±	0.30
ทอดเสร็จใหม่*135 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.71	±	0.13
7วัน*135 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.99	±	0.53
15วัน*135 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.86	±	0.29
30วัน*135 องศาเซลเซียส *20 นาที	1.11	±	0.37
ทอดเสร็จใหม่*135 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.74	±	0.07
7วัน*135 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.84	±	0.04
15วัน*135 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.79	±	0.16
30วัน*135 องศาเซลเซียส *30 นาที	1.17	±	0.11
ทอดเสร็จใหม่*150 องศาเซลเซียส *10 นาที	0.26	±	0.03
7วัน*150 องศาเซลเซียส *10 นาที	0.45	±	0.16
15วัน*150 องศาเซลเซียส *10 นาที	0.20	±	0.12
30วัน*150 องศาเซลเซียส *10 นาที	5.36	±	0.49
ทอดเสร็จใหม่*150 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.17	±	0.06
7วัน*150 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.21	±	0.07
15วัน*150 องศาเซลเซียส *20 นาที	0.20	±	0.12
30วัน*150 องศาเซลเซียส *20 นาที	3.14	±	0.11



ตารางที่ 4.6.9 (ต่อ): ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดต่อ
ค่า TBARS (mgMAD/kg sample)

ระยะเวลาการเก็บ*อุณหภูมิ*เวลาที่ใช้ในการทอด	ค่า TBARS ^{ns} (mgMAD/kg sample)		
ทอดเสร็จใหม่*150 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.22	±	0.08
7วัน*150 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.30	±	0.01
15วัน*150 องศาเซลเซียส *30 นาที	0.15	±	0.01
30วัน*150 องศาเซลเซียส *30 นาที	3.05	±	0.01

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6.10: ผลการศึกษาปัจจัยเดี่ยวที่มีผลต่อค่าความแข็ง (HARDNESS)

ปัจจัยที่ศึกษา		ค่าความแข็ง(Hardness) ^{ns}		
		(N)		
อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	120 องศาเซลเซียส	2841.86	±	191.48
	135 องศาเซลเซียส	3016.08	±	217.09
	150 องศาเซลเซียส	3421.22	±	235.22
เวลาที่ใช้ในการทอด(นาที)	10 นาที	3,399.60	±	235.53
	20 นาที	2,926.66	±	196.81
	30 นาที	2,952.91	±	238.73
ระยะเวลาการเก็บ(วัน)	1 วัน	2,880.94	±	225.51
	7 วัน	3,606.12	±	270.99
	15 วัน	2,850.08	±	125.21
	30 วัน	3,035.09	±	241.56

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ตารางที่ 4.6.11: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บกับอุณหภูมิต่อค่าความแข็ง (HARDNESS)

ระยะเวลาการเก็บ*อุณหภูมิ	ค่าความแข็ง(Hardness) ^{ns} (N)		
ทอดเสร็จใหม่*120 องศาเซลเซียส	2906.97	±	257.28
7 วัน*120 องศาเซลเซียส	2778.06	±	170.82
15 วัน*120 องศาเซลเซียส	2830.93	±	78.09
30 วัน*120 องศาเซลเซียส	2851.49	±	238.65
ทอดเสร็จใหม่*135 องศาเซลเซียส	3036.54	±	147.11
7วัน*135 องศาเซลเซียส	3115.26	±	165.94
15วัน*135 องศาเซลเซียส	2799.56	±	176.15
30วัน*135 องศาเซลเซียส	3112.99	±	238.25
ทอดเสร็จใหม่*150 องศาเซลเซียส	2699.33	±	124.98
7วัน*150 องศาเซลเซียส	4925.04	±	259.79
15 วัน*150 องศาเซลเซียส	2919.75	±	82.78
30วัน*150 องศาเซลเซียส	3140.79	±	153.42

- หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6.12: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและเวลาที่ใช้ในการทอดต่อค่าความแข็ง (HARDNESS)

ระยะเวลาการเก็บ*เวลาที่ใช้ในการทอด	ค่าความแข็ง(Hardness) ^{ns} (N)		
ทอดเสร็จใหม่*10 นาที	2857.45	±	144.23
ทอดเสร็จใหม่*20 นาที	2915.12	±	266.25
ทอดเสร็จใหม่*30 นาที	2870.26	±	281.08
7 วัน*10 นาที	4820.01	±	216.32
7 วัน*20 นาที	2935.20	±	208.97
7 วัน*30 นาที	3063.15	±	142.11
15วัน*10 นาที	2848.29	±	133.63



ตารางที่ 4.6.12 (ต่อ): ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและเวลาที่ใช้ในการทดสอบต่อค่าความแข็ง (HARDNESS)

ระยะเวลาการเก็บ*เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	ค่าความแข็ง(Hardness) ^{ns} (N)		
15วัน*20 นาที	2835.89	±	134.53
15 วัน*30 นาที	2866.07	±	129.61
30 วัน*10 นาที	3072.66	±	246.69
30วัน*20 นาที	3020.44	±	157.56
30วัน*30 นาที	3012.16	±	331.86

- หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6.13: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบต่อค่าความแข็ง (HARDNESS)

อุณหภูมิ*เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	ค่าความแข็ง(Hardness) ^{ns} (N)		
120 องศาเซลเซียส *10 นาที	2766.31	±	142.52
120 องศาเซลเซียส *20 นาที	2862.62	±	169.96
120 องศาเซลเซียส *30 นาที	2896.66	±	246.61
135 องศาเซลเซียส *10 นาที	2982.06	±	201.28
135 องศาเซลเซียส *20 นาที	2987.28	±	219.11
135 องศาเซลเซียส *30 นาที	3078.92	±	244.02
150 องศาเซลเซียส *10 นาที	4450.44	±	238.86
150 องศาเซลเซียส *20 นาที	2930.09	±	203.63
150 องศาเซลเซียส *30 นาที	2883.14	±	198.94

- หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ตารางที่ 4.6.14: ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบค่าความแข็ง (HARDNESS)

ระยะเวลาการเก็บ*อุณหภูมิ*เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	ค่าความแข็ง(Hardness) ^{ns} (N)		
ทดสอบเสร็จใหม่*120 องศาเซลเซียส *10 นาที	2817.73	±	187.76
7วัน*120 องศาเซลเซียส *10 นาที	2640.32	±	57.54
15วัน*120 องศาเซลเซียส *10 นาที	2788.89	±	39.69
30วัน*120 องศาเซลเซียส *10 นาที	2818.30	±	242.04
ทดสอบเสร็จใหม่*120 องศาเซลเซียส *20 นาที	2931.55	±	261.29
7วัน*120 องศาเซลเซียส *20 นาที	2719.97	±	21.73
15วัน*120 องศาเซลเซียส *20 นาที	2834.02	±	40.32
30วัน*120 องศาเซลเซียส *20 นาที	2964.94	±	243.04
ทดสอบเสร็จใหม่*120 องศาเซลเซียส *30 นาที	2971.64	±	449.36
7วัน*120 องศาเซลเซียส *30 นาที	2973.91	±	143.90
15วัน*120 องศาเซลเซียส *30 นาที	2869.88	±	143.89
30วัน*120 องศาเซลเซียส *30 นาที	2771.24	±	355.38
ทดสอบเสร็จใหม่*135 องศาเซลเซียส *10 นาที	2939.81	±	208.48
7วัน*135 องศาเซลเซียส *10 นาที	3040.76	±	175.81
15วัน*135 องศาเซลเซียส *10 นาที	2801.82	±	229.58
30วัน*135 องศาเซลเซียส *10 นาที	3145.86	±	165.62
ทดสอบเสร็จใหม่*135 องศาเซลเซียส *20 นาที	3164.73	±	80.77
7วัน*135 องศาเซลเซียส *20 นาที	3092.12	±	253.53
15วัน*135 องศาเซลเซียส *20 นาที	2730.11	±	144.16
30วัน*135 องศาเซลเซียส *20 นาที	2962.16	±	161.23
ทดสอบเสร็จใหม่*135 องศาเซลเซียส *30 นาที	3005.08	±	68.28
7วัน*135 องศาเซลเซียส *30 นาที	3212.90	±	106.10
15วัน*135 องศาเซลเซียส *30 นาที	2866.77	±	250.92
30วัน*135 องศาเซลเซียส *30 นาที	3230.94	±	393.58
ทดสอบเสร็จใหม่*150 องศาเซลเซียส *10 นาที	2814.83	±	70.30



ตารางที่ 4.6.14 (ต่อ): ผลของปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดต่อ
ค่า ค่าความแข็ง (HARDNESS)

ระยะเวลาการเก็บ*อุณหภูมิ*เวลาที่ใช้ในการทอด	ค่าความแข็ง(Hardness) ^{ns} (N)		
7วัน*150 องศาเซลเซียส *10 นาที	8778.96	±	800.25
15วัน*150 องศาเซลเซียส *10 นาที	2954.16	±	34.75
30วัน*150 องศาเซลเซียส *10 นาที	3253.83	±	111.85
ทอดเสร็จใหม่*150 องศาเซลเซียส *20 นาที	2649.08	±	113.83
7วัน*150 องศาเซลเซียส *20 นาที	2993.50	±	69.93
15วัน*150 องศาเซลเซียส *20 นาที	2943.54	±	150.06
30วัน*150 องศาเซลเซียส *20 นาที	3134.24	±	14.55
ทอดเสร็จใหม่*150 องศาเซลเซียส *30 นาที	2634.07	±	141.26
7วัน*150 องศาเซลเซียส *30 นาที	3002.65	±	30.18
15วัน*150 องศาเซลเซียส *30 นาที	2861.56	±	16.17
30วัน*150 องศาเซลเซียส *30 นาที	3034.30	±	237.99

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

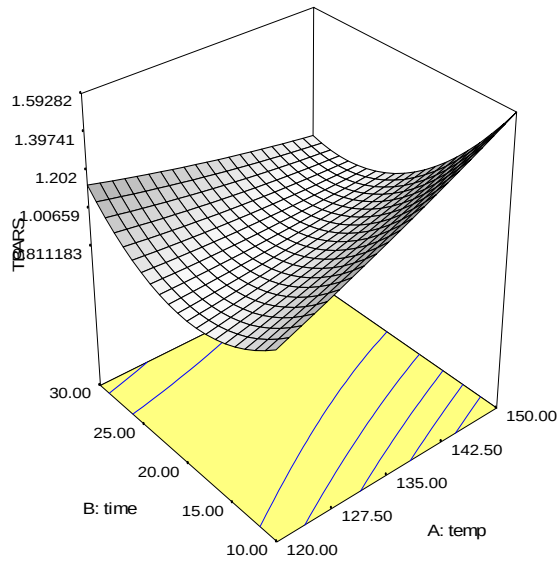
ตารางที่ 4.6.15: Regression models ของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ

คุณภาพ	สมการ	p-value	R ²
ปริมาณความชื้น (%)	$Y = 57.15421 - (0.79019 X_1) - (0.065008 X_2) + (2.75692E-003 X_1^2) - (2.46923E-004 X_1^2) + (4.03077E-004 X_1 X_2)$	< 0.0101	0.99
ค่าสี L	$Y = 92.20672 - (0.22604 X_1) - (0.17792 X_2)$	0.0044	0.7877
ค่า TBARS	$Y = -0.79128 + (0.011342 X_1) + (0.17792 X_2) + (8.03419E-005 X_1^2) - (1.36923E-003 X_1 X_2)$	0.0162	0.9372
ค่าความแข็ง (Hardness)	$-6432.30055 + (73.945563 X_1) + (341.24754 X_2) - (2.68251 X_1 X_2)$	0.0458	0.7129

หมายเหตุ: - * X_1 = temperature, X_2 = Time

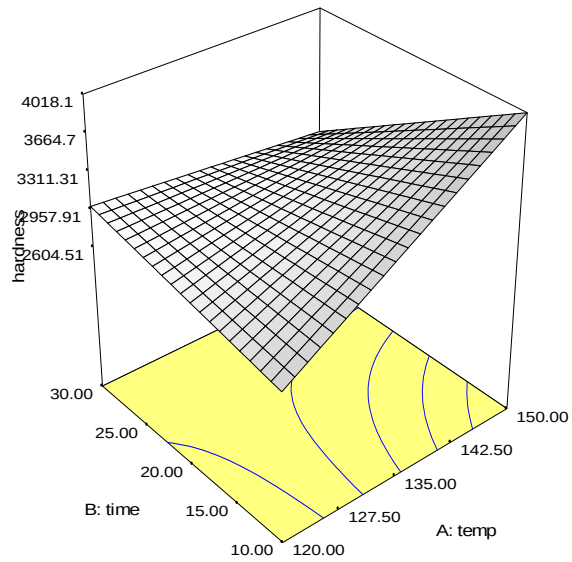
DESIGN-EXPERT Plot

TBARS
X = A: temp
Y = B: time



DESIGN-EXPERT Plot

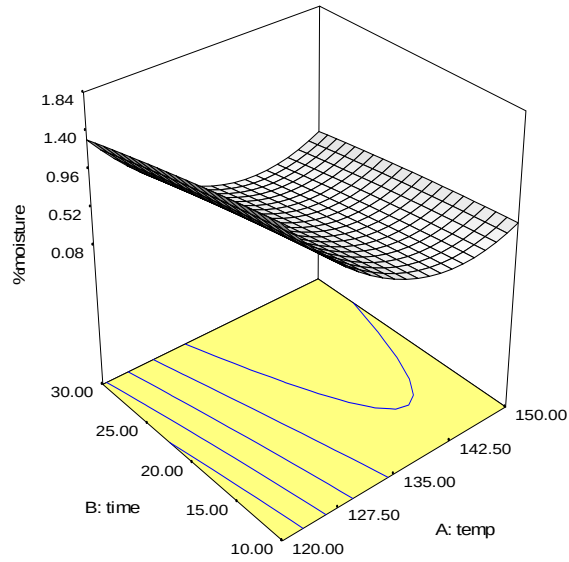
hardness
X = A: temp
Y = B: time



รูปที่ 4.6.2: ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$), เวลา (นาที) และตัวแปรค่า TBARS และค่าความแข็ง (Hardness)

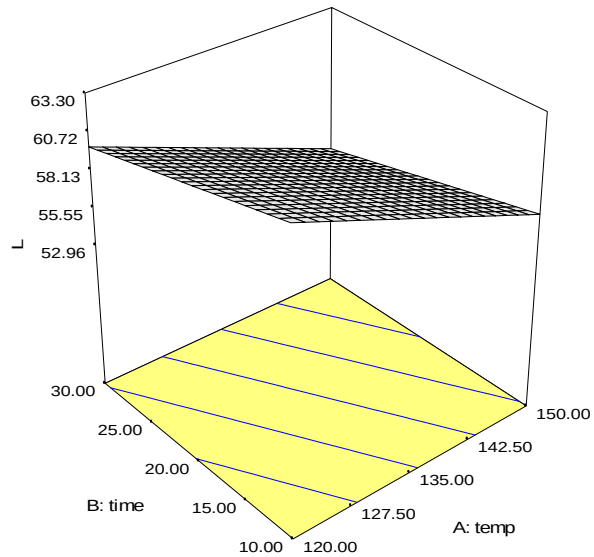
DESIGN-EXPERT Plot

%moisture
X = A: temp
Y = B: time

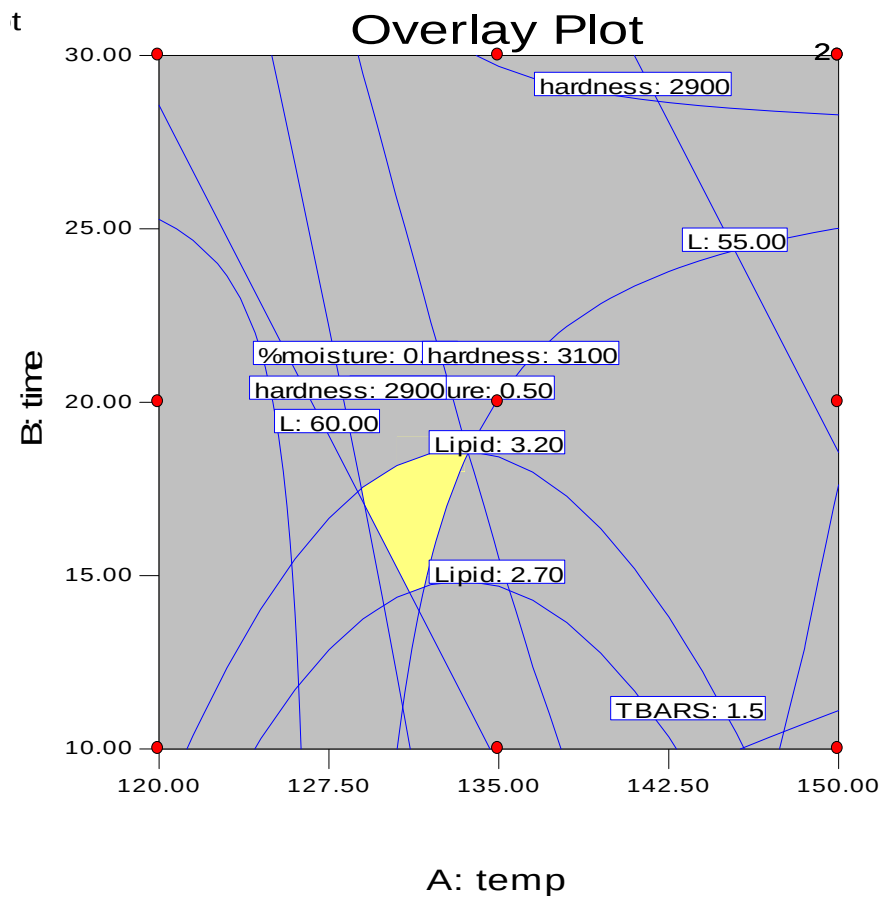


DESIGN-EXPERT Plot

L
X = A: temp
Y = B: time



รูปที่ 4.6.3: ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$), เวลา (นาที่) และตัวแปร ปริมาณความชื้น และค่าสี L



รูปที่ 4.6.4: Optimization point ของการทอดกล้วยแปรรูปด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ



4.6.2 การศึกษาสมบัติด้านประสิทธิภาพ ต้นสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างถั่วแปบยี่ห้อสุญญากาศ

ตารางที่ 4.6.16: การทดสอบทางประสิทธิภาพ ต้นสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างถั่วแปบยี่ห้อสุญญากาศที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

เวลาในการทอด	ระยะเวลาในการเก็บรักษา	การทดสอบชิม				
		สี	กลิ่น	รสชาติ	ความแข็ง	ลักษณะปรากฏ
10 นาที	1 วัน	6.13 ± 1.33	5.80 ± 1.27	6.23 ± 1.38	6.67 ± 1.37	6.37 ± 1.07
	7 วัน	6.93 ± 1.08	6.40 ± 1.40	6.47 ± 1.25	6.87 ± 1.46	6.80 ± 1.30
	15 วัน	6.57 ± 1.54	6.17 ± 1.15	5.73 ± 1.31	6.23 ± 1.61	6.73 ± 1.39
	30 วัน	5.42 ± 6.77	4.98 ± 1.03	5.33 ± 1.80	5.73 ± 1.31	5.83 ± 1.34
20 นาที	ทอดเสร็จใหม่	5.93 ± 1.14	5.77 ± 1.38	5.73 ± 1.66	6.17 ± 1.82	6.07 ± 1.57
	7 วัน	6.90 ± 1.30	6.00 ± 1.08	6.83 ± 1.39	7.23 ± 1.36	7.13 ± 1.20
	15 วัน	6.43 ± 1.30	5.93 ± 1.31	5.73 ± 1.48	6.20 ± 1.19	6.50 ± 1.41
	30 วัน	6.50 ± 1.07	5.30 ± 1.18	5.63 ± 1.52	6.10 ± 1.18	6.43 ± 1.01
30 นาที	1 วัน	6.26 ± 1.46	5.83 ± 1.56	6.33 ± 1.56	6.37 ± 1.49	6.37 ± 1.22
	7 วัน	6.80 ± 1.18	6.03 ± 1.90	5.97 ± 1.54	6.37 ± 1.97	6.90 ± 1.06
	15 วัน	6.67 ± 1.51	6.27 ± 1.17	6.23 ± 0.94	6.07 ± 1.44	6.67 ± 1.30
	30 วัน	6.40 ± 1.32	5.30 ± 1.02	5.97 ± 1.30	6.43 ± 1.22	6.27 ± 0.83
หมายเหตุ:		ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลองโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน				



ตารางที่ 4.6.17: การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม
สุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

เวลาในการทดสอบ	ระยะเวลาในการเก็บรักษา	การทดสอบ				
		สี	กลิ่น	รสชาติ	ความแข็ง	ลักษณะปรากฏ
10 นาที	1 วัน	6.42 ± 1.42	6.26 ± 1.40	5.98 ± 1.18	5.95 ± 1.16	6.74 ± 1.17
	7 วัน	6.73 ± 1.14	6.50 ± 0.99	6.70 ± 0.91	6.56 ± 0.98	6.90 ± 0.99
	15 วัน	6.64 ± 1.13	6.58 ± 0.85	6.75 ± 0.77	6.70 ± 0.87	6.78 ± 0.88
	30 วัน	6.48 ± 1.04	6.17 ± 1.15	6.52 ± 0.77	6.60 ± 0.90	6.82 ± 0.70
	หาค่าเฉลี่ยใหม่	6.39 ± 1.23	6.32 ± 1.04	6.28 ± 6.28	6.22 ± 1.42	6.59 ± 1.27
20 นาที	7 วัน	6.76 ± 1.07	6.45 ± 1.05	6.58 ± 0.90	6.70 ± 1.03	6.75 ± 1.10
	15 วัน	6.88 ± 0.87	6.45 ± 0.91	6.65 ± 0.90	7.03 ± 0.77	6.78 ± 1.03
	30 วัน	6.85 ± 1.05	6.32 ± 1.30	6.60 ± 1.09	6.88 ± 1.03	6.85 ± 0.78
	หาค่าเฉลี่ยใหม่	6.38 ± 1.55	6.17 ± 1.21	5.77 ± 1.10	5.61 ± 1.49	6.25 ± 1.18
30 นาที	7 วัน	6.76 ± 1.21	6.50 ± 1.33	6.62 ± 1.13	6.63 ± 1.36	7.01 ± 0.99
	15 วัน	6.58 ± 1.22	6.53 ± 1.42	6.58 ± 1.15	7.03 ± 1.00	7.02 ± 0.99
	30 วัน	6.71 ± 1.10	6.27 ± 1.28	6.48 ± 0.97	6.55 ± 1.24	6.73 ± 0.89
	หาค่าเฉลี่ยใหม่	6.35 ± 1.42	6.10 ± 1.35	6.08 ± 1.10	6.44 ± 1.38	6.74 ± 1.10
หมายเหตุ:		ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลองโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 30 คน				



ตารางที่ 4.6.18: การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างถั่วแปบียี่ห้อ
สุญญากาศที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

เวลาในการทดสอบ	ระยะเวลาในการเก็บรักษา		การทดสอบชิม			
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความแข็ง	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
10 นาที	1 วัน	6.10 ± 1.00	5.58 ± 0.78	5.55 ± 1.08	6.10 ± 0.98	6.08 ± 1.05
	7 วัน	5.58 ± 1.06	5.98 ± 1.00	6.08 ± 1.08	6.30 ± 0.86	6.12 ± 0.91
	15 วัน	5.53 ± 1.18	6.02 ± 1.13	6.13 ± 1.24	6.45 ± 1.12	6.17 ± 1.06
	30 วัน	6.45 ± 1.02	5.95 ± 1.12	5.58 ± 1.11	5.97 ± 1.10	6.18 ± 0.85
20 นาที	ทอดเสร็จใหม่	6.03 ± 1.11	5.80 ± 0.80	5.38 ± 1.10	6.38 ± 0.93	6.18 ± 1.00
	7 วัน	5.60 ± 1.27	5.53 ± 1.10	5.88 ± 1.39	6.15 ± 1.09	5.85 ± 0.88
	15 วัน	5.60 ± 1.49	5.48 ± 1.39	5.90 ± 1.42	6.28 ± 1.11	6.03 ± 0.980
	30 วัน	5.95 ± 1.11	5.87 ± 1.01	5.83 ± 0.97	6.18 ± 1.09	5.81 ± 0.90
30 นาที	1 วัน	5.58 ± 1.20	5.30 ± 1.03	5.00 ± 1.43	6.02 ± 1.13	5.67 ± 1.03
	7 วัน	5.18 ± 1.25	5.80 ± 1.19	6.02 ± 1.23	6.28 ± 0.97	5.90 ± 1.01
	15 วัน	5.10 ± 1.52	5.62 ± 1.44	5.68 ± 1.45	6.21 ± 1.18	5.92 ± 1.05
	30 วัน	5.55 ± 1.08	5.80 ± 0.99	5.43 ± 1.13	6.15 ± 1.08	5.75 ± 1.03
หมายเหตุ:		ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลองโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน				



ตารางที่ 4.6.19: การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างถั่วแปยีทอดโดยวิธีธรรมดา (Control)

ลักษณะที่ทดสอบ	คะแนนโดยเฉลี่ย
สี	5.56 ± 0.83
กลิ่น	5.56 ± 0.97
รสชาติ	5.49 ± 1.13
ความแข็ง	6.37 ± 0.85
ลักษณะปรากฏ	5.81 ± 0.89
ความชอบโดยรวม	5.71 ± 1.05

หมายเหตุ: ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลองโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

ตารางที่ 4.6.20: ผลของระยะเวลาการเก็บรักษา (ปัจจัยเดียว) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของตัวอย่างถั่วแปยีทอดโดยวิธีธรรมดา (Control)

ระยะเวลา การเก็บ รักษา	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความแข็ง ^{ns}	ลักษณะ ปรากฏ ^{ns}	ความชอบ โดยรวม ^{ns}
วันแรก	5.73 ± 0.83	5.40 ± 1.75	6.00 ± 1.32	6.50 ± 1.40	6.30 ± 1.26	6.10 ± 1.37
7 วัน	5.53 ± 1.25	5.60 ± 1.25	5.37 ± 1.50	6.43 ± 1.00	5.63 ± 1.16	5.50 ± 1.33
15 วัน	5.30 ± 1.47	5.73 ± 1.63	5.23 ± 2.12	6.27 ± 1.41	5.67 ± 1.39	5.47 ± 1.57
30 วัน	5.67 ± 0.92	5.50 ± 1.14	5.37 ± 1.19	6.27 ± 0.90	5.63 ± 1.16	5.77 ± 1.20

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ตารางที่ 4.6.21: ผลของอุณหภูมิ (ปัจจัยเดียว) ที่มีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของถั่วแปยี่ทอดสุญญากาศ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความแข็ง	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
120	6.41 ± 1.39^b	5.81 ± 1.29^b	6.02 ± 1.50^b	6.37 ± 1.50^{ab}	6.55 ± 1.12^b	6.32 ± 1.33^b
135	6.66 ± 1.16^a	6.38 ± 1.17^a	6.46 ± 1.01^a	6.54 ± 1.19^a	6.77 ± 1.01^a	6.53 ± 0.99^a
150	5.70 ± 1.42^c	5.73 ± 1.18^b	5.71 ± 1.25^c	6.21 ± 1.04^b	5.97 ± 1.00^c	6.00 ± 0.95^c
หมายเหตุ:	- ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ - อักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)					

ตารางที่ 4.6.22: ผลของเวลาที่ใช้ในการทอด (ปัจจัยเดียว) ที่มีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของถั่วแปยี่ทอดสุญญากาศ

เวลาในการทอด	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความแข็ง ^{ns}	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
10 นาที	6.29 ± 1.30	6.03 ± 1.18	6.10 ± 1.25	6.34 ± 1.20	6.40 ± 1.11	6.33 ± 1.11
20 นาที	6.32 ± 1.25	5.93 ± 1.19	6.09 ± 1.31	6.46 ± 1.24	6.41 ± 1.17	6.33 ± 1.08
30 นาที	6.17 ± 1.43	5.95 ± 1.29	6.00 ± 1.32	6.31 ± 1.35	6.37 ± 1.14	6.17 ± 1.18
หมายเหตุ:	- ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ - ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)					



ตารางที่ 4.6.23: ผลของระยะเวลาการเก็บรักษา (ปัจจัยเดียว) ที่มีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของถั่วแป๋ยี่ห้อสุญญากาศ

ระยะเวลาการเก็บรักษา	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความแข็ง	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
ทอดเสร็จใหม่	6.13 ± 1.29^b	5.87 ± 1.21^b	5.81 ± 1.33^b	6.17 ± 1.35^c	6.26 ± 1.20^b	6.13 ± 1.19^b
7 วัน	6.36 ± 1.33^a	6.13 ± 1.19^a	6.35 ± 5.93^a	6.57 ± 1.30^a	6.59 ± 1.14^a	6.51 ± 1.05^a
15 วัน	6.28 ± 1.41^{ab}	6.11 ± 1.25^a	6.15 ± 1.27^a	6.47 ± 1.20^{ab}	6.51 ± 1.18^a	6.21 ± 1.16^b
30 วัน	6.26 ± 1.27^{ab}	5.77 ± 1.20^b	5.93 ± 1.29^b	6.29 ± 1.17^{bc}	6.30 ± 1.01^b	6.27 ± 1.05^b

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- อักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6.24: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิและเวลาการทอด) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของข้าวเป็ยทอดสุญญากาศ

ปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ * เวลาการทอด)	สี	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความแข็ง ^{ns}	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
120 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.27 ± 1.54 ^{bc}	5.83 ± 1.32	5.94 ± 1.50	6.38±1.49	6.43±1.32	6.34±1.43
120 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.44 ± 1.24 ^{ab}	5.75 ± 1.26	5.98 ± 1.58	6.42±1.47	6.53±1.35	6.28±1.33
120 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.53 ± 1.38 ^{ab}	5.86 ± 1.29	6.12 ± 1.35	6.31±1.54	6.55±1.13	6.33±1.24
135 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.64 ± 1.14 ^a	6.38 ± 1.12	6.49±0.96	6.45±1.02	6.81±0.93	6.48±0.95
135 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.72 ± 1.07 ^a	6.38 ± 1.07	6.53±0.94	6.71±1.12	6.74±1.05	6.65±0.94
135 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.61 ± 1.28 ^a	6.37 ± 1.40	6.36±1.13	6.46±1.38	6.75±1.05	6.46±1.07
150 องศาเซลเซียส * 10 นาที	5.97 ± 1.11 ^{cd}	5.88 ± 1.02	5.84±1.15	6.20±1.02	6.14±0.96	6.18±0.85
150 องศาเซลเซียส * 20 นาที	5.80 ± 1.26 ^c	5.67 ± 1.10	5.75±1.23	6.25±1.05	5.98± 0.95	6.08±0.83
150 องศาเซลเซียส * 30 นาที	5.35 ± 1.28 ^d	5.63 ± 1.18	5.53±1.35	6.17±1.09	5.81±1.02	5.73±1.10

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- อักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 4.6.25: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของถั่วแปยีทอดสุญญากาศ

คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
ปัจจัยร่วม	กลิ่น	รสชาติ	ความแข็ง	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
(อุณหภูมิ * ระยะเวลาการเก็บรักษา)	สี				
120 องศาเซลเซียส * ทอดเสร็จใหม่	6.11 ± 1.31 ^{cd}	5.80 ± 1.39 ^{cde}	6.10 ± 1.54 ^{bc}	6.40 ± 1.57 ^{bc}	6.27 ± 1.30 ^{cd}
120 องศาเซลเซียส * 7 วัน	6.88 ± 1.18 ^a	6.14 ± 1.23 ^{bc}	6.42 ± 1.43 ^{ab}	6.82 ± 1.64 ^a	6.94 ± 1.18 ^a
120 องศาเซลเซียส * 15 วัน	6.56 ± 1.45 ^{ab}	6.12 ± 1.21 ^{bcd}	5.90 ± 1.27 ^{cd}	6.17 ± 1.41 ^{cd}	6.63 ± 1.35 ^{ab}
120 องศาเซลเซียส * 30 วัน	6.11 ± 1.49 ^d	5.19 ± 1.08 ^f	5.64 ± 1.56 ^{de}	6.09 ± 1.26 ^{cd}	6.18 ± 1.10 ^{de}
135 องศาเซลเซียส * ทอดเสร็จใหม่	6.40 ± 1.40 ^{bc}	6.25 ± 1.21 ^{ab}	6.01 ± 1.06 ^{cd}	5.93 ± 1.38 ^d	6.53 ± 1.20 ^{bc}
135 องศาเซลเซียส * 7 วัน	6.76 ± 1.13 ^b	6.48 ± 1.12 ^{ab}	6.63 ± 0.98 ^a	6.63 ± 1.13 ^{ab}	6.89 ± 1.02 ^a
135 องศาเซลเซียส * 15 วัน	6.80 ± 0.99 ^a	6.52 ± 1.08 ^a	6.66 ± 0.94 ^a	6.92 ± 0.90 ^a	6.86 ± 0.96 ^a
135 องศาเซลเซียส * 30 วัน	6.68 ± 1.07 ^{ab}	6.25 ± 1.23 ^b	6.53 ± 0.09 ^a	6.68 ± 1.07 ^{ab}	6.80 ± 0.78 ^{ab}
150 องศาเซลเซียส * ทอดเสร็จใหม่	5.90 ± 1.12 ^c	5.56 ± 0.89 ^e	5.31 ± 1.22 ^e	6.17 ± 1.01 ^{cd}	5.98 ± 1.03 ^e
150 องศาเซลเซียส * 7 วัน	5.45 ± 1.20 ^e	5.77 ± 1.10 ^{de}	5.99 ± 1.23 ^d	6.24 ± 0.97 ^{cd}	5.96 ± 0.93 ^{de}
150 องศาเซลเซียส * 15 วัน	5.48 ± 1.42 ^d	5.70 ± 1.33 ^e	5.90 ± 1.37 ^d	6.32 ± 1.13 ^{cd}	6.07 ± 1.03 ^{de}
150 องศาเซลเซียส * 30 วัน	5.98 ± 1.13 ^c	5.87 ± 1.03 ^{cde}	5.62 ± 1.07 ^{de}	6.10 ± 1.08 ^{cd}	5.92 ± 0.94 ^e

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- อักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.6.26: ผลของปัจจัยร่วม (เวลาในการทอดและระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของถั่วแปบียทอดสุญญากาศ

ปัจจัยร่วม (เวลาในการทอด * ระยะเวลาการเก็บรักษา)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความแข็ง ^{ns}	ลักษณะปรากฏ ^{ns}
10 นาที * ทอดเสร็จใหม่	6.22±1.26	5.88±1.20	5.92±1.24	6.24±1.21	6.40±1.11
10 นาที * 7 วัน	6.42±1.24	6.29±1.16	6.43±1.10	6.58±1.14	6.61±1.12
10 นาที * 15 วัน	6.41±1.31	6.26±1.07	6.21±1.20	6.46±1.24	6.56±1.15
10 นาที * 30 วัน	6.12±1.40	5.69±1.21	5.81±1.39	6.10±1.16	6.28±1.07
20 นาที * ทอดเสร็จใหม่	6.12±1.17	5.96±1.12	5.80±1.29	6.26±1.42	6.28±1.31
20 นาที * 7 วัน	6.45±1.35	6.00±1.15	6.45±1.29	6.70±1.26	6.59±1.17
20 นาที * 15 วัน	6.31± 1.34	5.96±1.27	6.09±1.34	6.51±1.10	6.59±1.19
20 นาที * 30 วัน	6.43±1.13	5.83±1.23	6.02±1.27	6.39± 1.15	6.37±0.99
30 นาที * ทอดเสร็จใหม่	6.08±1.44	5.77±1.32	5.70±1.47	6.00±1.40	6.09± 1.17
30 นาที * 7 วัน	6.23±1.41	6.10±1.24	6.18±1.34	6.44±1.46	6.59±1.13
30 นาที * 15 วัน	6.12±1.59	6.14±1.39	6.17±1.24	6.44±1.28	6.53±1.20
30 นาที * 30 วัน	6.22±1.27	5.79±1.16	5.96±1.21	6.38±1.18	6.25±1.00

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ตารางที่ 4.6.27: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ*เวลาในการทอด*ระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของถั่วแปบียทอด

สุญญากาศ

ปัจจัยร่วม	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความแข็ง ^{ns}	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
ทอดเสร็จใหม่ * 120 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.13±1.33	5.80±1.27	6.23±1.38	6.67±1.37	6.37±1.07	6.43±1.13
7 วัน * 120 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.93±1.08	6.40±1.40	6.47±1.25	6.87±1.46	6.80±1.30	6.97±1.00
15 วัน * 120 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.57±1.55	6.17±1.15	5.73±1.31	6.23±1.61	6.73±1.39	6.30±1.66
30 วัน * 120 องศาเซลเซียส * 10 นาที	5.43±1.77	4.97±1.03	5.33±1.81	5.73±1.31	5.83±1.34	5.67±1.58
ทอดเสร็จใหม่ * 120 องศาเซลเซียส * 20 นาที	5.93±1.14	5.77±1.38	5.73±1.66	6.17±1.82	6.07±1.57	6.00±1.36
7 วัน * 120 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.90 ± 1.30	6.00±1.08	6.83±1.39	7.23±1.36	7.13±1.20	7.13±1.04
15 วัน * 120 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.43±1.30	5.93±1.31	5.73±1.48	6.20±1.19	6.50±1.41	5.93±1.34
30 วัน * 120 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.50±1.07	5.30±1.18	5.63±1.52	6.10±1.18	6.43±1.00	5.93±1.34
ทอดเสร็จใหม่ * 120 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.27±1.46	5.83±1.56	6.33±1.56	6.37±1.50	6.37±1.22	6.40±1.38
7 วัน * 120 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.27±1.46	6.03±1.19	5.97±1.54	6.37±1.97	6.90±1.06	6.43±1.28
15 วัน * 120 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.67±1.52	6.27±1.17	6.23±0.93	6.07±1.44	6.67±1.30	6.17±1.26
30 วัน * 120 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.40±1.33	5.30±1.02	5.97±1.30	6.43±1.22	6.27±0.83	6.33±1.06

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ตารางที่ 4.6.28: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ * เวลาในการทดสอบระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของถั่วแปบียทอด
สุญญากาศ

ปัจจัยร่วม	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความแข็ง ^{ns}	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
ทอดเสร็จใหม่ * 135 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.47±1.43	6.26±1.40	5.98±1.18	5.95±1.17	6.74±1.16	6.28±1.20
7 วัน * 135 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.73±1.14	6.50±0.99	6.70±0.90	6.57±0.98	6.90±0.99	6.65±0.87
15 วัน * 135 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.93±0.83	6.58±0.85	6.75±0.77	6.70±0.88	6.78±0.88	6.35±0.86
30 วัน * 135 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.48±1.05	6.17±1.15	6.52±0.77	6.60±0.90	6.82±0.69	6.65±0.82
ทอดเสร็จใหม่ * 135 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.39±1.23	6.32±1.04	6.28±0.84	6.23±1.42	6.59±1.27	6.40±1.07
7 วัน * 135 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.77±1.07	6.45±1.04	6.58±0.90	6.70±1.03	6.75±1.10	6.73±0.93
15 วัน * 135 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.88±0.87	6.45±0.91	6.65±0.90	7.03±0.78	6.78±1.03	6.63±0.81
30 วัน * 135 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.85±1.05	6.32±1.30	6.60±1.09	6.88±1.04	6.85±0.78	6.83±0.92
ทอดเสร็จใหม่ * 135 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.38±1.55	6.17±1.21	5.77±1.10	5.62±1.50	6.25±1.18	5.96±1.25
7 วัน * 135 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.77±1.22	6.50±1.33	6.62±1.13	6.63±1.36	7.02±0.99	6.60±1.05
15 วัน * 135 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.58±1.22	6.53±1.42	6.58±1.14	6.63±1.36	7.02±0.99	6.60±1.10
30 วัน * 135 องศาเซลเซียส * 30 นาที	6.72±1.10	6.27±1.28	6.48±0.97	6.55±1.24	6.73±0.89	6.67±0.77

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ตารางที่ 4.6.29: ผลของปัจจัยร่วม (อุณหภูมิ*เวลาในการทอด*ระยะเวลาการเก็บรักษา) ต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของถั่วแปบียทอด
สุญญากาศ

ปัจจัยร่วม	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความแข็ง ^{ns}	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
ทอดเสร็จใหม่ * 150 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.10±1.00	5.58±0.78	5.55±1.08	6.10±0.98	6.08±1.05	6.07±0.89
7 วัน * 150 องศาเซลเซียส * 10 นาที	5.58±1.07	5.98±1.00	6.08±1.08	6.30±0.86	6.12±0.91	6.22±0.77
15 วัน * 150 องศาเซลเซียส * 10 นาที	5.73±1.18	6.02±1.13	6.13±1.24	6.45±1.12	6.17±1.06	6.25±0.97
30 วัน * 150 องศาเซลเซียส * 10 นาที	6.45±1.03	5.95±1.12	5.58±1.11	5.97±1.10	6.18±0.85	6.18±0.78
ทอดเสร็จใหม่ * 150 องศาเซลเซียส * 20 นาที	6.03±1.11	5.80±0.80	5.38±1.09	6.38±0.93	6.18±1.00	6.13±0.83
7 วัน * 150 องศาเซลเซียส * 20 นาที	5.60±1.28	5.53±1.11	5.88±1.39	6.15±1.09	5.85±0.88	6.12±0.85
15 วัน * 150 องศาเซลเซียส * 20 นาที	5.60±1.49	5.48±1.39	5.90±1.42	6.28±1.11	6.03±0.98	6.02±0.91
30 วัน * 150 องศาเซลเซียส * 20 นาที	5.95±1.12	5.87±1.01	5.83±0.97	6.18±1.09	5.82±0.90	6.07±0.77
ทอดเสร็จใหม่ * 150 องศาเซลเซียส * 30 นาที	5.58±1.20	5.30±1.03	5.00±1.43	6.02±1.13	5.67±1.03	5.47±1.32
7 วัน * 150 องศาเซลเซียส * 30 นาที	5.18±1.26	5.80±1.19	6.02±1.23	6.28±0.97	5.90±1.01	5.78±1.04
15 วัน * 150 องศาเซลเซียส * 30 นาที	5.10±1.53	5.62±1.43	5.68±1.45	6.22±1.18	5.92±1.05	5.68±1.18
30 วัน * 150 องศาเซลเซียส * 30 นาที	5.55±1.09	5.80±0.99	5.43±1.13	6.15±1.08	5.75±1.03	6.00±0.79

หมายเหตุ: - ผลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ns แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.6.3 ศึกษาวิธีการผลิตแป้งถั่วแปยี่

ตารางที่ 4.6.30: ค่าสีของแป้งถั่วแปยี่ชนิดโม้แห้งและโม้เปียก

แป้งถั่วแปยี่	ค่าสี		
	ความสว่าง (L) ^{ns}	เขียว-แดง (a) ^{ns}	เหลือง-น้ำเงิน (b)
โม้แห้ง			
แช่ 6 ชม. / อบ 50 ซ	85.54 ± 0.00	-0.58 ± 0.09	13.41 ^a ± 0.03
แช่ 6 ชม. / อบ 70 ซ	84.76 ± 1.22	-0.60 ± 0.08	12.95 ^a ± 0.62
แช่ 12 ชม. / อบ 50 ซ	84.04 ± 1.61	-0.53 ± 0.08	12.43 ^a ± 0.05
แช่ 12 ชม. / อบ 70 ซ	85.29 ± 0.35	-0.61 ± 0.06	12.28 ^a ± 0.46
โม้เปียก			
แช่ 6 ชม. / โม่ น้ำ 1:4	84.56 ± 1.65	-0.56 ± 0.34	8.42 ^b ± 1.38
แช่ 6 ชม. / โม่ น้ำ 1:8	85.49 ± 0.06	-0.27 ± 0.02	8.84 ^b ± 0.21
แช่ 12 ชม. / โม่ น้ำ 1:4	85.34 ± 0.05	-0.47 ± 0.07	8.94 ^b ± 0.18
แช่ 12 ชม. / โม่ น้ำ 1:8	84.87 ± 0.60	-0.37 ± 0.23	9.36 ^b ± 0.33

หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.6.31: ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดทั้งหมด และอะมิโนสของแป้งถั่วแปยี่ชนิดโม้แห้งและโม้เปียก

แป้งถั่วแปยี่	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	ปริมาณอะมิโนส (%)
โม้แห้ง			
แช่ 6 ชม. / อบ 50 ซ	6.02 ^{ab} ± 0.01	1.22 ^{ab} ± 0.02	17.56 ^b ± 2.28
แช่ 6 ชม. / อบ 70 ซ	6.08 ^{ab} ± 0.06	1.11 ^b ± 0.02	18.97 ^b ± 3.42
แช่ 12 ชม. / อบ 50 ซ	6.05 ^{ab} ± 0.04	1.38 ^a ± 0.09	19.61 ^b ± 0.39
แช่ 12 ชม. / อบ 70 ซ	6.13 ^a ± 0.08	1.22 ^{ab} ± 0.04	19.75 ^b ± 0.35



ตารางที่ 4.6.31 (ต่อ): ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดทั้งหมด และอะมิโนสของแป้งถั่วแปยีชนิดโม้แห้งและโม้เปียก

แป้งถั่วแปยี	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	ปริมาณอะมิโนส (%)
โม้เปียก			
แช่ 6 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:4	5.99 ^{ab} ± 0.04	1.17 ^b ± 0.00	28.67 ^a ± 1.26
แช่ 6 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:8	5.99 ^b ± 0.05	1.19 ^{ab} ± 0.05	29.81 ^a ± 1.53
แช่ 12 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:4	6.01 ^{ab} ± 0.08	1.25 ^{ab} ± 0.18	30.72 ^a ± 3.54
แช่ 12 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:8	6.05 ^{ab} ± 0.03	1.22 ^{ab} ± 0.06	25.69 ^a ± 3.57

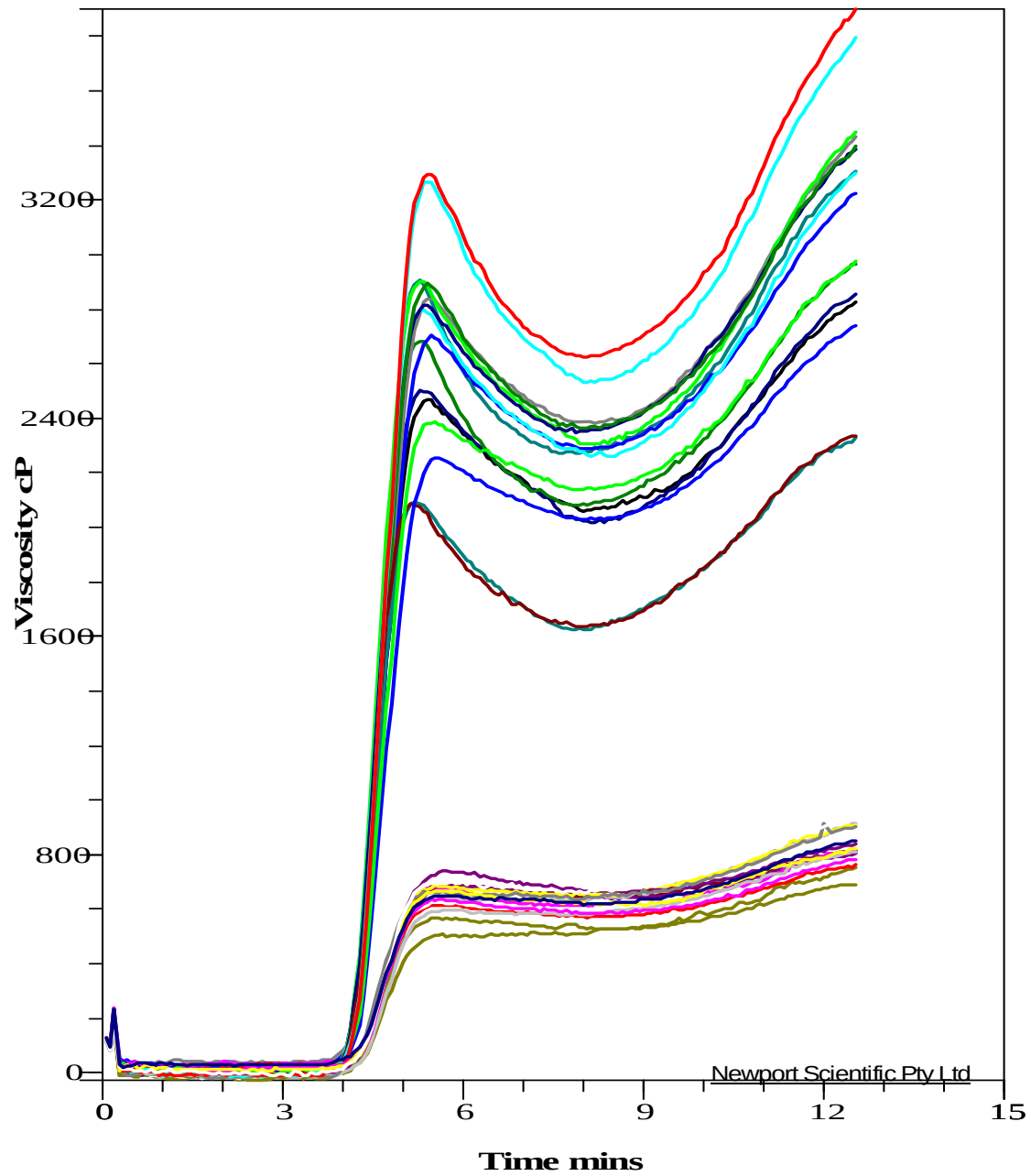
หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.6.32: องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วแปยีชนิดโม้แห้งและโม้เปียก

แป้งถั่วแปยี	ความชื้น	ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง (%dry basis)			
		เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต ทั้งหมด
โม้แห้ง					
แช่ 6 ชม. / อบ 50 ซ	12.12 ^a ± 0.94	5.54 ^a ± 0.01	27.94 ^a ± 0.29	0.91 ^{ab} ± 0.01	65.60 ^c ± 0.28
แช่ 6 ชม. / อบ 70 ซ	9.48 ^{bc} ± 0.74	5.27 ^a ± 0.02	26.78 ^a ± 0.39	1.00 ^{ab} ± 0.11	66.95 ^c ± 0.37
แช่ 12 ชม. / อบ 50 ซ	11.43 ^{ab} ± 0.70	5.54 ^a ± 0.11	28.14 ^a ± 0.02	1.21 ^a ± 0.40	65.10 ^c ± 0.44
แช่ 12 ชม. / อบ 70 ซ	9.16 ^{bc} ± 0.42	5.48 ^a ± 0.05	27.34 ^a ± 0.51	1.14 ^{ab} ± 0.01	66.04 ^c ± 0.64
โม้เปียก					
แช่ 6 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:4	7.50 ^c ± 0.22	2.38 ^{bc} ± 0.01	13.75 ^c ± 0.82	0.72 ^{bc} ± 0.15	83.15 ^{ab} ± 0.68
แช่ 6 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:8	7.20 ^c ± 0.35	2.10 ^c ± 0.28	12.21 ^c ± 0.41	0.46 ^c ± 0.23	85.24 ^a ± 0.92
แช่ 12 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:4	10.07 ^{ab} ± 2.49	2.28 ^{bc} ± 0.11	12.62 ^c ± 0.60	0.34 ^c ± 0.08	84.77 ^a ± 0.64
แช่ 12 ชม. / โม่ ^{น้ำ} 1:8	9.03 ^{bc} ± 0.05	2.59 ^b ± 0.27	12.26 ^c ± 2.57	0.48 ^c ± 0.05	80.66 ^b ± 2.78

หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

Graphical Analysis Results - 20130110



รูปที่ 4.6.5: เส้นกราฟแสดงพฤติกรรมด้านความหนืดของแป้งถั่วแปะไหม้แห้งและไม่เปียก

ตารางที่ 4.6.33: พฤติกรรมด้านความหนืดของแป้งถั่วแปปิยชนิดโม้แห้งและโม้เปียก

แป้งถั่วแปปิย	peak1 (cP)	Trough (cP)	break down (cP)	final viscosity (cp)	set back (cP)	peak time (min)	pasting temp (C)
โม้แห้ง							
แช่ 6 ชม. / อบ 50 ช	651 ^b ± 2	594 ^c ± 6	57 ^c ± 5	794 ^c ± 12	143 ^c ± 11	5.57 ^{abc} ± 0.10	89.15 ^a ± 0.32
แช่ 6 ชม. / อบ 70 ช	668 ^b ± 11	630 ^c ± 13	38 ^c ± 1	889 ^c ± 13	221 ^{bc} ± 2	5.63 ^{abc} 0.05±	88.38 ^b ± 0.28
แช่ 12 ชม. / อบ 50 ช	673 ^b ± 27	617 ^c ± 35	57 ^c ± 7	786 ^c ± 31	113 ^c ± 4	5.72 ^{ab} ± 0.02	89.15 ^a ± 0.32
แช่ 12 ชม. / อบ 70 ช	605 ^b ± 39	587 ^c ± 29	18 ^c ± 10	839 ^c ± 27	241 ^{bc} ± 21	5.82 ^a ± 0.45	89.51 ^a ± 0.23
โม้เปียก							
แช่ 6 ชม. / โม่ ^ข น้ำ 1:4	2545 ^a ± 319	2209 ^{ab} ± 179	335 ^b ± 140	3094 ^{ab} ± 335	548 ^a ± 15	5.50 ^{abc} ± 0.1	86.4 ^c ± 0.2
แช่ 6 ชม. / โม่ ^ข น้ำ 1:8	3065 ^a ± 304	2430 ^a ± 208	635 ^a ± 96	3611 ^a ± 334	545 ^a ± 30	5.35 ^{bc} ± 0.1	85.6 ^d ± 0.3
แช่ 12 ชม. / โม่ ^ข น้ำ 1:4	2671 ^a ± 262	2198 ^{ab} ± 225	472 ^{ab} ± 36	3116 ^{ab} ± 388	444 ^a ± 126	5.40 ^{bc} ± 0.0	85.6 ^d ± 0.4
แช่ 12 ชม. / โม่ ^ข น้ำ 1:8	2442 ^a ± 499	1902 ^b ± 386	539 ^a ± 112	2733 ^b ± 568	291 ^b ± 68	5.20 ^c ± 0.1	85.6 ^d ± 0.3

หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.6.34: คุณสมบัติทางหน้าที่ของแป้งถั่วแปยีชนิดโม้แห้งและโม้เปียก

แป้งถั่วแปยี	การละลายน้ำ (%)	ดัชนี การดูดซับน้ำ	ดัชนีการ ดูดซับน้ำมัน	การเกิดเจล (%)
โม้แห้ง				
แช่ 6 ชม. / อบ 50 ซ	31.43 ^{ab} ± 1.12	2.34 ^c ± 0.09	2.16 ^c ± 0.08	10.0 ^b ± 0
แช่ 6 ชม. / อบ 70 ซ	30.03 ^b ± 0.03	2.28 ^c ± 0.08	2.25 ^c ± 0.01	10.0 ^b ± 0
แช่ 12 ชม. / อบ 50 ซ	32.90 ^a ± 1.00	2.03 ^c ± 0.08	2.26 ^{abc} ± 0.02	10.0 ^b ± 0
แช่ 12 ชม. / อบ 70 ซ	30.66 ^{ab} ± 0.47	2.14 ^c ± 0.06	2.37 ^c ± 0.08	10.0 ^b ± 0
โม้เปียก				
แช่ 6 ชม. / โม่ 1:4	13.27 ^c ± 0.64	3.11 ^b ± 0.02	2.16 ^c ± 0.08	7.0 ^a ± 0
แช่ 6 ชม. / โม่ 1:8	11.04 ^c ± 0.86	3.18 ^b ± 0.09	2.25 ^{bc} ± 0.01	7.0 ^a ± 0
แช่ 12 ชม. / โม่ 1:4	12.57 ^c ± 0.18	3.40 ^b ± 0.30	2.36 ^{ab} ± 0.02	7.0 ^a ± 0
แช่ 12 ชม. / โม่ 1:8	13.04 ^c ± 2.26	4.22 ^a ± 0.39	2.37 ^a ± 0.33	7.0 ^a ± 0

หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.6.35: ค่าสี ความแข็ง และความกรอบของคุกกี้ผสมแป้งถั่วแปยี

ปริมาณแป้งถั่วแปยี	ค่าสี			ความแข็ง	ความกรอบ
	ความสว่าง (L)	เขียว-แดง (a)	เหลือง-น้ำเงิน (b)	(กรัม)	(มิลลิเมตร)
แป้งถั่วแปยี 10%	71.53 ± 1.92	2.38 ^a ± 1.54	30.97 ^a ± 1.90	604 ^c ± 63	6.38 ± 0.28
แป้งถั่วแปยี 20%	69.77 ± 0.71	3.01 ^a ± 1.61	29.23 ^a ± 1.29	792 ^a ± 143	6.62 ± 0.27
แป้งถั่วแปยี 30%	71.74 ± 2.62	0.53 ^b ± 0.08	27.24 ^b ± 0.50	979 ^a ± 153	6.67 ± 0.25

หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$



ตารางที่ 4.6.36: ผลการประเมินความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของคุกกี้ผสมแป้งถั่วแปยี

ปริมาณแป้งถั่วแปยี	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่นรส ^{ns}	ความกรอบ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
แป้งถั่วแปยี 10%	7.27 ± 0.74	7.23 ± 0.77	6.43 ± 1.50	7.17 ± 1.37	6.73 ± 1.26
แป้งถั่วแปยี 20%	7.30 ± 0.79	7.30 ± 0.75	6.63 ± 1.13	7.17 ± 0.99	6.83 ± 1.21
แป้งถั่วแปยี 30%	7.47 ± 0.82	7.07 ± 0.91	6.33 ± 1.27	7.27 ± 1.08	6.53 ± 1.43

หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษ^{ns} แสดงว่าค่าที่อยู่ในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

4.6.3 การศึกษาวิธีการผลิตถั่วแปยีคั่วสมุนไพร

ตารางที่ 4.6.37: ค่าสี และความแข็งของถั่วแปยีที่ผ่านการแปรรูปให้สุกกรอบด้วยวิธีต่างๆ

ถั่วแปยี	ค่าสี			ความแข็ง (กรัม)
	ความสว่าง (L)	เขียว-แดง (a)	เหลือง-น้ำเงิน (b)	
นึ่ง/คั่ว	68.2 ^a ± 2.5	1.8 ^c ± 0.8	29.1 ^a ± 1.1	2472 ^c ± 539
นึ่ง/ทอดสุญญากาศ	63.0 ^b ± 1.3	4.92 ^b ± 0.7	24.8 ^b ± 2.2	1702 ^b ± 430
ไม่นึ่ง/คั่ว	66.1 ^a ± 1.7	4.4 ^b ± 0.7	30.7 ^a ± 1.2	3217 ^a ± 533
ไม่นึ่ง/ทอดสุญญากาศ	61.0 ^b ± 1.2	6.0 ^a ± 0.6	24.4 ^b ± 1.6	3036 ^a ± 423

หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.6.38: ค่าสี และความแข็งของถั่วแปยีที่คั่วกับสมุนไพรเมื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคั่ว

อุณหภูมิและเวลา	ค่าสี			ความแข็ง (กรัม)
	ความสว่าง (L)	เขียว-แดง (a)	เหลือง-น้ำเงิน (b) ^{ns}	
150 องศาเซลเซียส/5 นาที	58.5 ^a ± 0.6	7.7 ^b ± 0.5	22.6 ± 1.1	1641 ^b ± 358
150 องศาเซลเซียส/10 นาที	57.7 ^a ± 0.4	8.5 ^b ± 0.0	23.2 ± 3.0	1707 ^{ab} ± 330
180 องศาเซลเซียส/5 นาที	55.3 ^b ± 0.3	8.5 ^b ± 0.8	22.1 ± 0.6	1993 ^{ab} ± 330
180 องศาเซลเซียส/10 นาที	54.7 ^b ± 0.1	12.0 ^a ± 1.5	21.5 ± 1.1	2068 ^a ± 282

หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$
- ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$



รูป 4.6.6: ถั่วแป๋สมุนไพรที่คั่วด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างกัน

ตารางที่ 4.6.39: คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของถั่วแป๋ที่คั่วกับสมุนไพรเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคั่ว

ปริมาณแป้งถั่วแป๋	สี	กลิ่นรส สมุนไพร	ความกรอบ	ความชอบ โดยรวม
150 องศาเซลเซียส/5 นาที	6.0 ^{ab} ± 1.4	5.6 ^b ± 1.3	6.6 ^a ± 1.2	6.3 ^a ± 1.3
180 องศาเซลเซียส/5 นาที	6.5 ^a ± 1.1	6.5 ^a ± 1.1	6.5 ^a ± 1.2	6.6 ^a ± 1.1
180 องศาเซลเซียส/10 นาที	5.5 ^b ± 1.3	6.5 ^a ± 1.2	5.7 ^b ± 1.3	5.4 ^b ± 1.3

- หมายเหตุ:
- ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ตัวอักษรอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4.6.40: คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของถั่วแปยี่ควัสมุนไพโร

สิ่งทดลอง	กลิ่นรสใบมะกรูด ^{ns}	กลิ่นรสกระเทียม ^{ns}	ความเผ็ด ^{ns}	ความกรอบ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
1	6.2 ± 1.3	5.5 ± 1.7	5.8 ± 1.3	6.7 ± 1.4	6.2 ± 1.2
2	5.9 ± 1.3	6.0 ± 1.2	5.9 ± 1.4	6.5 ± 1.7	6.0 ± 1.3
3	6.0 ± 1.3	5.7 ± 1.7	6.1 ± 1.1	6.6 ± 1.4	6.2 ± 1.4
4	6.0 ± 1.3	5.6 ± 1.5	5.5 ± 1.3	6.5 ± 1.5	6.0 ± 1.2
5	5.5 ± 1.6	5.3 ± 1.5	5.5 ± 1.5	6.1 ± 1.5	5.6 ± 1.4
6	5.8 ± 1.5	5.6 ± 1.5	5.5 ± 1.6	6.3 ± 1.5	6.2 ± 1.7
7	5.9 ± 1.4	5.5 ± 1.6	5.3 ± 1.5	6.6 ± 1.2	6.1 ± 1.7
8	6.1 ± 1.1	5.9 ± 1.4	6.0 ± 1.4	6.6 ± 1.7	6.3 ± 1.3
9	6.1 ± 1.6	5.9 ± 1.6	5.7 ± 1.5	6.7 ± 1.2	6.2 ± 1.6

หมายเหตุ: - ค่าของข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ตัวอักษรเรียงกัน^{ns} แสดงว่าค่าที่อยู่ในแนวตั้งของแต่ละคอลัมน์นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$



รูปที่ 4.6.7: ถั่วแปยี่ควัสมุนไพโรตามสูตรที่ได้รับคัดเลือก



ตารางที่ 4.6.41: องค์ประกอบทางเคมีของถั่วแปยีคั่วสมุนไพร

องค์ประกอบทางเคมี (ของน้ำหนักเปียก)	ถั่วแปยีคั่วสมุนไพร
ความชื้น (%)	2.21 ± 0.00
เถ้า (%)	4.32 ± 0.04
โปรตีน (%)	26.43 ± 0.21
ไขมัน (%)	11.43 ± 0.13
เส้นใย (%)	1.96 ± 0.03
คาร์โบไฮเดรต (%)	65.08 ± 0.21
ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w)	0.197 ± 0.002

4.7 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคเชิงพาณิชย์ในด้านต้นทุน ราคา และรสชาติสัมผัส

การศึกษาการยอมรับของผลิตภัณฑ์แปรรูป (มะนาว มะม่วง ข้าวโพดหวาน และถั่วแปบ) ในเชิงพาณิชย์ของผู้บริโภคในด้านต้นทุนการผลิต ราคา และรสชาติประสาทสัมผัส เพื่อให้ทราบความยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคอีกทั้งช่วยในการกำหนดราคาขายที่เหมาะสมให้กับผู้ผลิตอีกต่อไปด้วย

การเก็บข้อมูล สินค้าแปรรูปที่นำมาทำการทดลองนี้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่มีการจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป และยังอยู่ระหว่างการพัฒนาปรับปรุง การเก็บข้อมูลจะทำโดยผู้เก็บข้อมูลได้เตรียมตัวอย่างสินค้าในปริมาณเล็กน้อยเพื่อให้ผู้ทดสอบชิมและให้คะแนนความพึงพอใจสินค้า โดยที่ข้อมูลที่สอบถามนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานของผู้ทดสอบและคะแนนความพึงพอใจซึ่งจะรวมไปถึงราคาจำหน่ายที่เหมาะสม การเก็บข้อมูลนี้จัดทำที่องค์การนักศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่และห้างบิ๊กซีสาขาแม่เหียะ ซึ่งผู้ทดสอบชิมจะถูกขอร้องให้เข้าร่วมในงานวิจัยครั้งนี้โดยสมัครใจ การทดสอบชิมในแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ซึ่งหลังจากผู้ทดสอบชิมตอบแบบสอบถามครบถ้วนแล้วจะได้รับของตอบแทนจากผู้เก็บข้อมูล

จากรูปที่ 4.7.1 เป็นการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ให้ผู้บริโภคทดสอบชิม ซึ่งในการทดสอบชิมแต่ละครั้งผู้เก็บข้อมูลจะนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์พร้อมทั้งแบบสอบถามและอุปกรณ์ตอบแบบสอบถามไปสอบถามความประสงค์ของผู้ทดสอบชิม อีกทั้งยังอธิบายวัตถุประสงค์ของงานวิจัยอย่างสังเขป หากผู้ทดสอบชิมมีความสมัครใจในการทดสอบชิม ผู้เก็บข้อมูลจะแบ่งตัวอย่างและแบบสอบถาม และจะมาเก็บแบบสอบถามในภายหลัง ส่วนในรูปที่ 4.7.2 เป็นการทดสอบประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภค โดยในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนภายหลังจากผู้เก็บข้อมูลอธิบายวัตถุประสงค์และผลิตภัณฑ์ตัวอย่างให้ผู้ทดสอบชิมฟัง จากนั้นผู้ทดสอบชิมจะทำการชิมผลิตภัณฑ์ตัวอย่างและให้คะแนนตามลำพังโดยที่ผู้เก็บข้อมูลจะมาเก็บแบบทดสอบในภายหลังเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ผู้เก็บข้อมูลมีผลกระทบต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบชิมให้ อย่างไรก็ตามหากผู้ทดสอบชิมไม่แน่ใจในคำถามหรือมีปัญหาในการอ่านแบบทดสอบ ผู้เก็บข้อมูลจะอธิบายให้ผู้ทดสอบชิมฟังจนเข้าใจ



รูปที่ 4.7.1: การจัดแสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพื่อเสนอการทดสอบชิม



รูปที่ 4.7.2: การทดสอบประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภค

4.7.1 ผลลัพธ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

จากการสอบถามผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 150 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 59 คน ผู้หญิง 94 คน อายุส่วนใหญ่ของผู้ทดสอบชิมต่ำกว่า 20 ปี (58.0%) และเป็นนักเรียนนักศึกษา ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจต่อผลลัพธ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงในด้านต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.7.1

ตารางที่ 4.7.1: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจต่อผลลัพธ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง (เต็ม 5 คะแนน)

อันดับที่	ผลลัพธ์: เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง	คะแนนเฉลี่ย	SD
1	ดีต่อสุขภาพ	3.84 ± 0.72 a	0.72
2	เหมาะกับทุกคนในครอบครัว	3.58 ± 0.81 a	0.81
3	รสชาติดี	3.46 ± 0.90 b	0.90
4	มีลักษณะชวนรับประทาน	3.42 ± 0.82 b	0.82
5	เหมาะสมกับผู้สูงอายุ	3.33 ± 0.91 b	0.91
6	เหมาะกับเด็ก	3.30 ± 0.86 a	0.86

หมายเหตุ: - a, b = ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแถวแนวนอน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- * = ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนความชอบเต็ม 5 คะแนน

จากตารางที่ 4.7.1 พบว่าคุณสมบัติดีต่อสุขภาพ เหมาะกับทุกคนในครอบครัว และความเหมาะสมกับเด็ก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่คุณสมบัติ รสชาติดี มีลักษณะชวนรับประทาน และความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และจากผลการสำรวจพบว่าผู้ทดสอบประเมินว่าสินค้าดีต่อสุขภาพเป็นคะแนนเฉลี่ยสูงสุด 3.84 คะแนน (เรียงตามเกณฑ์ประเมิน จาก 5 ไป 1 ซึ่ง 5 ในที่นี้หมายถึงเห็นด้วยอย่างยิ่ง และ 1 หมายถึงไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง) โดยร้อยละ 56 เห็นด้วยมากกว่าสินค้าดีต่อสุขภาพ จากจำนวนผู้เข้าทดสอบ 149 ราย ในมุมมองด้านเหมาะสำหรับทุกคนในครอบครัว ร้อยละ 42 ไม่แน่ใจว่าเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวและร้อยละ 38 เห็นด้วยมากกว่าสินค้าเหมาะสำหรับทุกคนในครอบครัว ในด้านรสชาติผู้ทดสอบเห็นด้วยมากกว่าสินค้ามีรสชาติดีเป็นจำนวนร้อยละ 43 ในด้านลักษณะชวนรับประทาน ร้อยละ 45 และร้อยละ 35 ของผู้ทดสอบไม่แน่ใจ และเห็นด้วยมากกว่าสินค้าชนิดนี้มีลักษณะชวนรับประทานตามลำดับ คุณสมบัติด้านความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ และความเหมาะสมกับเด็กของตัวผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้ทดสอบให้ค่าคะแนนว่า ไม่แน่ใจ (3) และเห็นด้วยมาก (4) ใกล้เคียงกัน โดยในคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ มีผู้ให้คะแนนว่าไม่แน่ใจ เป็นจำนวนร้อยละ 39 และ เห็นด้วยมากร้อยละ 38 ในคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับเด็กมีผู้ให้คะแนนว่าไม่แน่ใจ เป็นจำนวนร้อยละ 40 และเห็นด้วยมากร้อยละ



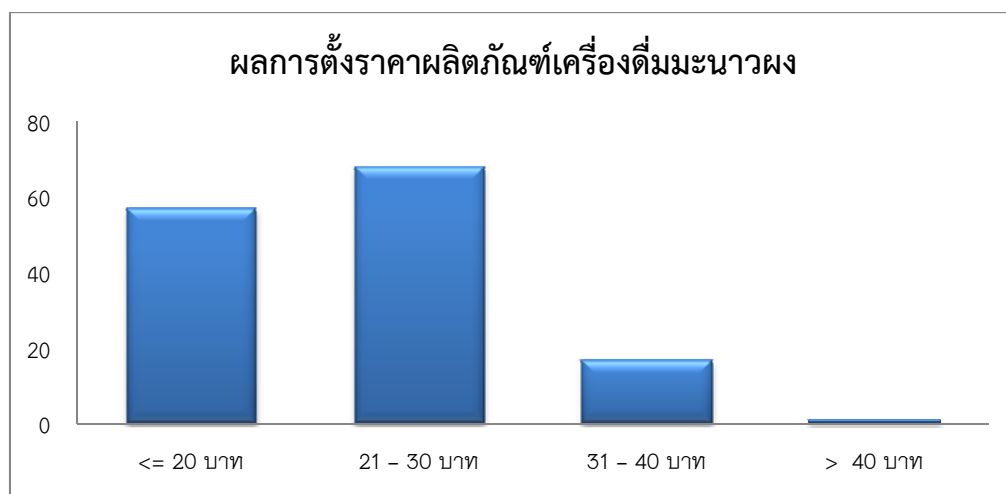
36 ในคุณสมบัติด้านความเหมาะสมนี้จึงทำการพิจารณาเพิ่มเติมจากกลุ่มผู้มีอายุระหว่าง 41 – 60 ปี จำนวน 11 คน พบว่า จากจำนวนคน 3 ใน 11 คน (30%) ประเมินว่าไม่เห็นด้วยมากกับคุณสมบัติด้านความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ และร้อยละ 30 มีความเห็นว่าไม่แน่ใจในคุณสมบัติด้านนี้ของสินค้า จึงจะเห็นได้ว่าสินค้าแปรรูปประเภทนี้ยังคงมีความคลุมเครืออยู่มากด้านความเหมาะสมของทั้งผู้สูงอายุ และเด็ก

ในการสำรวจความคิดเห็นของผู้ทดสอบต่อราคาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นี้ ผู้ทดสอบได้ถูกให้ตอบแบบสอบถามถึงความเป็นไปได้ที่จะซื้อสินค้าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ขนาด 100 กรัมซึ่งสามารถนำไปชงได้ในปริมาณ 2 แก้วที่ราคาต่างๆ กัน ซึ่งผู้ทดสอบจะได้เห็นปริมาณสินค้าจากผู้เก็บข้อมูล ผลจากการสำรวจแสดงในตารางที่ 4.7.2

ตารางที่ 4.7.2: แนวโน้มที่ผู้ทดสอบจะซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ราคาต่างๆ ตั้งแต่ 30-50 บาท

ผลิตภัณฑ์: เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง	น่าจะซื้อมากที่สุด	น่าจะซื้อ	ไม่แน่ใจ	ไม่น่าจะซื้อ	ไม่น่าจะซื้อ	คะแนนเฉลี่ย
ราคา 30 บาท	3	7	41	41	57	3.95
ราคา 40 บาท	6	37	60	34	3	2.94
ราคา 50 บาท	27	51	54	6	1	2.30

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ในการซื้อสินค้าที่ราคาต่างๆ กัน ซึ่งจะเห็นว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มในการซื้อสูงสุดที่ราคา 30 บาท ตามด้วย 40 และ 50 บาทตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการสำรวจนี้ไม่ได้สะท้อนถึงตัวเลขที่แท้จริง ดังนั้นผู้ทดสอบจึงถูกถามให้ระบุราคาที่เหมาะสมซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่ 4.7.3



รูปที่ 4.7.3: แผนภูมิจากการตั้งราคาโดยผู้เข้าทดสอบของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่ (48%) คิดว่าราคาที่เหมาะสมของสินค้าประเภทนี้ควรอยู่ที่ระหว่าง 21-30 บาท โดยที่ 50 คนของผู้ทดสอบทั้งหมดหรือ 33% ตอบว่าราคาที่เหมาะสมเท่ากับ 30 บาท ดังนั้นราคาเฉลี่ยที่ผู้บริโภคเห็นเหมาะสมอยู่ที่ 15 บาทต่อแก้ว ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตในการผลิตเครื่องดื่มมะนาวผงนั้น มีค่าใช้จ่ายดังตารางที่ 4.7.3 และ 4.7.4

ตารางที่ 4.7.3: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของเครื่องดื่มมะนาวผงพร้อมดื่ม

รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ต้นทุน (บาท)
มะนาว	1.5 บาท/ลูก	200 ลูก	300
น้ำตาลทราย	23.50 บาท/กก	0.2985 กก	7
น้ำผึ้ง	240 บาท/กก	0.0995 กก	24
เกลือ	24 บาท/กก	0.005 กก	0.12
มอลโตเดกซ์ตริน	190 บาท/กก	0.15 กก	28.50
เมทโรเซล	1,000 บาท/กก	0.013 กก	13
ค่าไฟฟ้า	7 บาท/ชม	4 ชม	28

ตารางที่ 4.7.4: ต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

ประเภทของต้นทุน	ต้นทุน (บาท)
ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตต่อผลิตภัณฑ์ (ได้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ 350 กรัม)	400.51
ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตต่อผลิตภัณฑ์หนัก 100 กรัม	114.43
ต้นทุนอื่นๆ (เช่น ค่าแรง ค่าบรรจุภัณฑ์ ค่าอุปกรณ์)	5.00*
ต้นทุนรวมต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม	119.43

หมายเหตุ: * ต้นทุนอื่นได้จากการประมาณ

อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบชิม ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คำแนะนำว่าน้ำมะนาวมีความเปรี้ยวมากเกินไปจากสูตรน้ำมะนาวผง 100 กรัมที่ผลิตได้ 2 แก้ว อีกทั้งยังมีการเติมน้ำแข็งซึ่งละลายไปบ้างแล้ว ทำให้ผู้วิจัยคิดว่าควรจะปรับสูตรผสมให้เป็นเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง 100 กรัมต่อน้ำ 8 แก้ว จะทำให้มีรสชาติกลมกล่อมและเป็นที่ถูกปากของผู้บริโภคมากกว่า ซึ่งหมายความว่าต้นทุนต่อแก้วจะอยู่ที่ 14.93 บาท

จากการสำรวจผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะนาวผงที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน ไม่พบเครื่องดื่มมะนาวผงที่มีลักษณะเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการสำรวจผลิตภัณฑ์ที่มี



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ลักษณะใกล้เคียงกันได้แก่ น้ำมะตูมผงและน้ำจับเลียงผง รวมทั้งเครื่องตีมะนาวผงที่วางจำหน่ายในต่างประเทศ ราคาเครื่องตีผงอ้างอิงดังแสดงในตารางที่ 4.7.5

ตารางที่ 4.7.5: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์เครื่องตีผง

ยี่ห้อ	ขนาดบรรจุ	ราคา* (บาท)	ราคาต่อ 1 แก้ว (8 ออนซ์)
น้ำมะตูมผง ยี่ห้อ ก.	14 ซอง	65.00	4.64
น้ำมะตูมผง ยี่ห้อ ข.	12 ซอง	46.50	3.88
น้ำจับเลียงผง ยี่ห้อ ค.	25 ซอง	59.00	2.36
Lemondade brand A (for 10 bottles)**	10 ซอง	2.00 x 30	2.40
Lemondade brand B (for 10 bottles)**	10 ซอง	2.48 x 30	2.98

หมายเหตุ: * ราคาสำรวจที่ห้างบิ๊กซีซูเปอร์เซ็นเตอร์ และ www.walmart.com วันที่ 1-10 สิงหาคม 2556

** หนึ่งขวดขนาด 20 ออนซ์ และใช้อัตราแลกเปลี่ยนที่ 1 US\$ = 30 บาท

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนที่ใช้ในการผลิตและราคาอ้างอิง พบว่าต้นทุนในการผลิตเครื่องตีน้ำมะนาวพร้อมตีนั้นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกันที่ขายในประเทศและต่างประเทศอย่างมาก อีกทั้งยังมีค่าสูงกว่าที่ผู้บริโภคตัดสินใจซื้ออีกด้วย ดังนั้นหากผู้ผลิตควรจะชুক্তขายที่ผลิตภัณฑ์ทำจากมะนาวแท้และไม่มีสารเคมีเจือปน อีกทั้งผลิตในขณะที่ราคามะนาวถูกและจำหน่ายในช่วงที่มะนาวขาดตลาดและมีราคาแพง ซึ่งเพิ่มความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์นี้อย่างมาก

4.7.2 ผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้ง

ในการทดสอบชิมมะม่วงแผ่นอบแห้ง ผู้รับการทดสอบชิมจะชิมมะม่วงแผ่นอบแห้งเป็นจำนวน 2 ชุดซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านกระบวนการอบแห้ง ได้แก่วิธีอบแห้งแบบถาด (Tray Drying) และวิธีอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Drying) โดยที่ผู้ทดสอบชิมไม่ทราบว่าตัวอย่างใดผลิตด้วยกระบวนการอบแห้งด้วยวิธีการใด จากการสอบถามผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 141 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 56 คน ผู้หญิง 85 คน อายุส่วนใหญ่ของผู้ทดสอบชิมต่ำกว่า 20 ปี (52.5%) เป็นกลุ่มนักเรียนนักศึกษา ผลการสอบถามทางด้านการพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้ง ในด้านต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.7.6

ตารางที่ 4.7.6: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านการพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้ง (เต็ม 5 คะแนน)

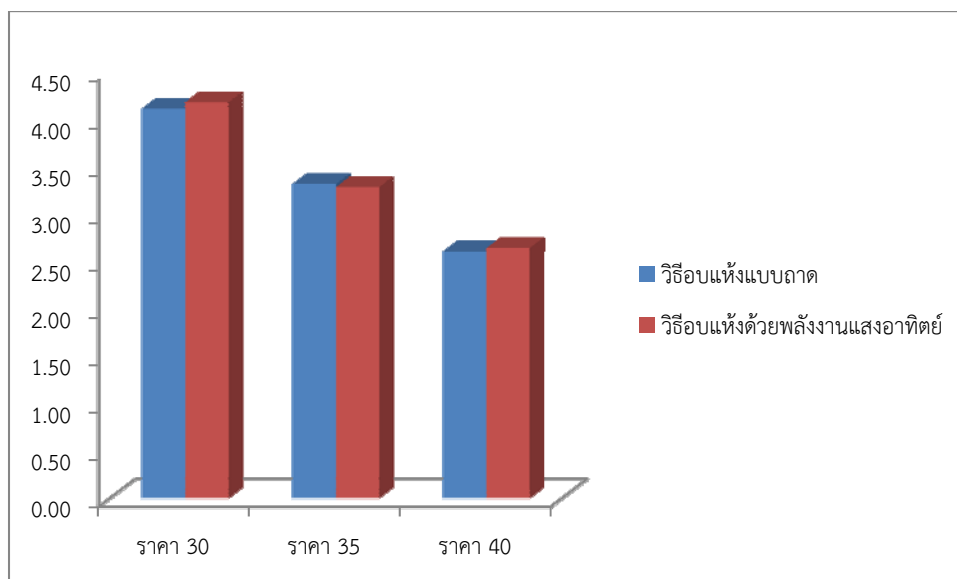
ผลิตภัณฑ์: มะม่วงแผ่น	แบบถาด	แบบพลังงานแสงอาทิตย์
	คะแนนเฉลี่ย	คะแนนเฉลี่ย
รสชาติดี	4.05 ± 0.69	4.13 ± 0.76
ดีต่อสุขภาพ	3.82 ± 0.69	3.90 ± 0.73
เหมาะสมกับผู้สูงอายุ	3.56 ± 0.89	3.68 ± 0.80
เหมาะกับเด็ก	3.69 ± 0.81	3.78 ± 0.80
เหมาะกับทุกคนในครอบครัว	3.96 ± 0.70	3.93 ± 0.74
มีลักษณะชวนรับประทาน	3.98 ± 0.69	3.98 ± 0.76

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนความชอบเต็ม 5 คะแนน

ผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยด้านความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งทั้ง 2 ชนิด ในทุก ๆ ปัจจัยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า $p > 0.05$ ทั้งหมด และจากผลการสำรวจพบว่า ผู้ทดสอบเห็นด้วยว่ามะม่วงแผ่นอบแห้งชุดที่ 1 (วิธีอบแห้งแบบถาด) มีรสชาติดี คิดเป็นร้อยละ 61 จากจำนวนผู้ทดสอบ 141 คน เห็นด้วยว่าสินค้าดีต่อสุขภาพ คิดเป็นร้อยละ 51 แต่ในด้านความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ผลระบุว่าผู้ทดสอบมีทั้งไม่แน่ใจ และเห็นเป็นจำนวนใกล้เคียงกัน กล่าวคือ คิดเป็นร้อยละ 36 และ 38 ตามลำดับ ในทางกลับกันผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นด้วยว่าสินค้ามีความเหมาะสมกับเด็ก คิดเป็นร้อยละ 49 และเห็นด้วยว่าเหมาะกับทุกคนในครอบครัวคิดเป็นร้อยละ 54 ในด้านลักษณะของสินค้าผู้ทดสอบร้อยละ 64 เห็นว่ามีลักษณะชวนรับประทาน

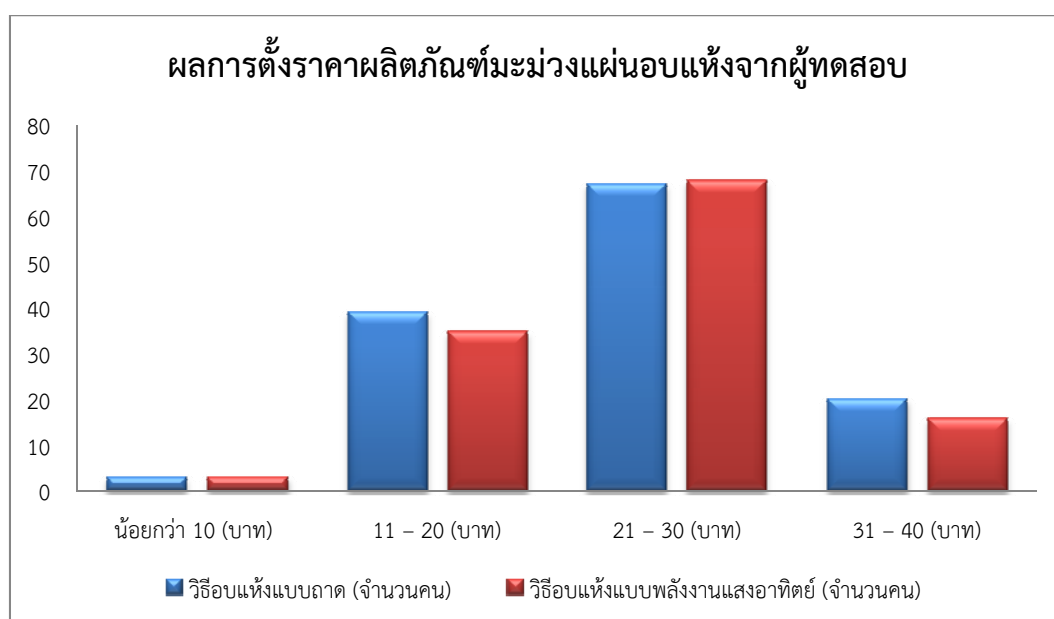
ในส่วนความเห็นจากผู้ทดสอบมะม่วงแผ่นอบแห้งชุดที่ 2 (วิธีอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) พบว่าเห็นด้วยว่ามีรสชาติดี คิดเป็นร้อยละ 57 จากจำนวนผู้ทดสอบ 134 คน เห็นด้วยว่าสินค้าที่ต่อสุขภาพเป็นจำนวนสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 44 และร้อยละ 50 เห็นว่าสินค้ามีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ร้อยละ 44 เห็นด้วยว่ามีความเหมาะสมกับเด็ก และ ร้อยละ 54 เห็นว่ามีลักษณะชวนรับประทาน

ในการสำรวจความคิดเห็นของผู้ทดสอบต่อราคาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ทำการทดสอบแบ่งเป็น 2 ด้านได้แก่ ด้านการเสนอราคามาให้ แบ่งเป็นช่วงราคา 30, 35 และ 40 บาท และด้านการให้ผู้ทดสอบทำการตั้งราคาผลิตภัณฑ์เอง ในด้านการตอบแบบเสนอราคามาให้ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.7.4



รูปที่ 4.7.4: แสดงผลการให้คะแนนราคาสินค้าของมะม่วงอบแห้งแผ่นทั้ง 2 ชุด

จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบทั้ง 2 ชุดมีความเห็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ เห็นด้วยว่าการตั้งราคาที่ 30 บาทมีความเหมาะสมสูงสุด และลดลงตามลำดับ จากนั้นทำการสอบถามด้วยการให้ผู้ทดสอบทำการตั้งราคาด้วยตัวเอง สามารถสรุปข้อมูลแบ่งได้เป็น 5 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 4.7.5



รูปที่ 4.7.5: แสดงผลการตั้งราคาสินค้าจากผู้ทดสอบ

จากรูปที่ 4.7.5 พบว่า ผู้ทดสอบจำนวนร้อยละ 52 สำหรับวิธีอบแห้งแบบถาด และร้อยละ 56 สำหรับวิธีอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีความเห็นตรงกันว่าการตั้งราคาในช่วง 21 - 30 บาท มีความเหมาะสมสูงสุด รองลงมาคือ ราคาช่วง 11 - 20 บาท ในข้อเสนอแนะเพิ่มเติมทางด้านรสชาติ พบว่าหรือ



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ลื่นมะม่วงให้ได้มากกว่านี้ นอกจากนี้ผู้ทดสอบทำการเสนอแนะเพิ่มเติมด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ ว่าควรทำให้อยู่ในขนาดเล็ก และควรทำบรรจุภัณฑ์ให้ดี จะได้มีความน่าซื้อ ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตในการผลิตมะม่วงแผ่นนวลค่านั้น มีค่าใช้จ่ายดังตารางที่ 4.7.7 และ 4.7.8

ตารางที่ 4.7.7: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของมะม่วงแผ่นนวลคำ

ค่าใช้จ่าย	ต้นทุนต่อกิโลกรัม	ต่อกิโลกรัมของมะม่วง
ค่าวัสดุและสารเคมี		
มะม่วงนวลคำ	25 บาท/กิโลกรัม	25
น้ำตาลทราย	21 บาท/กิโลกรัม	2.1
กรดซิตริก	90 บาท/กิโลกรัม	0.68
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน		
ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาด	-	1.29
ค่าไฟฟ้าสำหรับเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์	-	4.46
ค่าแก๊ส	-	3

ตารางที่ 4.7.8: ต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่น

ประเภทของต้นทุน	เครื่องอบแห้งแบบถาด	เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์
ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตต่อผลิตภัณฑ์ (ได้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ 540 กรัม)	32.07	35.24
ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม	5.94	6.56
ต้นทุนอื่นๆ (เช่น ค่าแรง ค่าบรรจุภัณฑ์ ไม่รวมค่าไฟ)	9.28	9.28*
ต้นทุนรวมต่อผลิตภัณฑ์ขนาดบรรจุ 100 กรัม	14.22	14.84

หมายเหตุ: * ต้นทุนอื่นได้จากการประมาณ



จากการสำรวจผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน พบว่าราคามะม่วงแผ่นที่วางจำหน่ายดังผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.7.9

ตารางที่ 4.7.9: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่น

ยี่ห้อ	ขนาดบรรจุ	ราคา* (บาท)	ราคาต่อ 100 กรัม (บาท)
มะม่วงแผ่น ยี่ห้อ ก.	250 กรัม	105	42.00
มะม่วงแผ่น ยี่ห้อ ข.	100 กรัม	35	35.00
มะม่วงกวนอบแห้ง ยี่ห้อ ค.	250 กรัม	72	28.80

หมายเหตุ: * ราคาสำรวจที่ห้างท็อปส์ซูเปอร์มาร์เก็ต ริมปิงซูเปอร์เซ็นเตอร์ และเทสโก้โลตัส ระหว่างวันที่ 1-10 สิงหาคม 2556

จากผลที่ได้จากการสอบถามผู้บริโภคซึ่งมีความเห็นว่าราคาจำหน่ายควรอยู่ระหว่าง 21-30 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับต้นทุนที่ใช้ในการผลิต หากวางจำหน่ายที่ราคา 30 บาทผู้ผลิตยังได้กำไรระหว่าง 15.16-15.78 บาท หรือประมาณ 50% อีกทั้งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาอ้างอิงของมะม่วงแผ่น ราคาที่ตั้งไว้นั้นไม่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปอีกด้วยซึ่งก็ขึ้นอยู่กับสถานที่จำหน่าย

4.7.3 ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน

จากการสอบถามผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 166 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 56 คน ผู้หญิง 110 คน อายุส่วนใหญ่ของผู้ทดสอบชิมอยู่ระหว่าง 21-30 ปี (57.8%) และเป็นนักเรียนนักศึกษา ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่ผลิตจากข้าวโพดหวานในด้านต่างแสดงในตารางที่ 4.7.10

ตารางที่ 4.7.10: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน (เต็ม 5 คะแนน)

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน	คะแนนเฉลี่ย
รสชาติดี	4.19 ± 0.59
ดีต่อสุขภาพ	3.57 ± 0.70
เหมาะสมกับผู้สูงอายุ	3.27 ± 0.92
เหมาะกับเด็ก	3.92 ± 0.78



ตารางที่ 4.7.10 (ต่อ): ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านการพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน (เต็ม 5 คะแนน)

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน	คะแนนเฉลี่ย
เหมาะกับทุกคนในครอบครัว	3.89 ± 0.75
มีลักษณะชวนรับประทาน	3.96 ± 0.63

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนความชอบเต็ม 5 คะแนน

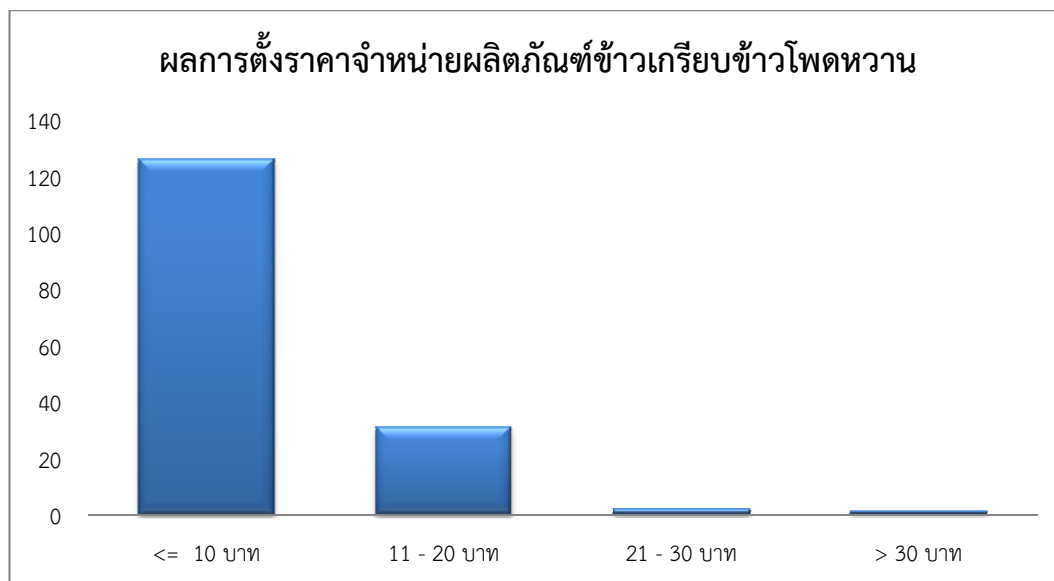
จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยด้านความพึงพอใจทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และจากผลการสำรวจจะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบให้คะแนนรสชาติของสินค้าแปรรูปเป็นอันดับที่ 1 ซึ่งร้อยละ 64 ของผู้ทดสอบตอบว่ามีความพึงพอใจรสชาติของข้าวเกรียบข้าวโพดหวานมาก และร้อยละ 28 มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด รองลงมาตามด้วยลักษณะของข้าวเกรียบมีลักษณะชวนรับประทานโดยให้คะแนนในระดับพึงพอใจมากที่สุดเป็นร้อยละ 63 ส่วนปัจจัยที่ได้คะแนนน้อยที่สุดได้แก่ความเหมาะสมของสินค้าต่อผู้สูงอายุ ที่ได้รับคะแนนอยู่ที่ 3.27 โดยร้อยละ 43 ไม่แน่ใจว่ามีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ซึ่งเมื่อเทียบกับความเหมาะสมของสินค้าข้าวเกรียบต่อเด็กและทุกคนครอบครัวซึ่งอยู่ที่ 3.92 และ 3.89 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบคิดว่าสินค้าแปรรูปประเภทนี้อาจไม่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ ซึ่งหากสำรวจเฉพาะความคิดเห็นของผู้ทดสอบที่มีอายุมากกว่า 41 ปีขึ้นไปซึ่งมีทั้งหมด 10 คนจะพบว่าผู้ทดสอบเหล่านี้ให้คะแนนสอดคล้องไปในทางเดียวกัน

ในการสำรวจความคิดเห็นของผู้ทดสอบต่อราคาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นี้ ผู้ทดสอบได้ถูกให้ตอบแบบสอบถามถึงความเป็นไปได้ที่จะซื้อสินค้าข้าวเกรียบข้าวโพดหวานที่ปริมาณถุงละ 30 กรัมที่ราคาต่างๆ กัน ซึ่งผู้ทดสอบจะเห็นปริมาณสินค้าจากผู้เก็บข้อมูล ผลจากการสำรวจแสดงในตารางที่ 4.7.11

ตารางที่ 4.7.11: แนวโน้มที่ผู้ทดสอบจะซื้อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวานที่ราคาต่างๆ ตั้งแต่ 5-20 บาท

ผลิตภัณฑ์: ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน	น่าจะซื้อมากที่สุด	น่าจะซื้อมาก	ไม่แน่ใจ	ไม่น่าจะซื้อ	ไม่น่าจะซื้อมากที่สุด	คะแนนเฉลี่ย
ราคา 5 บาท	76	64	19	4	0	4.30
ราคา 10 บาท	37	97	26	3	0	4.03
ราคา 15 บาท	11	47	67	32	2	3.21
ราคา 20 บาท	7	26	61	46	19	2.72

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ในการซื้อสินค้าที่ราคาต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มในการซื้อสูงสุดที่ราคา 5 บาท ตามด้วย 10, 15, และ 20 บาทตามลำดับ โดยร้อยละ 47 (76 คน จาก 163 คน) เห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 5 บาท น่าจะซื้อมากที่สุด ในขณะที่ร้อยละ 60 มีความเห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 10 บาทจะน่าซื้อที่สุด ซึ่งอาจสรุปได้ว่า การตั้งราคาสามารถมีความยืดหยุ่นได้ตั้งแต่ 5 - 10 บาท อย่างไรก็ตามผลการสำรวจนี้ไม่ได้สะท้อนถึงตัวเลขที่แท้จริง ดังนั้นผู้ทดสอบจึงถูกถามให้ระบุราคาที่เหมาะสมซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่ 4.7.6



รูปที่ 4.7.6: ราคาจำหน่ายที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวานในปริมาณ 30 กรัม

จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่คิดว่าราคาที่เหมาะสมของสินค้าประเภทนี้น่าจะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 บาท โดยที่ 71 คนของผู้ทดสอบทั้งหมดหรือร้อยละ 44 ตอบว่าราคาที่เหมาะสมเท่ากับ 10 บาท ซึ่งขนาดของสินค้าตัวอย่าง 30 กรัม นั้นหากมองด้วยตาเปล่าแล้วมีปริมาณใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดขนาด 10 บาท ในส่วนข้อเสนอแนะเพิ่มเติมผู้ทดสอบมีข้อเสนอแนะว่า รสชาติอ่อนเกินไป บางส่วนเห็นว่ายังขาดความกรอบ แต่ว่ามีรสชาติอร่อย และอยากเห็นสินค้าตัวอย่าง ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตในการผลิตข้าวเกรียบข้าวโพดหวานนั้น มีค่าใช้จ่ายดังตารางที่ 4.7.12



ตารางที่ 4.7.12: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน

ประเภทของต้นทุน	ต้นทุน (บาท)
ต้นทุนด้านวัตถุดิบในการผลิต (ได้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ 1,510 กรัม)	81.6
ต้นทุนเฉพาะวัตถุดิบต่อผลิตภัณฑ์ 30 กรัม	1.62
ต้นทุนอื่นๆ (เช่น ค่าแรง ค่าบรรจุภัณฑ์ ค่าไฟ ค่าอุปกรณ์)	4.00*
ต้นทุนรวมต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม	5.62

หมายเหตุ: * ต้นทุนอื่นได้จากการประมาณ

จากการสำรวจผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวานที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน ไม่พบข้าวเกรียบที่ผลิตจากข้าวโพดหวานเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการสำรวจผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้แก่ ข้าวโพดอบกรอบ ข้าวเกรียบเผือก ข้าวเกรียบฟักทอง และข้าวเกรียบกุ้ง ซึ่งราคาอ้างอิงดังแสดงในตารางที่ 4.7.13

ตารางที่ 4.7.13: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน

ยี่ห้อ	ขนาดบรรจุ	ราคา (บาท)	ราคาต่อ 30 กรัม (บาท)
ข้าวโพดอบกรอบ ยี่ห้อ ก.	40 กรัม	10	7.50
ข้าวเกรียบเผือก ยี่ห้อ ข.	35 กรัม	9	7.71
ข้าวเกรียบฟักทอง ยี่ห้อ ค.	35 กรัม	9	7.71
ข้าวเกรียบกุ้ง ยี่ห้อ ง.	85 กรัม	25	8.82

หมายเหตุ: * ราคาสำรวจที่ห้างท็อปส์ซูเปอร์มาร์เก็ตและบิ๊กซีซูเปอร์เซ็นเตอร์ ระหว่างวันที่ 1-10 สิงหาคม 2556

จากผลที่ได้จากการสอบถามผู้บริโภคซึ่งมีความเห็นว่าราคาจำหน่ายควรน้อยกว่า 10 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 30 กรัม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ราคาควรอยู่ระหว่าง 7-9 บาท อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนที่ใช้ในการผลิต 5.62 บาท ผู้ผลิตจะได้กำไร 1.38-3.38 บาท หรือประมาณ 20-38% ดังนั้นราคาจำหน่ายจึงควรอยู่ที่ประมาณ 9 บาท อย่างไรก็ตามผู้ผลิตเพิ่มขนาดบรรจุให้อยู่ที่ 35-40 กรัมเพื่อให้ผู้บริโภคเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดได้

4.7.4 ผลิภัณฑ์นมชั้นหวานจากข้าวโพดหวาน

จากการสอบถามผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 168 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 54 คน ผู้หญิง 114 คน อายุส่วนใหญ่ของผู้ทดสอบชิมอยู่ระหว่าง 21-30 ปี (56.0%) อยู่ในกลุ่มนักเรียนนักศึกษา ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวโพดหวานในด้านต่างแสดงในตารางที่ 4.7.14

ตารางที่ 4.7.14: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์นมชั้นหวานจากข้าวโพดหวาน

ผลิตภัณฑ์: นมชั้นหวานจากข้าวโพดหวาน	คะแนนเฉลี่ย
รสชาติดี	4.10 ± 0.68 a
ดีต่อสุขภาพ	3.72 ± 0.87 b
เหมาะสมกับผู้สูงอายุ	3.28 ± 0.93 a
เหมาะกับเด็ก	3.90 ± 0.84 b
เหมาะกับทุกคนในครอบครัว	3.94 ± 0.76 b
มีลักษณะชวนรับประทาน	3.94 ± 0.71 b

หมายเหตุ: - a, b คือ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนอน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - * ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนความชอบเต็ม 5 คะแนน

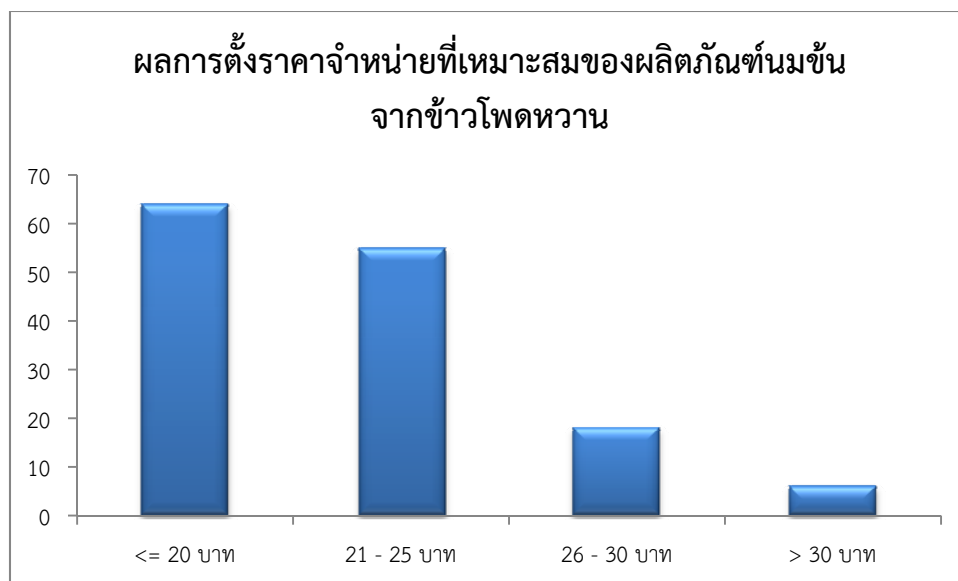
ผลการวิเคราะห์พบว่าคุณสมบัติรสชาติดี และ ความเหมาะสมกับผู้สูงอายุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ผลการสำรวจเห็นว่าผู้ทดสอบให้คะแนนรสชาติของสินค้าแปรรูปเป็นอันดับที่ 1 ซึ่งร้อยละ 62 ของผู้ทดสอบตอบว่ามีความพึงพอใจรสชาติของนมชั้นจากข้าวโพดหวานมาก และ 25% รองลงมามีความพึงพอใจมากที่สุด ปัจจัยอันดับ 2 คือ ความเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวและลักษณะของนมชั้นมีลักษณะชวนรับประทาน ส่วนปัจจัยที่ได้คะแนนน้อยที่สุดได้แก่ความเหมาะสมของสินค้าต่อผู้สูงอายุ ที่ได้รับคะแนนอยู่ที่ 3.28 ซึ่งเมื่อเทียบกับความเหมาะสมของสินค้านมชั้นต่อเด็กและทุกคนครอบครัวซึ่งอยู่ที่ 3.90 และ 3.94 ตามลำดับ และหากสำรวจเฉพาะความคิดเห็นของผู้ทดสอบที่มีอายุมากกว่า 41 ปีขึ้นไปซึ่งมีทั้งหมด 9 คนจะพบว่าผู้ทดสอบกลุ่มนี้กว่าร้อยละ 44 (4 ใน 9 ราย) เห็นด้วยมากที่สุดว่าผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ซึ่งอาจสรุปได้ว่าสินค้าชนิดนี้มีรสชาติดี มีความเหมาะสมกับทุกวัย

ในการสำรวจความคิดเห็นของผู้ทดสอบต่อราคาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นี้ ผู้ทดสอบได้ถูกให้ตอบแบบสอบถามถึงความเป็นไปได้ที่จะซื้อสินค้านมชั้นจากข้าวโพดหวานที่ขวดละ 4 ออนซ์ที่ราคาต่าง ๆ กัน ซึ่งผู้ทดสอบจะได้เห็นปริมาณสินค้าจากผู้เก็บข้อมูล ผลจากการสำรวจแสดงในตารางที่ 4.7.15

ตารางที่ 4.7.15: แนวโน้มที่ผู้ทดสอบจะซื้อผลิตภัณฑ์นมชั้นจากข้าวโพดหวานที่ราคาต่างๆ ตั้งแต่ 20-35 บาท

ผลิตภัณฑ์: นมชั้น จากข้าวโพดหวาน	น่าจะซื้อ มากที่สุด	น่าจะซื้อ มาก	ไม่แน่ใจ	ไม่น่าจะ ซื้อ	ไม่น่าจะซื้อ มากที่สุด	คะแนนเฉลี่ย
ราคา 20 บาท	69	73	12	6	0	4.28
ราคา 25 บาท	28	98	30	3	1	3.93
ราคา 30 บาท	11	34	90	19	4	3.18
ราคา 35 บาท	4	19	63	59	11	2.65

ผลการประเมินแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ในการซื้อสินค้าที่ราคาต่างๆกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบร้อยละ 46 ประเมินว่า ราคา 20 บาท น่าซื้อ มาก และร้อยละ 43 ประเมินว่าการตั้งราคา 20 บาท น่าซื้อ มากที่สุด อีกทั้งร้อยละ 61 เห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 25 บาท น่าซื้อ มาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ผู้เข้าร่วมทดสอบมีแนวโน้มที่จะยอมรับราคาสินค้าตั้งแต่ 20 - 25 บาท แต่มีแนวโน้มในการยอมรับลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในราคาที่ 30, และ 35 บาท อย่างไรก็ตามผลการสำรวจนี้ไม่ได้สะท้อนถึงตัวเลขที่แท้จริง ดังนั้นผู้ทดสอบจึงถูกถามให้ระบุราคาที่เหมาะสมซึ่งจะแสดงผลในรูปที่ 4.7.7



รูปที่ 4.7.7: ราคาจำหน่ายที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นมชั้นจากข้าวโพดหวานในปริมาณ 4 ออนซ์

จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่คิดว่าราคาที่เหมาะสมของสินค้าประเภทนี้น่าจะน้อยกว่า 20 บาท โดยที่ 64 คนจากผู้ทดสอบทั้งหมดหรือ 41% ตอบว่าราคาที่เหมาะสมเท่ากับ 20 บาท ซึ่งขนาดของสินค้าตัวอย่าง 4 ออนซ์นั้นหากมองด้วยตาเปล่าแล้วมีปริมาณเล็กกว่ากระป๋องนมชั้นหวานที่วางขายทั่วไป และร้อยละ 34 (55 ราย) ยินดีให้ราคาที่ 21 - 25 บาท ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลแสดงจากตารางที่ 4.7.13 ซึ่ง



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

สรุปได้ว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มเลือกซื้อสินค้าในราคาตั้งแต่ 20 – 25 บาท ผู้ทดสอบยังได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติมสำหรับผลิตภัณฑ์นมชั้นจากข้าวโพดหวานซึ่งสามารถสรุปได้ว่า มีสีสวย และมีกลิ่นหอมแบบข้าวโพด แต่นมชั้นจากข้าวโพดมีความหวานมากเกินไป และขาดข้อมูลรับรองด้านคุณค่าทางโภชนาการเพื่อประกอบการทำแบบสอบถาม ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตในการผลิตนมชั้นจากข้าวโพดหวานนั้น มีค่าใช้จ่ายดังตารางที่ 4.7.16

ตารางที่ 4.7.16: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของนมชั้นจากข้าวโพดหวาน

ประเภทของต้นทุน	ต้นทุน (บาท)
ต้นทุนด้านวัตถุดิบในการผลิต (ต่อการผลิต 1 ครั้ง)	129
ปริมาณนมชั้นที่ได้จากการผลิตต่อครั้ง (ออนซ์)	28
ต้นทุนเฉพาะวัตถุดิบต่อผลิตภัณฑ์ในขนาด 4 ออนซ์	18.43
ต้นทุนอื่นๆ (เช่น ค่าแรง ค่าบรรจุภัณฑ์ ค่าไฟ ค่าอุปกรณ์)	12.00*
ต้นทุนรวมต่อผลิตภัณฑ์ขนาดบรรจุ 4 ออนซ์	30.43

หมายเหตุ: * ต้นทุนอื่นได้จากการประมาณ

จากการสำรวจผลิตภัณฑ์นมชั้นจากข้าวโพดหวานที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน ไม่พบนมชั้นที่ผลิตจากข้าวโพดหวานเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการสำรวจผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้แก่ ครีมเทียมชั้นหวาน ซึ่งราคาอ้างอิงดังแสดงในตารางที่ 4.7.17

ตารางที่ 4.7.17: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์นมชั้นจากข้าวโพดหวาน

ยี่ห้อ	ขนาดบรรจุ	ราคา* (บาท)	ราคาต่อ 4 ออนซ์ (บาท)
ครีมเทียมชั้นหวาน ยี่ห้อ ก.	388 กรัม	22.50	6.58
ครีมเทียมชั้นหวาน ยี่ห้อ ข.	388 กรัม	21.50	6.28
ครีมเทียมชั้นหวาน ยี่ห้อ ค.	380 กรัม	20.00	5.97

หมายเหตุ: * ราคาสำรวจที่ห้างท็อปส์ซูเปอร์มาร์เก็ตและบิ๊กซีซูเปอร์เซ็นเตอร์ ระหว่างวันที่ 1-10 สิงหาคม 2556

จากผลที่ได้จากการสอบถามผู้บริโภคซึ่งมีความเห็นว่าราคาจำหน่ายควรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 4 ออนซ์ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาอ้างอิงของครีมเทียมชั้นหวานจะพบว่ามีนมชั้นจากข้าวโพดหวานมีต้นทุนที่สูงกว่าราคาขายของครีมเทียมชั้นหวานมาก กล่าวคืออยู่ประมาณ 30 และ 6



บาทต่อปริมาตร 4 ออนซ์ ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนการผลิตสูง ซึ่งผู้ผลิตอาจชูผลประโยชน์ทางด้านคุณค่าของข้าวโพดที่มีเหนือกว่าครีมเทียมชั้นหวาน อีกทั้งยังมีความเหมาะสมกับผู้แพ้อัลเลอจีจากนมวัว ดังนั้นอาจสามารถตั้งราคาจำหน่ายที่สูงกว่าครีมเทียมชั้นหวานได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ตั้งราคาจำหน่ายที่ 20 บาทก็ยังมีค่าต่ำกว่าต้นทุนการผลิตอยู่มาก ดังนั้นหากผู้ผลิตสามารถหาหนทางลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบลง เช่น ผลิตในปริมาณครั้งละมากๆ หรือเปลี่ยนขวดแก้วที่มีราคาสูงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีราคาต่ำลงมา ก็อาจลดต้นทุนการผลิตลงได้มากและเพิ่มความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

4.7.5 ผลลัพธ์ที่คุ้มค่าก็แล้วแต่

จากการสอบถามผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 132 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 46 คน ผู้หญิง 86 คน อายุส่วนใหญ่ของผู้ทดสอบชิมอยู่ระหว่าง 21-30 ปี (35%) และเป็นกลุ่มนักเรียนนักศึกษา ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจต่อผลลัพธ์ที่คุ้มค่าก็แล้วแต่ในด้านต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.7.18

ตารางที่ 4.7.18: ค่าเฉลี่ย * ผลการสอบถามทางด้านความพึงพอใจที่มีต่อผลลัพธ์ที่คุ้มค่าก็แล้วแต่ (เต็ม 5 คะแนน)

ผลลัพธ์: คุ้มค่าก็แล้วแต่	คะแนนเฉลี่ย
รสชาติดี	4.17 ± 0.53 a
ดีต่อสุขภาพ	4.01 ± 0.59 b
เหมาะสมกับผู้สูงอายุ	3.78 ± 0.82 a
เหมาะกับเด็ก	4.00 ± 0.76 b
เหมาะกับทุกคนในครอบครัว	4.17 ± 0.63 a
มีลักษณะชวนรับประทาน	4.09 ± 0.62 b

หมายเหตุ: - a, b คือ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนอน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- * ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนความชอบเต็ม 5 คะแนน

จากผลสำรวจในตารางที่ 4.7.18 พบว่าปัจจัยรสชาติดี ความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ และความเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปัจจัยดีต่อสุขภาพ ความเหมาะสมกับเด็ก และลักษณะชวนรับประทานไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยปัจจัยรสชาติดีและคุณสมบัติเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวให้คะแนนเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.17 คะแนน โดยร้อยละ 71 ของผู้เข้าทดสอบให้คะแนนพึงพอใจมากในรสชาติของสินค้าและร้อยละ 23 มีความพึงพอใจมากที่สุด ร้อยละ 58 ของผู้ทดสอบลงความเห็นว่าสินค้าชนิดนี้เหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวมาก และร้อยละ 29 เห็นว่าเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวมากที่สุด อันดับ 2 ที่ได้คะแนนเฉลี่ยสูง ได้แก่ ลักษณะชวนรับประทานของ



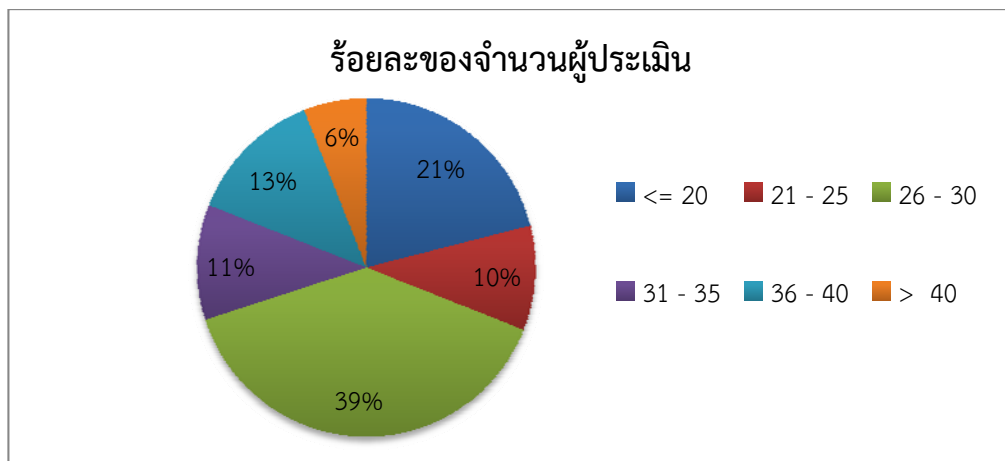
ผลิตภัณฑ์ ซึ่งร้อยละ 66 ของผู้เข้าทดสอบเห็นว่ามีลักษณะชวนรับประทานมาก ในส่วนปัจจัยที่ได้อันดับต่ำสุด ได้แก่ คุณสมบัติเหมาะสมกับผู้สูงอายุ โดยมีสัดส่วนของผู้ลงความเห็นที่ไม่แน่ใจในคุณสมบัติด้านนี้ร้อยละ 31 และเห็นด้วยมากกว่ามีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ 44% โดยหากวิเคราะห์เฉพาะกลุ่มผู้มีอายุตั้งแต่ 41 ปีขึ้นไป จำนวน 37 ราย พบว่าร้อยละ 43 ยังคงเห็นด้วยมากกว่าสินค้าเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสินค้ามีรสชาติดี เหมาะสมกับทุกคนในครอบครัว ผู้สูงอายุ และเด็ก มีลักษณะชวนรับประทาน และดีต่อสุขภาพ เนื่องจากคะแนนเฉลี่ยทั้งหมดของสินค้าอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือ มีคะแนนเฉลี่ยหลายปัจจัยสูงกว่า 4 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน

ในการสำรวจความคิดเห็นของผู้ทดสอบต่อราคาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นี้ ผู้ทดสอบได้ถูกให้ตอบแบบสอบถามถึงความเป็นไปได้ที่จะซื้อสินค้าคุกกี้ถั่วแปยี่ที่ปริมาณถุงละ 100 กรัมที่ราคาต่างๆ กัน ซึ่งผู้ทดสอบจะเห็นปริมาณสินค้าจากผู้เก็บข้อมูล (ระบุผลตัวอย่างของถั่วแปยี่) ผลจากการสำรวจแสดงในตารางที่ 4.7.19

ตารางที่ 4.7.19: แนวโน้มที่ผู้ทดสอบจะซื้อคุกกี้ถั่วแปยี่ที่ราคาต่างๆ ตั้งแต่ 30-50 บาท

ผลิตภัณฑ์: คุกกี้ถั่วแปยี่	น่าจะซื้อมากที่สุด	น่าจะซื้อมาก	ไม่แน่ใจ	ไม่น่าจะซื้อ	ไม่น่าจะซื้อมากที่สุด	คะแนนเฉลี่ย
ราคา 30 บาท	61	45	11	1	0	4.41
ราคา 40 บาท	4	44	45	7	2	3.40
ราคา 50 บาท	5	13	48	25	9	2.80

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ในการซื้อสินค้าที่ราคาต่างๆ กัน ซึ่งจะเห็นว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มในการซื้อสูงสุดที่ราคา 30 บาท ตามด้วย 40 และ 50 บาทตามลำดับ โดยร้อยละ 52 เห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 30 บาท จะน่าซื้อมากที่สุด ในขณะที่ร้อยละ 44 มีความเห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 40 บาทจะน่าซื้อ และร้อยละ 43 ลงความเห็นที่ไม่แน่ใจว่าจะซื้อในราคาที่ 40 บาท ซึ่งอาจสรุปได้ว่า การตั้งราคาสินค้าที่ราคา 30 บาทจะมีความเหมาะสมที่สุด และการตั้งราคาที่ 40 บาทยังคงอยู่ในระดับพอรับได้ อย่างไรก็ตามผลการสำรวจนี้ไม่ได้สะท้อนถึงตัวเลขที่แท้จริง ดังนั้นผู้ทดสอบจึงถูกถามให้ระบุราคาที่เหมาะสมซึ่งจะแสดงผลในรูปที่ 4.7.8



รูปที่ 4.7.8: แสดงราคาจำหน่ายที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์จากถั่วแปยี่

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบทำการประมาณราคาสินค้าที่ 26 – 30 บาทสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 39 ของผู้ทำการคำถามนี้ รองลงมาคือราคาที่ ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20 บาท ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตในการผลิต แป้งถั่วแปยี่ จะใช้เมล็ดถั่วแปยี่แห้งหนัก 1 กิโลกรัม ราคา 60 บาท/กิโลกรัม ซึ่งสามารถผลิตได้เนื้อแป้งหนัก 450 กรัม ดังนั้นต้นทุนในการผลิตแป้งถั่วแปยี่ต่อ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 134 บาท หากนำแป้งถั่วแปยี่มา เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แป้งสาลีและแป้งเค้กสำเร็จรูปที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน พบว่าราคาแป้ง ดังกล่าวที่วางจำหน่ายดังผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.7.20

ตารางที่ 4.7.20: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์แป้งสาลีและแป้งเค้กสำเร็จรูป

ยี่ห้อ	ขนาดบรรจุ	ราคา* (บาท)	ราคาต่อ 1000 กรัม (บาท)
แป้งสาลี ยี่ห้อบัวแดง	1000 กรัม	52	52.00
แป้งเค้ก ยี่ห้อ ก.	1000 กรัม	52	52.00
แป้งเค้ก ยี่ห้อ ข.	1000 กรัม	66.50	66.50

หมายเหตุ: * ราคาสำรวจที่ห้างท็อปส์ซูเปอร์มาร์เก็ตและบิ๊กซีซูเปอร์เซ็นเตอร์ ระหว่างวันที่ 5-10 สิงหาคม 2556

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนที่ใช้ในการผลิตและราคาอ้างอิง พบว่าต้นทุนในการผลิตถั่วแปยี่มี ต้นทุนสูงกว่าผลิตภัณฑ์แป้งประเภทอื่น ดังนั้นผู้ผลิตอาจเน้นไปที่จุดขายที่แป้งถั่วแปยี่มีเหนือกว่าแป้งประเภท อื่น อย่างไรก็ตามในการทดสอบชิมครั้งนี้แป้งถั่วแปยี่ได้ถูกแปรรูปไปเป็นคุกกี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สำรวจ ราคาของคุกกี้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 4.7.21 และ 4.7.22

ตารางที่ 4.7.21: รายละเอียดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของคุกกี้ถั่วแปยี่

ส่วนผสม	สูตรต้นแบบ	ราคาต่อ 1 กิโลกรัม (บาท)	ราคาต่อครั้ง (บาท)
วัตถุดิบ			
แป้งสาลีตราบัวแดง (กรัม)	160	40	6.4
แป้งถั่วแปยี่ (กรัม)	40	134	5.2
เนยสดแช่เย็น (กรัม)	150	150	22.5
น้ำตาลทราย (กรัม)	120	28	3.4
ไข่ไก่ (ฟอง)	1	42 ต่อ 30 ฟอง	4.2
น้ำ (กรัม)	12.5	-	-
เกลือ (กรัม)	3	-	0.1
ผงฟู (กรัม)	3	200	0.6
วานิลลาผง (กรัม)	2	330	0.7
รวมจำนวนค่าใช้จ่ายต่อการอบ 1 ครั้ง			43.1

ตารางที่ 4.7.22: ต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์คุกกี้ถั่วแปยี่

ประเภทของต้นทุน	ต้นทุน (บาท)
ต้นทุนด้านวัตถุดิบในการผลิต (ต่อการอบ 1 ครั้ง)	43.1
น้ำหนักคุกกี้ที่ได้จากการอบต่อครั้ง (กรัม)	350
ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม	12.31
ต้นทุนอื่นๆ (เช่น ค่าแรง ค่าบรรจุภัณฑ์ ค่าไฟ ค่าอุปกรณ์)	10.00*
ต้นทุนรวมต่อผลิตภัณฑ์ขนาดบรรจุ 100 กรัม	22.31

หมายเหตุ: * ต้นทุนอื่นได้จากการประมาณ



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

จากการสำรวจผลิตภัณฑ์คูกี้ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน พบว่าราคาคูกี้ที่วางจำหน่ายดังผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.7.23

ตารางที่ 4.7.23: ราคาอ้างอิงผลิตภัณฑ์คูกี้

ยี่ห้อ	ขนาดบรรจุ	ราคา* (บาท)	ราคาต่อ 100 กรัม (บาท)
คูกี้ ยี่ห้อ ก.	100 กรัม	28.00	28.00
คูกี้ ยี่ห้อ ข.	100 กรัม	28.00	28.00
คูกี้ ยี่ห้อ ค.	50 กรัม	9.50	19.00

หมายเหตุ: * ราคาสำรวจที่ห้างท็อปส์ซูเปอร์มาร์เก็ตและบิ๊กซีซูเปอร์เซ็นเตอร์ ระหว่างวันที่ 1-10 สิงหาคม 2556

จากผลที่ได้จากการสอบถามผู้บริโภคซึ่งมีความเห็นว่าราคาจำหน่ายควรอยู่ระหว่าง 26-30 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันซึ่งมีราคาควรอยู่ระหว่าง 19-28 บาท อีกทั้งยังมีความคิดเห็นว่าคุณค่าคุ้มแป๊ะมีรสชาดี หากผู้ผลิตตั้งราคาจำหน่ายที่ 28 บาทโดยมีต้นทุนที่ใช้ในการผลิต 22.31 บาทผู้ผลิตจะได้กำไร 5.69 บาท หรือประมาณร้อยละ 20 ซึ่งถือว่าเป็นราคาที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามหากผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้ก็จะมีกำไรเพิ่มมากขึ้น

4.7.6 ผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วง

ในการศึกษาผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ผู้ทดสอบจะได้รับข้อมูลของเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วง และเห็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในขวดแก้วใสในปริมาณ 100 กรัม เนื่องจากผู้ทดสอบจะไม่ได้รับการทดสอบชิม ดังนั้นผู้ทดสอบจะถูกถามความคิดเห็นที่มีต่อเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงในด้านดีกับสุขภาพและความเหมาะสมกับบุคคลในระดับต่างๆ เท่านั้น จากการสอบถามผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 132 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 46 คน ผู้หญิง 86 คน อายุส่วนใหญ่ของผู้ทดสอบอยู่ระหว่าง 21-30 ปี (35%) และเป็นกลุ่มนักเรียนนักศึกษา โดยผลการสอบถามทางด้านความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงในด้านต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.7.24

ตารางที่ 4.7.24: ค่าเฉลี่ย * ผลสรุปการสอบถามทางด้านความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วง (เต็ม 5 คะแนน)

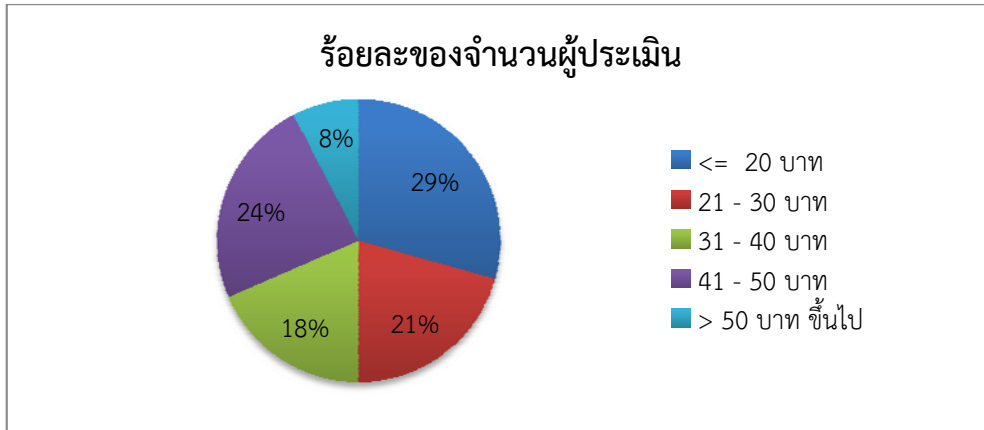
ผลิตภัณฑ์: เส้นใยอาหารจาก เปลือกมะม่วง	คะแนนเฉลี่ย
ดีต่อสุขภาพ	4.31 ± 0.65 a
เหมาะสมกับผู้สูงอายุ	4.14 ± 0.74 b
เหมาะกับเด็ก	3.87 ± 0.88 a
เหมาะกับทุกคนในครอบครัว	4.17 ± 0.75 b

หมายเหตุ: - a, b คือ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนึง จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- * ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนความชอบเต็ม 5 คะแนน

จากผลสรุปในตารางที่ 4.7.24 ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยสินค้าดีต่อสุขภาพ และความเหมาะสมกับเด็ก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และปัจจัยด้านความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ และความเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ มีค่า $p > 0.05$ ผลค่าเฉลี่ยพบว่ารสชาติของสินค้าอยู่ในเกณฑ์ดีมีคะแนนเฉลี่ยสูง โดยร้อยละ 54 พึงพอใจมากในรสสินค้า และร้อยละ 39 พึงพอใจมากที่สุด ปัจจัยอันดับ 2 ที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดได้แก่ ปัจจัยเหมาะกับทุกคนในครอบครัว โดยร้อยละ 43 และ 37 มีความเห็นว่าเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวมาก และมากที่สุดตามลำดับ ปัจจัยที่มีคะแนนเฉลี่ยน้อยได้แก่ คุณสมบัติความเหมาะสมกับเด็ก 3.87 คะแนน ซึ่งยังถือว่าคะแนนเฉลี่ยมีค่าสูง จึงอาจสรุปได้ว่าสินค้านี้ดีต่อสุขภาพ และเหมาะกับทุกคนในครอบครัว รวมถึงผู้สูงอายุและเด็ก

ในการสำรวจความคิดเห็นของผู้ทดสอบต่อราคาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นี้ ผู้ทดสอบได้ถูกให้ตอบแบบสอบถามถึงความเป็นไปได้ที่จะซื้อสินค้าเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงปริมาณขวดละ 100 กรัม ที่ราคาต่างๆ กัน ซึ่งผู้ทดสอบจะได้เห็นปริมาณสินค้าจากผู้เก็บข้อมูล (ระบุผลตัวอย่างของเส้นใย) ในขั้นตอนนี้ ผู้ทดสอบจึงถูกถามให้ระบุราคาที่เหมาะสมซึ่งจะแสดงผลในรูปที่ 4.7.9



รูปที่ 4.7.9: แสดงร้อยละของจำนวนผู้ประเมินราคาจำหน่ายที่เหมาะสมของเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วง

จากรูปที่ 4.7.9 จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบทำการประมาณราคาสินค้าอยู่ในราคาหลากหลายตั้งแต่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่ต่ำกว่า 20 บาทไปจนถึงมากกว่า 50 บาท โดยร้อยละ 29 ซึ่งมีค่าสูงสุด ผู้ทดสอบทำการประเมินราคาสินค้าที่ราคาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 บาทเป็นจำนวน 27 รายจาก 92 รายที่ทำการตอบคำถามนี้ อันดับ 2 ได้แก่ ราคาที่ 41 – 50 บาท คิดเป็นร้อยละ 24 หรือ 22 จาก 92 รายที่ทำการตอบแบบสอบถาม จะเห็นว่าการประเมินราคาจากกลุ่มผู้เข้าทดสอบยังคงคลุมเครือและมีค่าตั้งแต่ น้อยกว่าหรือเท่า 20 บาทไปจนถึง 41 -50 บาท ในส่วนข้อเสนอแนะเพิ่มเติมผู้เข้าทดสอบแนะนำให้มีการเพิ่มการนำเสนอด้านคุณสมบัติของเส้นใยอาหารให้เพิ่มมากขึ้น และคาดหวังว่าสินค้าจะเหมาะสมสำหรับกลุ่มรักสุขภาพ และต้องการควบคุมน้ำหนัก ควรมีการปรับแต่งกลิ่นให้ดีขึ้น ให้มีกลิ่นหอมกว่านี้ และควรพัฒนาด้านบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มความน่าสนใจให้สินค้า

ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเนื่องจากเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงเป็นการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งของมะม่วงมาอบแห้ง ดังนั้นต้นทุนที่เกี่ยวข้องจะมีเพียงค่าพลังงานในการแปรรูปและค่าแรงเท่านั้น อย่างไรก็ตามไม่พบผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันวางจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบได้

ปัจจัยที่มีต่อการเลือกซื้อสินค้าทางการเกษตร ในการสำรวจปัจจัยที่มีต่อการเลือกซื้อสินค้าทางการเกษตรของผู้ทดสอบ แบ่งเป็น 12 ปัจจัยโดยค่าเฉลี่ยของทุกผลิตภัณฑ์เป็นดังแสดงในตารางที่ 4.7.25 และทำการเรียงลำดับปัจจัยตามแต่ละผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 4.7.26 โดยทำการวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรประกอบด้วย เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง มะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยวิธีอบแบบถาด มะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยวิธีพลังงานแสงอาทิตย์ ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน นมข้นหวานจากข้าวโพดหวาน สำหรับคูกี้ถั่วแปยีและเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงจะใช้การพิจารณาร่วมกัน จากตารางที่ 4.7.25 และ 4.7.26 พบว่าปัจจัยผ่านอย. และ ปัจจัยรสชาติ เป็นปัจจัยที่มีผลคะแนนเฉลี่ยเป็นอันดับ 1 หรือ 2 จาก 5 ใน 6 ของผลิตภัณฑ์ และอันดับปัจจัยได้รับการประเมินเป็นอันดับต่ำสุดประกอบด้วย ปัจจัยกลิ่น และยี่ห้อ

ตารางที่ 4.7.25: แสดงผลค่าเฉลี่ย*ในการสำรวจปัจจัยที่มีต่อการซื้อผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตร

ปัจจัย/ ผลิตภัณฑ์	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	เครื่องต้มนมมะนาว ผง	มะม่วงแผ่น Tray Drying	มะม่วงแผ่น Solar Drying	ข้าวเกรียบ	นมขึ้นหวานจาก ข้าวโพดหวาน	ถั่วแปบียี และ เส้นใยอาหาร
1. รสชาติ	4.29 ± 0.80 a	4.42 ± 0.60 a	4.42 ± 0.70 b	4.42 ± 0.53 b	4.37 ± 0.79 a	4.26 ± 0.64 a
2. ราคา	4.05 ± 0.73 b	4.14 ± 0.64 b	4.16 ± 0.68 a	4.27 ± 0.62 b	4.17 ± 0.87 b	3.90 ± 0.73 a
3. ดีต่อสุขภาพ	4.13 ± 0.77 b	4.15 ± 0.73 b	4.21 ± 0.69 a	4.19 ± 0.69 a	4.20 ± 0.79 b	4.18 ± 0.69 b
4. รับประทานง่าย	4.09 ± 0.77 b	4.23 ± 0.64 b	4.19 ± 0.68 a	4.13 ± 0.66 a	4.05 ± 0.88 a	4.17 ± 0.50 a
5. หาซื้อได้ง่าย	4.05 ± 0.72 b	4.09 ± 0.68 b	4.13 ± 0.73 a	4.11 ± 0.67 a	4.03 ± 0.91 a	4.00 ± 0.71 b
6. ยี่ห้อ	3.63 ± 0.88 a	3.73 ± 0.85 a	3.78 ± 0.84 b	3.79 ± 0.88 b	3.70 ± 0.97 a	3.62 ± 0.90 a
7. กลิ่น	3.91 ± 0.91 a	4.00 ± 0.82 a	3.98 ± 0.77 a	4.10 ± 0.63 a	4.02 ± 0.94 a	3.98 ± 0.62 b
8. บรรจุภัณฑ์	4.04 ± 0.72 b	4.06 ± 0.71 b	4.12 ± 0.66 b	4.05 ± 0.65 a	3.96 ± 0.91 a	3.85 ± 0.76 a
9. ผ่าน อย.	4.32 ± 0.74 a	4.42 ± 0.67 a	4.31 ± 0.70 a	4.42 ± 0.65 a	4.40 ± 0.75 a	4.42 ± 0.69 a
10. เก็บรักษาได้ง่าย	4.17 ± 0.73 b	4.14 ± 0.71 b	4.11 ± 0.76 b	4.22 ± 0.66 b	4.26 ± 0.89 b	4.17 ± 0.69 b
11. ทุกคนในครอบครัวชอบ	4.00 ± 0.90 b	4.14 ± 0.78 b	4.08 ± 0.78 b	4.15 ± 0.78 b	4.19 ± 0.91 b	4.05 ± 0.71 b
12. ทำจากธรรมชาติ ไม่มีสารสังเคราะห์	4.18 ± 0.83 b	4.21 ± 0.75 b	4.20 ± 0.76 b	4.20 ± 0.68 b	4.24 ± 0.92 b	4.30 ± 0.66 a

หมายเหตุ: - a, b คือ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวแนวนอน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- * ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนความชอบเต็ม 5 คะแนน

ตารางที่ 4.7.26: ลำดับปัจจัยในการเลือกซื้อจากผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรทั้ง 6 ผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตร					
เครื่องต้นนามะนาว	มะม่วงแผ่นอบแห้งแบบ ถาด	มะม่วงแผ่นอบแห้งแบบ พลังงานแสงอาทิตย์	ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน	นมชั้นหวานจากข้าวโพด หวาน	คุกกี้กล้วยและ เส้นใย อาหารจากเปลือกมะม่วง
1. ผ่าน อย.	1. ผ่าน อย.	1. รสชาติ	1. ผ่าน อย.	1. ผ่าน อย.	1. ผ่าน อย.
2. รสชาติ	2. รสชาติ	2. ผ่าน อย.	2. รสชาติ	2. รสชาติ	2. ทำจากธรรมชาติไม่มี สารสังเคราะห์
3. ทำจากธรรมชาติไม่มี สารสังเคราะห์	3. รับประทานง่าย	3. ดีต่อสุขภาพ	3. ราคา	3. เก็บรักษาได้ง่าย	3. รสชาติ
4. เก็บรักษาได้ง่าย	4. ทำจากธรรมชาติไม่มี สารสังเคราะห์	4. ทำจากธรรมชาติไม่มี สารสังเคราะห์	4. เก็บรักษาได้ง่าย	4. ทำจากธรรมชาติไม่มี สารสังเคราะห์	4. ดีต่อสุขภาพ
5. ดีต่อสุขภาพ	5. ดีต่อสุขภาพ	5. รับประทานง่าย	5. ทำจากธรรมชาติไม่มี สารสังเคราะห์	5. ดีต่อสุขภาพ	5. รับประทานง่าย
6. รับประทานง่าย	6. ราคา	6. ราคา	6. ดีต่อสุขภาพ	6. ทุกคนในครอบครัว ชอบ	6. เก็บรักษาได้ง่าย
7. หวานอร่อย	7. เก็บรักษาได้ง่าย	7. หวานอร่อย	7. ทุกคนในครอบครัว ชอบ	7. ราคา	7. ทุกคนในครอบครัว ชอบ
8. ราคา	8. ทุกคนในครอบครัว ชอบ	8. บรรจุภัณฑ์	8. รับประทานง่าย	8. รับประทานง่าย	8. หวานอร่อย

ตารางที่ 4.7.26 (ต่อ): ลำดับปัจจัยในการเลือกซื้อจากผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรทั้ง 6 ผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตร					
เครื่องหมาย	มะม่วงแผ่นอบแห้งแบบ ถาด	มะม่วงแผ่นอบแห้งแบบ พลังงานแสงอาทิตย์	ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน	นมข้นหวานจากข้าวโพด หวาน	คุกกี้กล้วยแปะ และ เส้นใย อาหารจากเปลือกมะม่วง
9. บรรจุภัณฑ์	9. หาซื้อได้ง่าย	9. เก็บรักษาได้ง่าย	9. หาซื้อได้ง่าย	9. หาซื้อได้ง่าย	9. กลิ่น
10. ทุกคนในครอบครัว ชอบ	10. บรรจุภัณฑ์	10. ทุกคนในครอบครัว ชอบ	10. กลิ่น	10. กลิ่น	10. ราคา
11. กลิ่น	11. กลิ่น	11. กลิ่น	11. บรรจุภัณฑ์	11. บรรจุภัณฑ์	11. บรรจุภัณฑ์
12. ยี่ห้อ	12. ยี่ห้อ	12. ยี่ห้อ	12. ยี่ห้อ	12. ยี่ห้อ	12. ยี่ห้อ

บทที่ 5

อภิปรายและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 การศึกษากระบวนการผลิตผงมะนาวพร้อมดื่มสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-เมท

5.1.1 ผลของปริมาณน้ำมะนาว ปริมาณน้ำตาลทราย และปริมาณน้ำผึ้งที่มีต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวพร้อมดื่ม

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมะนาวสดของมะนาวพันธุ์พิจิตร 1 ได้ผลดังตารางที่ 4.1.1 ซึ่งจะพบว่าสีของน้ำมะนาวสดในค่า L^* (ความสว่าง) มีค่าเท่ากับ 29.03 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความสว่างของน้ำมะนาวสดมีค่าไม่มากนัก เนื่องจากเราทำการวัดค่าสีของน้ำมะนาวสดที่เพิ่งทำการคั้นสดๆ โดยไม่ได้ผ่านการกรอง ซึ่งทำให้ในน้ำมะนาวสดมีความขุ่น อันเนื่องมาจากตะกอนที่อยู่ในสภาพคอลลอยด์ (colloid) (Komball, 1991) ในค่า a^* มีค่าเท่ากับ -2.01 มีค่าที่เป็นลบแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเขียว และค่า b^* มีค่าเท่ากับ 0.24 มีค่าเป็นบวกแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเหลือง น้ำมะนาวสดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 11.69 ความหนืดมีค่าเท่ากับ 3.39 เซนติพอยซ์ ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 1.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 6.88 องศาบริกซ์ ความเป็นกรดต่าง (pH) มีค่าเท่ากับ 2.34 มีปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริกร้อยละ 6.56 และมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 28.27 มิลลิกรัมต่อน้ำมะนาว 100 มิลลิลิตร

จากการนำวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ น้ำมะนาว น้ำตาลทราย และน้ำผึ้ง ในสัดส่วนต่างๆ ตามแผนการทดลองแบบ mixture design มาผลิตเป็นน้ำมะนาวพร้อมดื่มได้ 5 สูตร ดังตารางที่ 4.1.2 จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale คุณลักษณะด้านสี กลิ่นมะนาว กลิ่นน้ำผึ้ง รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน ในห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยเฉพาะ ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1.3

จากตารางที่ 4.1.3 จะพบว่าน้ำมะนาวพร้อมดื่มสูตรที่ 3 มีคะแนนคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวมสูงสุด ส่วนสูตรที่ 1, 2 และ 5 มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง และสูตร ที่ 4 มีคะแนนความชอบโดยน้อยที่สุด ซึ่งจะพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยที่ความแตกต่าง อาจเกิดจากสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ผสมซึ่งมีสัดส่วนต่างกันในแต่ละสูตร โดยส่วนผสมที่มีสัดส่วนเท่ากันในทุกสูตร คือ เกลือ (0.05 กรัม) ดังตารางที่ 4.1.2 และกรรมวิธีการผลิตใช้วิธีการเดียวกัน ซึ่งทำให้มีผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมที่แตกต่างกัน ยกเว้นคุณลักษณะด้านสี ที่คะแนนสูตรที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรที่ 1 และ 2 แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรที่ 4 และ 5 และคุณลักษณะของกลิ่นน้ำผึ้งที่คะแนนสูตรที่ 2 และ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสูตรที่ 1, 3 และ 5 ดังนั้นน้ำมะนาวพร้อมดื่มสูตรที่ 3 ซึ่งมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นสูตรในการผลิตผงน้ำมะนาวสำเร็จรูป

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมะนาวพร้อมดื่มสูตรที่ 3 ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4 พบว่าสีของน้ำมะนาวพร้อมดื่มในค่า L^* (ความสว่าง) มีค่าเท่ากับ 25.70 ค่า a^* มีค่าเท่ากับ -0.61 มีค่าเป็นลบแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเขียว และค่า b^* มีค่าเท่ากับ 3.67 มีค่าเป็นบวกแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเหลือง ความหนืดมีค่าเท่ากับ 10.00 เซนติพอยซ์ ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 43.25 องศาบริกซ์ ความเป็นกรดต่าง (pH) มีค่าเท่ากับ 2.19 มีปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริกร้อยละ 6.29 และมีปริมาณวิตามินซี 16.83 มิลลิกรัมต่อน้ำมะนาว 100 มิลลิลิตร

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาว ซึ่งมีคุณลักษณะในเรื่องสี กลิ่น มะนาว กลิ่นน้ำผึ้ง รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวม ได้ค่าคะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะต่างๆ ดังนี้

- 1) คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านสี พบว่าสีของสูตร 3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \geq 0.05$) กับสูตร 1 และ 2 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P > 0.05$) กับสูตร 4 และ 5
- 2) คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านกลิ่นมะนาว พบว่ากลิ่นมะนาวของสูตร 3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 2, 4 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- 3) คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านกลิ่นน้ำผึ้ง พบว่ากลิ่นน้ำผึ้งของสูตร 2 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 3, 4 และ 5
- 4) คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านรสเปรี้ยว พบว่ารสเปรี้ยวของสูตร 3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 2, 4 และ 5
- 5) คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านรสหวาน พบว่ารสหวานของสูตร 3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 2, 4 และ 5
- 6) คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวม พบว่าความชอบโดยรวมของสูตร 3 มากที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 2, 4 และ 5

จะเห็นได้ว่า เครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3 มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และประกอบกับมีคะแนนด้านอื่นๆอีก 4 ด้าน คือ สี กลิ่นมะนาว รสเปรี้ยว รสหวานสูงที่สุด เพราะฉะนั้น เครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3 จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปเป็นสูตรการผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังจากได้เลือกเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุด คือ เครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3 จากนั้นนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ได้ไปวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และเคมี ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1.5

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1.5 พบว่าสีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวในค่า L^* (ความสว่าง) มีค่าเท่ากับ 25.70 ค่า a^* มีค่าเป็นลบแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเขียว และค่า b^* มีค่าเป็นบวกแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเหลือง ความหนืดมีค่าเท่ากับ 10.00 เซนติพอยต์ ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 43.25 องศาบริกซ์ ความเป็นกรดต่างมีค่าเท่ากับ 2.19 มีปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.29 และปริมาณวิตามินซีมีค่าเท่ากับ 16.83 มิลลิกรัมต่อน้ำมะนาว 100 มิลลิลิตร

เมื่อเปรียบเทียบเครื่องตีม้น้ำมะนาวกับน้ำมะนาวสดในตารางที่ 4.1.1 จะเห็นได้ว่าคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำมะนาวสดมีการเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้จากเครื่องตีม้น้ำมะนาวสูตรที่ 3 มีค่าสี L^* , a^* , b^* ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณวิตามินซีมีค่าที่ลดลง ส่วนค่าความหนืด ค่าความหนาแน่น และปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมส่วนผสมต่างๆลงไปในน้ำมะนาว ตัวอย่างเช่นน้ำผึ้ง ซึ่งมีสีเหลืองออกน้ำตาล และความหนืดสูงถึง 2,000 เซนติพอยซ์ (Verick International, 2012) และยังมีความหนาแน่น 1.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (The Physics Hypertextbook, 2012) ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับน้ำมะนาวจะส่งผลให้เครื่องตีม้น้ำมะนาวมีค่าสีที่ลดลง และมีความหนาแน่นกับความหนืดที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นนั้น ยังเกิดจากการเติมตัวถูกละลายลงไป คือ น้ำตาลทราย และเกลือ ในส่วนของปริมาณวิตามินซี ร่างกายต้องการวิตามินซี ประมาณวันละ 50 มิลลิกรัม (นิธิยา, 2553) ซึ่งถ้าผู้บริโภครับประทานเครื่องตีม้น้ำมะนาวสูตรที่ 3 จากการศึกษาครั้งนี้วันละ 2 แก้ว น่าจะได้รับวิตามินซีต่อวันอย่างเพียงพอ

5.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาในการตีโฟมที่มีต่อค่าโอเวอร์รัน ความคงตัวและความหนาแน่นของโฟม

สารก่อให้เกิดโฟมทั้ง 3 ชนิด คือ เมทโทเซล (methocel A4C) กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (glyceryl monostearate) และอัลบูมินจากไข่ขาว (egg albumin) ในการผลิตผงมะนาวสำเร็จรูปด้วยวิธีทำแห้งแบบโฟม - เมท จะเห็นได้ว่าปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมที่ใช้และเวลาในการตีปั่นโฟม ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันและค่าความหนาแน่นของโฟมค่อนข้างมาก แต่ส่งผลต่อค่าความคงตัวเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่มีผลต่อการเกิดโฟม เช่น องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม (รัตน, 2547) ซึ่งทำให้ปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาที่ใช้ตีปั่นโฟมของสารก่อให้เกิดโฟมทั้ง 3 ชนิด ไม่เท่ากัน และรูปร่างของโฟม หลังการตีปั่นก็แตกต่างกันดังนี้

- 1) ลักษณะของโฟมที่ใช้ เมทโทเซล เป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีรูพรุนของอากาศมาก มีสีขาว มีกลิ่นของมะนาว และมีความเบาบาง
- 2) ลักษณะของโฟมที่ใช้กลีเซอรอลโมโนสเตียเรตเป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีสีขาว คล้ายครีม เวลาสัมผัสกับเนื้อโฟมมีลักษณะเป็นเม็ดๆ มีกลิ่นของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตเล็กน้อย
- 3) ลักษณะของโฟมที่ใช้อัลบูมินจากไข่ขาวเป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีสีเหลืองอ่อนๆ มีกลิ่นคาวของไข่ เนื้อโฟมบางเบา มีรูพรุนมาก

นำสูตรเครื่องตีม้น้ำมะนาวที่เหมาะสมที่สุดจากนั้นนำมาผสมกับสารก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ เมทโทเซล GMS และอัลบูมินจากไข่ โดยทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดโฟมให้ได้ก่อน ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดโฟม มีผลการทดลองดังนี้ (1) ความเข้มข้นต่ำสุดของเมทโทเซล ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ 0.05 (2) ความเข้มข้นต่ำสุดของ GMS ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ 5 (3) ความเข้มข้นต่ำสุดของอัลบูมินจากไข่ในการทำให้เกิดโฟมคือ



ร้อยละ 0.5 ซึ่งเมื่อได้ปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดโฟม จะทำการเตรียมส่วนผสมใหม่อีกครั้งสำหรับการตีโฟม และทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมขึ้นอีก 4 ระดับ และทำการผันแปรเวลาตีโฟม 5 ระดับ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1.2.1 สมบัติทางกายภาพของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาว เมื่อใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดก่อให้เกิดโฟม ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1.6 – 3.1.8 ค่าโอเวอร์รันของโฟม คือการวัดปริมาณของอากาศที่ถูกตีเข้าไปในโฟม โดยค่าโอเวอร์รันที่สูงถือเป็นคุณลักษณะที่ดีสำหรับการนำไปอบแห้ง การทดสอบค่าโอเวอร์รันของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่มีเมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดยใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าปัจจัยที่ศึกษานั้นส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1.6 โฟมที่ได้มีค่าโอเวอร์รันสูงสุด เท่ากับร้อยละ 450.42 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.60 และใช้เวลาตีปั่นเป็นเวลา 30 นาที โฟมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 มีค่าโอเวอร์รันอยู่ระหว่างร้อยละ 8.28 – 50.37 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าโอเวอร์รันต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ เนื่องจากที่ระดับความเข้มข้นนี้มีการใช้ปริมาณของเมทโรเซลในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้เกิดโฟมเท่านั้น โดยที่โฟมนั้นยังไม่มีควมคงตัวแต่อย่างใด จึงทำให้ค่า โอเวอร์รันที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ และยังพบอีกว่าเวลาในการตีปั่นโฟมที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$)

เมื่อทำการเพิ่มระดับความเข้มข้นของเมทโรเซลจากร้อยละ 0.33 เป็นร้อยละ 0.60 และมีการเพิ่มเวลาในการตีปั่นโฟมด้วยนั้น พบว่าค่าโอเวอร์รันมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของเมทโรเซลจากร้อยละ 0.90 จนถึงร้อยละ 2.5 กลับพบว่าค่าโอเวอร์รันมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) และเป็นสิ่งที่สังเกตว่าที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน แต่มีการเพิ่มเวลาในการตีปั่นโฟมนั้นมีผลทำให้ค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้น ในขณะที่เวลาในการตีปั่นโฟมเท่ากันแต่มีการเพิ่มระดับความเข้มข้น เมื่อถึงความเข้มข้นหนึ่ง กลับพบว่าค่าโอเวอร์รันของโฟมมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าวัฏภาคอากาศในโครงสร้างโฟมมีน้อยลงเมื่อใช้เวลาในการตีปั่นโฟมนานขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Karim and Wai (1999) ได้ศึกษาการอบแห้งน้ำมะเฟืองด้วยวิธีการทำโฟม-แมท โดยใช้เมทโรเซล 65 เอชจี เป็นสารก่อให้เกิดโฟมในน้ำมะเฟือง พบว่าเมทโรเซลที่ระดับความเข้มข้นต่ำนั้น ขึ้นของการสัมผัสกันของฟองอากาศจะบางมากและสามารถยุบตัวได้ง่าย และผลของการเพิ่มความเข้มข้นของเมทโรเซลที่มากขึ้น อาจไปเพิ่มความหนืดของโฟมทำให้ค่าโอเวอร์รันลดลง เช่นเดียวกับ รัตนา (2545) ที่ได้ศึกษาการอบแห้งน้ำลำไยด้วยวิธีทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยใช้เมทโรเซล 65 เอชจี เป็นสารก่อให้เกิดโฟมในน้ำลำไย รายงานว่า ค่าโอเวอร์รันลดลงตามปริมาณของเมทโรเซลที่เพิ่มขึ้น และพัตสลา (2552) ได้ศึกษาการผลิตน้ำส้มผงดด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบอินฟราเรดหลังผ่านกรรมวิธีโฟม - เมท พบว่าการใช้ปริมาณสารก่อให้เกิดโฟม ซึ่งทำให้โฟมคงตัวในระดับต่างๆและใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟมน้ำส้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ซึ่งในการศึกษาใช้ เมทโรเซลร่วมกับ whipping agent ในระดับต่างๆกัน เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดยได้ค่าโอเวอร์รันสูงสุดร้อยละ 386.61 ที่ความ



เข้มข้นอัตราส่วนเมทโรเซล : whipping agent คือ 1:1 ในส่วนผสมน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 25 องศาบริกซ์

ค่าความคงตัวของโฟม การทดสอบค่าความคงตัวของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาว โดยการวัดอัตราการแยกตัวของของเหลวจากโฟม เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่มีเมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้น และเวลาในการตีปั่นไม่ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1.7 ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ค่าความคงตัวของโฟมมีค่าที่ค่อนข้างต่ำ กล่าวคือมีอัตราการแยกตัวของของเหลวที่สูงมาก ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากความสัมพันธ์ของค่าโอเวอร์รันกับค่าความคงตัว เนื่องจากค่าโอเวอร์รันที่ระดับความเข้มข้น 0.05 (ตารางที่ 4.1.6) มีค่าที่น้อยมาก จึงส่งผลต่อค่าความคงตัวทำให้โฟมมีอัตราการแยกตัวของของเหลวที่สูง เพราะรูปร่างของฟองอากาศในโฟมมีขนาดใหญ่และมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่นๆ จึงทำให้โฟมไม่มีความคงตัวมากพอ และเกิดการยุบตัวได้ง่าย

หากพิจารณาการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าการใช้ระดับความเข้มข้นที่สูง จะทำให้อัตราการแยกตัวของของเหลวมีค่าที่น้อยกว่าการใช้ความเข้มข้นที่ระดับต่ำ เนื่องจากปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมที่มีปริมาณมาก หรือมีความเข้มข้นสูงนั้น ช่วยลดแรงตึงผิวของฟองอากาศที่เกิดขึ้นได้มากกว่าการใช้ปริมาณสารก่อให้เกิดโฟมที่น้อย หรือมีความเข้มข้นต่ำ ทำให้ฟองมีความเสถียร ไม่ยุบตัว และไม่แตกออกได้ง่าย (Thuwapanichayanan *et al.*, 2006) จึงทำให้การแยกตัวของของเหลวมีค่าที่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ พัดสลา (2552) ได้ศึกษาการผลิตน้ำส้มผงดัดด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบอินฟราเรดหลังผ่านกรรมวิธีโฟม - เมท พบว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมในปริมาณมาก ทำให้โฟมน้ำส้มมีความคงตัวดีในระดับสูงกว่าการใช้ของสารก่อให้เกิดโฟมในปริมาณน้อยกว่า แต่ผลการศึกษาในครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Karim and Wai (1999) ที่รายงานว่าในการทำโฟมน้ำส้ม หรือโฟมน้ำมะม่วง เมื่อใช้สารก่อให้เกิดโฟมมากขึ้น ทำให้มีอัตราการแยกตัวของของเหลวของโฟมมากขึ้น

ค่าความหนาแน่นของโฟมของโฟมเป็นอีกคุณลักษณะหนึ่ง ที่มีความสำคัญต่อการนำโฟมไปอบแห้ง โดยความหนาแน่นควรอยู่ในระหว่างช่วง 0.20 - 0.80 กรัมต่อมิลลิตร (Torrey, 1974 อ้างใน ดรณิ, 2550) การทดสอบค่าความหนาแน่นของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่มีเมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่นส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 0.05 จนถึงร้อยละ 0.90 พบว่าความหนาแน่นของโฟมมีค่าลดลง ที่เวลาในการตีปั่นเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นเป็นร้อยละ 1.17 ค่าความหนาแน่นกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Falade, Adeyanju and Uzo-Peters (2003) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของเมทโรเซลในระดับต่างๆ มีผลต่อการลดลงของความหนาแน่นของโฟม เมื่อเพิ่มเวลาในการตีปั่นเป็น 20 นาที แต่เวลาในการตีปั่นที่มากเกินไปนั้น ไม่ส่งผลต่อความเปลี่ยนแปลง

ของความหนาแน่นของโฟม Berry *et al.* (1965) รายงานว่า การตีโฟมโดยใช้เวลานานขึ้น ไม่มีผลทำให้ความหนาแน่นลดลงไปมาก เนื่องจากโฟมไม่สามารถคงตัวอยู่ได้เพราะฟองอากาศไม่แข็งแรงพอที่จะทนต่อแรงเฉือน เนื่องจากการตีป่น ทำให้ฟองอากาศเหล่านี้แตกออก นำไปสู่การยุบตัวของโฟมเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “fatigue phenomena” และตรุณี (2550) ได้ศึกษาการผลิตกล้วยน้ำว้าผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟม - เมท โดยใช้ Methocel และ Myverol เป็นสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าการเพิ่มปริมาณ Methocel และ Myverol มีผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และการใช้ Methocel ในระดับต่ำสุดคือ 1.2 กรัมต่อกิโลกรัม และเพิ่มปริมาณ Myverol เป็น 12 15 และ 18 กรัมต่อกิโลกรัม ให้ความหนาแน่นของโฟมกล้วยต่ำสุดและไม่แตกต่างกัน โฟมกล้วยที่มีความหนาแน่นต่ำแสดงว่าการเกิด โฟมจะดีกว่าโฟมกล้วยที่มีความหนาแน่นสูง

4.1.2.2 สมบัติทางกายภาพของโฟม เมื่อใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1.9 – 4.1.11 การทดสอบค่าโอเวอร์รันของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่มี GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดยใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม และใช้เวลาในการตีป่นต่างกัน พบว่าปัจจัยที่ศึกษาส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1.9 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าโอเวอร์รันต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่นๆ เนื่องจากที่ระดับความเข้มข้นนี้เป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้เกิดโฟมเท่านั้น โดยที่โฟมยังไม่มี ความคงตัวแต่อย่างใด จึงทำให้ค่าโอเวอร์รันที่ได้มีค่าที่ค่อนข้างต่ำ และพบอีกว่าการเพิ่มเวลาในการตีป่นโฟมนั้นไม่ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

โดยค่าโอเวอร์รันสูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 106.97 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 15 และจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 ค่าโอเวอร์รันมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 15 จนถึงร้อยละ 25 ค่าโอเวอร์รันมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการตีป่น ค่าโอเวอร์รันก็มีค่าลดลงเช่นกัน เนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของ GMS เป็นผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งและความหนืด ทำให้โฟมไม่สามารถกักเก็บอากาศได้ จึงทำให้โฟมไม่สามารถเกิดขึ้นได้หรือเกิดได้ไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับ กฤต (2548) ที่ได้ศึกษาเครื่องตีผงจากผลยอผสมผลไม้ ด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม - เมท โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟมในน้ำลูกยอผสมผลไม้ พบว่าการใช้ GMS นั้น ทำให้เกิดโฟมได้แต่ไม่มีความคงตัว

การทดสอบค่าความคงตัวของโฟมเครื่องตีมน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่มี GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและใช้เวลาในการตีป่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีป่นส่งผลต่อค่าความคงตัวของโฟม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1.10 โดยค่าความคงตัวและค่าโอเวอร์รันมีความสอดคล้องกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าโอเวอร์รันต่ำมาก ก็จะมีอัตราการแยกตัวของของเหลวที่สูงมากเช่นกัน และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นให้สูงขึ้นอัตราการแยกตัวของของเหลวก็จะมีค่าลดลง แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 20 เป็น 25 จะเห็นได้ว่าอัตราการแยกตัวของของเหลวมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า

โอเวอร์รันที่น้อยของโหม (ตารางที่ 4.1.9) เนื่องจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ GMS ที่มากเกินไปนั้น เป็นการเพิ่มปริมาณของของแข็ง ทำให้โหมไม่สามารถถึงอากาศเข้ามาได้ จึงเกิดฟองน้อย

การทดสอบค่าความหนาแน่นของโหมเครื่องตีมน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่มี GMS เป็นสารก่อให้เกิดโหม และมีการใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโหมและใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่น ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของโหมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้นของ GMS ร้อยละ 15 ในทุกเวลาของการตีปั่นโหม ค่าความหนาแน่นของโหมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ GMS จากร้อยละ 5 จนถึงร้อยละ 15 และเพิ่มเวลาในการตีปั่นมากขึ้นนั้น พบว่าความหนาแน่นของโหมมีค่าลดลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับอัตราการแยกตัวของของเหลวที่ลดลง เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่น พบว่าถ้ามีการเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 25 และมีการเพิ่มเวลาในการตีปั่น ความหนาแน่นของโหมจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Falade and Okocha (2010) รายงานว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ GMS และมีระยะเวลาในการตีปั่นที่ยาวนานขึ้น จะทำให้โหมมีความหนาแน่นต่ำลง และยังคงกล่าวอีกว่า เวลาในการตีโหมสำหรับกล้วยบดไม่ควรมากกว่า 18 นาที หลังจากนั้นความหนาแน่นจะไม่ลดลงอีกต่อไป และ Subrata and Srivastav (2009) รายงานว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ GMS ในเนื้อผลไม้ปั่น ทำให้ความหนาแน่นของโหมลดลง เช่นกัน

4.1.2.3 สมบัติทางกายภาพของโหม เมื่อใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโหม ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1.12 – 2.1.14 การทดสอบค่าโอเวอร์รันของโหมเครื่องตีมน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่มีอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโหม และมีการใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโหม และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าปัจจัยที่ศึกษาส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโหมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1.12 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีค่าโอเวอร์รันต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ อาจเกิดจากที่ระดับความเข้มข้นนี้เป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้เกิดโหมเท่านั้น โดยที่โหมยังไม่มีมีความคงตัวแต่อย่างใด จึงทำให้ค่าโอเวอร์รันที่ได้มีค่าที่ค่อนข้างต่ำ และพบอีกว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการตีปั่นจะส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโหม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$)

ค่าโอเวอร์รันสูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 203.08 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10.5 เมื่อทำการเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 5.5 เป็นร้อยละ 10.5 พบว่าค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจากร้อยละ 15.5 เป็นร้อยละ 20.5 กลับพบว่าค่าโอเวอร์รันลดลง ที่ทุกๆเวลาในการตีปั่น เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของอัลบูมินจากไข่ เป็นผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งและความหนืดทำให้โหมไม่สามารถกักเก็บอากาศได้ จึงทำให้โหมเกิดได้ไม่ดีและมีความคงตัวที่ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุริดา (2552) รายงานการใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโหมในน้ำพริกสกัด พบว่าการเพิ่มปริมาณอัลบูมินจากไข่ ทำให้ค่าโอเวอร์รันมีค่าเพิ่มมากขึ้น

การทดสอบค่าความคงตัวของโพลีเมอร์คอลลอยด์น้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องคั้นน้ำมะนาวที่มีอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ และมีการใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่น ส่งผลต่อค่าความคงตัวของโพลีเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) จะเห็นได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 นั้น มีอัตราการแยกตัวของของเหลวสูงมาก และมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของอัลบูมินจากไข่ พบว่าค่าความคงตัวมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา ซึ่งหมายถึงว่าไม่มีอัตราการแยกตัวของของเหลว เพราะน้ำมะนาวมีผลไปลดค่า pH ของไข่ขาวให้เข้าสู่ค่า Isoelectric points (pI) ของโปรตีนไข่ขาว ทำให้ผิวหน้ามีคุณสมบัติทาง Rheological มากขึ้น ด้วยเหตุนี้โพลีเมอร์จึงมีความคงตัวที่ดีมาก (Ferenc, 2010)

การทดสอบค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์คอลลอยด์น้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องคั้นน้ำมะนาวที่มีอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ และมีการใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์และเวลาที่ใช้ในการตีปั่นต่างกัน ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 2.23 – 2.75 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความคงตัวที่ไม่ดีและค่าโอเวอร์รันที่ค่อนข้างต่ำของโพลีเมอร์ระดับความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 5.5 เป็นร้อยละ 10.5 และเพิ่มเวลาในการตีปั่น ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 15.5 เป็นร้อยละ 20.5 และเพิ่มเวลาในการตีปั่น ค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Thuwapanichayanan et al. (2008) ซึ่งรายงานว่า ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ที่ทำจากไข่ขาว (egg albumin) จะลดลง เมื่อเวลาในการตีปั่นเพิ่มมากขึ้น เพราะในระหว่างการตีปั่นโพลีเมอร์จะถูกนำเข้ามาในของเหลว ซึ่งทำให้เกิดฟองจึงทำให้ความหนาแน่นลดลง และยังพบอีกว่าเมื่อเวลาการตีปั่นมากกว่า 20 นาทีขึ้นไป ความหนาแน่นของโพลีเมอร์มีค่ามากขึ้นอย่างรวดเร็ว และ Lau and Dickinson (2005) รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของโพลีเมอร์ เกิดจากของเหลวมีฟิล์มบางปกคลุมอยู่มาก เครื่องมือที่ใช้ในการตีปั่นทำให้โพลีเมอร์มีรูปร่างที่ไม่ดีและฟองที่ผนังเกิดการแตก เนื่องจากเวลาการตีปั่นที่ยาวนานมากเกินไป

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าสารก่อให้เกิดโพลีเมอร์ทั้ง 3 ชนิด สามารถทำให้เกิดโพลีเมอร์ได้ แต่ให้ค่าโอเวอร์รันที่แตกต่างกัน โดยจะเลือกค่าโอเวอร์รันที่สูงที่สุด เพื่อนำไปทดลองในตอนต่อไป ซึ่งสรุประดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่นที่เหมาะสม ได้ดังต่อไปนี้ เมทโรเซล ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.60 เวลาตีปั่น 30 นาที ให้ค่าโอเวอร์รัน ร้อยละ 450.42 ค่าความคงตัว 0.07 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา และความหนาแน่น 0.49 กรัมต่อมิลลิลิตร GMS ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 เวลาตีปั่น 20 นาที ให้ค่าโอเวอร์รันร้อยละ 106.97 ค่าความคงตัว 0.02 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา และความหนาแน่น 1.29 กรัมต่อมิลลิลิตร และอัลบูมินจากไข่ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10.5 เวลาตีปั่น 30 นาที ให้ค่าโอเวอร์รัน ร้อยละ 203.08 ค่าความคงตัว 0.00 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา และความหนาแน่น 0.77 กรัมต่อมิลลิลิตร

โดยทั่วไปค่าโอเวอร์รัน และค่าความหนาแน่นของโฟมจะมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือถ้าค่าโอเวอร์รันของโฟมมีค่าสูง ค่าความหนาแน่นของโฟมก็จะมีค่าต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.1.1 (a), (b) และ (c) ซึ่งพบว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกันและความเข้มข้นที่ต่างกันนั้น มีผลต่อค่าโอเวอร์รัน และค่าความหนาแน่น โดยเมื่อค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นจะลดลง เป็นเช่นนี้ทั้งสามสารก่อให้เกิดโฟม ซึ่งอาจเกิดจากความสัมพันธ์ของค่าโอเวอร์รันของโฟมและความหนาแน่นของโฟม เพราะการที่มีค่าโอเวอร์รันสูงคือการที่มีอากาศอยู่ในโฟมเป็นจำนวนมากย่อมส่งผลให้ความหนาแน่นมีน้อยนั่นเอง และลักษณะรูปร่างของการเกิดโฟมก็ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1.1 (d) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีโฟมที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน หลังการตีปั่นโฟมที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยโฟมของเมทโรเซลจะมีลักษณะคล้ายโฟมมากที่สุด คือจะเห็นได้ด้วยสายตาวามีฟองอากาศจำนวนมากแทรกอยู่ในโฟม และเมื่อสัมผัสโฟมจะมีน้ำหนักที่เบามาก ในขณะที่ GMS โฟมที่ได้มีลักษณะคล้ายครีมสีขาว มีความหนืดมาก น้ำหนักค่อนข้างมาก และมองไม่เห็นฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ชัดเจนเท่ากับเมทโรเซล และอัลบูมินจากไข่โฟมที่ได้มีลักษณะคล้ายเมอแรงค์ น้ำหนักเบา แต่ฟองอากาศจะมีขนาดเล็กมากอัดตัวแน่น ไม่ขึ้นฟูมากเหมือนกับโฟมของเมทโรเซล ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อการเกิดโฟม เช่น องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม เป็นต้น รัตน (2547) ด้วยเหตุนี้ การใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาที่ใช้ตีปั่นโฟมที่ต่างกัน ส่งผลให้โฟมที่เกิดขึ้นมีค่าสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน และรูปร่างของโฟมหลังการตีปั่นมีลักษณะที่แตกต่างกันอีกด้วย

4.1.3 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่อุณหภูมิความร้อนต่างๆ

เมื่อทำการเลือกระดับความเข้มข้น และเวลาในการตีปั่นโฟมที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละสารก่อให้เกิดโฟม ตามที่ได้สรุปไว้ดังกล่าวข้างต้นในข้อที่ 4.1.2 จากนั้นทำการเตรียมโฟมตามระดับความเข้มข้น และทำการตีปั่นตามเวลาที่ได้ทำการคัดเลือกแล้วข้างต้น เมื่อตีปั่นโฟมเสร็จเรียบร้อย นำโฟมที่ได้ไปอบแห้งในเครื่องอบลมร้อนแบบถาด ที่ช่วงอุณหภูมิความร้อนระหว่าง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยเกลี่ยโฟมให้มีความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร พื้นที่ของโฟม 0.024 ตารางเมตร และความเร็วลมคงที่ 0.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบชั้นบาง และความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซล GMS และอัลบูมินจากไข่ซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีค่าเท่ากับร้อยละ 78.49 (wb), 42.19 (wb) และ 44.17 (wb) ตามลำดับ อบแห้งจนน้ำหนักคงที่

ในระหว่างการอบแห้ง ทำการบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างทุกๆ 5 นาทีในช่วงแรก และทุกๆ 10 นาทีในช่วงถัดไป จนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างจะคงที่ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว แสดงดังรูปที่ 4.1.2 – 4.1.4 จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่แตกต่างกัน และอบที่อุณหภูมิความร้อนต่างกัน คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณความชื้นลดลง เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น ซึ่งโฟมที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ระยะเวลาในการอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ คือ 5.5, 4 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนโฟมที่ใช้ GMS เป็นสาร

ก่อให้เกิดโฟม ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ คือ 7, 5.5 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ และโฟมที่ใช้อัลูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ระยะเวลาในการอบแห้งจนได้น้ำหนักคงที่ คือ 4, 3.7 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น ซึ่งสอดคล้องกับ Thuwapanichayanan et al. (2008) ได้ศึกษาการอบแห้งโฟมกล้วยที่ใช้อัลูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าความหนาแน่นของโฟมและอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้ง กล่าวคือโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าโฟมที่มีความหนาแน่นสูงเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน และเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นระยะเวลาในการอบแห้งก็จะสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับ Falade and Okocha (2010) ได้ศึกษาการอบแห้งโฟมของกล้วยบดที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และรู้พิกัดในโฟมก็มีส่วนต่อการลดลงของเวลาของการอบแห้งอีกด้วย ซึ่ง Karim (1999) ที่ได้ศึกษาการอบแห้งน้ำมะเฟือง โดยใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟมและอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส ก็พบว่าระยะเวลาในการอบแห้งของน้ำมะเฟืองที่ 90 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส และ Kadam and Balasubramanian (2010) ได้ศึกษาการอบแห้งของน้ำมะเชือกเทศโดยใช้อัลูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงเช่นกัน และการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน มีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง เนื่องจากโฟมที่ได้จากสารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกันมีค่าโอเวอร์รัน ความคงตัว และความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง และ Clement and Francois (2004) ได้ศึกษาการอบแห้งของโฟมกล้วยที่ใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าความคงตัวของโฟมมีความสำคัญต่อการอบแห้งของโฟมกล้วย และลักษณะของโฟมที่ได้มีรูพูนของอากาศแตกต่างกันอีกด้วย

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า การอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวมีระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้น เพราะมีอัตราการลดความชื้นที่สูง ซึ่งลักษณะกราฟจะมีความชันและจะสังเกตได้ว่าการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวจะอยู่ในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (Falling rate) ดังแสดงในรูปที่ 4.1.5 – 4.1.7

4.1.4 จลนพลศาสตร์การอบแห้งของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว

4.1.4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองจากการนำโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวไปอบแห้ง และการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโฟม ตลอดระยะเวลาการทำแห้งจนน้ำหนักคงที่ เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (MR) ตามสมการที่ (3.1) เพื่อหาแบบจำลองที่ใช้ทำนายผลการอบแห้งของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ค่าคงที่และพารามิเตอร์ต่างๆของการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งใช้สมการของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term exponential พบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวให้



ค่าคงที่ของแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1.15 - 3.1.17 ซึ่งมีการแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ RMSE, R^2_{adj} และ χ^2 ที่ได้จากการสมการแต่ละสมการ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของโคมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากตารางที่ 3.1.15 ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของโคมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term exponential พบว่าแบบจำลองของ Page มีค่า R^2_{adj} เท่ากับ 0.9954, 0.9958 และ 0.9964 ค่า RMSE เท่ากับ 0.02130, 0.02028 และ 0.01853 และมีค่า χ^2 เท่ากับ 0.00048, 0.00043 และ 0.00037 ตามลำดับ และแบบจำลองของ Two – term exponential มีค่า R^2_{adj} เท่ากับ 0.9960, 0.9954 และ 0.9960 ค่า RMSE เท่ากับ 0.01885, 0.02028 และ 0.01885 และมีค่า χ^2 เท่ากับ 0.00033, 0.00045 และ 0.00039 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งสามอุณหภูมิ แบบจำลองของ Page และ Two – term exponential มีค่า R^2_{adj} ที่สูงและใกล้เคียงกัน ในส่วนค่า RMSE และค่า χ^2 ก็มีค่าที่ต่ำที่ใกล้เคียงกัน

ด้วยเหตุนี้จึงเลือกแบบจำลองของ Page มาทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งโคมเครื่องตีมน้ำมะนาว เนื่องจากแบบจำลองของ Page นี้มีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์น้อยกว่าแบบจำลองของ Two – term exponential และเป็นที่น่าพอใจเมื่อนำมาใช้ทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งโคมเครื่องตีมน้ำมะนาว Kalpana et al. (2009) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของใบพลูที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าแบบจำลองของ Page สามารถทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งใบพลูได้เหมาะสมที่สุด Ibrahim (2006) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งขององุ่นดำ ที่อบแห้งในอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.1 เมตรต่อวินาที พบว่าแบบจำลองของ Page ให้ค่า R^2 ที่สูง และมีค่า χ^2 ที่ต่ำ ด้วยเหตุนี้แบบจำลองของ Page จึงเหมาะสำหรับการทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งองุ่นดำได้ดีที่สุด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของโคมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากตารางที่ 4.1.16 ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของโคมเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term exponential พบว่าแบบจำลองของ Henderson and Pabis สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดี โดยมีค่า R^2_{adj} เท่ากับ 0.9819, 0.9899 และ 0.9920 ตามลำดับ มีค่า RMSE เท่ากับ 0.03429, 0.02810 และ 0.02762 ตามลำดับ และมีค่า χ^2 เท่ากับ 0.00262, 0.00083 และ 0.00082 ตามลำดับ และค่าคงที่ที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ Lewis, Page และ Two – term exponential ก็สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้เช่นกัน โดยมีค่า R^2_{adj} อยู่ในช่วง 0.9360 – 0.9958 มีค่า RMSE อยู่ในช่วง 0.02001 – 0.06519 และมีค่า χ^2 อยู่ในช่วง 0.00043 – 0.00434

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ตารางที่ 4.1.17 ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term exponential พบว่าแบบจำลองของ Henderson and Pabis สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดี โดยมีค่า R^2_{adj} เท่ากับ 0.9985, 0.9914 และ 0.9973 ตามลำดับ มีค่า RMSE เท่ากับ 0.01082, 0.02450 และ 0.01394 ตามลำดับ และมีค่า χ^2 เท่ากับ 0.00013, 0.00064 และ 0.00021 ตามลำดับ และค่าคงที่ที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ Page และ Two – term exponential ก็สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้เช่นกัน โดยมีค่า R^2_{adj} อยู่ในช่วง 0.9927 – 0.9986 มีค่า RMSE อยู่ในช่วง 0.01039 – 0.02256 และมีค่า χ^2 อยู่ในช่วง 0.00012 – 0.00055

โดยสรุปสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งที่เหมาะสมของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างกัน พบว่าโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม แบบจำลองของ Page เหมาะสมในการทำนายอัตราส่วนความชื้นได้เหมาะสมที่สุด และโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม แบบจำลองของ Henderson and Pabis เหมาะสมในการทำนายอัตราส่วนความชื้นได้เหมาะสมที่สุด และผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่า drying constant (k) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า k มีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ในการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงมีระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยหากค่า k มีค่ามาก แสดงว่าการอบแห้งใช้เวลาสั้น (สุนทรและฤทธิชัย, 2554)

4.1.5 ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง

เมื่อนำโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีโคม-เมท ตามสภาวะที่ได้นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยจะอบแห้งตามระยะเวลาที่ได้นำมาต้มน้ำโคมใหม่อีกครั้ง เมื่อต้มน้ำโคมเสร็จให้นำโคมที่ได้มาอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาด การอบแห้งตามระยะเวลาที่ได้ จากนั้นนำโคมที่แห้งแล้วออกมาชูดเพื่อให้หลุดออกจากถาด แล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกไม่ต้องบดเก็บไว้ในลักษณะแบบแผ่นเพื่อไปส่องดูลักษณะของรูพรุน และส่วนที่สองนำไปบดให้เป็นผงเพื่อนำผงที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสทั้งก่อนและหลังการงั่นละลาย โดยแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ ได้ดังนี้

4.1.5.1 ลักษณะของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาวหลังจากอบแห้งแล้ว แต่ยังไม่ได้ทำการบดเป็นผงเมื่อได้โคมเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ผ่านการอบแห้งในอุณหภูมิต่างๆ ที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกันแล้ว จากนั้นนำไปส่องดูด้วยเครื่องโฟกัส ไอออนบีม (Focused Ion Beam) กำลังขยาย 200X เพื่อดูลักษณะของรูพรุนของโคมเครื่องต้มน้ำมะนาว ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1.11 – 4.1.13

ลักษณะของรูปพูนโพนเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโพน พบว่าลักษณะของรูปพูนของโพนเครื่องตีมน้ำมะนาว หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ส่องดูด้วยเครื่องโฟกัส ไอออนบีม พบว่าโพนอบแห้งที่อุณหภูมิทั้งสามมีรูปพูนกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งทางด้านผิวหน้า (Surface) และด้านภาคตัดขวาง (Cross) ซึ่งลักษณะของรูปพูนมีลักษณะคล้ายกับตาข่ายเหมือนกันทั้งหมด และรูปพูนด้านผิวหน้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 45 – 270 ไมโครเมตร และด้านภาคตัดขวางมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 45 – 270 ไมโครเมตร

ลักษณะของรูปพูนโพนเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโพน พบว่าลักษณะของรูปพูนของโพนเครื่องตีมน้ำมะนาว หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่ารูปพูนด้านผิวหน้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 9 – 45, 9 – 90 และ 45 – 225 ไมโครเมตร ตามลำดับ และด้านภาคตัดขวาง มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 90 – 180, 45 – 270 และ 90 – 270 ไมโครเมตร ตามลำดับ และขนาดของรูปพูนด้านผิวหน้าของอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีขนาดเล็กที่สุด และใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น และยังพบอีกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ด้านผิวหน้าของรูปพูนมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่มาก อาจเกิดจากในระหว่างการอบแห้งฟองอากาศเล็กๆมีการรวมกลุ่มกัน จนทำให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่มากขึ้น และขณะที่การอบแห้งนั้นโพนได้มีการยุบตัวลงไปมาก ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้โพนเกิดการยุบตัวลงในขณะอบแห้ง และจากด้านภาคตัดขวางจะเห็นว่าโครงสร้างภายในไม่ค่อยเป็นระเบียบ และไม่ค่อยมีรูปพูนของฟองอากาศ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าโอเวอร์รันที่ค่อนข้างต่ำและลักษณะภายนอกของโพนเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโพน

ลักษณะของรูปพูนโพนเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโพน พบว่าลักษณะของรูปพูนของโพนเครื่องตีมน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่ เป็นสารก่อให้เกิดโพนหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าโพนที่แห้งแล้วจากการอบทั้ง 3 อุณหภูมิ จะมีรูปพูนกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งทางด้านผิวหน้าและภาคตัดขวาง แต่ว่าขนาดของรูปพูนด้านผิวหน้าจะมีขนาดที่ค่อนข้างเล็กและก็มีจำนวนไม่มาก เมื่อเทียบกับจำนวนของรูปพูนด้านภาคตัดขวาง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับรังผึ้ง และมีจำนวนรูปพูนค่อนข้างมาก ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากโปรตีนเกิดการเสียสภาพขณะการอบแห้ง จึงทำให้ความร้อนส่งผ่านออกมาทางผิวหน้าได้น้อย รูปพูนด้านผิวหน้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 9 – 45 ไมโครเมตร และด้านภาคตัดขวางมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 45 – 180 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าด้านผิวหน้าของโพนที่อบในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีจำนวนรูปพูนน้อยที่สุดและมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น ที่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้บริเวณด้านผิวหน้าของโพนมีการส่งผ่านความร้อนขึ้นมามากขึ้น ทำให้ผิวหน้าของโพนมีจำนวนรูปพูนมากขึ้น ส่วนด้านภาคตัดขวางจะเห็นว่ามียุพูนค่อนข้างหนาแน่นและละเอียด ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการตีปั่นของโพนมีส่วนทำให้อากาศเข้าไปอัดตัวภายในมากยิ่งขึ้น

จากลักษณะรูปพรุนของโพรเซสเครื่องตีน้ำมะนาว ที่ใช้สารก่อให้เกิดโพรเซสต่างชนิด เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการอบแห้ง โดยโพรเซสที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโพรเซสนั้นใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่าโพรเซสที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโพรเซส ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของรูปพรุน ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปพรุนของโพรเซสที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโพรเซสนั้น มีรูปพรุนที่มากกว่าและยังมีลักษณะของรูปพรุนเป็นโพรง ซึ่งทำให้การส่งผ่านความร้อนมายังผิวหน้าของโพรเซสเป็นไปได้ดีกว่าโพรเซสของสารก่อให้เกิดโพรเซสอีกสองชนิด และในระหว่างการอบแห้งโพรเซสที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโพรเซสนั้น มีการยุบตัวลงในหลายๆอุณหภูมิของการอบแห้ง ซึ่งอาจเกิดจากที่มีค่าโอเวอร์รันที่ต่ำนั่นเอง และโพรเซสที่มีลักษณะคล้ายครีมมากกว่าคล้ายโพรเซสอีกด้วย ในส่วนของโพรเซสที่ใช้แอลูมินจากไซเป็นสารก่อให้เกิดโพรเซส ถึงแม้ว่าจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าโพรเซสที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโพรเซส แต่โพรเซสที่ใช้แอลูมินจากไซมีกลิ่นของไซหลังการอบแห้ง และโพรเซสที่อบแห้งนั้นยังคงมีลักษณะนิ่มอยู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะรูปพรุนของโพรเซสด้านผิวหน้าจะมีจำนวนรูปพรุนที่ไม่มาก จึงทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้ไม่ดีนัก

4.1.5.2 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีน้ำมะนาวผงบ ก่อนการขงละลาย นำโพรเซสเครื่องตีน้ำมะนาวที่แห้งแล้วมาบดให้เป็นผงจากนั้นนำเครื่องตีน้ำมะนาวผงบ ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.18

4.1.5.3 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีน้ำมะนาวผงบ เมื่อใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโพรเซส จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีน้ำมะนาวผงบที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโพรเซส ได้ผลดังตารางที่ 4.1.18 พบว่าค่า L^* (ความสว่าง) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และจะเห็นได้ว่าค่าความสว่างจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับชุดิมา และคณะ (2553) ที่ได้ศึกษาผลผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูปจากตะไคร้ด้วยการทำแห้งแบบโพรเซส - เมท โดยใช้สารที่ก่อให้เกิดโพรเซส 3 ชนิด คือ เมทโรเซล เมทโรเซลร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (1:1) และเมทโรเซลร่วมกับโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (1:1) ปริมาณร้อยละ 50 (โดยน้ำหนัก) ผสมลงในส่วนสกัดจากใบตะไคร้ ความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโพรเซส 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (โดยน้ำหนัก) ตีให้เป็นโพรเซส และอบแห้งที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า L^* จะลดลง ค่า a^* ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ -0.78 และ -0.46 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.23 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำ ค่า a^* มีค่าติดลบซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเขียว ในขณะที่อุณหภูมิสูง ค่า a^* มีค่าเป็นบวก ซึ่งแสดงลักษณะความเป็นสีแดง ที่เป็นเช่นนี้ อาจเกิดจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้น เพราะสีของอาหารหลังการอบแห้งจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการอบแห้งทำให้ลักษณะผิวหน้าของอาหารเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการสะท้อนแสง สีเปลี่ยนเพราะความร้อนที่สูงขึ้นและยังเป็นอาหารที่มีน้ำตาลสูง ทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นได้ง่าย (รุ่งนภา, 2535) ค่า b^* ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า b^* ถ้าเป็นบวกจะให้ความเป็น

สีเหลือง ซึ่งทั้ง 3 อุณหภูมิให้ค่าบวก แสดงว่าเครื่องต้มน้ำมะนาวผง มีค่าความเป็นสีเหลืองทั้ง 3 อุณหภูมิ ซึ่งตรงกับสีของเครื่องต้มน้ำมะนาวเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง

ปริมาณความชื้น พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับร้อยละ 16.74, 15.46 และ 15.31 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น และค่า aw พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.23, 0.18 และ 0.16 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547) ที่ระบุว่า เครื่องต้มน้ำมะนาวผงสำเร็จรูปต้องมีค่า aw ไม่เกิน 0.6 การที่ค่า aw อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 หรือต่ำกว่า ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งค่า aw เป็นตัวชี้บ่ง หรือทำนายการเสื่อมสลายและการเน่าเสียของอาหาร และเป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นาน และมีความคงตัวดี (นิธิยา, 2544) และขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

4.5.1.4 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง เมื่อใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 3.1.17 พบว่าค่า L^* (ความสว่าง) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P > 0.05$) ค่า a^* ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ -0.26, -0.25 และ -0.09 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่า a^* มีค่าติดลบ ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเขียวและค่า b^* ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) แต่ทั้งสามอุณหภูมิก็ให้ค่าที่เป็นบวก แสดงว่าเครื่องต้มน้ำมะนาวผงมีค่าความเป็นสีเหลืองทั้ง 3 อุณหภูมิ

ปริมาณความชื้น พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.85, 10.25 และ 12.39 ตามลำดับ ค่า aw พบว่า ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.27, 0.31 และ 0.26 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547) ที่ระบุว่า น้ำมะนาวผงสำเร็จรูปต้องมีค่า aw ไม่เกิน 0.6 การที่ค่า aw อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 หรือต่ำกว่า ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งค่า aw เป็นตัวชี้บ่ง หรือทำนายการเสื่อมสลาย และการเน่าเสียของอาหาร ทั้งเป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นาน และมีความคงตัวดี (นิธิยา, 2544) ขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

4.1.5.5 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง เมื่อใช้อัลบูมินจากไข่ เป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่ใช้ อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.1.18 พบว่าค่า L^* (ความสว่าง) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ค่า a^* ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) และจะ

เห็นได้ว่า ค่า a^* มีค่าติดลบซึ่งแสดงถึงความเป็นสืเชียว และค่า b^* ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ซึ่งทั้ง 3 อุณหภูมิให้ค่าบวก แสดงว่าเครื่องต้มน้ำมะนาวผง มีค่าความเป็นสืเหลืองทั้ง 3 อุณหภูมิ

ปริมาณความชื้น พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.59, 11.89 และ 9.15 ตามลำดับ ค่า a_w พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.27, 0.29 และ 0.24 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547) ที่ระบุว่า น้ำมะนาวผงสำเร็จรูปต้องมีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 การที่ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 หรือต่ำกว่า ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งค่า a_w เป็นตัวชี้บ่ง หรือทำนายการเสื่อมสลาย และการเน่าเสียของอาหาร และเป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นาน และมีความคงตัวดี (นิริยา, 2544) ขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

ในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซล GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 3.1.17 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่อบแห้งในอุณหภูมิเดียวกัน แต่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน จะเห็นได้ว่าค่า L^* , a^* , b^* ปริมาณความชื้น ค่า a_w และขนาดอนุภาคแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการที่ใช้สารก่อเกิดโฟมต่างชนิดกัน มีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีที่ได้แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารก่อให้เกิดโฟมมีลักษณะที่ต่างกัน และปริมาณที่ใช้ในการทำให้เกิดโฟมก็ใช้ในปริมาณที่ต่างกันอีกด้วย จึงเป็นเหตุให้คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีที่ได้มีความแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะทำการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันก็ตาม

4.1.5.6 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง หลังการขงละลาย นำเครื่องต้มน้ำมะนาวผงมาทำการขงละลาย โดยนำเครื่องต้มน้ำมะนาวผงละลายในอัตราส่วน ผง:น้ำ คือ 1:3 ในน้ำอุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ทำการคนจนเครื่องต้มน้ำมะนาวผง ละลายจนหมด จากนั้นนำเครื่องต้มน้ำมะนาวที่ละลายเรียบร้อยแล้วไปวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.19

คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงหลังการขงละลายที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 3.1.19 พบว่าค่าสี L^* , a^* ความสามารถในการคืนรูป ความหนืด ความหนาแน่น และปริมาณวิตามินซีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P > 0.05$) กับอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ค่า b^* ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเป็นกรดต่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง หลังการขงละลายที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 3.1.18 พบว่าค่า a^* และปริมาณวิตามินซีของทั้งสามอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$) และค่า L^* ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ค่า b^* ความหนืด ความหนาแน่น และความเป็นกรดต่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส และความสามารถในการคั้นรูปที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

4.1.5.7 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง หลังการขงละลายที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.1.19 พบว่าค่า a^* ของทั้งสามอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$) แต่ความหนืด และความเป็นกรดต่างของทั้งสามอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq 0.05$) และปริมาณกรดทั้งหมด ค่า L^* ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq 0.05$) กับที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ค่า b^* ความสามารถในการคั้นรูป และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณวิตามินซีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงหลังการขงละลายของโฟมที่ใช้เมทโรเซล GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.1.19 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่อบแห้งในอุณหภูมิเดียวกัน แต่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน จะเห็นได้ว่าค่า L^* , a^* , b^* ค่าความสามารถในการคั้นรูป ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของสามอุณหภูมิ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq 0.05$) โดยค่าความสามารถในการคั้นรูปของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีความสามารถในการคั้นรูปสูงที่สุดโดยเฉลี่ยร้อยละ 95.01 ในขณะที่เครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีความสามารถในการคั้นรูปร้อยละ 77.67 และ 83.63 ตามลำดับ แต่ถึงอย่างไรก็ตามการที่เครื่องต้มน้ำมะนาวผงมีความสามารถในการคั้นรูปที่สูง แต่ก็ยังพบว่ามีปัญหาในการคั้นรูปอยู่ เนื่องจากว่าเครื่องต้มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซล และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟมเกิดการลอยตัวและการรวมตัวเป็นก้อนขณะทำการคนละลาย จึงทำให้การละลายใช้เวลาค่อนข้างนาน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Bockain et al. (1957) ที่รายงานว่า การทำแห้งแบบโฟม - เมท จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก และมีความหนาแน่นต่ำ



จึงเกิดการลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลว และจากการที่มีอนุภาคที่เล็กทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างอนุภาค ส่งผลให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมผ่านระหว่างอนุภาคหรือแทรกซึมผ่านได้น้อย ทำให้อนุภาคไม่เปียกอย่างสม่ำเสมอ เกิดการรวมเป็นก้อนโดยที่ผิวนอกเปียกแต่ภายในตรงกลางไม่เปียก จึงทำให้ความสามารถในการคืนรูปเสียไปและใช้เวลานานในการละลาย แต่สำหรับเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ไม่พบปัญหาการรวมกันเป็นก้อนขณะละลาย เนื่องจากเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ได้จากการอบแห้งมีน้ำหนักค่อนข้างมาก จึงจมน้ำได้ง่ายและไม่พบปัญหารวมตัวเป็นก้อน แต่กลับพบปัญหาในการกระจายตัว คือเมื่อทำการละลายน้ำจะมีลักษณะเป็นเม็ดๆ ทำให้เกิดลักษณะที่ไม่พึงประสงค์

ค่าปริมาณกรดทั้งหมดของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิด มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.26 – 2.47 ค่าความหนืด พบว่าเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง ที่ใช้เมทโรเซล และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความหนาแน่น พบว่าเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับที่อุณหภูมิ 60 และ องศาเซลเซียส กับเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซล และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่าความหนาแน่นของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$)

ค่าความเป็นกรดต่าง พบว่าเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิดที่อบแห้งในอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซล และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ปริมาณวิตามินซี พบว่าเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง ที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P > 0.05$)

โดยสรุป ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกันและอบแห้งในอุณหภูมิต่างกัน จะเห็นได้ว่าชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม และอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อคุณลักษณะทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง แต่เครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟมนั้นไม่เหมาะสมที่จะนำไปรับประทานได้ เนื่องจากมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ในขณะที่เครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ไม่ส่งผลกระทบต่อรสชาติและกลิ่นของเครื่องตีม้น้ำมะนาวผง ดังนั้นจึงเลือกเครื่องตีม้น้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม นำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

4.1.6 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

เมื่อทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ดังที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงมาทำการชงละลาย และนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale คุณลักษณะด้านสี กลิ่นมะนาว กลิ่นน้ำผึ้ง รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.20

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม พบว่าคะแนนของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ที่ชงละลายในคุณภาพด้านสี กลิ่นมะนาว กลิ่นน้ำผึ้ง รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

กล่าวโดยสรุป พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ทั้งก่อนและหลังชงละลาย แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส และเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน เมื่อผ่านการอบแห้งแล้วพบว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปรับประทาน เนื่องจากมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ แต่สำหรับเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ไม่พบปัญหาดังกล่าว จึงมีการนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งทั้งสามอุณหภูมินั้นได้ค่าคุณภาพที่ใกล้เคียงกับเครื่องดื่มน้ำมะนาวก่อนการนำมาอบแห้ง แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพราะว่าการผลิตที่ได้นอกจากจะมีคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเครื่องดื่มน้ำมะนาวแล้ว ยังใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ไม่นานจนเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และถึงแม้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แต่ทำให้เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ได้มีสีที่เปลี่ยนแปลงไป และเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ด้วยเหตุนี้ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงด้วยวิธีโฟม - เมท

ข้อดีและข้อด้อยของการอบแห้งแบบโฟม - เมท จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีการอบแห้งแบบโฟม - เมท เป็นวิธีการที่ง่ายและไม่ได้มีความซับซ้อน อีกทั้งยังได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มีวิตามินซีสูงกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ได้มีค่าวิตามินซี 1.12 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร เมื่อเทียบกับน้ำมะนาวที่อบแห้งแบบพ่นฝอย มีวิตามินซี 0.03 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร (Roustapour et al. 2006) ซึ่งอุณหภูมิของการอบแห้งแบบโฟม - เมท นั้นใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่ข้อด้อยของการอบแห้งแบบโฟม - เมท คือ การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากการที่จะตีโฟมในปริมาณมากๆ เป็นเรื่องที่ยาก และการเกลี่ยโฟมลงบนถาดเพื่อนำไปอบแห้ง ต้องใช้ความรวดเร็ว ซึ่งอาจจะต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จึงเป็นเรื่องที่ยากจะ



ยากสำหรับการนำไปใช้จริงในโรงงาน แต่สำหรับการผลิตในครัวเรือนหรือวิสาหกิจชุมชน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่ายกว่าและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอย

4.1.7 ผลของอุณหภูมิต่อ adsorption isotherm ของเครื่องต้มน้ำมะนาวผง

ผลการเก็บรักษาเครื่องต้มน้ำมะนาวผงไว้ที่สภาวะบรรยากาศแตกต่างกันจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ แสดงดังรูปที่ 4.1.14 จากภาพ พบว่า อุณหภูมิการเก็บรักษาและความชื้นสัมพัทธ์ส่งผลต่อความชื้นของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาความชื้นของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงเมื่อเก็บในสภาพความชื้นสัมพัทธ์คงที่ พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นของเครื่องต้มน้ำมะนาวผงจะต่ำลง



5.2 การผลิตมะม่วงขึ้นอบแห้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ และการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ

5.2.1 ลักษณะการลดความชื้นของขึ้นมะม่วง และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และ อัตราการอบแห้ง

ลักษณะการอบแห้งของขึ้นมะม่วงสุกที่มีลักษณะเป็นลูกเต๋ารูปขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในตู้อบลมร้อนขนาดห้องปฏิบัติการ ซึ่งภายใต้สภาวะดังกล่าวพบว่า ปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง โดยปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงจะลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงแรกของการอบแห้ง คือช่วงประมาณ 4 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง จากนั้นปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงหนึ่งชั่วโมงถัดมา (รูปที่ 4.2.1) การที่ปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงมีการลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงแรกของการอบแห้ง อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นขึ้นมะม่วงต้องใช้เวลาในการสะสมพลังงานความร้อนเพื่อใช้ทั้งการเพิ่มอุณหภูมิ (sensible heat) และการระเหยของน้ำออกจากขึ้นมะม่วง (latent heat of vaporization) ประกอบกับการหมุนเวียนของอากาศในตู้อบลมร้อนขนาดเล็กเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นการถ่ายเทมวลสารของน้ำออกจากขึ้นมะม่วงจึงเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ส่งผลให้กระบวนการทำแห้งโดยรวมเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 4 ชั่วโมงของการอบแห้ง ปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงลดลงเหลือประมาณร้อยละ 67 การอบแห้งต่อไปส่งผลให้ปริมาณปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงลดลงในอัตราที่สูงกว่าช่วงแรกของการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงกับอัตราการทำแห้ง พบว่าอัตราการทำแห้งขึ้นมะม่วงจะมีค่าค่อนข้างต่ำในช่วงที่ปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงมีค่าสูงอยู่ ในช่วงแรกของการทำแห้ง (รูปที่ 4.2.2) หลังจากนั้นอัตราการทำแห้งขึ้นมะม่วงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งขึ้นมะม่วงมีความชื้นค่าหนึ่ง (ประมาณร้อยละ 67) จากนั้นอัตราการทำแห้งมีแนวโน้มจะค่อยๆ ลดลงตามปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงที่ลดลง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการการอบแห้งขึ้นมะม่วงไม่มีช่วงของการทำแห้งคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากเตรียมขึ้นมะม่วงให้มีขนาดเล็กจึงมีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนและมวลสารที่มาก ทำให้เกิดสมดุลของการถ่ายเทมวลสารของน้ำจากภายในขึ้นมะม่วงไปยังผิวเป็นช่วงเวลาสั้นมาก

5.2.2 ผลของปริมาณความชื้นเริ่มต้นในขึ้นมะม่วงที่มีต่อสมบัติของขึ้นมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟขนาดเล็ก

ปริมาณความชื้น หรือปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการสร้างความร้อนขึ้นในอาหารด้วยพลังงานไมโครเวฟ ซึ่งจากการศึกษาได้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นเทียบกับเวลาในการอบแห้ง และอัตราการทำแห้งเทียบกับปริมาณความชื้นในการอบแห้งมะม่วงขึ้นที่ผ่านการอบในตู้อบลมร้อนข้อ 4.2.1 โดยการนำขึ้นมะม่วงสุกที่มีลักษณะเป็นรูปลูกเต๋ารูปขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 2 ระดับ คือร้อยละ 36.18 และ 46.44 มาอบในตู้อบ



ไมโครเวฟขนาดเล็กที่ 2 ระดับกำลังงาน คือ 360 และ 600 วัตต์ นาน 30, 60 และ 90 วินาที จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นมะม่วงที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมี

กำลังงานของไมโครเวฟ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี และค่าการทดสอบทางลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นและค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (total color difference, ΔE^*) ของมะม่วงขึ้นอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.2.1)

เมื่อใช้ไมโครเวฟที่มีกำลังงานเท่ากัน และใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากัน มะม่วงขึ้นที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำ (36.18 %) เมื่อผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟขนาดเล็กแล้วจะมีค่าปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี ต่ำกว่ามะม่วงขึ้นที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงกว่า (46.44 %) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นในชิ้นมะม่วง โดยปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในชิ้นมะม่วงหลังจากผ่านการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนยังสามารถถูกไมโครเวฟทำให้เกิดการระเหยและแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้อีก

ปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 36.18 กำลังงานของไมโครเวฟ 600 วัตต์ และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนาน 1.5 นาที มะม่วงขึ้นอบแห้งที่ได้มีค่าปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือร้อยละ 18.16 ± 0.63 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผลไม้อบแห้ง ที่กำหนดให้มีค่าปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 18 (มพช.๑๓๖/๒๕๕๖) ที่สภาวะดังกล่าว ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์ก็มีค่าต่ำที่สุดด้วย คือ 0.67 ± 0.04 โดยค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่ต่ำกว่า 0.7 นี้ เชื้อราและแบคทีเรียส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผลไม้อบแห้ง ที่กำหนดให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ไม่เกิน 0.75 (มพช.๑๓๖/๒๕๕๖) อย่างไรก็ตามที่สภาวะดังกล่าวนี้มีค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ค่อนข้างสูง คือมีค่าเท่ากับ 7.08 ± 2.73 และมีผลิตภัณฑ์ขึ้นมะม่วงอบแห้งที่ได้ยังมีค่าความแข็งสูงที่สุดคือ 581.50 ± 64.40 กรัม แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะสัมผัสที่แห้งและแข็งไม่เหมาะแก่การบริโภค

เมื่อใช้กำลังงานไมโครเวฟที่ต่ำลง คือ 360 วัตต์ ขึ้นมะม่วงที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 36.18 เมื่ออบแห้งเป็นเวลานาน 1 และ 1.5 นาที จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแข็ง และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ลดลงเมื่อเทียบกับสภาวะการอบแห้งที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามค่าปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตีของขึ้นมะม่วงจะมีค่าสูงกว่า (เมื่อเปรียบเทียบกับ มะม่วงที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 36.18 ถูกอบแห้งที่ กำลังงาน 600 วัตต์ และใช้เวลาในการอบนาน 1.5 นาที) โดยมีค่าปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง $25.94 \pm 1.52 - 27.91 \pm 3.29$ % และ $0.78 \pm 0.02 - 0.81 \pm 0.02$ ตามลำดับ ซึ่งค่าวอเตอร์แอกติวิตีในช่วงนี้สามารถยับยั้งการเจริญของยีสต์ และแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ เนื่องจากมีค่าต่ำกว่า 0.9 นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้กำลังงานไมโครเวฟ 600 วัตต์ ในการอบขึ้นมะม่วงที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 36.18 ใช้เวลาในการอบแห้ง 0.5 นาที มะม่วงอบแห้งที่ได้นั้นมีค่าปริมาณความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี ความแข็ง ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) และความหนาแน่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่สภาวะการอบที่ใช้กำลังงาน 360 วัตต์ นาน 1 และ 1.5 นาที (ขึ้นมะม่วงมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 36.18) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการอบแห้งหากใช้กำลังงานสูง เวลาที่ใช้ในการอบแห้งก็จะสั้นลง และถ้าใช้กำลังงานต่ำ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งก็จะนานกว่า ผลจากการทดลองนี้ ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกปริมาณความชื้นเริ่มต้นของขึ้นมะม่วงเท่ากับร้อยละ 36.18 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาทดลองต่อไป

5.2.3 ผลของกำลังงานของเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศระดับอุตสาหกรรม และเวลาในการอบแห้งต่อสมบัติของมะม่วงขึ้นอบแห้ง

นำตัวอย่างขึ้นมะม่วงสุกในลักษณะเดียวกับที่ศึกษาในตอนต้นที่ 4.2.1 และ 4.2.2 แต่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 36.18 นำมาศึกษาผลของกำลังงานไมโครเวฟ (1440, 1920 และ 2400 วัตต์) และระยะเวลาการอบแห้ง (10, 20, 30 และ 40 นาที) โดยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศระดับอุตสาหกรรม โดยใช้ความดันสุญญากาศเท่ากับ -600 มิลลิเมตรปรอท ผลของกำลังงานไมโครเวฟที่มีต่อปริมาณความชื้นของมะม่วงขึ้นอบแห้งภายใต้สุญญากาศ (รูปที่ 4.2.3) พบว่าปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงจะลดลง ตามระยะเวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการสร้างแนวเส้นตรงตามข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นที่ได้ จะสามารถประมาณอัตราการแห้งได้จากความชัน (slope) ของแนวเส้นตรงที่สร้างขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบแนวเส้นตรงที่สร้างสำหรับแต่ละกำลังงานไมโครเวฟ พบว่าการใช้กำลังงานไมโครเวฟที่สูง ทำให้ปริมาณความชื้นในขึ้นมะม่วงลดลงมากกว่าเมื่อใช้ไมโครเวฟกำลังงานต่ำ โดยเมื่อใช้ไมโครเวฟกำลังงาน 1440 วัตต์ จะได้อัตราการลดความชื้นของขึ้นมะม่วง ประมาณ 0.44 กรัมต่อกรัมนาที ในขณะที่อัตราการลดความชื้นเมื่อใช้กำลังงานไมโครเวฟ 1920 และ 2400 มีค่าประมาณ 0.60 และ 0.73 กรัมต่อกรัมนาที ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการลดลงของความชื้นในกรณีที่ใช้กำลังงานสูง 2400 วัตต์ มีแนวโน้มว่าจะไม่เป็นไปอย่างเส้นตรง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งความแม่นยำของการนำสมการไปใช้ในการคาดคะเนผลนั้นโดยทั่วไปสมการที่นำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 (คณาจารย์ภาควิชาสถิติ)

แนวโน้มการลดลงของค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเทียบกับเวลาการอบแห้งขึ้นมะม่วงด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างกัน (รูปที่ 4.2.4) จะเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณความชื้น โดยค่าวอเตอร์แอคทิวิตีจะมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น และจากการเปรียบเทียบแนวเส้นตรงที่แสดงการลดลงของวอเตอร์แอคทิวิตีของมะม่วงขึ้น พบว่ากำลังงานที่สูงช่วยในการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีได้มากกว่าเมื่อใช้กำลังงานที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก มีอัตราการใช้พลังงานเพื่อเปลี่ยนไปเป็นความร้อนสูงขึ้น และเมื่อมีความร้อนมากขึ้นก็จะส่งผลต่อการระเหยของน้ำอิสระที่อยู่ในขึ้นมะม่วงที่มากขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีลดลงอีกด้วย อย่างไรก็ตามค่า R^2 ที่ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อใช้ไมโครเวฟกำลังงานสูงแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง เช่นเดียวกับกรณีของปริมาณความชื้น

การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ของชิ้นมะม่วงอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังงานต่างๆ พบว่า กำลังงานไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแตกต่างจากสีของมะม่วงสด อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น ผลของกำลังงานที่ใช้ในการอบแห้งก็ลดลง (รูปที่ 4.2.4) แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการอบแห้งชิ้นมะม่วงเป็นเวลาน้อยกว่า 40 นาทีด้วยกำลังงาน 1440 วัตต์ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุด แสดงว่ามีสีของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับสีของมะม่วงสดมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากกำลังงานที่เพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิของชิ้นมะม่วงเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้สีของชิ้นมะม่วงมีสีเข้มขึ้นจึงต่างจากสีเริ่มต้นของมะม่วง การได้รับพลังงานไมโครเวฟเป็นเวลานานส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมดของชิ้นมะม่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

ค่าความแข็ง (hardness) ของชิ้นมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สุญญากาศ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง การใช้กำลังงานไมโครเวฟที่สูงมีผลทำให้ชิ้นมะม่วงที่ได้มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.2.6) เนื่องจากชิ้นมะม่วงได้รับพลังงานไมโครเวฟมากขึ้นและมีการสูญเสียความชื้นมากขึ้นด้วยโดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าของชิ้นมะม่วง เนื่องจากการทำแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นของชิ้นมะม่วง ทำให้ชิ้นมะม่วงที่ทำแห้งมีความชื้นลดลง เมื่อความชื้นลดลงก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น และที่กำลังงานสูงขึ้น อัตราการทำแห้งของมะม่วงก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นของมะม่วงลดลงมากกว่าที่กำลังงานต่ำกว่า ทำให้มะม่วงมีค่าความแข็งสูงกว่า อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของความแข็งของชิ้นมะม่วงตามระยะเวลาการอบแห้งมีแนวโน้มที่ไม่ได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ดังจะเห็นได้จากค่า R^2 ที่มีค่าค่อนข้างต่ำ

ค่าความหนาแน่นของชิ้นมะม่วงเทียบกับเวลาในการอบแห้งที่กำลังงานต่างๆ พบว่า ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลของกำลังงานที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า ที่กำลังงานสูงมีแนวโน้มในการลดค่าความหนาแน่นของชิ้นมะม่วงได้มากกว่าเมื่อใช้กำลังงานที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ค่า R^2 ของสมการเชิงเส้นมีค่าต่ำกว่า 0.75 แสดงถึงความไม่แม่นยำในการนำสมการไปใช้ในการคาดคะเนผล ค่าความหนาแน่นเป็นสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของชิ้นมะม่วงกับค่าความหนาแน่นของน้ำ (มีค่าประมาณ 1.000 g/ml) จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้กำลังงานสูงในการอบแห้งจะทำให้ชิ้นมะม่วงมีความพรุนส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นลดลง จนมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า ค่าความหนาแน่นของน้ำ ทำให้ชิ้นมะม่วงบางชิ้นหลังจากผ่านการอบแล้ว สามารถลอยน้ำได้ โดยสังเกตพบเมื่อทำการทดสอบหาความหนาแน่นของชิ้นมะม่วงโดยการแทนที่น้ำ ความหนาแน่นของชิ้นมะม่วงที่ลดลงเนื่องจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ จะทำให้ชิ้นมะม่วงร้อนจากภายใน ทำให้น้ำในชิ้นมะม่วงกลายเป็นไอและระเหยออกมาจากด้านในของชิ้นมะม่วง และที่กำลังงานสูงไอน้ำในชิ้นมะม่วงจะขยายตัวจากด้านในมากกว่าและเร็วกว่าที่กำลังงานต่ำ ทำให้มะม่วงที่ได้เกิดลักษณะพอง กลวงตรงกลาง เมื่อนำไปหาค่าความหนาแน่นจึงมีค่าต่ำกว่าค่าความหนาแน่นของน้ำ อันเป็นผลมาจากปริมาตรที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักของชิ้นมะม่วงลดลง อนึ่งเมื่อผลิตภัณฑ์มีความแห้งมากๆ จะส่งผลทำให้มีค่าความหนาแน่นลดลง จนอาจลอยปริ่มน้ำได้

ค่าทางตัวเลขของการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของชิ้นมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟสุญญากาศที่สภาวะต่างๆ (ตารางที่ 4.2.2) หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ทั้ง



กำลังงานและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ไม่มีอิทธิพลร่วมซึ่งกันและกัน ($p > 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณความชื้น ลักษณะเนื้อสัมผัส แสดงค่าเป็นค่าความแข็ง (hardness) ความหนาแน่น และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*)

กำลังงานที่ใช้ในการอบมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณความชื้น และลักษณะเนื้อสัมผัส ($p < 0.05$) โดยที่ กำลังงาน 1440 วัตต์ ให้ค่า ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีสูง และเป็นช่วงที่ยีสต์ยังสามารถเจริญได้ ปริมาณความชื้นที่สูงดังกล่าวส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสคือทำให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะอ่อนนุ่ม ทำให้ได้ค่าแรงเจาะหรือค่าความแข็งต่ำ ส่วนกำลังงานที่ 2400 วัตต์ ให้ค่า ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำ แม้จะเป็นช่วงที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ก็ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส คือทำให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะแห้งและแข็ง โดยสังเกตจากค่าความแข็งที่มีค่าสูง สำหรับค่าความแตกต่างของสีทั้งหมดและความหนาแน่น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.2.3)

เวลาที่ใช้ในการอบมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณความชื้น และค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่เวลาในการอบ 10 นาที ให้ค่าปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีสูง เป็นช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส คือ เนื้อสัมผัสมีลักษณะอ่อนนุ่ม ทำให้ได้ค่าความแข็งต่ำ ส่วนเวลาในการอบ 20, 30 และ 40 นาที จะเห็นว่าผลการทดลองของสมบัติด้านต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่เวลา 30 และ 40 นาที ให้ค่า ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำ แม้จะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ แต่ก็ส่งผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสมีความแข็งมากขึ้น (ตารางที่ 4.2.4)

5.2.4 การอบด้วยตู้อบลมร้อนขนาดใหญ่ที่ใช้งานในระดับอุตสาหกรรม

ในการศึกษานี้จะนำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการอบแห้งมะม่วงขึ้นด้วยตู้อบไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศ (โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส) ร่วมกับการอบขึ้นมะม่วงด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศระดับอุตสาหกรรม ที่ความดันสุญญากาศ - 600 มิลลิเมตรปรอท โดยใช้กำลังงาน 2 ระดับร่วมกัน คือกำลังงานระดับสูง (2400 วัตต์ นาน 10 นาที) หรือ (1920 วัตต์ นาน 20 นาที) ตามด้วยกำลังงานระดับต่ำ (960 วัตต์) นาน 1.5 นาที การศึกษาในข้อที่ 4.2.3 เป็นแนวทางการศึกษาตัวอย่างมะม่วงมีค่า ripeness index เท่ากับ 14.15 ± 0.29

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งมะม่วงขึ้นด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ โดยปริมาณความชื้นสุดท้ายของมะม่วงขึ้นอบแห้งไม่ว่าจะใช้ กำลังงานระดับสูง เป็น 2400 วัตต์ หรือ 1920 วัตต์ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ $10.42 \pm 1.33 - 12.14 \pm 0.89$ ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผลไม้อบแห้ง ที่กำหนดให้มีค่าปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 18 (มผช.๑๓๖/๒๕๕๖) การเพิ่มขั้นตอนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังงานต่ำ (960 วัตต์ นาน 1.5 นาที) ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้รับ อย่างไรก็ตามการเพิ่มขั้นตอนนี้ช่วยให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าต่ำลง โดยสภาวะที่ให้ความชื้นสุดท้ายต่ำสุดคือ การใช้ไมโครเวฟ 1920 วัตต์ นาน



20 นาที่ ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ 960 วัตต์ นาน 1.5 นาที่ โดยจะทำให้ได้ความชื้นสุดท้ายของชิ้นมะม่วงมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.42 ± 1.33

ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์มะม่วงชิ้นอบแห้งที่ใช้กำลังงานระดับสูงทั้ง 2 ระดับร่วมกับการใช้กำลังงานระดับต่ำ มีค่าต่ำกว่าข้อกำหนด มผช.๑๓๖/๒๕๔๖ โดยการอบแห้งที่ใช้กำลังงานไมโครเวฟระดับสูงเป็น 2400 วัตต์ นาน 10 นาที่ร่วมกับกำลังงานระดับต่ำ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี ต่ำสุด คือ 0.734 ± 0.024 รองลงมาคือสภาวะการใช้ไมโครเวฟ 1920 วัตต์ นาน 20 นาที่ ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ 960 วัตต์ นาน 1.5 นาที่ ที่ทำให้ได้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.743 ± 0.006 อย่างไรก็ตามค่าวอเตอร์แอกติวิตีของมะม่วงชิ้นที่ผ่านการอบไม่ว่าจะมีการใช้ไมโครเวฟกำลังงานต่ำร่วมหรือไม่ก็ตาม จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าอยู่ในเกณฑ์ของ มผช.๑๓๖/๒๕๔๖

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นมะม่วงในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศแสดงให้เห็นว่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความนุ่มมากกว่ามะม่วงสด และค่าความแข็งมีค่าใกล้เคียงกันหลังจากผ่านการอบด้วยไมโครเวฟ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.408 – 0.445 นิวตัน (รูปที่ 4.2.10) สภาวะการอบที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับค่าความแข็งของมะม่วงสด คือ การใช้ไมโครเวฟ 1920 วัตต์ นาน 20 นาที่ ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ 960 วัตต์ นาน 1.5 นาที่ โดยมะม่วงชิ้นอบแห้งที่ได้จะมีค่าความแข็งเท่ากับ 0.445 ± 0.10 นิวตัน

การเปลี่ยนแปลงของค่าสีของมะม่วงชิ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งแสดงถึงสภาวะความรุนแรงของกระบวนการ การเติมน้ำตาล และการอบแห้ง ไม่ว่าจะใช้ลมร้อน หรือไมโครเวฟ ส่งผลต่อค่าความสว่างของชิ้นมะม่วงในทิศทางเดียวกันคือทำให้ค่าความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับมะม่วงสด อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีค่าความสว่างของสีที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.2.11) สภาวะการอบที่ทำให้ได้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์สูงสุดคือ การใช้ไมโครเวฟ 1920 วัตต์ นาน 20 นาที่ ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ 960 วัตต์ นาน 1.5 นาที่ การเปลี่ยนแปลงของค่าสี a^* ของมะม่วง การอบแห้งมีผลต่อค่าสี a^* อย่างมีนัยสำคัญ มะม่วงชิ้นที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน และไมโครเวฟ จะมีสี a^* ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับมะม่วงสด ในขณะที่การเติมน้ำตาลส่งผลต่อค่าสี a^* น้อยกว่าการอบแห้ง สภาวะที่ทำให้ค่าสี a^* มีค่าต่ำสุดใกล้เคียงกับตัวอย่างมะม่วงสด คือการใช้ไมโครเวฟ 1920 วัตต์ นาน 20 นาที่ ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ 960 วัตต์ นาน 1.5 นาที่ (รูปที่ 4.2.12) ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* ก็เป็นไปในทำนองเดียวกันกับค่าความสว่างของสี โดยการอบแห้งและการเติมน้ำตาล ส่งผลทำให้ค่าสี b^* ลดลง (รูปที่ 4.2.13)

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตู้อบระหว่างการอบด้วยไมโครเวฟระดับสูงทั้งสองระดับ (2400 วัตต์ และ 1920 วัตต์) ที่ได้จากการทดลอง 3 ครั้ง (R1, R2 และ R3) (รูปที่ 4.2.14 และ 4.2.15 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่ากำลังงานที่ใช้มีผลต่ออัตราการทำให้ร้อน การเพิ่มกำลังงานไมโครเวฟช่วยลดเวลาในการทำแห้งลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิภายในตู้อบทั้งสองสภาวะมีค่าต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส ภายในช่วงเวลาของการปฏิบัติการ คือ ที่กำลังงาน 2400 วัตต์ ใช้เวลา 10 นาที่ และที่ 1920 วัตต์ ใช้เวลา 20 นาที่



5.2.5 สถานะที่เหมาะสมในการเตรียมเปลือกมะม่วงเพื่อทำเส้นใยอาหารผง

5.2.5.1 ผลของการลวกด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างกัน

การศึกษาการเตรียมเปลือกมะม่วงสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยอาหารผงทำโดยการตัดเปลือกมะม่วงที่มีดัชนีความสุก (ripening index) เท่ากับ 3.98 ให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 1.5×1.5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปลวกด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ทำการควบคุมอุณหภูมิด้วย water bath ด้วยเวลาที่ต่างกัน แล้วนำตัวอย่างชิ้นของเปลือกมะม่วงไปวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารรวม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการลวกส่งผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารรวมในเปลือกมะม่วงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ชิ้นมะม่วงที่ไม่ผ่านการลวก) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 10 นาทีแรกของการลวก การลดลงของปริมาณเส้นใยอาหารรวมอาจเป็นผลเนื่องมาจากการสูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้บางส่วนในระหว่างขั้นตอนการลวก อย่างไรก็ตาม ปริมาณเส้นใยอาหารในเปลือกมะม่วงที่ผ่านการลวกไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปริมาณในตัวอย่างควบคุม (ตารางที่ 4.2.5)

5.2.5.2 ผลของการแช่ในกรดอินทรีย์ที่เวลาต่างกัน

การศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่ในกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 1 ด้วยเวลาต่างกัน ทำการเตรียมตัวอย่างชิ้นของเปลือกมะม่วงเช่นเดียวกับการศึกษาผลของการลวกดังกล่าวมาข้างต้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการลดลงของปริมาณเส้นใยอาหารในเปลือกมะม่วงมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการลวก กล่าวคือการแช่ในกรดเป็นเวลานานส่งผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารรวมลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 20 นาทีแรกของการแช่ในกรด อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับแช่ในน้ำร้อนแล้วพบว่าการลดลงของเส้นใยอาหารรวมมีน้อยกว่าเมื่อแช่ในกรดเมื่อใช้เวลาในการแช่เท่ากัน ปริมาณเส้นใยอาหารในเปลือกมะม่วงที่ผ่านการแช่ด้วยกรดมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเส้นใยในตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.2.6)

5.2.6 ผลของอุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนต่อปริมาณเส้นใยอาหารในเปลือกมะม่วง

การศึกษาการอบแห้งชิ้นเปลือกมะม่วงขนาด 1.5×1.5 เซนติเมตร ที่มีดัชนีความสุก (ripening index) เท่ากับ 3.98 ในตู้อบลมร้อนที่มีการผันแปรอุณหภูมิ (60 และ 80 องศาเซลเซียส) และความเร็วลม (1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที) เพื่อศึกษาผลของตัวแปรด้านการปฏิบัติการต่อปริมาณเส้นใยอาหารรวม สี และการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของชิ้นเปลือกมะม่วง (ตารางที่ 4.2.7 – 4.2.8 และรูปที่ 3.2.16 ตามลำดับ)

อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนส่งผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งช่วยให้การอัตราการถ่ายเทความร้อนสู่ชิ้นของเปลือกมะม่วงเกิดได้เร็วขึ้น ส่วนความเร็วของลมร้อนที่มากช่วยทำให้ทั้งสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำถูกพาออกจากตัวอย่างได้เร็วและมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิในการอบที่สูงผลของการถ่ายเทมวลสารอาจไม่ชัดเจนเช่นกับกรณีเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำกว่าในการอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบและความเร็วของลมร้อนในช่วงที่ทำการศึกษามีผลต่อค่าสีของเปลือกมะม่วงอบแห้งบดน้อยมาก ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าความสว่างของสี (ค่า L^*) ค่าสีแดง (ค่า a^*) และค่าสีเหลือง (ค่า b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง การสูญเสียองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ในระหว่างกระบวนการอบแห้งส่งผลต่อความสามารถในการสะท้อนแสงของตัวอย่าง ทำให้ค่าความสว่างของสีมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้ สอดคล้องกับค่าสีแดง และสีเหลืองที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ปริมาณความชื้นลดลงตามอุณหภูมิและความเร็วลมร้อนที่ใช้ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นในตัวอย่างลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงชั่วโมงแรกของการอบแห้งหลังจากนั้นปริมาณความชื้นจะค่อยๆ ลดลง และผลของความเร็วมต่อปริมาณความชื้นที่ลดลงสามารถสังเกตได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นในตัวอย่างจะค่อยๆ ลดลงและผลของความเร็วมก็ส่งผลต่อการลดความชื้นน้อยกว่าในกรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3.2.1)

เนื่องจากเปลือกมะม่วงมีความบางและขนาดไม่ใหญ่มากนักส่งผลให้พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในระหว่างกระบวนการอบแห้งทำได้ดี ส่งผลให้มีการถ่ายเทความชื้นออกจากชั้นของเปลือกมะม่วงได้อย่างต่อเนื่องในเกือบทุกสภาวะของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งจะลดลงตามปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในชั้นของเปลือกมะม่วง และโดยภาพรวมแล้วในระหว่างกระบวนการอบแห้งแทบจะไม่มีช่วงของการอบแห้งคงที่ (constant drying rate) เลย (รูปที่ 3.2.17)

5.2.7 คุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่เตรียมด้วยตู้อบลมร้อน

คุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการอบแห้งขึ้นของเปลือกมะม่วงขนาดประมาณ 1.5×1.5 เซนติเมตร ในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที นาน 4 ชั่วโมง แล้วทำการบดลดขนาดด้วยเครื่องบดแบบค้อน (hammer mill) แสดงในตารางที่ 4.2.9 ส่วนการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผง แสดงในรูปที่ 4.2.18

เส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงมีสีเหลืองปนเขียว มีความสว่างของสีปานกลาง ปริมาณความชื้น และค่า water activity ค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าหากเก็บเส้นใยอาหารผงที่ได้ในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่นาน ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงมีค่าค่อนข้างต่ำ และปริมาณเส้นใยอาหารรวมทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเส้นใยอาหารรวมในเปลือกมะม่วงก่อนการบดลดขนาด ส่วนการกระจายของขนาดอนุภาคเส้นใยอาหารผง พบว่าอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาด อยู่ระหว่าง 128 – 181 ไมโครเมตร โดยค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผงเชิงมวล (mass mean diameter) มีค่าประมาณ 147.28 ไมโครเมตร

5.2.8 การผลิตเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงโดยการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

5.2.8.1 คุณลักษณะการอบแห้ง

การอบแห้งเปลือกมะม่วง 2 ขนาด (ขนาดประมาณ 1.5×1.5 เซนติเมตร และคละขนาด) โดยพลังงานแสงอาทิตย์ 2 วิธี คือ การตากแดดโดยตรง และการอบแห้งในตู้อบแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก โดยทำการทดลองสามครั้ง พบว่าอุณหภูมิอากาศทั้งด้านนอกและด้านในตู้อบผันแปรตามเวลาและสภาพอากาศในแต่ละวัน (รูปที่ 4.2.19) โดยภาพรวมแล้วอุณหภูมิในตู้อบจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก โดยอุณหภูมิของอากาศในตู้อบจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งเวลาประมาณเที่ยงวันอุณหภูมิในตู้อบจะเริ่มมีค่าคงที่ โดยอุณหภูมิกระเปาะแห้งอยู่ระหว่าง 40-45 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆลดลง หลังเวลาประมาณ 16.00 น ส่วนอุณหภูมิภายนอกตู้อบจะมีค่าสูงสุดในเวลาประมาณ 14.00 น จากนั้นก็ค่อยๆลดลง หลังเวลาประมาณ 16.00 น เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากความผันแปรของสภาพอากาศช่วงบ่ายของการทดลองในวันที่ 3 ส่งผลให้อุณหภูมิมีความผันแปรเล็กน้อยในช่วงเวลาระหว่าง 14.00-16.00 น

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในเปลือกมะม่วงสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศร้อน (รูปที่ 4.2.20) กล่าวคือปริมาณความชื้นโดยภาพรวมลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง การอบแห้งทั้งสองวิธีทำให้ปริมาณความชื้นลดลงในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยปริมาณความชื้นในเปลือกมะม่วงจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง หลังจากนั้นปริมาณความชื้นจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากหลังจากอุณหภูมิของอากาศเริ่มลดลง เนื่องจากอุณหภูมิในตู้อบที่สูงกว่าอุณหภูมิภายนอกตู้อบจึงทำให้การอบในตู้อบสามารถลดปริมาณความชื้นได้มากกว่าการตากแดดโดยตรง อย่างไรก็ตามการปกเปลือกมะม่วงให้มีความบางและสม่ำเสมอก็สามารถช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งได้ ถึงแม้ว่าจะมีพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อนที่น้อยกว่าก็ตาม ปริมาณความชื้นสุดท้ายของเปลือกมะม่วงที่อบในตู้อบแบบเรือนกระจกภายหลังการอบนาน 10 ชั่วโมง มีค่าประมาณร้อยละ 10 ของฐานเปียก

5.2.8.2 คุณสมบัติของเส้นใยอาหารผง

ผลของวิธีการทำแห้งเปลือกมะม่วงด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงเพียงเล็กน้อย ปริมาณเส้นใยอาหารผันแปรระหว่างร้อยละ 12 - 18 (รูปที่ 3.2.5) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ผันแปรระหว่าง 1.2 - 1.5 กรัม น้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง และ 5.1 - 5.8 กรัม น้ำต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ (รูปที่ 4.2.21 - 4.2.22) ส่วนดัชนีการละลาย (WSI) ผันแปรระหว่างร้อยละ 22-25 (รูปที่ 4.2.23)

5.2.9 การประยุกต์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

5.2.9.1 ไอศกรีมนม

คุณสมบัติของส่วนผสมและไอศกรีมนมที่มีการเติมขึ้นมะม่วงสด และเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงทั้งทางด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและลักษณะทางประสาทสัมผัส ถูกวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ที่ไม่มีการเติมทั้งสององค์ประกอบ ค่าความหนืดของส่วนผสม



ไอศกรีมเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแข็งที่เติมลงในส่วนผสม คุณลักษณะทางกายภาพและความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มมากกว่าการเติมเนื้อมะม่วงลงในส่วนผสมเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการเติมส่วนผสมทั้งสองชนิดช่วยเพิ่มความหนืดให้แก่ส่วนผสมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของตัวอย่างควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 4.2.24

ลักษณะสีของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นมะม่วงเพียงอย่างเดียวใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม โดยไอศกรีมจะมีสีขาวอมเหลือง ส่วนไอศกรีมที่มีการเติมเส้นใยอาหารจะมีค่าความสว่างของสี (L^*) มีลดลง และมีโทนสีแดงอมน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น (ค่าสี b^* มีค่าเพิ่มขึ้น) เนื่องจากสีของเส้นใยอาหารที่เติมลงไปในส่วนผสมไอศกรีม (รูปที่ 4.2.25)

ค่าการขึ้นฟู (overrun) ของไอศกรีมสอดคล้องกับค่าความหนืดของส่วนผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.2.26 การเติมเส้นใยอาหารผงลงในส่วนผสมไอศกรีมมีแนวโน้มในการเพิ่มค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม โดยภาพรวมแล้วไอศกรีมที่มีการเติมส่วนผสมลงไปไม่ว่าจะเป็นขึ้นมะม่วง เส้นใยอาหารผง หรือทั้งสององค์ประกอบมีค่าการขึ้นฟูมากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม ปริมาณอากาศที่แทรกตัวอยู่ในเนื้อไอศกรีมทำหน้าที่เป็นฉนวนต่อการถ่ายเทความร้อนสู่ไอศกรีม ส่งผลให้การละลายของไอศกรีมที่มีค่าการขึ้นฟูสูงมีอัตราที่ต่ำกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณอากาศแทรกตัวอยู่น้อย (มีค่าการขึ้นฟูต่ำ) (รูปที่ 4.2.27)

ปริมาณความชื้นของไอศกรีมลดลงตามปริมาณของแข็งที่เติมลงในส่วนผสม ไอศกรีม (รูปที่ 4.2.28) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงส่งผลต่อการลดความชื้นของไอศกรีมมากกว่าการเติมขึ้นมะม่วง อย่างไรก็ตามการเติมส่วนผสมทั้งสองชนิดร่วมกันทำให้ปริมาณความชื้นของไอศกรีมมีค่าต่ำสุด โดยมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 60 สอดคล้องกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (รูปที่ 4.2.29) และปริมาณของเส้นใยอาหารในตัวอย่งไอศกรีม (รูปที่ 4.2.30) การเติมเส้นใยอาหารผงช่วยเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารได้มากกว่าการเติมขึ้นผลไม้มลงในส่วนผสมไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญ

ค่าความเป็นกรด-ด่างของไอศกรีมตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 5.3 - 6.7 อย่างไรก็ตามปริมาณกรดอินทรีย์ในมะม่วง เช่น กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) กรดแกลลิก (gallic acid) และกรดคาเฟอิก (caffeic acid) ส่งผลให้ค่าพีเอช ของไอศกรีมที่มีการเติมส่วนผสมจากมะม่วงมีค่าต่ำกว่าไอศกรีมที่เป็นตัวอย่างควบคุม (รูปที่ 4.2.31)

การเติมส่วนผสมจากมะม่วงส่งผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total microbial number) ในไอศกรีมตัวอย่าง การเติมเส้นใยอาหารผงทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.2.10) อย่างไรก็ตามปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างไอศกรีมยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดว่าในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมต้องมีแบคทีเรียไม่เกิน 600,000 ใน 1 กรัม (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2544)

คุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างไอศกรีมที่มีการเติมส่วนผสมจากมะม่วงโดยภาพรวมต่ำกว่าไอศกรีมที่เป็นตัวอย่างควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างไอศกรีมที่มีการเติมเส้นใยอาหารผง (รูปที่ 4.2.32) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่เรียบเนียน ผู้ทดสอบชิมสามารถรับรู้ถึง



อนุภาคเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ได้ อย่างไรก็ตามการเติมขึ้นมะม่วงในไอศกรีมช่วยเพิ่มความพึงพอใจของผู้ทดสอบชิมในด้านของสี และลักษณะปรากฏ นอกจากนี้แล้วขึ้นของมะม่วงที่เติมลงไปยังมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างไอศกรีมน้อยมาก ส่งผลให้การยอมรับผลิตภัณฑ์โดยรวมมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม และสูงกว่าตัวอย่างไอศกรีมที่มีการเติมเส้นใยอาหาร

4.2.9.2 คุณกั

ค่าความสว่างของสี (L^*) ของผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่มีการผสมเส้นใยอาหารในส่วนผสมมีแนวโน้มลดลงอันเป็นผลเนื่องมาจากสีของเส้นใยอาหารผง (รูปที่ 4.2.33) สอดคล้องกับค่าดัชนีความขาวที่ลดลง (รูปที่ 4.2.34) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม การเติมส่วนผสมไม่ว่าขึ้นมะม่วง เส้นใยอาหารผง หรือทั้งสองส่วนผสมจากมะม่วงส่งผลต่อค่าสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์น้อยมาก

การผสมขึ้นมะม่วงลงในส่วนผสมส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลง แต่มี *fracturability* เพิ่มขึ้น (รูปที่ 3.2.35 และ 3.2.36 ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขึ้นมะม่วงช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความขึ้นค่อนข้างสูง (รูปที่ 3.2.37) และมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (*homogeneity*) ต่ำ ลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้จึงนุ่มและร่วนเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามการผสมขึ้นมะม่วงร่วมกับเส้นใยอาหารผงในส่วนผสมมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีทั้งความแข็งและความร่วนเพิ่มขึ้น การเติมเส้นใยอาหารผงช่วยเพิ่มปริมาณเส้นใยในผลิตภัณฑ์คุกกี้อย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 3.2.38) เช่นเดียวกับการศึกษาในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมดังกล่าวมาข้างต้น

คุณสมบัติด้านจุลชีววิทยา (ตารางที่ 4.2.11) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์คุกกี้ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

การศึกษาคูณลักษณะทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ผสมองค์ประกอบจากมะม่วงให้ผลในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนม กล่าวคือการเติมเส้นใยอาหารผงลงในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบชิมลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอนุภาคของเส้นใยอาหารผงมีขนาดใหญ่จึงส่งผลให้เนื้อสัมผัสของคุกกี้มีลักษณะหยาบไม่ละเอียดดังนั้นเวลารับประทานจึงรู้สึกไม่เรียบเนียน และสามารถรับรู้ได้ถึงอนุภาคของเส้นใยอาหารที่เป็นส่วนประกอบ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์คุกกี้ผสมขึ้นมะม่วงมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับคุกกี้ที่เป็นตัวอย่างควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณลักษณะเกี่ยวกับสีของผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้ (รูปที่ 4.2.39)



5.3 การผลิตมะม่วงกวนแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบถาด

5.3.1 ศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของเนื้อมะม่วงก่อนกวนและหลังกวน และพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงกวน

5.3.1.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียด ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีกายภาพที่ของเนื้อมะม่วงปั่นละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 8 จากการวิเคราะห์คุณลักษณะเคมีกายภาพที่ของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียด แสดงผลดังตารางที่ 8 พบว่าค่าความเป็นกรดต่าง (pH) มีค่าเท่ากับ 4.69 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 15.48 องศาบริกซ์ ค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าเท่ากับ 0.32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรดมาลิก และมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 82.31 เปอร์เซ็นต์ (wet basis) ส่วนค่าสีของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียดมีค่า L^* (ความสว่าง) เท่ากับ 43.71 ค่า C^* มีค่าเท่ากับ 39.30 และค่า h° (Hue angle) มีค่าเท่ากับ 86.51 องศาเซลเซียสจะพบว่าโดยค่า h° ที่อยู่ในช่วง 45-90 องศาเซลเซียสของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียดจะแสดงถึงว่ามีความเป็นสีส้มแดงถึงสีเหลือง

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะเคมีกายภาพที่ของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียด แสดงผลดังตารางที่ 4.3.1 พบว่าค่าความเป็นกรดต่าง (pH) มีค่าเท่ากับ 4.69 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 15.48 องศาบริกซ์ ค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าเท่ากับ 0.32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรดมาลิก และมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 82.31 เปอร์เซ็นต์ (wet basis) ส่วนค่าสีของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียดมีค่า L^* (ความสว่าง) เท่ากับ 43.71 ค่า C^* มีค่าเท่ากับ 39.30 และค่า h° (Hue angle) มีค่าเท่ากับ 86.51 องศาเซลเซียส จะพบว่าโดยค่า h° ที่อยู่ในช่วง 45-90 องศาเซลเซียสของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียดจะแสดงถึงว่ามีความเป็นสีส้มแดงถึงสีเหลือง

5.3.1.2 คุณสมบัติทางรีโอโลยีของเนื้อมะม่วงสุกปั่นละเอียด (Rheological Properties of Mango Puree) จากการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด 3 แบบจำลอง โดยใช้แบบจำลองของ Ostwald-de Waele (power law), Bingham และ Herschel-Bulkley เพื่อใช้ทำนายพฤติกรรมการไหลของมะม่วง พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress กับ shear rate ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด 3 แบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 และ 4.3.4

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากแบบจำลองของ Bingham, Power Law และ Herschel-Bulkley โดยใช้ทำนายพฤติกรรมการไหลของเนื้อมะม่วงปั่นละเอียด แสดงดังตารางที่ 4.3.2

จากตารางที่ 4.3.2 พบว่าแบบจำลอง Power Law และ Herschel-Bulkley มีค่า n น้อยกว่า 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อมะม่วงปั่นละเอียดมีพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวโตเนียน (pseudoplastic หรือ shear thinning) และเมื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลองของ Bingham, Power Law และแบบจำลองของ Herschel-Bulkley พบว่าแบบจำลองของ Power Law เป็นแบบจำลองที่สามารถทำนายค่าความหนืดของเนื้อมะม่วงปั่นละเอียดได้ดีกว่าแบบจำลองของ Bingham และ Herschel-Bulkley เนื่องจากมีค่า R^2_{adj} สูงกว่า และมีค่า reduced chi-square และค่า RMSE ต่ำกว่าแบบจำลอง Bingham และแบบจำลอง Herschel-Bulkley

5.3.2 ศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงกวน

คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของมะม่วงกวนแผ่นทั้ง 10 สิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3.3 พบว่ามะม่วงกวนแผ่นจากสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งมีปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 1.28 และปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 17.07 ให้คะแนนคุณลักษณะด้านสี กลิ่นโดยรวม รสเปรี้ยว รสหวาน เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุด จากตารางที่ 4.3.3 เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์รีเกรสชันแบบ quadratic model พบว่า ปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายที่ผันแปรนั้น ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าการยอมรับด้านสี กลิ่นโดยรวม และเนื้อสัมผัส ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายที่ผันแปรนี้ มีความสัมพันธ์กับค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านรสเปรี้ยว รสหวานและความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.3.4 พบว่ากรดซิตริกและน้ำตาลทรายมีอิทธิพลต่อสมการรสเปรี้ยว รสหวานและความชอบโดยรวมร้อยละ 92.50 34.13 และ 71.61 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.3.4 พบว่า การยอมรับด้านรสเปรี้ยวจะมีเพิ่มขึ้นหากเพิ่มปริมาณกรดซิตริก ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับการยอมรับด้านรสหวานและความชอบโดยรวม (รูปที่ 4.3.5)

จากตารางที่ 4.3.3 เมื่อพิจารณารสหวานและความชอบโดยรวม พบว่า ยิ่งใช้ปริมาณซิตริกเพิ่มขึ้นจะทำให้การยอมรับด้านรสหวานและความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณสูงสุดของกรดซิตริกที่ใช้ในการทดลองคือ 1.5 กรัม และจากสมการด้านรสเปรี้ยว พบว่า หากใช้กรดซิตริกที่ 1.5 กรัม จะใช้น้ำตาล 10 กรัมจึงจะให้การยอมรับด้านรสเปรี้ยวสูงที่สุด ดังนั้น ปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายที่จะทำให้มีค่าการยอมรับสูงสุดทางด้านประสาทสัมผัสในการทดลองนี้ คือ ใช้ปริมาณกรดซิตริก 1.50 กรัม และน้ำตาลทราย 10

กรัมในการผลิตมะม่วงแผ่น โดยจะทำให้ผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นมีคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสด้านรสเปรี้ยว รสหวานและความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.6, 6.9 และ 6.8 ตามลำดับ

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.3.5 และ 3.3.6 ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่กับปริมาณกรดซิตริก และน้ำตาลทรายแบบ quadratic model พบว่า ค่า L^* , C^* และ h° ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายในแบบ quadratic model ส่วนค่าความชื้น, pH, a_w , titratable acidity (%) ค่า hardness (N) และ tensile strength (N) มีความสัมพันธ์กับกรดซิตริกและน้ำตาลทรายในรูปแบบ reduced model ดังแสดงในตารางที่ 4.3.7

จากตารางที่ 4.3.7 เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์หรีเกรสชันแบบ quadratic model พบว่า ปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายที่ผันแปรนั้น พบว่า กรดซิตริกและน้ำตาลทรายไม่มีอิทธิพลต่อสมการปริมาณความชื้น (%wet basis) ค่า pH ค่า a_w ค่า Acidity (%) ค่า Hardness และค่า Tensile Strength ร้อยละ 95.03, 99.81, 67.19, 99.76, 94.34 และ 94.11 ตามลำดับ

5.3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง (Drying kinetics) มะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด

การอบแห้งเป็นวิธีที่ใช้ในการถนอมอาหารและเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรวิธีหนึ่งที่ได้รับ ความนิยมอย่างแพร่หลาย การอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งของวัสดุเกษตรสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง จึงมีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง โดยหาอัตราการทำให้แห้งและเวลาในการทำแห้งมะม่วงแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่ เวลา 9:00 – 17:00 น. โดย 2 ชั่วโมงแรก บันทึกน้ำหนักทุก 30 นาที หลังจากนั้นบันทึก ทุก 1 ชั่วโมง จน น้ำหนักคงที่ และทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการลดความชื้นมะม่วงแผ่นที่ผ่านการทำให้แห้งด้วย เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยเลือกแบบจำลองของการลดความชื้นมา ทำนายทั้งหมด 4 แบบจำลอง ได้แก่ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two term model ตามลำดับ ดังนี้

$$\text{Lewis model: } MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt) \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Page model: } MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt^n) \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{Henderson and Pabis model: } MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = a \exp(-kt) \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{Two-term model: } MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t) \dots \dots \dots (4)$$

เมื่อ M_0 , M , M_e , MR คือปริมาณความชื้นเริ่มต้นฐานแห้ง ความชื้นที่เวลาใดๆ (ฐานแห้ง) ความชื้นสมดุล (ฐานแห้ง) และอัตราส่วนความชื้นที่เวลาใดๆ ตามลำดับ t คือเวลาในการอบแห้ง a และ n คือค่าคงที่ของแบบจำลอง k , k_0 และ k_1 คือค่าคงที่ของการอบแห้ง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่างๆ วิเคราะห์ค่าคงที่ และอัตราส่วนความชื้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้สมการที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยวิธีถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear regression) ด้วยโปรแกรม SigmaPlot 10.0 แสดงดังรูปที่ 4.3.12

จากผลการทดลอง เมื่อวิเคราะห์หาแบบสมการกับค่าความชื้นสมดุลของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยวิธีถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear regression) โดยโปรแกรม SigmaPlot 10.0 ได้ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 แบบจำลองดังนี้คือ Henderson and Pabis Model, Lewis Model, Page Model และ Two term Model พบว่าแบบจำลองของ Page Model มีค่า adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) เท่ากับ 0.9986 ซึ่งจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่เหลืออีก 3 แบบจำลอง ส่วนค่า root mean square error (RMSE) และ reduced chi-square (χ^2) ที่ได้จากแบบจำลองของ Page Model มีค่าเท่ากับ 0.0120 และ 0.000145 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าแบบจำลองที่เหลืออีก 3 แบบจำลอง ดังนั้นแบบจำลองของ Page Model จึงสามารถทำนายผลการทดลองได้ดีและครอบคลุมมากที่สุด แสดงดังในตารางที่ 4.3.8

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด จากการตรวจวัดค่า a_w ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด พบว่าค่า a_w ที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 20.0, 26.7, 33.4 และ 40.0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่า a_w เฉลี่ยเป็น 0.608, 0.720, 0.815 และ 0.886 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.3.9

ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส จากการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คนให้คะแนนความชอบด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale ประเมินคุณรูปที่ทางด้านสี (color) กลิ่นโดยรวม (overall flavor) รสหวาน (sweetness) รสเปรี้ยว (sourness) เนื้อสัมผัส (texture) และความชอบโดยรวม (overall acceptability) แสดงดังตารางที่ 4.3.10

ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่นรสโดยรวม รสเปรี้ยว รสหวานและเนื้อสัมผัสพบว่าปริมาณความชื้นร้อยละ 26.7 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับปริมาณความชื้นร้อยละ 20.0, 33.4 และ 40.0 ตามลำดับ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมพบว่าปริมาณความชื้นร้อยละ 26.7 มีความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับปริมาณความชื้นร้อยละ 20.0, 33.4 และ 40.0 แต่ปริมาณความชื้นร้อยละ 20.0 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปริมาณความชื้นร้อยละ 33.4

5.3.4 ศึกษาอัตราการอบแห้งและเวลา ในการอบแห้งมะม่วงแผ่นโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

5.3.4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในตู้อบมะม่วงแผ่น บันทึกโดยใช้ data logger พบว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในช่วงแรกเท่ากับร้อยละ 57.4 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในตู้อบมีค่าสูงในช่วงแรก ทั้งนี้เนื่องมาจากการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมาก อากาศแห้งมีการรับไอน้ำเกิดขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง

ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของมะม่วงแผ่นอบแห้งมีค่าเท่ากับร้อยละ 35.5 แสดงดังรูปที่ 4.3.13

5.3.4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบมะม่วงแผ่น บันทึกโดยใช้ data logger พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ย ในช่วงโมงแรกเป็น 35.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจะมีค่าต่ำในช่วงแรก และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงขึ้น โดยอุณหภูมิจะมีค่าสูงในช่วง 12.00 – 14.00 น. จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงเวลา 17.00 น. ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นน้อยมาก แสดงดังรูปที่ 4.3.13

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่ามากขึ้นจะมีผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศลดต่ำลง ดังรูปที่ที่ 1 ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้ไม่สามารถที่จะควบคุมให้คงที่ และสม่ำเสมอได้ โดยจะแปรผันไปตามค่าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องอบแห้งแตกต่างกันไปตามสภาวะที่อากาศของแต่ละวัน

5.3.4.3 การลดความชื้นของมะม่วงแผ่นอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จากการศึกษาการลดความชื้นของมะม่วงแผ่นอบแห้ง ความชื้นเริ่มต้นก่อนอบแห้งเท่ากับร้อยละ 60.96 (มาตรฐานเปียก) ความชื้นมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการอบ 14 ชั่วโมง จากรูปที่ 4.3.14 จะพบว่าในช่วงที่ 1-6 ตัวอย่างมีการลดความชื้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อพิจารณาช่วง 8 ชั่วโมงสุดท้ายของการอบพบว่าความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆ จนตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 10.64 (มาตรฐานเปียก)

5.3.4.4 อัตราการอบแห้งของมะม่วงแผ่นระหว่างอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณความชื้นเริ่มต้นในมะม่วงแผ่น พบว่าอัตราการอบแห้งในช่วงเริ่มต้นมีค่าสูง เนื่องจากยังมีปริมาณน้ำในมะม่วงแผ่นสูง ทำให้บริเวณผิวหน้าของมะม่วงแผ่นมีปริมาณน้ำอิสระเพียงพอต่อการระเหยจึงเร่งให้อัตราการอบแห้งเกิดเร็วขึ้น เมื่ออบแห้งไประยะเวลาหนึ่งอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำภายในมะม่วงแผ่นเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่มะม่วงแผ่นได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากมะม่วงแผ่นอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จากนั้นอัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง เนื่องจากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดน้อยลง น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์จึงแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารไม่ต่อเนื่อง ทำให้ชั้นของเหลวที่ปกคลุมอยู่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงความชื้นสมดุล ซึ่งน้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก ดังรูปที่ 4.3.15

5.3.4.5 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ จากการตรวจวัดค่า a_w ของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าค่า a_w ที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 20.0, 26.7, 33.4 และ 40.0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่า a_w เฉลี่ยเป็น 0.570, 0.692, 0.799 และ 0.814 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.3.11

5.3.4.6 ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส จากการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คนให้คะแนนความชอบด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale

ประเมินคุณรูปที่ทางด้านสี (color) กลิ่นโดยรวม (overall flavor) รสหวาน (sweetness) รสเปรี้ยว (sourness) เนื้อสัมผัส (texture) และความชอบโดยรวม (overall acceptability) แสดงดังตารางที่ 4.3.12

ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่นรสโดยรวม รสเปรี้ยว รสหวานและความชอบโดยรวมพบว่าปริมาณความชื้นทั้ง 4 ระดับคือความชื้นร้อยละ 20.0, 26.7, 33.4 และ 40.0 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัสพบว่าปริมาณความชื้นร้อยละ 26.7 มีคะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับปริมาณความชื้นร้อยละ 20.0, 33.4 และ 40.0 ดังนั้นจึงนำมาห่ม่วงแผ่นอบแห้งที่อบด้วยเครื่องพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบภาดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 26.7 มาวิเคราะห์คุณรูปที่ทางเคมีกายรูปที่และทางประสาทสัมผัสต่อไป

จากเปรียบเทียบคุณรูปที่ทางเคมีกายรูปที่และทดสอบประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบภาดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 26.7 พบว่าคุณรูปที่ทางเคมีกายรูปที่และทดสอบประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบภาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.3.13

5.3.5 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้ง

การทดสอบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่ผ่านการพัฒนาทดสอบโดยใช้วิธีการเร่งสภาวะ คือ ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เมื่อตรวจสอบคุณรูปที่ทางด้านเคมีกายรูปที่และทางด้านประสาทสัมผัส พบการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ ดังนี้

5.3.5.1 การเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางด้านเคมีและกายรูปที่ของผลิตภัณฑ์ การตรวจสอบคุณรูปที่ทางกายรูปที่ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum foil-Alu) ถุงเมทาไลต์ (Metalite-Met) และถุง Oriented polypropylene (OPP) และเก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ด้านค่าความชื้น ค่า a_w ค่าสี $L^* C^* h^\circ$ (Hue angle) ค่า hardness แสดงดังรูปที่ 4.3.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ

จากการตรวจสอบคุณรูปที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้นค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส โดยมีแนวโน้มของค่าลดลง ผลิตภัณฑ์จะมีความชื้นลดลง ดังรูปที่ 4.3.16 ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 24.19-30.35, 20.62-31.80 และ 20.73-29.05 ตามลำดับ ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 21.20-29.29, 22.99-28.38 และ 21.00-27.20 ตามลำดับ และค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP ที่เก็บรักษาที่

อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 21.33-28.68, 20.72-28.32 และ 16.84-26.96 ตามลำดับ

ค่า a_w เป็นค่าแสดงปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ การวัดค่า a_w ของการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นค่า a_w มีแนวโน้มลดลง แสดงดังรูปที่ 4.3.17 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 0.609-0.667, 0.594-0.667 และ 0.542-0.652 ตามลำดับ ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงเมทาไลต์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 0.610-0.694, 0.593-0.667 และ 0.486-0.646 ตามลำดับ ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 0.610-0.686, 0.558-0.674 และ 0.391-0.646 ตามลำดับ

โดยพบว่า มะม่วงแผ่นที่บรรจุในถุง OPP มีการลดลงของค่า a_w มากที่สุด รองลงมาเป็นถุงเมทาไลต์และอะลูมิเนียมฟอยล์ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของถุงที่มีค่าความต้านทานการสูญเสียความชื้นจากน้อยไปหามากตามลำดับ

จากการตรวจสอบคุณรูปที่สีของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP เก็บรักษาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มของค่าลดลง หรือสีของผลิตภัณฑ์คล้ำขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่าค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์ลดลงมากอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น ดังรูปที่ 4.3.18 ค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 51.17-52.67, 48.08-52.76 และ 26.15-52.36 ตามลำดับ ค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาไลต์เก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 50.41-53.09, 47.44-52.86 และ 26.29-52.22 ตามลำดับ และค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP เก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 50.58-53.63, 47.94-52.79 และ 27.23-52.75 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งมีสีที่คล้ำขึ้น ค่าสี L^* จึงสามารถนำไปศึกษาเพื่อคำนวณอายุการเก็บในสภาวะเร่ง เนื่องจากระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้นนั้นส่งผลให้ค่าสี L^* เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน

ค่าสี C^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 26.54-47.44, 28.46-46.02 และ 12.02-38.82 ตามลำดับ ค่าสี C^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาไลต์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 28.47-48.66, 27.61-45.95 และ 11.32-41.79 ตามลำดับ และค่าสี C^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่า

อยู่ในช่วง 28.17-46.48, 28.99-42.73 และ 11.99-39.14 ตามลำดับ โดยพบว่า ค่า C^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่าเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3.19

ค่า h^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 54.82-71.86, 54.43-69.54 และ 8.12-57.24 ตามลำดับ ค่า h^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาลิท์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 57.01-71.06, 55.17-68.16 และ 7.22-57.24 ตามลำดับ และค่า h^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 57.24-69.00, 56.10-67.59 และ 9.39-57.24 ตามลำดับ พบว่า ค่า h^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่าเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3.20

ด้านการเปลี่ยนแปลงค่า hardness ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาลิท์และถุง OPP เก็บรักษาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน วัดค่าโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) ผลการวัดค่า hardness พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า hardness เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดการสูญเสียความชื้น อีกทั้งอาจเกิดจากการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น ค่า hardness ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 4.25-7.37, 4.25-7.02 และ 4.25-7.72 นิวตัน ตามลำดับ ค่า hardness ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุงเมทาลิท์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 4.25-6.29, 4.25-7.33 และ 4.25-9.56 นิวตัน ตามลำดับ และค่า hardness ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง OPP ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 4.25-6.65, 4.25-7.49 และ 4.25-33.48 นิวตัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3.21

5.3.5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางด้านประสาทสัมผัส

การประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสของการทดสอบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ทดสอบโดยการให้ผู้บริโภคนาน 50 คนประเมินผลิตภัณฑ์ในด้านความชอบโดยรวม สี กลิ่นโดยรวม และเนื้อสัมผัส โดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.22, 4.23, 4.24 และ 4.25

ในการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งได้ใช้การประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสเป็นค่าที่ใช้ตัดสินจุดสิ้นสุดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ในที่นี้กำหนดให้เกณฑ์คะแนนการยอมรับที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5.0 โดยคะแนน 5 หมายถึง เฉย ๆ จากคะแนนเต็ม 9 คือชอบมากอย่างยิ่งในการทดสอบแบบ 9-point Hedonic scale ดังนั้นหากคุณลักษณะใดทางประสาทสัมผัสได้คะแนนการยอมรับต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5 แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา สำหรับการประเมิน

คะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่เก็บในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.3.22 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสและที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์ และถุง OPP นั้น มีคะแนนความชอบโดยรวมมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเก็บตัวอย่างในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดที่อุณหภูมิสูง ผลการทดสอบพบว่าผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน เนื่องจากคะแนนเฉลี่ยของความชอบโดยรวมมีค่าน้อยกว่า 5 ซึ่งค่าคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในอุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ มีค่าอยู่ในช่วง 5.78-7.40, 5.52-7.40 และ 4.8-7.40 คะแนนตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่เก็บในอุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ มีค่าอยู่ในช่วง 5.30-7.40, 5.46-7.40 และ 4.78-7.40 คะแนนตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เก็บในอุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสที่บรรจุในถุง OPP มีค่าอยู่ในช่วง 5.74-7.40, 5.24-7.40 และ 4.88-7.40 คะแนนตามลำดับ เห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้เก็บตัวอย่างที่สูงขึ้นนั้นจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ทำให้คะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคลดลงอย่างรวดเร็ว

สำหรับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านสีเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีคะแนนอยู่ในช่วง 5.48-7.88, 6.10-7.88 และ 4.94-7.88 คะแนนตามลำดับ คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านสีเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีคะแนนอยู่ในช่วง 5.12-7.88, 5.82-7.88 และ 4.86-7.88 คะแนนตามลำดับ ส่วนคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านสีเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีคะแนนอยู่ในช่วง 5.04-7.88, 6.16-7.88 และ 4.90-7.88 คะแนนตามลำดับ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บในทุกๆ อุณหภูมินั้น เมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนการยอมรับในด้านสีของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มหรือคล้ำขึ้น ดังแสดงในผลการวัดค่าสี L^* เมื่อผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น หรือคล้ำขึ้น จึงทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์นั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3.23

คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านกลิ่นโดยรวม เมื่อเวลาในการเก็บผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นในทุกๆ อุณหภูมิ ส่งผลให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.3.24 คะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสมีค่าอยู่ในช่วง 5.72-7.52, 5.30-7.52 และ 4.92-7.52 คะแนนตามลำดับ คะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสมีค่าอยู่ในช่วง 5.54-7.52, 5.44-7.52 และ 4.94-7.52 คะแนนตามลำดับ และคะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสมีค่าอยู่ในช่วง 5.68-7.52, 5.40-7.52 และ 4.98-7.52 คะแนนตามลำดับ

สำหรับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านเนื้อสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 5.52-7.60, 5.74-7.60 และ 4.98-7.60 คะแนนตามลำดับ

คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านเนื้อสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 5.38-7.60, 5.22-7.60 และ 4.66-7.60 คะแนนตามลำดับ และคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในด้านเนื้อสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 5.66-7.60, 5.22-7.60 และ 4.92-7.60 คะแนนตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้คะแนนการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัสของทุกๆ อุณหภูมิมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.3.25 เช่นเดียวกันกับคะแนนการทดสอบคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสด้านอื่นๆ

5.3.5.3 การประเมินอายุการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง จากผลการทดลองข้างต้น จึงเลือกใช้คุณรูปที่ทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ ความชอบโดยรวม สี กลิ่นโดยรวม เนื้อสัมผัส และคุณรูปที่ทางกายรูปที่ ได้แก่ ค่าสี L^* เป็นดัชนีชี้วัดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้ง จากนั้นศึกษาหาจลนพลศาสตร์ (reaction kinetic) ของการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ในด้านคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัส และค่าสี L^* เพื่อหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของคุณรูปที่นั้น จากการสร้างกราฟระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ต่างๆ กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางด้านประสาทสัมผัส ค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งสามารถอธิบายได้ด้วยจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยค่าความชันของกราฟที่ได้มีค่าเท่ากับ $-k$ (รุ่งนภา, 2540) ผลการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางด้านประสาทสัมผัส ค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้ง ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP แสดงดังตารางที่ 4.3.14, 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ

เมื่อได้ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (rate constant, k) การเปลี่ยนแปลงของคุณรูปที่ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP แล้ว นำไปคำนวณหาความสัมพันธ์ของค่า k ที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy, E_a) โดยใช้สมการของ Arrhenius (Kilcast, 2000) ดังนี้

$$\ln k = \ln k_0 - E_a/RT \dots\dots\dots(5)$$

- เมื่อ
- k = ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (reaction rate constant)
 - k_0 = Arrhenius constant
 - E_a = ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy)
 - R = gas constant = 8.314 J/mole.K
 - T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

จากสมการของ Arrhenius จะหาค่า E_a ได้โดยการสร้างสมการ regression ระหว่างค่า $\ln k$ กับ $1/T$ (K) แสดงดังรูปที่ 4.3.26 ถึง 4.3.30

จาก Arrhenius plot ข้างต้นสามารถหาค่า E_a หรือพลังงานก่อกัมมันต์ในการเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ต่างๆ และค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางด้านประสาทสัมผัสและค่า L^* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP ได้แสดงดังตารางที่ 4.3.4, 4.5 และ 4.6 พบว่าค่า E_a ของการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางกายรูปที่ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ได้แก่ ค่า L^* เท่ากับ 166.43 kJ/mol K ส่วนค่า E_a ของการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่นโดยรวม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 35.55, 34.69, 45.71 และ 39.01 kJ/mol K ตามลำดับ ค่า E_a ของการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางกายรูปที่ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ ได้แก่ ค่า L^* เท่ากับ 108.62 kJ/mol K ส่วนค่า E_a ของการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่นโดยรวม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 48.96, 33.15, 37.02 และ 32.79 kJ/mol K ตามลำดับ ส่วนค่า E_a ของการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางกายรูปที่ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP ได้แก่ ค่า L^* เท่ากับ 110.90 kJ/mol K ส่วนค่า E_a ของการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่นโดยรวม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 42.36, 50.16, 36.28 และ 35.57 kJ/mol K ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.3.17, 4.18 และ 4.19 พบว่าค่า Q_{10} ของการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์นั้นพบว่ามีค่า Q_{10} เฉลี่ยเท่ากับ 7.8 สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสพบว่า ค่า Q_{10} เฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับในด้านสี ด้านกลิ่นโดยรวม ด้านเนื้อสัมผัสและด้านความชอบโดยรวมเท่ากับ 1.5, 1.5, 1.8 และ 1.6 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงเมทาไลต์ พบว่ามีค่า Q_{10} เฉลี่ยเท่ากับ 3.8 สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสพบว่า ค่า Q_{10} เฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับในด้านสี ด้านกลิ่นโดยรวม ด้านเนื้อสัมผัสและด้านความชอบโดยรวมเท่ากับ 1.8, 1.5, 1.5 และ 1.5 ตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP พบว่ามีค่า Q_{10} เฉลี่ยเท่ากับ 3.9 สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสพบว่า ค่า Q_{10} เฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับในด้านสี ด้านกลิ่นโดยรวม ด้านเนื้อสัมผัสและด้านความชอบโดยรวมเท่ากับ 1.7, 1.9, 1.6 และ 1.5 ตามลำดับ

5.3.5.4 อายุการเก็บรักษาของมะม่วงแผ่นอบแห้ง

ตารางที่ 4.3.20 จากการศึกษาอายุการเก็บในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP โดยพิจารณาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และถุงเมทาไลต์จากคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบโดยรวม พบว่ามะม่วงแผ่นที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 140, 115 และ 60 วันตามลำดับ และถุงเมทาไลต์มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 144, 105 และ 67 วันตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP จะพิจารณาอายุการเก็บจากคุณรูปที่ทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัสมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 108, 90 และ 72 วันตามลำดับ

จากการทำนายอายุการเก็บรักษามะม่วงแผ่นในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดนั้น หากพิจารณาจากความชอบโดยรวมสำหรับการประเมินอายุการเก็บรักษานั้น โดยใช้สมการที่ได้จากรูปที่ 4.3.31-4.3.3 พบว่า ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเก็บรักษาในตู้เย็น จะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ จะมีอายุการเก็บรักษายาวนานที่สุด คือ ประมาณ 225 วัน ขณะที่การเก็บรักษาในถุงเมทาไลต์จะเก็บไว้ได้นาน 221 วัน และถุง OPP เก็บไว้ได้นาน 144 วัน

5.4 การผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดหวาน

จากการศึกษาสูตรเบื้องต้นของนมข้าวโพดชั้นหวาน ตารางที่ 4.4.1 พบว่า ผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานทั้ง 2 สิ่งทดลอง คือ สูตรที่ใช้ Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ร้อยละ 0.2 และสูตรที่ใช้ Xanthan gum ร้อยละ 0.1 มีคะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) สำหรับการทดสอบความพหุดีด้านรสหวานจากรูปที่ 4.4.2 จะเห็นว่าทั้ง 2 สูตรผู้บริโภคมกกว่าร้อยละ 70 เห็นว่ารสหวานมีความพหุดีแล้ว และมีค่า net scores (ผลต่างของร้อยละที่ผู้บริโภคเห็นว่าควรปรับเพิ่มกับที่เห็นว่าควรปรับลด) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงไม่มีการปรับปริมาณน้ำตาล ส่วนการทดสอบความพหุดีด้านความข้นหนืด จะเห็นว่าทั้ง 2 สูตรผู้บริโภคประมาณร้อยละ 50 ที่เห็นว่าความข้นหนืดมีความพหุดีแล้ว ซึ่งโดยปกติงานวิจัยทั่วไปจะถือว่า cut of points หรือความถี่ของผู้บริโภคที่เห็นว่าพหุดีควรมีค่ามากกว่า ร้อยละ 70 จึงจะถือว่าสูตรนั้นๆใช้ได้ไม่ต้องทำการปรับอีก แต่หากความถี่ของผู้บริโภคที่เห็นว่าพหุดี มีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 70 จะพิจารณาค่า net scores ประกอบ (net scores คือ ผลต่างของร้อยละที่ผู้บริโภคเห็นว่าควรปรับเพิ่มกับที่เห็นว่าควรปรับลด) โดยหากค่า net scores มากกว่าร้อยละ 20 จะทำการปรับการทิศทางของความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการให้ปรับเพิ่มมากกว่าหรือต้องการให้ปรับลดมากกว่า แต่ถ้าค่า net scores มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 จะยังไม่ปรับเนื่องจากทิศทางไม่ชัดเจน ดังนั้นสูตรที่ใช้ CMC มีค่า net scores มากกว่า 20 $((32+3.5) - (10+0.5) = 25)$ ในการทดลองปรับหาสูตรที่เหมาะสมต่อไปจึงได้มีการผันแปรปัจจัยที่ส่งผลต่อความข้นหนืด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดเพิ่มขึ้นตามที่ต้องการ

สำหรับค่าความข้นหนืดพบว่า ความข้นหนืดของนํ้านมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ CMC ร้อยละ 0.2 มีค่ามากกว่าความข้นหนืดของนํ้านมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ Xanthan gum ร้อยละ 0.1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยนํ้านมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่ใช้ CMC ร้อยละ 0.2 มีค่าความข้นหนืดเท่ากับ 12.12 ± 0.06 และนํ้านมข้าวโพดชั้นหวานที่ใช้ Xanthan gum ร้อยละ 0.1 มีค่าความข้นหนืดเท่ากับ 8.3 ± 0.25 จากการวัดค่าความข้นหนืดของนมชั้นหวานที่ขายในท้องตลาด (ตรามะลิ) มีค่า 13 เซนติเมตรต่อสามสิบวินาที ดังนั้นในการทดลองหาสูตรที่เหมาะสมต่อไปจึงเลือกใช้ CMC เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดเนื่องจากให้ลักษณะความข้นหนืดเข้าใกล้กับนมชั้นหวานที่ขายในท้องตลาด ในขณะที่สมบัติทางเคมีกายภาพรวมถึงการยอมรับของผู้บริโภคทั้งสองสูตรไม่แตกต่างกัน

ในการทดลองผันแปรปริมาณเบะแซและ CMC ทั้งหมด 8 สูตร จากผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่ผ่านการพัฒนาแล้วมีสีเหลืองอ่อน มีค่า L^* , a^* , b^* เท่ากับ 43.09 ± 0.40 , 3.91 ± 0.43 และ 27.18 ± 0.90 ตามลำดับ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 65.87 ± 0.68 และมีค่า a_w เท่ากับ 0.857 ± 0.007 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความข้นหนืดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์นมชั้นหวานที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด และมีค่าความข้นหนืดที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าทำนาย (12) โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 8.3 โดย Hu (1999) ได้เสนอแนะว่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายนั้นจะต้องแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 10 จึงจะเพียงพอต่อการทำนายของสมการ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Gan *et al.* (2007) ที่ทำการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมของเค้กมัน

สำปะหลังได้ใช้ร้อยละความคลาดเคลื่อนที่ ร้อยละ 5 ในการทดสอบว่าสมการที่ได้นั้นสามารถทำนายค่าได้แม่นยำเพียงพอหรือไม่ ดังนั้นในการหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรในงานวิจัยนี้มีค่าความแตกต่างน้อยกว่าร้อยละ 10 สมการที่ได้จึงสามารถใช้ทำนายได้ดี การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรที่ผ่านการพัฒนาแล้ว ดังตารางที่ 4.4.7 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในช่วงขอบเล็กน้อยจนถึงปานกลาง และมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมากกว่า 6 คะแนน ซึ่งคะแนนที่ได้มีค่าสูงกว่าคะแนนของผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวานสูตรพื้นฐานในการทดลองที่ 1

จากการทดลองศึกษาสูตรเบื้องต้นของข้าวเกรียบข้าวโพด ทำการผลิตข้าวเกรียบข้าวโพดสูตรเบื้องต้น 2 สูตร โดยสูตร 2 มีส่วนผสมของแป้งสาลี และน้ำตาล ต่างจากสูตร 1 ซึ่งไม่มีส่วนผสมดังกล่าว และส่วนผสมต่างๆ มีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อย พบว่า ค่าสี L^* a^* b^* และแรงกด มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยค่าสี L^* สูตร 2 มากกว่าซึ่งแสดงว่ามีความสว่างมากกว่าและเข้าใกล้สีขาว ค่าสี a^* ของข้าวเกรียบสูตร 2 มีค่าต่ำกว่าสูตร 1 ค่าสี b^* ของสูตร 1 มากกว่าเพราะค่า b^* มากแสดงว่าให้สีเหลืองที่มากกว่า และแรงกดของข้าวเกรียบสูตร 1 น้อยกว่า อาจแสดงว่ามีความแข็งหรือความกรอบที่น้อยกว่าสูตร 2 แต่เนื่องจากค่าไม่แตกต่างกันมาก จึงทำให้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสเค็ม รสหวาน และความกรอบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสเค็ม และความกรอบ สูตร 1 มีค่ามากกว่าสูตร 2 ส่วนคะแนนความชอบในด้านรสหวานของสูตร 2 มีค่ามากกว่า เพราะในสูตร 2 มีส่วนผสมของน้ำตาล แต่ในสูตร 1 ไม่มี จึงอาจทำให้ผู้บริโภคชอบในด้านรสหวานมากกว่า

เมื่อพิจารณาร้อยละความพอดีของข้าวเกรียบข้าวโพดสูตรที่ 1 (ตารางที่ 4.4.10) ในงานวิจัยนี้ได้ตั้งเกณฑ์ร้อยละความพอดีอยู่ที่ร้อยละ 70 พบว่า มีความพอดีของความกรอบร้อยละ 76.00 จึงไม่ต้องปรับปรุงในคุณลักษณะนี้ ส่วนเรื่องรสเค็มและรสหวานนั้นมีค่าความพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70 เมื่อพิจารณาค่า net scores หรือ net effect พบว่า มีค่ามากกว่าร้อยละ 20 (ร้อยละ 22.50 และ 53.50 ตามลำดับ) โดยควรปรับรสเค็มและรสหวานให้เพิ่มขึ้น จึงทำการผันแปรปริมาณเกลือจากเดิมร้อยละ 2.50 เป็นช่วงระหว่างร้อยละ 2.50 และร้อยละ 3.50 ของปริมาณแป้ง และปรับในด้านรสหวาน โดยการผันแปรปริมาณน้ำตาลจากเดิมร้อยละ 0 เป็นช่วงร้อยละ 0 และร้อยละ 10.00 ของปริมาณแป้ง

จากการนำผลการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาสมการถดถอย เพื่อหาผลของปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของข้าวเกรียบข้าวโพด ดังตารางที่ 4.4.13 พบว่า ปริมาณเกลือและปริมาณน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพด้านความชอบโดยรวม ลักษณะปรากฏ กลิ่นรสข้าวโพด รสเค็ม รสหวาน ความกรอบ และค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยพบว่า ปริมาณเกลือมีผลต่อคุณภาพด้านความชอบโดยรวม ลักษณะปรากฏ และกลิ่นรสข้าวโพด ซึ่งหากเพิ่มปริมาณเกลือจะมีผลทำให้คะแนนความชอบทางด้านความชอบโดยรวม ลักษณะปรากฏ และกลิ่นรสข้าวโพดสูงขึ้น ส่วนความชอบด้านรสเค็ม รสหวานและความกรอบ มีผลจากปริมาณน้ำตาล ซึ่งหากเพิ่มปริมาณน้ำตาล มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านรสเค็ม รสหวานและความกรอบมี



ค่าสูงขึ้น ส่วนค่า a_w จะลดลงเมื่อใช้เกลือในปริมาณที่มากขึ้นการศึกษากกรรมวิธีที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ผู้บริโภคมารับ

เมื่อทำการศึกษากกรรมวิธีการผลิตข้าวเกรียบข้าวโพด โดยทำการผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวเกรียบข้าวโพดได้ผลดังตารางที่ 3.4.8 พบว่า ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.274 - 0.381 ค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.47 - 2.90 ซึ่งมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก (มผช. ๑๐๗/๒๕๔๖) ค่าสี L^* a^* และ b^* อยู่ในช่วง 67.13 - 73.57, (-0.74) - (-2.77) และ 17.38 - 21.00 ตามลำดับ โดยข้าวเกรียบมีสีค่อนข้างสว่างและออกไปทางเหลืองเล็กน้อย ค่าแรงกดของข้าวเกรียบอยู่ในช่วง 4.37 - 7.01 นิวตัน และค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.15 - 0.22 กรัมต่อมิลลิลิตร

จากการศึกษากกรรมวิธีที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดที่ผู้บริโภคมารับ เมื่อทำการศึกษากกรรมวิธี การผลิตข้าวเกรียบข้าวโพด โดยทำการผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง พบว่า ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.274 - 0.381 ค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.47 - 2.90 ซึ่งมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก (มผช. ๑๐๗/๒๕๔๖) ค่าสี L^* a^* และ b^* อยู่ในช่วง 67.13 - 73.57, (-0.74) - (-2.77) และ 17.38 - 21.00 ตามลำดับ โดยข้าวเกรียบมีสีค่อนข้างสว่างและออกไปทางเหลืองเล็กน้อย

ผลการทดลองการศึกษากกรรมวิธีที่เหมาะสมของข้าวเกรียบข้าวโพดทั้งหมดมาวิเคราะห์หาสมการถดถอย เพื่อหาผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของข้าวเกรียบข้าวโพด ดังตารางที่ 4.4.17 พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมีต่อคุณภาพด้านกลีรสรข้าวโพด ความกรอบ และค่าแรงกดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยพบว่า อุณหภูมิผลต่อคุณภาพด้านกลีรสรข้าวโพด และค่าแรงกด โดยหากเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลทำให้คะแนนความชอบด้านกลีรสรข้าวโพด และค่าแรงกดสูงขึ้น และพบว่า เวลาในการอบแห้งมีผลต่อคุณลักษณะทั้ง 3 โดยหากเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งจะทำให้ความชอบในทุกคุณลักษณะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน และผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดในงานวิจัยนี้นับว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดนี้ได้รับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคอยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน รวมถึงมีการผลิตที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก และผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพสูงในอนาคตที่จะส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้ประกอบการขนาดเล็กได้มีการผลิตเพื่อจำหน่ายต่อไป



5.5 การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพด

5.5.1 การทดสอบสภาวะในการย่อยข้าวโพด

จากผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในตารางที่ 4.5.1 – 4.5.4 พบว่าการย่อยด้วยเอนไซม์ผสม A + VP + WX (ตารางที่ 4.5.3) ทำให้ได้ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดในระดับสูงสุดที่ 15.4 ± 1.7 กรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 5.2 ± 0.6 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียด โดยน้ำตาลทั้งหมดที่ย่อยได้อยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคส สำหรับการย่อยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้หากทำการย่อยต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จะได้น้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 1.0 ± 0.7 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียด

จากผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้มในตารางที่ 4.5.5 – 4.5.8 พบว่าการย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase (ตารางที่ 4.5.8) ทำให้ได้ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดในระดับสูงสุดที่ 24.7 ± 0.5 กรัมต่อลิตรหรือร้อยละ 8.2 ± 0.2 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้ม โดยน้ำตาลส่วนมากที่ย่อยได้อยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคส สำหรับการย่อยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้หากทำการย่อยต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จะได้น้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 1.9 ± 0.1 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการต้ม

จากผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำในตารางที่ 4.5.9 – 4.5.12 พบว่าการย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase ดังตารางที่ 38 ทำให้ได้ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดในระดับสูงสุดที่ 20.6 ± 2.0 กรัมต่อลิตรหรือร้อยละ 6.9 ± 0.7 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ โดยน้ำตาลส่วนมากที่ย่อยได้อยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคส สำหรับการย่อยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้หากทำการย่อยต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จะได้น้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 4.6 ± 0.8 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ

จากการทดลองด้วยข้าวโพดบดละเอียดทั้งที่ไม่ผ่าน และผ่านกรรมวิธีปฏิบัติในเบื้องต้นด้วยการต้ม และนึ่งอัดไอน้ำ พบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำตาลโมเลกุลเล็กที่ย่อยได้จะมีค่าสูงขึ้น โดยแปรผันกับปริมาณความร้อนที่ใช้ ทั้งนี้เอนไซม์ผสม A + VP + WX จะมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับข้าวโพดบดละเอียดที่ไม่ผ่านกรรมวิธีปฏิบัติในเบื้องต้น แต่เอนไซม์ Accellerase จะมีความเหมาะสมกว่าในกรณีที่ข้าวโพดบดละเอียดผ่านกรรมวิธีปฏิบัติในเบื้องต้นด้วยการต้ม และนึ่งอัดไอน้ำ

5.5.2 การทดสอบอัตราส่วนของข้าวโพดที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase และอุณหภูมิที่เหมาะสม แล้วจึงใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุคโตสที่มีมูลค่าสูงกว่า

จากผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำแล้วย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase ได้ความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสในระดับที่สูงที่สุดที่ 12.8 ± 1.80 กรัมต่อลิตร สำหรับการย่อยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้หากทำการย่อยต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จะได้น้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 4.60 ± 0.80 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำดังตารางที่ 38 ดังนั้นจึงได้นำวิธีการนี้มาใช้ร่วมกับการเติม



เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเพื่อเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาล ฟรุคโตส ซึ่งจะทำให้ได้ความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุคโตสที่เพิ่มมากขึ้น

การทดลองในตารางที่ 4.5.13 – 4.5.17 ใช้โปรแกรม Design Expert Version 6 ในการทำ Experimental Design ของการทดลองได้ค่ากลางของข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง ดังตารางที่ 4.5.17

จากผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำแล้วย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase ที่อัตราส่วน 3 กรัมข้าวโพดบดละเอียด ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.5.18 – 4.5.20 โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะได้ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดในระดับสูงสุดที่ 35.23 ± 0.09 กรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 11.74 ± 0.03 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ โดยน้ำตาลส่วนมากที่ย่อยได้อยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคส สำหรับการย่อยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้หากทำการย่อยต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จะได้น้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 5.48 ± 0.04 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ

จากผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำแล้วย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase ที่อัตราส่วน 6 กรัมข้าวโพดบดละเอียด ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.5.19 ทำให้ได้ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดในระดับสูงสุดที่ 7.37 ± 0.05 กรัมต่อลิตรหรือร้อยละ 2.46 ± 0.02 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ โดยน้ำตาลส่วนมากที่ย่อยได้อยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคส สำหรับการย่อยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้หากทำการย่อยต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จะได้น้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2.46 ± 0.02 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ

จากผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำแล้วย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase ที่อัตราส่วน 9 กรัมข้าวโพดบดละเอียด ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.5.15 – 4.5.16 โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะได้ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดในระดับสูงสุดที่ 27.4 ± 0.16 กรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 9.13 ± 0.05 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ โดยน้ำตาลส่วนมากที่ย่อยได้อยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคส สำหรับการย่อยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้หากทำการย่อยต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จะได้น้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 6.91 ± 0.06 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ

จากผลการทดลองเติมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสลงไปในสารละลายความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสที่ 30 กรัมต่อลิตร แล้วนำไปบ่มที่ 24 และ 48 ชั่วโมง โดยไม่ใช้ปั๊มเฟอร์ ดังตารางที่ 4.5.18 พบว่าการทำงานของเอนไซม์ในช่วง 24 ชั่วโมงแรก จะได้ความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส และฟรุคโตสในระดับสูงสุดที่ 21.1 ± 1.46 และ 19.6 ± 1.73 กรัมต่อลิตร หรือมีการลดลง และเพิ่มขึ้นของน้ำตาลกลูโคสกับฟรุคโตส คิดเป็นร้อยละ 52.1 และ 47.3 ทั้งนี้หากทำการทดลองต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จะได้ความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส และฟรุคโตสร้อยละ 49.8 และ 47.7 ตามลำดับ

จากผลการย่อยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำแล้วย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase ที่อัตราส่วน 3 กรัมข้าวโพดบดละเอียด ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยการใช้ปั๊มเฟอร์ของ Yoon, *et al.*

(2005) แล้วย่อยนาน 24 ชั่วโมง จากนั้นเติมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสลงไปเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นน้ำตาลฟรุคโตส ดังตารางที่ 4.6 โดยในการทำงานของเอนไซม์ในช่วง 24 ชั่วโมงแรก จะมีความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดในระดับสูงสุดที่ 24.4 ± 1.30 กรัมต่อลิตรหรือร้อยละ 8.14 ± 0.44 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ โดยความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส และฟรุคโตสในระดับที่ 13.09 ± 0.94 และ 2.18 ± 0.81 กรัมต่อกรัมข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านการนึ่งอัดไอน้ำ

จากการทดลองด้วยข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีปฏิบัติในเบื้องต้นด้วยการนึ่งอัดไอน้ำ แล้วย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase ด้วยอัตราส่วนของข้าวโพดบดละเอียดที่ 3, 6 และ 9 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าการย่อยข้าวโพดบดละเอียดในอัตราส่วน 3 กรัม โดยย่อยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสมีค่าสูง และเหมาะสมกว่าการย่อยข้าวโพดบดละเอียดอัตราส่วน 6 และ 9 กรัม ที่อุณหภูมิน้อยกว่า 40 องศาเซลเซียส ส่วนการทดลองเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุคโตสนั้นบัพเฟอร์มีผลกระทบต่องานของเอนไซม์ชนิดนี้ ซึ่งทราบได้จากทดสอบใช้สารละลายมาตรฐานกลูโคสกับเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส โดยไม่ได้มีการใช้บัพเฟอร์แต่อย่างใดใช้เพียงน้ำกลั่นเท่านั้น ดังตารางที่ 4.5.19

5.5.3 การทดลองการศึกษาเบื้องต้นเพื่อการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพดสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์

หลังจากเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต เพื่อหาวิธีการทำน้ำเชื่อมกลูโคส/ฟรุคโตสเข้มข้นเบื้องต้น ทำให้ผู้วิจัยต้องเปลี่ยนวิธีการในการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคส/ฟรุคโตสด้วยวิธีการเขย่าแทน จากการศึกษาทดลองพบว่าการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเป็นฟรุคโตสด้วยเครื่องรührเลอร์ และเครื่องเขย่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4.5.21

5.5.3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นน้ำตาลฟรุคโตสของเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส (glucose isomerase)

1) การศึกษาผลกระทบระดับค่า pH ต่อเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส เตรียมตัวอย่างโดยนำข้าวโพดที่ผ่านย่อยเบื้องต้นด้วยการนึ่งอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ปริมาณ 3 กรัม (อ้างอิงการทดลองในปีที่ 1) ผสมกับสารละลายฟอสเฟตซิเตรทบัพเฟอร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยปรับให้มีระดับค่า pH ที่ 5, 6 และ 7 แล้วเติมเอนไซม์แอสเซลเลอเรส 1500 (accellerase 1500) ปริมาณ 1.53 กรัม จากนั้นจึงนำไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง (อ้างอิงการทดลองในปีที่ 1) แล้วหยุดการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ต่อวัตถุดิบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที (สุคันธรส, 2550) จากนั้นจึงเติมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ปริมาณ 1.5 กรัม แล้วทำปฏิกิริยาด้วยการเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มเพื่อหยุดการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ดังวิธีข้างต้น ทำการเก็บตัวอย่างแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ $2,822 \times g$ หรือความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที จากนั้นดูดของเหลวใส่ไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (รูปที่ 4.5.8 – 4.5.10)

จากตารางที่ 4.5.22 พบว่าสารละลายฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ที่ระดับ pH 5 เหมาะสมต่อเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสมากที่สุด โดยสามารถผลิตน้ำตาลฟรุคโตสได้ปริมาณสูงสุดที่ 8.72 ± 0.94 กรัมต่อลิตร ส่วนที่ระดับ pH 6 และ pH 7 จะได้ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสรองลงมาที่ 8.03 ± 0.37 และ 5.61 ± 0.25 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH อื่น ๆ เนื่องจากประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะเกิดได้ดีที่ระดับ pH ต่างกัน หรือเรียกว่า optimum pH เป็นช่วงหนึ่งเอนไซม์มีแอกทิวิตีสูงสุด โดยจะแตกต่างกันตามชนิดของเอนไซม์ นอกจากนี้เอนไซม์เป็นโปรตีนอย่างหนึ่ง ซึ่งความเสถียรของโปรตีนจะขึ้นอยู่กับค่า pH ยกตัวอย่างเช่น ในสภาวะที่เป็นกรดแก่และต่างแก่มักจะมีผลให้โปรตีนของเอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติไป เนื่องจากโครงสร้างของโปรตีนระดับทุติยภูมิ ตติยภูมิหรือจตุรภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้เข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้ไม่ดี ส่งผลปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาลดลง (ปราณี, 2547) จากการทดลองนี้ค่าระดับ pH ที่ 5 มีความเหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสที่สุด

2) การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส เตรียมตัวอย่างดังการทดลองที่ 1) จากการนำของเหลวที่ได้ปรับ pH ให้เท่ากับ 5 ที่มีความเหมาะสมต่อเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสตามผลการทดลองที่ 1) และเติมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส 1.5 กรัม จากนั้นนำของเหลวที่ได้ไปย่อยในเครื่อง tumbler ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างแล้วหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ตามการทดลองที่ 1) นำตัวอย่างที่ไปปั่นเหวี่ยงที่ $2,822 \times g$ หรือความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที จากนั้นดูดของเหลวใส่ปิเปตกระห์ปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ดังรูปที่ 4.5.11 – 4.5.13

จากตารางที่ 4.5.23 พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ปริมาณฟรุคโตสเพิ่มขึ้นที่ 11.94 ± 0.41 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับปริมาณฟรุคโตสที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส 10.70 ± 0.60 และ 10.92 ± 0.21 ตามลำดับ อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์จะแปรผันตามอุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมิอิทธิพลต่อความคงตัวของเอนไซม์ หากอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้บริเวณ active site ของเอนไซม์เกิดการเสียสภาพหรือแตกต่างไปจากเดิม ส่งผลให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ลดลง (นิธิยา, 2545) และเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสอาจเกิดการออกซิเดชันด้วยอนุมูลอิสระที่สูงในกระบวนการทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง (Gensweet, 2007) จากการทดลองนี้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสที่สุด

3) การศึกษาระดับความเข้มข้นของเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสที่เปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุคโตสให้ได้สูงสุดในสภาวะที่เหมาะสม ได้ทดสอบระดับของความเข้มข้นของเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสที่ 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ในการเปลี่ยนสารละลายน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร ให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุคโตสให้ได้สูงสุดในสารละลายฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 แล้ว



นำไปทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ด้วยการเขย่า ซึ่งสถานะที่ได้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวมากที่สุดตามการทดลองที่ 1) และ 2) กันดังรูปที่ 4.5.14 – 4.5.16

จากตารางที่ 4.5.24 พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ระดับ 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม สามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร เป็นน้ำตาลฟรุคโตส ได้ที่ 14.52 ± 0.73 , 14.82 ± 0.18 และ 14.83 ± 0.32 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเหลืออยู่ที่ 15.67 ± 0.17 , 15.26 ± 0.22 และ 15.62 ± 0.88 กรัมต่อลิตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4.5.25 เมื่อคำนวณร้อยละเปลี่ยนปริมาณน้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลฟรุคโตสที่ความเข้มข้นเอนไซม์ที่ 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ได้ร้อยละ 48.40, 49.40 และ 49.43 จากการทดลองพบว่า สถานะที่ใช้สามารถเปลี่ยนให้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลฟรุคโตสได้ดีกว่าการรายงานผลของ Zhang *et al.* (2004) และ Gaily *et al.* (2010) เพียงร้อยละ 3 - 5 เท่านั้น เนื่องจากเทคโนโลยีของเอนไซม์ไอโซเมอเรสชั้นในปัจจุบันสามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุคโตสได้มากที่สุดเพียงร้อยละ 42 เท่านั้น เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสก็จะเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล เพราะความเข้มข้นของเอนไซม์จะแปรผันตรงต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งในสถานะที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่า pH และอุณหภูมิ ซึ่งเอนไซม์จะเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่หรือสมดุล ทำให้บริเวณ active site ของเอนไซม์จะถูกสารผลิตภัณฑ์จับจนหมด ทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้อีก อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงเริ่มคงที่ (นิธิยา, 2545 และปราณี, 2547) ดังนั้นการใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสที่ 1.0 กรัม จึงมีความเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาเพื่อผลิตสารผลิตภัณฑ์หรือน้ำตาลฟรุคโตส ในสถานะดังกล่าว

จากตารางที่ 4.5.26 เป็นการทดสอบการผลิตน้ำตาลฟรุคโตสในระดับขยายขนาดที่ 1,000 มิลลิลิตร ที่ใช้สถานะต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสจากการทดลองข้างต้น พบว่าสามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นฟรุคโตสได้ที่ 10.22 ± 0.52 หรือคิดเป็นร้อยละ 43.90 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เปี่ยมสุข (2551) ที่ได้รายงานว่าได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลฟรุคโตสที่ได้จากปฏิกิริยาไอโซเมอเรสชั้นจะมีส่วนผสมของน้ำตาลกลูโคส ร้อยละ 50 - 53 และน้ำตาลฟรุคโตสอยู่ ร้อยละ 42 - 47 นอกนั้นเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ร้อยละ 5 จากนั้นจึงนำสารละลายกลูโคสฟรุคโตสที่ได้มาทำให้เข้มข้น

5.5.4 การศึกษาวิธีการทำบริสุทธิ์น้ำเชื่อมกลูโคสฟรุคโตสเบื้องต้น

จากการทดลองย่อยตัวอย่างข้าวโพดปริมาณ 300 กรัมต่อลิตร ให้ได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากที่สุด ตามวิธีการทดลองในปีที่ 1 แล้วนำมาหาสถานะที่เหมาะสมต่อเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส พบว่าสารละลายฟอสเฟตซีเตรทบัฟเฟอร์ที่ค่า pH 5 แล้วทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ด้วยการเขย่า นาน 24 ชั่วโมง สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลฟรุคโตสเพิ่มมากถึงร้อยละ 43.90 ดังตารางที่ 4.5.26 ซึ่งสารละลายกลูโคสฟรุคโตสมีสีใสออกส้ม

5.5.4.1 การศึกษาปริมาณผงถ่าน (decolorizing powder, activated carbon) ที่เหมาะสมต่อการลดค่าสีของสารละลายกลูโคสฟรุคโตสผสมกับผงถ่านร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยมวลต่อ



ปริมาตร แล้วกวณผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ทำการเก็บตัวอย่างแล้วนำไปวัดสีด้วยเครื่อง Colorimeter (Konica Minolta, CR-410, Japan) พบว่าปริมาณผงร้อยละของถ่านที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สีของสารละลายตัวอย่างมีความเข้มสีลดลง และมีความสว่างเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.5.19) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.5.27 ซึ่งการทดลองของ Sutjahja and Adsasmito (1997) ได้รายงานการถึงการนำสารละลายกลูโคสฟรุคโตสที่ได้จากการย่อยมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส แล้วทำให้บริสุทธิ์ด้วยผงถ่านก่อนนำไปประเหยให้เข้มข้น มีผลให้ค่าสี L^* หรือค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น

จากตารางที่ 4.5.27 ค่าความสว่างของสารละลายกลูโคสฟรุคโตสมีค่าเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเมื่อเทียบกับสารละลายกลูโคสฟรุคโตสที่ไม่ได้เติมผงถ่าน (ตัวอย่างควบคุม) มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 62.68 ± 0.05 ซึ่งเมื่อได้เติมผงถ่านร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวลต่อปริมาตร ทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 63.35 ± 0.35 , 63.49 ± 0.07 และ 63.51 ± 0.07 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า a^* ที่แสดงถึงค่าสีแดงและสีเขียวของสารละลาย (ค่า a^* ที่มีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีแดง หากมีค่าเป็นลบจะแสดงถึงสีเขียว) พบว่า สารละลายกลูโคสฟรุคโตสที่เติมผงถ่านมีค่า a^* ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า a^* ระหว่างสารละลายที่เติมผงถ่านปริมาณต่างๆ ไม่ได้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นสารละลายกลูโคสฟรุคโตสที่เติมผงถ่านจะมีสีออกโทนสีเขียวหรือสีเข้ม เมื่อพิจารณาค่า b^* แสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน (ค่า b^* ที่เป็นบวกแสดงถึงสีเหลือง หากเป็นลบแสดงถึงสีน้ำเงิน) พบว่า สารละลายกลูโคสฟรุคโตสที่เติมผงถ่านร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยมวลต่อปริมาตร มีค่า b^* เท่ากับ 51.00 ± 0.07 , 31.40 ± 0.05 , 30.00 ± 0.01 และ 29.30 ± 0.02 ตามลำดับ ซึ่งการเติมผงถ่านในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นสารละลายกลูโคสฟรุคโตสจึงมีแนวโน้มแสดงออกโทนเหลืองค่อนข้างเข้ม นอกจากนี้ยังได้ทดลองเติมผงถ่านในปริมาณที่มากขึ้นกว่าร้อยละ 5 พบว่าไม่สามารถลดความเข้มสีของสารละลายได้แต่อย่างใด แต่กลับทำให้สารละลายกลูโคสฟรุคโตสไร้สมบัติออกดำเนื่องจากสีของผงถ่าน การศึกษานี้จึงสรุปได้ว่าการใช้ผงถ่านที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร แล้วกวณที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที สามารถลดค่าสีของสารละลายกลูโคสฟรุคโตสได้สูงสุด ดังรูปที่ 4.5.19 (C)

5.5.4.2 การศึกษาทำน้ำเชื่อมกลูโคสฟรุคโตสเข้มข้น (ดัดแปลงจากพัคตร์ประไพ, 2546) โดยนำสารละลายกลูโคสฟรุคโตสมาทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่ 55 องศาบริกซ์ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมกลูโคสฟรุคโตสเข้มข้นที่ไปวัดค่าความเข้มสี ตามการทดลองที่ 2) ได้ค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 55.34 ± 0.05 , -0.95 ± 0.12 และ 57 ± 0.45 ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีออกโทนแดงส้ม ดังรูปที่ 4.5.20

5.6 การทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากถั่วแปยเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต

5.6.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีถั่วแปยสด และทอดด้วยวิธีดั้งเดิม

ผลจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของถั่วแปยสดพบว่า ถั่วแปยสดจากไร่ในอำเภอเมืองจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีสีขาวนวล มีความชื้นต่ำแต่มีโปรตีนสูง(19%) และไขมันต่ำมาก (ร้อยละ 1.80) เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่มีไขมันประมาณร้อยละ 13 – 25 (อรอนงค์, 2543)

ผลการศึกษาค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า ค่าความหืน และค่าความแข็ง ของถั่วแปยทอดที่สุ่มมาจากตลาดแม่เหิยะ อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าถั่วแปยทอดวิธีดั้งเดิมสุกไม่สม่ำเสมอทำให้ถั่วแปยมีสีตั้งแต่เหลืองออกน้ำตาลอ่อนถึงเข้มซึ่งเกิดจากการไหม้เนื่องจากการทอดอีกทั้งถั่วแปยบางเม็ดก็แข็งมาก ตารางที่ 4.4.1 แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของถั่วแปยสดและถั่วแปยทอดทั้งเปลือกดังรูปที่ 4.6.1

จากตารางที่ 4.6.2 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณภาพของถั่วแปยทอดสุญญากาศ พบว่าอุณหภูมิการทอดที่เพิ่มขึ้น จาก 120 องศาเซลเซียส เป็น 135 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ปริมาณความชื้นในถั่วแปยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของปริมาณความชื้นใน ถั่วแปยทอดสุญญากาศที่ทอดด้วยอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส ในส่วนของค่าสี L ซึ่งเป็นค่าความสว่างมีช่วงระหว่าง 0-100 โดยค่า 0 หมายถึงสีดำ ค่า 50 หมายถึงสีเทา และค่า 100 แสดงถึงสีขาว จากการวัดค่าสี L ของแปยทอดสุญญากาศทุกสิ่งทดลองพบว่าค่าสี L ของถั่วแปยที่ทอดด้วยอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่า ถั่วแปยที่ทอดด้วยอุณหภูมิอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเท่ากับ 62.45 ± 4.87 ส่วนของค่าสี a^* ซึ่งแสดงค่าสีแดงและ สีเขียว โดย ค่าสี a^* เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีแดง และถ้า ค่า a^* เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างมีเป็นสีเขียว จากการทดลองพบว่า ค่าสี a^* ของถั่วแปยทอดสุญญากาศเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามอุณหภูมิการทอดที่เพิ่มขึ้น ค่าสี b^*

เป็นค่าที่แสดง สีน้ำเงิน และ เหลือง โดยถั่วค่าสี b^* เป็นบวกแสดงว่า ตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน ส่วนค่าที่เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างมีค่อนข้างสีเหลือง จากผลการทดลองจะเห็นถั่วแปยทอดที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส มีค่า b^* น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ

จากตารางที่ 4.6.3 แสดงผลของเวลาการทอดต่อคุณภาพของถั่วแปยทอดสุญญากาศ พบว่าเวลาการทอดมีผลต่อปริมาณความชื้น และ ค่าสี a^* โดยถั่วแปยมีปริมาณความชื้นลดลงตามเวลาการทอดที่นานขึ้น และ มีค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทอดถั่วแปยนาน 30 นาที

ตารางที่ 4.6.4 แสดงผลการศึกษาค่าผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของถั่วแปยทอดสุญญากาศ ในการผันแปรสภาวะ ทั้ง 9 สภาวะพบว่าไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 กล่าวคือปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอด ไม่มีผลต่อสมบัติด้านต่างๆของถั่วแปยทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมี ซึ่งได้แก่ ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน เถ้า และ คุณภาพทางกายภาพซึ่งได้แก่ ค่าสีและค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของถั่วแปยทอดสุญญากาศ พบว่าถั่วแปยทอดด้วย



เครื่องทอดสุญญากาศ ทุกสิ่งทดลอง มีคุณภาพผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.1236/2549) ที่กำหนดให้ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ถั่วแปบียทอดต้องไม่เกิดร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก สำหรับค่ากิจกรรมของน้ำไม่ควรเกิน 0.6 จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งเมื่อ a_w ต่ำกว่า 0.6 (วิลโล, 2545) ซึ่งเป็นผลดีต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ข้อมูล(เฉลี่ยต่อตัวอย่าง 100 กรัม) ที่เคยมีการศึกษามาก่อนของถั่วแปบิ พบว่า มีปริมาณโปรตีน 23 ปริมาณไขมัน 15 และปริมาณเถ้า 4.7 และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ จะได้ว่าค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และปริมาณเถ้าที่ได้ มีค่าไม่เกินกว่าที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยกเว้นปริมาณโปรตีนซึ่งมีค่ามากกว่า และมีสีสวยกว่าถั่วแปบิที่ขายในท้องตลาด เพราะเมื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์ระหว่างถั่วแปบียทอดที่มีขายตามท้องตลาดกับถั่วแปบิที่ทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศพบว่าค่ากิจกรรมของน้ำ(a_w), ปริมาณความชื้น, ปริมาณไขมันและค่าสี a, b นั้นมีค่าน้อยกว่าถั่วแปบิที่ขายตามท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณโปรตีนและค่าความสว่าง (L) นั้นมีค่ามากกว่า ส่วนปริมาณเถ้ามีค่าใกล้เคียงกัน ผลจากการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านอุณหภูมิ มีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าสีได้แก่ ค่าความสว่าง (L), ค่าสีแดง(+a) ,ค่าสีเขียว(-a), ค่าสีเหลือง (+b) และค่าสีน้ำเงิน(-b) กล่าวคืออุณหภูมิที่ใช้ทอดเป็นอุณหภูมิของน้ำมันร้อน ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำในอาหารเกิดการระเหยได้ในอัตราที่เร็วขึ้นตามอุณหภูมิของน้ำมันที่เกิดการถ่ายเทความร้อนกับชิ้นอาหาร ดังนั้นจึงมีผลต่อปริมาณความชื้นในอาหารอย่างเป็นไปในทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sukumar Debnatha, K.K. Bhatb และ N.K. Rastogic (2003) ค่าสีความสว่าง (L) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าสี a ซึ่งเป็นค่าบวกลบหมายถึงค่าสีแดง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทอดสูงขึ้น และค่าสี b มีค่าเป็นลบหมายถึงค่าสีเหลือง พบว่าถั่วแปบียทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มของค่าสีเหลืองมากกว่าการทอดอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส ส่วนในปัจจัยด้านระยะเวลาที่ใช้ทอดนั้นมีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และค่าสี a (สีแดง) นั้นอาจเนื่องมาจากว่าระยะเวลาในการทอดนานขึ้น ทำให้เวลาในการแทนที่น้ำของน้ำมันมีมากขึ้นจึงทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นอาหารลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการทอดมากขึ้น และนอกจากนี้ยังส่งผลต่อปริมาณไขมัน กล่าวคือระยะเวลาในการทอดแปรผันตรงปริมาณไขมันในอาหาร ส่วนค่าสีa(สีแดง) ยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับอุณหภูมิที่ใช้ทอด สำหรับปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการทอดนั้นไม่มีผลต่อสมบัติด้านใดเลยของถั่วแปบียทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ

ในการศึกษาผลของปัจจัยเดียว ได้แก่ อุณหภูมิที่ทอด เวลาทอด และระยะเวลาการเก็บต่อค่าความหืนหรือค่าTBARS ของถั่วแปบียทอดสุญญากาศ ตารางที่ 4.6.5 ซึ่งการทดสอบฤทธิ์ที่ต้านการออกซิเดชันด้วยวิธี Thiobarbituric Reactive Substances (TBARS) วิธีนี้เป็นการติดตามปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ low density lipoprotein (LDL) กับโลหะไอออน เช่น Fe^{2+} Cu^{2+} โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร (Fauconneauและคณะ, 1997) เพื่อเป็นดัชนีชี้วัดความหืนอันเนื่องมาจากน้ำมันในอาหาร พบว่าอุณหภูมิ(120 – 150 องศาเซลเซียส) และเวลา(10 – 30 นาที) ไม่มีผลต่อค่า TBARSอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะการเก็บมีผลต่อค่า TBARS ของถั่วแปบียทอดสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 กล่าวคือ ระยะเวลาในการเก็บมีผลต่อค่า



ความหืนหรือค่า TBARS (mgMAD/kg) โดยเมื่อถั่วแปยทอดสุญญากาศเก็บไว้ได้นานกว่า 15 วัน ค่า TBARS จะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและอุณหภูมิต่อค่า TBARS ตารางที่ 4.6.6 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ ปัจจัยร่วมนี้มีผลต่อค่าความหืน โดยที่ระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหืนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ผลของอุณหภูมิการทอดไม่มีผลต่อค่าความหืนที่เพิ่มขึ้นจากตารางข้างต้น ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่าหลังจากเก็บถั่วแปยทอดด้วยเครื่องสุญญากาศไว้นานกว่า 15 วันค่า TBARS จะมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บและเวลาที่ใช้ในการทอดต่อค่า TBARS ตารางที่ 4.6.7 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยถั่วแปยที่ทอดเสร็จใหม่จนถึงระยะเวลาการเก็บ 15 วันจะมีค่า TBARS ไม่แตกต่างกัน แต่หลังจาก 15 วันเป็นต้นไปค่า TBARS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังตาราง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระยะเวลาในการทอด 10 นาทีกับระยะเวลาการเก็บ 30 วัน อาจเนื่องมาจากระยะเวลาการทอดน้อยทำให้น้ำมันแทรกตัวเข้าแทนที่น้ำอาหารน้อย จึงทำให้อาหารยังมีความชื้นสูง ซึ่งส่งผลให้น้ำในอาหารทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับน้ำมันในอาหารเร็วยิ่งขึ้นส่งผลให้อาหารเหม็นหืนเร็ว

การศึกษาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดต่อค่า TBARS ตารางที่ 4.6.8 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคืออุณหภูมิและเวลาการทอดร่วมกันไม่มีผลต่อค่าความหืน

การศึกษาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดต่อค่า TBARS ตารางที่ 4.6.9 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ สำหรับการศึกษาเรื่องค่าความหืน หรือ ค่า TBARS (mgMAD/kg sample) นั้น ทำให้ทราบว่าค่าความหืนของถั่วแปยทอดด้วยเทคนิคสุญญากาศนั้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ปัจจัยร่วมที่มีระยะเวลาในการเก็บเป็นหนึ่งในสองปัจจัยนั้นก็มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการหืนนี้เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันที่อยู่ในถั่วแปยทั้งในขณะทอดและหลังจากทอดแล้ว โดยในขณะทอดนั้นจะเกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิส ส่วนการหืนหลังทอดนั้นโดยมากเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ปราณี, 2549) ซึ่งการหืนแบบหลังมักจะเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ทอดที่มีการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสม เกิดการเสื่อมคุณภาพลักษณะที่พึงประสงค์ของอาหารทอด ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติได้ เมื่อทำการเปรียบเทียบถั่วแปยที่ได้จากการทอดด้วยเทคนิคสุญญากาศกับถั่วแปยตามท้องตลาด พบว่า ค่าความหืนที่ได้มีค่าน้อยกว่า

ในการศึกษาปัจจัยเดี่ยวทั้งหมด ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ทอด เวลาที่ใช้ในการทอด และระยะเวลาการเก็บนั้น ตารางที่ 4.6.10 พบว่าแต่ละปัจจัยให้ผลต่อค่าความหืนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั่นคือ ทั้งสามปัจจัยไม่มีผลต่อความหืนของถั่วแปยทอด

การศึกษาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ทอดกับระยะเวลาการเก็บต่อความแข็งของถั่วแปยี่ ตารางที่ 4.6.11 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ 2 ปัจจัยร่วมนี้ไม่มีผลต่อความแข็งของถั่วแปยี่

การศึกษาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาในการทอดกับระยะเวลาการเก็บต่อความแข็งของถั่วแปยี่ ตารางที่ 4.6.12 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ 2 ปัจจัยร่วมนี้ไม่มีผลต่อความแข็งของถั่วแปยี่

ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ทอดกับระยะเวลาที่ใช้ในทอดไม่มีผลต่อความแข็งของถั่วแปยี่ ตารางที่ 4.6.13 เนื่องจากว่าผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ทอด ระยะเวลาที่ใช้ทอดและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บ ตารางที่ 4.6.14 ไม่มีผลต่อความแข็งของถั่วแปยี่ เนื่องจากว่าผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังเสนอในตารางข้างต้น

การศึกษาในเรื่องความแข็งของถั่วแปยี่ที่ได้จากการทอดด้วยเทคนิคสุญญากาศจากปัจจัยทั้งสามปัจจัย อันได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ทอด เวลาที่ใช้ทอดและระยะเวลาการเก็บ ทั้งในรูปแบบปัจจัยเดี่ยว ปัจจัยร่วม(แบบที่เป็นคู่ และทั้งสามปัจจัยพร้อมกัน) ดังข้อมูลข้างต้น พบว่าปัจจัยทั้งหมดนี้ไม่มีผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์พื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วแปยี่ทอดสุญญากาศ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบสมการถดถอยที่เหมาะสม โดยสมการที่ได้จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทอด) และตัวแปรตาม (คุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์) ทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในโครงสร้างของสมการ แล้วคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ส่วนตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป เพื่อให้สมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้องและมีค่า R^2 (coefficient of determination) สูง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ศึกษา เพื่อให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากที่สุด และจากการวิเคราะห์หาสมการถดถอย พบว่า ปริมาณชา พลังงาน และเวลาที่ใช้ทำแห้งมีความสัมพันธ์กับบางคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6.15

จากสมการถดถอยทั้ง 4 สมการ พบว่า ตัวแปรตามที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เชียว ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี L ค่า TBARS และค่าความแข็ง (Hardness) ดังนั้น เมื่อนำสมการถดถอยของตัวแปรดังกล่าวข้างต้น ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface) ที่ผันแปรปริมาณชา พลังงาน และระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง ได้ผลดังรูปที่ 4.6.2 – 4.6.3

จากรูปที่ 4.6.4 Optimization point ของการทอดถั่วแปยี่ 500 กรัม ด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ คือ ที่การทอดที่อุณหภูมิประมาณ 128 – 135 องศาเซลเซียส และ ทอดนาน 14 - 20 นาที ซึ่งการทอดนี้จะทำให้ถั่วแปยี่ทอดมีปริมาณความชื้น ค่าสี L ค่า TBARS และ ค่าความแข็งอยู่ในช่วงที่ต้องการ

5.6.2 การศึกษาสมบัติด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ของตัวอย่างถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศ

จากการศึกษาปัจจัยเดียวในเรื่องของระยะเวลาการเก็บโดยการให้คะแนนทางประสาทสัมผัส ตารางที่ 4.6.16 – 4.6.18 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส สำหรับการศึกษาในปัจจัยเดียว ในเรื่องของอุณหภูมิที่ใช้ทอดนั้น พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ทอดมีผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส มีคะแนนสูงสุด รองลงมาคือ 120 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส มีคะแนนต่ำที่สุด ด้านกลิ่นพบว่าถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส นั้นมีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกัน ส่วนอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นสูงสุด สำหรับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม พบว่าการทอดถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส มีคะแนนสูงสุด รองลงมาคือรองลงมาคือ 120 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส มีคะแนนต่ำที่สุด สำหรับความแข็งนั้นอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 135 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศทั้ง 3 อุณหภูมิพบว่าการทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีคะแนนต่ำที่สุดในการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่สูงและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัส เช่น เกิดสีและกลิ่นของการไหม้เกรียม รสชาติที่ขมเล็กน้อยจากการไหม้เกรียม ซึ่งลักษณะเหล่านี้ไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิการทอดที่ 135 องศาเซลเซียส ได้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดในทุกๆ รองลงมาคือ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งที่อุณหภูมินี้ผู้ทดสอบรู้สึกว่ถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศยังไม่ค่อยสุกเท่าใดและมีกลิ่นถั่วดิบปะปนอยู่ ดังนั้นถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศที่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสในการยอมรับมากที่สุดคือถั่วแปยี่ห้อสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

การศึกษาผลของระยะเวลาในการทอดที่มีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั่นคือ ระยะเวลาการทอด ไม่มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิม การศึกษาในปัจจัยเดียวในเรื่องของระยะเวลาการเก็บนั้น พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษามีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ อย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ ระยะเวลาการเก็บในวันที่ 7 มีคะแนนการยอมรับสูงที่สุดในลักษณะต่างๆ เนื่องมาจาก เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น อาจมีสารประกอบต่างๆ เพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ แต่สารประหลาดนี้จะเป็นคนละกลุ่มกับที่เพิ่มเนื่องจากการทอด สารประกอบพวกที่เพิ่มจากการเก็บรักษา เป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีของถั่วที่เกิดขึ้นขณะเก็บรักษา ซึ่งอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อลักษณะต่างๆทางประสาทสัมผัส แต่ก็เกิดขึ้นในระดับที่ทำให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสยอมรับมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการเก็บรักษาอื่น



จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสตารางที่ 4.6.21 – 4.6.29 พบว่า ปัจจัยด้านเวลาการทอด ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวมของถั่วแปยิ่ทุกสิ่งทดลอง แต่ปัจจัยด้านอุณหภูมิที่ใช้ทอดนั้น พบว่ามีผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในทุกๆลักษณะที่สอบถาม โดยถั่วแปยิ่ทอดด้วยอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสทุกลักษณะมากที่สุด ตามด้วย 120 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิที่ใช้ทอดสูงเกินไปนั้น ทำให้ถั่วมีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นไหม้ อีกทั้งมีรสชาติขม ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ชอบ สำหรับที่อุณหภูมิการทอดที่ 120 องศาเซลเซียส ถั่วแปยิ่ทอดยังไม่สุกเท่าที่ควร จึงทำให้เกิดกลิ่นถั่วดิบได้ อย่างไรก็ตามกลิ่นถั่วดิบก็ไม่รุนแรงมากจนเกิดการปฏิเสธที่จะยอมรับของผู้ทดสอบ ส่วนปัจจัยด้านระยะเวลาในการเก็บ พบว่าที่ระยะเวลาในการเก็บหลังจากทอดแล้ว 7 วัน ผู้ชิมให้คะแนนทางประสาทสัมผัสมากที่สุด ส่วนปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการทอดมีผลต่อคะแนนด้านสีของถั่วแปยิ่ จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส ณ เวลาใดๆ กับ 120 องศาเซลเซียส ที่เวลา 20 นาที และ 30 นาที นั้น ได้รับคะแนนความชอบจากผู้ชิมมากที่สุด เพราะสีที่ได้จากการทอดมีสีเหลืองทองน่ารับประทาน ส่วนการทอดที่อุณหภูมิสูง สีของถั่วแปยิ่จะมีสีคล้ำ ทำให้ผู้ชิมไม่ค่อยชอบ เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาทอด 10 นาที ซึ่งสีที่ได้ค่อนข้างซีด ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ทอดกับระยะเวลาการเก็บนั้น มีผลอย่างยิ่งต่อลักษณะ สมบัติที่ทำการให้คะแนนทั้งหมด กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และอายุการเก็บที่ 15 วัน นั้นได้คะแนนความชอบสูงสุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับถั่วแปยิ่ที่ขายตามท้องตลาดกับถั่วแปยิ่ที่ได้จากการทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ ตารางที่ 4.6.19 – 4.6.20 พบว่าคะแนนที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสถั่วแปยิ่ทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศมีคะแนนมากกว่าในลักษณะต่างๆ เมื่อเทียบกับถั่วแปยิ่ที่มีขายตามท้องตลาด นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ด้วย Pair Sample t- test ระหว่างถั่วแปยิ่ทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และถั่วแปยิ่ทอดตามท้องตลาด ก็พบว่าที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้างต้นดังนั้นผู้ที่ทดสอบชิมให้การยอมรับถั่วแปยิ่ทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส ที่ใช้เวลาในการทอด 20 นาที มากกว่าถั่วแปยิ่ที่ซื้อมาจากท้องตลาด

4.6.3 ศึกษาวิธีการผลิตแป้งถั่วแปยิ่

4.6.3.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ เมื่อทำการผลิตแป้งถั่วแปยิ่โดยวิธีไม่แห้งและไม่เปียก โดยศึกษาปัจจัยได้แก่ ระยะเวลาในการแช่ถั่ว อุณหภูมิที่ใช้อบสำหรับการไม่แห้ง และอัตราส่วนของถั่วและน้ำที่ใช้สำหรับการไม่เปียก ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งถั่วแปยิ่ที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.6.30 - 3.6.34

เมื่อนำแป้งถั่วแปยี่ที่ผลิตได้มาวัดค่าความสว่าง ค่าสี a และค่าสี b พบว่าแป้งถั่วแปยี่ไม่แห้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับแป้งถั่วแปยี่ไม่เปียกในด้านความสว่างและค่าสี a โดยแป้งถั่วแปยี่ทั้งหมดมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 84.04-85.54 และมีค่าสี a อยู่ในช่วง (-)0.27- (-)0.61 กล่าวคือ มีสีค่อนข้างเขียวมากกว่าแดงเล็กน้อย ในขณะที่มีค่าสี b สูงกว่าแป้งถั่วแปยี่ไม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่า b อยู่ในโทนสีเหลืองช่วง 12.28-13.41 และ 8.42-9.36 สำหรับแป้งถั่วแปยี่ไม่แห้งและไม่เปียกตามลำดับ

จากตารางที่ 3.6.31 แป้งถั่วแปยี่ที่ผ่านการไม่เปียกมีค่าความเป็นกรดต่างเฉลี่ย 6.02-6.13 ปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 1.11-1.38 ปริมาณอะมิโนสเฉลี่ยร้อยละ 17.56-19.75 ทั้งนี้ระยะเวลาในการแช่ถั่วและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแป้ง ไม่ส่งผลให้ค่าทั้ง 3 มีความแตกต่างกันเท่าใดนัก สำหรับแป้งถั่วแปยี่ไม่เปียก พบว่า มีค่าความเป็นกรดต่างเฉลี่ย 5.99-6.05 ปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 1.17-1.25 และปริมาณอะมิโนสเฉลี่ยร้อยละ 25.69-30.72 ซึ่งระยะเวลาในการแช่ถั่วและสัดส่วนของน้ำที่ใช้ในการไม่ส่งผลให้มีความแตกต่างกันทางสถิติในกลุ่มถั่วที่ไม่เปียก อย่างไรก็ตาม ปริมาณอะมิโนสในแป้งถั่วที่ผ่านการไม่เปียก มีค่ามากกว่าแป้งถั่วที่ผ่านการไม่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 3.6.32 เวลาที่ใช้ในการแช่ถั่ว 6 และ 12 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่ใช้อบถั่วก่อนนำไปไม่ 50 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่มีผลทำให้ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีเมื่อคิดเป็นร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง ได้แก่ เกล็ด โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในแป้งถั่วแปยี่ที่ผ่านการไม่แห้งแตกต่างกัน โดยมีปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 5.27-5.54, 26.78-28.14, 0.91-1.21 และ 65.10-66.95 ตามลำดับ เช่นเดียวกับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วแปยี่ไม่เปียกที่เวลาในการแช่ถั่วและปริมาณน้ำที่ใช้ในการไม่ที่ 1:4 และ 1:8 ไม่มีผลทำให้ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีมีความแตกต่างกัน โดยแป้งถั่วที่ผ่านการไม่เปียกมีปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 7.20-10.07, 2.10-2.59, 12.21-13.75, 0.34-0.72 และ 80.66-85.24 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่ามีความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีระหว่างแป้งถั่วแปยี่ที่ผ่านการไม่แห้งและแป้งถั่วแปยี่ที่ผ่านการไม่เปียก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยแป้งถั่วแปยี่ที่ผ่านการไม่เปียกมีปริมาณเถ้า โปรตีน และไขมันต่อน้ำหนักแห้งน้อยกว่าในขณะที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากกว่าแป้งถั่วแปยี่ที่ผ่านการไม่แห้ง การทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของมนทกานต์ (2549) ที่ได้ศึกษาผลของวิธีการไม่แป้งเมล็ดที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีในแป้ง ซึ่งพบว่าแป้งเมล็ดที่ผ่านการไม่แห้งและไม่เปียกมีปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยแป้งเมล็ดที่ได้จากการไม่เปียกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและอะมิโนสสูง แต่มีปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน ต่ำกว่าแป้งที่ผลิตด้วยการไม่เปียก ทั้งนี้การไม่เปียกเป็นการไม่วัตถุดิบไปพร้อมกันกับน้ำ ซึ่งช่วยให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ น้ำตาล และ ไขมันที่ไม่จับกับสตาร์ช (nonstarch-bound lipids) บางส่วนถูกล้างออกไปกับน้ำในระหว่างการไม่ (Juliano และ Hicks, 1996)

ตารางที่ 4.6.33 และรูปที่ 4.6.5 แสดงผลการศึกษาพฤติกรรมทางความหนืดของแป้งถั่วแปยี่เมื่อนำแป้งมาวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) โดยเริ่มจากการให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งจนแป้งพองตัว เกิดการเจลลิตไนซ์ ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



อุณหภูมิที่แป้งข้าวเหนียวเริ่มเกิดเจลลาติไนซ์ (pasting temperature) นั้นพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างแป้งที่ผ่านการโม่แห้งกับแป้งที่ผ่านการโม่เปียก โดยแป้งข้าวเหนียวไม่แห้งเริ่มเกิดเจลลาติไนซ์ที่อุณหภูมิเฉลี่ยช่วง 88.38-89.51 องศาเซลเซียส ขณะที่แป้งข้าวเหนียวเปียกสามารถเกิดเจลลาติไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเล็กน้อย คือที่อุณหภูมิเฉลี่ยช่วง 85.6-86.4 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนต่อไปพบว่า แป้งข้าวเหนียวไม่เปียก มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูงกว่าของแป้งข้าวเหนียวแห้งมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2442-3065 เซนติพอยส์ และ 605-673 เซนติพอยส์ ตามลำดับ ทั้งนี้เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มเกิดเจลลาติไนซ์จนถึงจุดที่มีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 5.2-5.5 วินาที สำหรับแป้งไม่เปียก และ 5.57-5.82 วินาที สำหรับแป้งไม่แห้ง เมื่อยังคงให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสต่อไปเรื่อยๆ ส่วนผสมเริ่มมีความหนืดลดลงจนถึงจุดต่ำสุด (trough viscosity) ซึ่งพบว่าแป้งข้าวเหนียวเปียกยังคงมีค่าความหนืด ณ จุดนี้ สูงกว่าของแป้งข้าวเหนียวแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1902-2430 เซนติพอยส์ ขณะที่แป้งข้าวเหนียวไม่แห้งมีค่าความหนืด ณ จุดต่ำสุด เฉลี่ยอยู่ในช่วง 587-630 เซนติพอยส์ การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้งและ/หรือโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย แต่เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ในช่วงนี้ยังแสดงถึงความแข็งแรงของเม็ดแป้งต่อการให้ความร้อนและแรงกวนที่เกิดขึ้นอีกด้วย หลังจากหยุดให้ความร้อนและค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงจนถึง 50 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ของส่วนผสมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแป้งข้าวเหนียวไม่เปียกมีค่าความหนืดสุดท้ายเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2611-2733 เซนติพอยส์ ส่วนแป้งข้าวเหนียวไม่แห้งมีค่าความหนืดสุดท้ายเฉลี่ยอยู่ในช่วง 786-889 เซนติพอยส์ ทั้งนี้ ความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดสุดท้ายแสดงถึงความสามารถในการคืนตัวของแป้งสุก (set back) หรือความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันซึ่งพบว่าค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันในกลุ่มแป้งข้าวเหนียวไม่แห้ง แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกลุ่มของแป้งข้าวเหนียวเปียก โดยแป้งที่ผ่านการแช่เป็นเวลา 12 ชั่วโมงและใช้น้ำสำหรับโม่ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 8 มีค่าการคืนตัวต่ำที่สุด เท่ากับ 291 เซนติพอยส์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศุภนุช และคณะ (2533) ที่กล่าวว่าระยะเวลาในการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แป้งข้าวกลั่นองกที่ไ้เกิดการสุกที่อุณหภูมิต่ำลงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการแช่ และสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง

เมื่อนำแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการแปรรูปมาวัดคุณสมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ การละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำมัน และการเกิดเจล ได้ผลดังตารางที่ 4.6.34 พบว่าแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการโม่เปียกมีค่าการละลายน้ำแตกต่างกับแป้งข้าวเหนียวไม่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าการละลายน้ำต่ำกว่า อยู่ในช่วงร้อยละ 11.04-13.27 ส่วนแป้งข้าวเหนียวไม่แห้งมีค่าการละลายน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 30.03-32.90 สำหรับดัชนีการดูดซับน้ำพบว่า แป้งข้าวเหนียวไม่เปียกมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำมากกว่าแป้งข้าวเหนียวไม่แห้ง โดยการแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วโม่ด้วยน้ำที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:8 มีค่ามากที่สุดคือเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 และเช่นเดียวกับดัชนีการดูดซับน้ำมันแม้ว่าจะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งข้าวเหนียวเปียกและข้าวเหนียวไม่แห้ง แต่ก็พบว่าข้าว



แปยีที่ผ่านการแช่น้ำที่เวลา 12 ชั่วโมง แล้วไม่ด้วยน้ำที่อัตราส่วนถั่วต่อน้ำเท่ากับ 1:8 ยังคงมีค่ามากที่สุดคือเฉลี่ยเท่ากับ 2.37 ในด้านการเกิดเจลของแป้งถั่วแปยี เมื่อนำแป้งมาต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแช่ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง พบว่า แป้งถั่วแปยีไม่เปียกสามารถเกิดเจลที่ความเข้มข้นต่ำกว่าแป้งถั่วแปยีไม่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสามารถเริ่มเกิดเจลที่คงตัวที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 ขึ้นไป ในขณะที่แป้งถั่วแปยีไม่แห้งเริ่มเกิดเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 10

4.6.3.2 การแปรรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้แป้งถั่วแปยีเป็นส่วนผสม จากการศึกษาการนำแป้งถั่วแปยีมาใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยเติมแป้งถั่วแปยีทดแทนแป้งสาลีที่เป็นส่วนผสมในปริมาณเท่ากับร้อยละ 10, 20 และ 30 ของแป้งในสูตร ทำการผลิตคุกกี้ และทดสอบสมบัติทางกายภาพ รวมทั้งประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 4.6.35 และตารางที่ 4.6.36

เมื่อเติมแป้งถั่วแปยีทดแทนแป้งสาลีในส่วนผสม พบว่า แรงที่ใช้ในการกดให้แผ่นคุกกี้แตกหักออกจากกันมีค่ามากขึ้นตามปริมาณการเติมแป้งถั่วที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งหมายถึงทำให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้น โดยคุกกี้ที่เติมแป้งถั่วแปยียร้อยละ 10, 20 และ 30 มีค่าแรงที่ใช้กดจนแตกหักเฉลี่ยเท่ากับ 604 ± 63 กรัม 792 ± 143 กรัม และ 979 ± 153 กรัม ตามลำดับ สำหรับความกรอบของคุกกี้ โดยวัดจากระยะทางที่หัวกดกดลงมาบนแผ่นคุกกี้จนทำให้คุกกี้เกิดการแตกหักนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อทดแทนแป้งถั่วแปยีในส่วนผสมที่ปริมาณร้อยละ 10-30 โดยมีค่าเฉลี่ยของระยะทางที่เริ่มกดจนถึงแตกหักอยู่ในช่วง 6.38-6.67 มิลลิเมตร

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ผสมแป้งถั่วแปยี พบว่า การเติมแป้งถั่วแปยีทดแทนแป้งสาลีที่ปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักแป้งไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความกรอบ และความชอบโดยรวมของคุกกี้ผสมแป้งถั่วแปยีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยในด้านลักษณะปรากฏมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.27-7.47 ด้านสีมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.07-7.30 และด้านความกรอบมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.17-7.27 ส่วนในด้านกลิ่นรส แม้ว่าคุกกี้ที่เติมแป้งถั่วแปยี จะมีกลิ่นรสของถั่วปนอยู่เล็กน้อย (จากข้อคิดเห็นของผู้ทดสอบชิม) แต่ก็ยังมีคะแนนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.33-6.63 สำหรับความชอบโดยรวมนั้นพบว่ามีความคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.53-6.83 ซึ่งถือว่าการทดลองเติมแป้งถั่วแปยีทดแทนแป้งสาลีในช่วงปริมาณร้อยละ 10 - 30 ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับ โดยมีความชอบอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ทั้งนี้ สูตรที่ได้รับคะแนนมากที่สุดคือสูตรที่มีการเติมแป้งถั่วแปยีทดแทนแป้งสาลีที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 6.83 ± 1.21

5.6.3 การศึกษาวิธีการผลิตถั่วแปยั้วสมุนไพร

5.6.3.1 การคัดเลือกวิธีแปรรูปถั่วแปยั้ว นำถั่วแปยั้วที่ผ่านการแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมงมาแกะเปลือก และแปรรูปให้สุกกรอบด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การนึ่งถั่วให้ฟูเป็นเวลา 40 นาที ก่อนนำไปทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที หรือคั่วด้วยเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับถั่วที่ไม่ผ่านการนึ่ง แล้วจึงนำไปวัดค่าสี และค่าความแข็ง ได้ผลดังตารางที่ 4.6.37 พบว่าถั่วแปยั้วที่ผ่านการแปรรูปด้วยการนำไปคั่วมีค่าความสว่างและค่าสี b มากกว่าที่ถั่วแปยั้วที่ผ่านการทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าความสว่างและค่าสี b อยู่ในช่วง 66.1-68.2 และ 29.1-30.7 ตามลำดับ ส่วนถั่วแปยั้วทอดมีค่าความสว่างและค่าสี b อยู่ในช่วง 61.0-63.0 และ 24.4-24.8 ตามลำดับ กล่าวคือ ถั่วแปยั้วจะมีโทนสีออกไปทางสีเหลืองมากกว่าถั่วแปยั้วทอด สำหรับค่าสี a พบว่าถั่วแปยั้วที่ไม่ผ่านการนึ่งแล้วนำไปทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศมีค่าสี a มากที่สุด คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.0 ± 0.6 รองลงมาคือถั่วแปยั้วนึ่งแล้วทอดสุญญากาศและถั่วที่ไม่ผ่านการนึ่งแล้วนำมาทอด ส่วนถั่วแปยั้วที่มีค่าสี a น้อยคือถั่วที่ไม่ผ่านการนึ่งแล้วนำไปคั่ว โดยมีค่าสี a เฉลี่ยเท่ากับ 1.8 ± 0.8 ในด้านความแข็ง เมื่อวัดแรงต้านจากการใช้หัววัดกดลงบนตัวอย่างจนเมล็ดถั่วแตกหัก พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างถั่วที่ไม่ผ่านการนึ่งและไม่ผ่านการนึ่ง โดยถั่วแปยั้วที่ไม่ผ่านการนึ่งแล้วนำมาคั่วแล้วนำมาคั่วจะมีค่าความแข็งมากที่สุด คือมีค่าเฉลี่ยของแรงต้านการกดเท่ากับ 3217 ± 533 กรัม ส่วนถั่วที่ไม่ผ่านการนึ่งแล้วทอดจะมีค่าความแข็งน้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1702 ± 430 กรัม ดังนั้นจึงเลือกการแปรรูปถั่วแปยั้วให้สุกกรอบ และมีความแข็งน้อยที่สุด คือ วิธีการนึ่งในรังถึง 40 นาที แล้วนำมาทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เพื่อนำไปทดลองผลิตถั่วแปยั้วสมุนไพรต่อไป

5.6.3.2 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคั่วถั่วแปยั้วกับสมุนไพร เมื่อนำถั่วแปยั้วทอดสุญญากาศมาคั่วรวมกับสมุนไพรทอดทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ใบมะกรูด กระเทียมจีน และพริกชี้ฟ้าแดง โดยทำการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการคั่วถั่วกับสมุนไพร เพื่อให้กลิ่นรสจากน้ำมันสมุนไพรคลุกเคล้าเข้ากับถั่วดังรูปที่ 3.6.6 หลังจากนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยการวัดค่าสีและวัดค่าความแข็ง และประเมินการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 4.6.38 และตารางที่ 4.6.39

จากตารางที่ 4.6.38 อุณหภูมิที่ใช้ในการคั่วถั่วแปยั้วกับสมุนไพรมีผลทำให้ค่าความสว่างของถั่วแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การคั่วโดยใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสส่งผลให้ถั่วมีค่าความสว่างน้อยกว่าการคั่วที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยถั่วที่คั่วด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที มีค่าความสว่างน้อยที่สุดหรือมีสีคล้ำมากที่สุด คือเฉลี่ยเท่ากับ 54.7 ± 0.1 ในขณะที่การคั่วด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ถั่วมีค่าความสว่างมากที่สุดคือเฉลี่ยเท่ากับ 58.5 ± 0.6 นอกจากนี้ การคั่วด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ยังส่งผลให้ถั่วแปยั้วมีค่าสี a มากที่สุด หรือมีสีออกไปทางน้ำตาลแดง สำหรับค่าสี b พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการคั่วถั่วไม่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ของค่าดังกล่าวแต่อย่างใด ในด้านความแข็งพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการคั่วเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ถั่วแปยั้วมีค่าความแข็งมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยถั่วแปยั้วที่คั่วด้วยอุณหภูมิ 180 องศา

เซลเซียส นาน 10 นาที มีค่าความแข็งแรงมากที่สุด คือแรงต้านการกดเฉลี่ยเท่ากับ 2068 ± 282 กรัม และถั่วแปยี่คั่วด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที มีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด คือมีแรงต้านการกดเฉลี่ยเท่ากับ 1641 ± 358 กรัม

ผลจากการประเมินความชอบของถั่วแปยี่ที่คั่วกับสมุนไพรด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างกันในตารางที่ 4.6.39 พบว่าถั่วแปยี่ที่คั่วกับสมุนไพรด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ได้รับคะแนนความชอบในด้านสัณฐานน้อยกว่าถั่วแปยี่ที่คั่วด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และ 10 นาที และที่คั่วด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีคะแนนความชอบเฉลี่ยเพียง 5.5 ± 1.3 ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าสีของถั่วแปยี่ที่คั่วในสภาวะดังกล่าวจากตารางที่ 3.6.10 จึงเป็นไปได้การที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบที่น้อยกว่า เป็นเพราะถั่วแปยี่มีสีคล้ำและมีสีออกไปทางน้ำตาลมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในด้านกลิ่นรสสมุนไพร พบว่าถั่วแปยี่ที่คั่วกับสมุนไพรด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าหรือเวลาที่มากกว่าได้รับคะแนนความชอบมากกว่า โดยถั่วแปยี่ที่คั่วด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และ 10 นาที ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงที่สุดและเท่ากัน คือเท่ากับ 6.5 รองลงมาคือที่คั่วด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ส่วนถั่วแปยี่ที่คั่วด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาทีนั้น ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 5.6 ± 1.3 สำหรับความกรอบของเมล็ดถั่วนั้น ถั่วแปยี่ที่คั่วด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และ 10 นาที และอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของคะแนนความชอบที่ได้รับ ในขณะที่ถั่วแปยี่ที่คั่วด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยน้อยที่สุด คือเท่ากับ 5.7 ± 1.3 ซึ่งอาจเนื่องมาจากมีความแข็งแรงมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ

5.6.3.3 ศึกษาหาสัดส่วนของสมุนไพรที่เหมาะสมในการผลิตถั่วแปยี่คั่วสมุนไพร เมื่อนำถั่วแปยี่ทอดสุญญากาศมาคั่วรวมกับสมุนไพรทอดทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ใบมะกรูด กระเทียมจีน และพริกชี้ฟ้าแดง และผสมกับเกลือบ่น โดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design ได้สิ่งทดลองทั้งหมดจำนวน 9 สิ่งทดลอง นำสิ่งทดลองที่ผลิตได้ทั้งหมดไปทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4.6.40

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการประเมินความชอบในด้านกลิ่นรสใบมะกรูด กลิ่นรสกระเทียม ความเผ็ด ความกรอบ และความชอบโดยรวมของถั่วแปยี่คั่วสมุนไพรจำนวน 9 สิ่งทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งน่าจะเป็นเพราะปริมาณรวมของสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด มีอยู่ประมาณ 10% ของส่วนผสมทั้งหมด และจากการวางแผนการทดลองที่ออกแบบได้ เป็นเพียงการแปรสัดส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดภายในปริมาณร้อยละ 10 ดังกล่าว อีกทั้งกลิ่นรสของใบมะกรูดที่ค่อนข้างเด่นชัด จึงอาจทำให้ผู้ทดสอบชิมแยกแยะความแตกต่างในแต่ละด้านได้ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตามในด้านกลิ่นรสใบมะกรูดตัวอย่างที่ได้รับคะแนนสูงที่สุด คือ สิ่งทดลองที่ 1 มีคะแนนเท่ากับ 6.2 รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 8 และ 9 ซึ่งได้รับคะแนนเท่ากัน มีคะแนนเท่ากับ 6.1 ในด้านกลิ่นรสกระเทียม สิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนสูงที่สุด คือสิ่งทดลองที่ 2 มีคะแนนเท่ากับ 6.0 รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 8 และ 9 ได้รับคะแนนเท่ากัน เท่ากับ 5.9 ในด้านความเผ็ดสิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนสูงที่สุด คือสิ่งทดลองที่ 3 มีคะแนนเท่ากับ 6.1



รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 8 มีคะแนนเท่ากับ 6.0 สำหรับความชอบโดยรวมนั้น พบว่าสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนมากที่สุดคือสิ่งทดลองที่ 8 มีคะแนนเท่ากับ 6.3 รองลงมาคือสิ่งทดลองที่ 1, 3, 6 และ 9 ได้รับคะแนนเท่ากับ 6.2 เนื่องจากสิ่งทดลองทั้ง 9 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดังนั้นจึงถือว่า สิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบรวมมากที่สุดนั้นคือสิ่งทดลองที่ 8 เป็นสิ่งทดลองที่มีสัดส่วนของสมุนไพรที่เหมาะสมในการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วแปยี่คั่วสมุนไพร คือมีส่วนผสมในสูตร ได้แก่ ถั่วแปยี่ทอดสุญญากาศ 90 กรัม ใบมะกรูดทอด 5.9 กรัม กระเทียมจินทอด 2.5 กรัม พริกแดงทอด 1.6 กรัม และเกลือ 1 กรัม ดังรูป 4.6.7 เมื่อนำถั่วแปยี่คั่วสมุนไพรที่คัดเลือกได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้ผลดังตารางที่ 4.6.41

ถั่วแปยี่คั่วสมุนไพรที่ผลิตได้มีองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉลี่ยเมื่อคิดต่อน้ำหนักเปียกดังนี้ ความชื้น (ร้อยละ 2.21) เถ้า (ร้อยละ 4.32) โปรตีน (ร้อยละ 26.43) ไขมัน (ร้อยละ 11.43) เส้นใย (ร้อยละ 1.96) และเมื่อนำค่าต่างๆ ข้างต้นมาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธี Difference Method ได้ค่าเท่ากับ ร้อยละ 65.08 ถั่วแปยี่คั่วสมุนไพรมีค่ากิจกรรมของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.197 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถั่วลิสงอบสมุนไพรกำหนดไว้คือ มีค่ากิจกรรมของน้ำได้ไม่เกิน 0.5 ค่าดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บอาหาร และเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร โดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ (มผช.157/2546) ดังภาคผนวก

5.7 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคเชิงพาณิชย์ในด้านต้นทุน ราคา และรสชาติประสาทสัมผัส

5.7.1 ผลลัพธ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

จากการสอบถามผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 150 คนพบว่าคุณสมบัติดีต่อสุขภาพ เหมาะกับทุกคนในครอบครัว และความเหมาะสมกับเด็ก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่คุณสมบัติรสชาติดี มีลักษณะชวนรับประทาน และความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และจากผลการสำรวจพบว่าผู้ทดสอบประเมินว่าสินค้าดีต่อสุขภาพเป็นคะแนนเฉลี่ยสูงสุด 3.84 คะแนน (เรียงตามเกณฑ์ประเมิน จาก 5 ไป 1 ซึ่ง 5 ในที่นี้หมายถึงเห็นด้วยอย่างยิ่ง และ 1 หมายถึงไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง) โดยร้อยละ 56 เห็นด้วยมากกว่าสินค้าดีต่อสุขภาพ จากจำนวนผู้เข้าทดสอบ 149 ราย ในมุมมองด้านเหมาะสมสำหรับทุกคนในครอบครัว ร้อยละ 42 ไม่แน่ใจว่าเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวและร้อยละ 38 เห็นด้วยมากกว่าสินค้าเหมาะสมสำหรับทุกคนในครอบครัว ในด้านรสชาติผู้ทดสอบเห็นด้วยมากกว่าสินค้ามีรสชาติดีเป็นจำนวนร้อยละ 43 ในด้านลักษณะชวนรับประทาน ร้อยละ 45 และร้อยละ 35 ของผู้ทดสอบไม่แน่ใจ และเห็นด้วยมากกว่าสินค้านี้มีลักษณะชวนรับประทานตามลำดับ คุณสมบัติด้านความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ และความเหมาะสมกับเด็กของตัวผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนว่า ไม่แน่ใจ (3) และเห็นด้วยมาก (4) ใกล้เคียงกัน โดยในคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ มีผู้ให้คะแนนว่าไม่แน่ใจ เป็นจำนวนร้อยละ 39 และเห็นด้วยมากร้อยละ 38 ในคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับเด็กมีผู้ให้คะแนนว่าไม่แน่ใจ เป็นจำนวนร้อยละ 40 และเห็นด้วยมากร้อยละ 36 ในคุณสมบัติด้านความเหมาะสมนี้จึงทำการพิจารณาเพิ่มเติมจากกลุ่มผู้มีอายุระหว่าง 41 – 60 ปี จำนวน 11 คน พบว่า จากจำนวนคน 3 ใน 11 คน (30%) ประเมินว่าไม่เห็นด้วยมากกับคุณสมบัติด้านความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ และร้อยละ 30 มีความเห็นว่าไม่แน่ใจในคุณสมบัติด้านนี้ของสินค้า จึงจะเห็นได้ว่าสินค้าแปรรูปประเภทนี้ยังคงมีความคลุมเครืออยู่มากด้านความเหมาะสมของทั้งผู้สูงอายุ และเด็ก

จากการสอบถามถึงราคาจำหน่ายที่เหมาะสม ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ (ร้อยละ 48) คิดว่าราคาที่เหมาะสมของสินค้าประเภทนี้ควรอยู่ที่ระหว่าง 21-30 บาท โดยที่ 50 คนของผู้ทดสอบทั้งหมดหรือ 33% ตอบว่าราคาที่เหมาะสมเท่ากับ 30 บาท ดังนั้นราคาเฉลี่ยที่ผู้บริโภคเห็นเหมาะสมอยู่ที่ 15 บาทต่อแก้ว อย่างไรก็ตามต้นทุนที่ใช้ในการผลิตในการผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ 119.43 บาทต่อ 100 กรัม พบว่าต้นทุนต่อแก้วจะอยู่ที่ 14.93 บาท ผลจากการทดสอบชิม ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คำแนะนำว่าน้ำมะนาวมีความเปรี้ยวมากเกินไปจากสูตรน้ำมะนาวผง 100 กรัมที่ผลิตได้ 2 แก้ว อีกทั้งยังมีการเติมน้ำแข็งซึ่งละลายไปบ้างแล้ว ทำให้ผู้วิจัยคิดว่าควรจะปรับสูตรผสมให้เป็นเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง 100 กรัมต่อน้ำ 8 แก้ว จะทำให้มีรสชาติกลมกล่อมและเป็นที่ถูกปากของผู้บริโภคมากกว่า ซึ่งหมายความว่าต้นทุนต่อแก้วจะอยู่ที่ 14.93 บาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนที่ใช้ในการผลิตและราคาอ้างอิง พบว่าต้นทุนในการผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงพร้อมดื่มนั้นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกันที่ขายในประเทศและต่างประเทศอย่างมาก อีกทั้งยังมีค่าสูงกว่าที่ผู้บริโภคตัดสินใจซื้ออีกด้วย ดังนั้นหากผู้ผลิตควรจะชูลดขายที่ผลิตภัณฑ์ทำจากมะนาวแท้และไม่มีสารเคมีเจือปน อีกทั้งผลิตในขณะที่ราคามะนาวถูกและจำหน่ายในช่วงที่มะนาวขาดตลาดและมีราคาแพง ทำให้เพิ่มความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์นี้เป็นอย่างมาก

5.7.2 ผลกระทบมะม่วงแผ่นอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยด้านความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งทั้ง 2 ชนิด ในทุก ๆ ปัจจัยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า $p > 0.05$ ทั้งหมด และจากผลการสำรวจพบว่า ผู้ทดสอบเห็นด้วยว่ามะม่วงแผ่นอบแห้งชุดที่ 1 (วิธีอบแห้งแบบถาด) มีรสชาติดี คิดเป็น ร้อยละ 61 จากจำนวนผู้ทดสอบ 141 คน เห็นด้วยว่าสินค้าดีต่อสุขภาพ คิดเป็นร้อยละ 51 แต่ในด้านความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ผลระบุว่าผู้ทดสอบมีทั้งไม่แน่ใจ และเห็นเป็นจำนวนใกล้เคียงกัน กล่าวคือ คิดเป็นร้อยละ 36 และ 38 ตามลำดับ ในทางกลับกันผู้ทดสอบส่วนใหญ่เห็นด้วยว่าสินค้ามีความเหมาะสมกับเด็ก คิดเป็นร้อยละ 49 และเห็นด้วยว่าเหมาะกับทุกคนในครอบครัวคิดเป็นร้อยละ 54 ในด้านลักษณะของสินค้าผู้ทดสอบร้อยละ 64 เห็นว่ามีลักษณะชวนรับประทาน ในส่วนความเห็นจากผู้ทดสอบมะม่วงแผ่นอบแห้งชุดที่ 2 (วิธีอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) พบว่าเห็นด้วยว่ามีรสชาติดี คิดเป็นร้อยละ 57 จากจำนวนผู้ทดสอบ 134 คน เห็นด้วยว่าสินค้าที่ต่อสุขภาพเป็นจำนวนสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 44 และร้อยละ 50 เห็นว่าสินค้ามีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ร้อยละ 44 เห็นด้วยว่ามีความเหมาะสมกับเด็ก และ ร้อยละ 54 เห็นว่ามีลักษณะชวนรับประทาน

จากผลการสอบถามผู้บริโภคถึงราคาจำหน่ายที่เหมาะสมของมะม่วงอบแห้งในรูปที่ 4.7.5 พบว่า ผู้ทดสอบจำนวนร้อยละ 52 สำหรับวิธีอบแห้งแบบถาด และร้อยละ 56 สำหรับวิธีอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีความเห็นตรงกันว่าควรตั้งราคาในช่วง 21 – 30 บาท มีความเหมาะสมสูงสุด รองลงมาคือ ราคาช่วง 11 – 20 บาท ในข้อเสนอแนะเพิ่มเติมทางด้านรสชาติ พบว่าควรมีกลิ่นมะม่วงให้ได้มากกว่านี้ นอกจากนี้ ผู้ทดสอบทำการเสนอแนะเพิ่มเติมด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ ว่าควรทำให้อยู่ในขนาดเล็ก และควรทำบรรจุภัณฑ์ให้ดี จะได้มีความน่าซื้อ อย่างไรก็ตามจากผลที่ได้จากการสอบถามผู้บริโภคซึ่งมีความเห็นว่าราคาจำหน่ายควรอยู่ระหว่าง 21-30 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับต้นทุนที่ใช้ในการผลิต หากวางจำหน่ายที่ราคา 30 บาทผู้ผลิตยังได้กำไรระหว่าง 15.16-15.78 บาท หรือประมาณร้อยละ 50 อีกทั้งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาอ้างอิงของมะม่วงแผ่น ราคาที่ตั้งไว้นั้นไม่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปอีกด้วยซึ่งก็ขึ้นอยู่กับสถานที่จำหน่าย

5.7.3 ผลกระทบข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน

จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยด้านความพึงพอใจทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และจากผลการสำรวจจะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบให้คะแนนรสชาติของสินค้าแปรรูปเป็นอันดับที่ 1 ซึ่งร้อยละ 64 ของผู้ทดสอบตอบว่ามีความพึงพอใจรสชาติของข้าวเกรียบข้าวโพดหวานมาก และร้อยละ 28 มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด รองลงมาตามด้วยลักษณะของข้าวเกรียบมีลักษณะชวนรับประทานโดยให้คะแนนในระดับพึงพอใจมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 63 ส่วนปัจจัยที่ได้คะแนนน้อยที่สุดได้แก่ความเหมาะสมของสินค้าต่อผู้สูงอายุ ที่ได้รับคะแนนอยู่ที่ 3.27 โดยร้อยละ 43 ไม่แน่ใจว่ามีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ซึ่งเมื่อเทียบกับความเหมาะสมของสินค้าข้าวเกรียบต่อเด็กและทุกคนครอบครัวซึ่งอยู่ที่ 3.92 และ 3.89 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบคิดว่าสินค้าแปรรูปประเภทนี้อาจไม่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ ซึ่งหากสำรวจเฉพาะความคิดเห็น



ของผู้ทดสอบที่มีอายุมากกว่า 41 ปีขึ้นไปซึ่งมีทั้งหมด 10 คนจะพบว่าผู้ทดสอบเหล่านี้ให้คะแนนสอดคล้องไปในทางเดียวกัน

จากผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการซื้อสินค้าที่ราคาต่างกัน จะเห็นได้ว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มในการซื้อสูงสุดที่ราคา 5 บาท ตามด้วย 10, 15, และ 20 บาทตามลำดับ โดยร้อยละ 47 (76 คน จาก 163 คน) เห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 5 บาท น่าจะซื้อมากที่สุด ในขณะที่เดียวกัน ร้อยละ 60 มีความเห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 10 บาทจะน่าซื้อ ซึ่งอาจสามารถสรุปได้ว่า การตั้งราคาสามารถมีความยืดหยุ่นได้ตั้งแต่ 5 - 10 บาท อย่างไรก็ตามผลการสำรวจนี้ไม่ได้สะท้อนถึงตัวเลขที่แท้จริง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับราคาที่เหมาะสมของสินค้าประเภทที่ผู้ทดสอบประเมินราคา ผลที่ได้คือสินค้านี้จะมีราคาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 บาท โดยที่ 71 คนของผู้ทดสอบทั้งหมดหรือร้อยละ 44 ตอบว่าราคาที่เหมาะสมเท่ากับ 10 บาท ซึ่งขนาดของสินค้าตัวอย่าง 30 กรัม นั้นหากมองด้วยตาเปล่าแล้วมีปริมาณใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดขนาด 10 บาท ในส่วนข้อเสนอแนะเพิ่มเติมผู้ทดสอบมีข้อเสนอแนะว่า รสชาติอ่อนเกินไป บางส่วนเห็นว่ายังขาดความกรอบ แต่ว่ามีรสชาติอร่อย และอยากเห็นสินค้าตัวอย่าง จากผลที่ได้จากการสอบถามผู้บริโภคซึ่งมีความเห็นว่าราคาจำหน่ายควรน้อยกว่า 10 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 30 กรัม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ราคาควรอยู่ระหว่าง 7-9 บาท อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนที่ใช้ในการผลิต 5.62 บาท ผู้ผลิตจะได้กำไร 1.38-3.38 บาท หรือประมาณร้อยละ 20-38 ดังนั้นราคาจำหน่ายจึงควรอยู่ที่ประมาณ 9 บาท อย่างไรก็ตามผู้ผลิตเพิ่มขนาดบรรจุให้อยู่ที่ 35-40 กรัมเพื่อให้ผู้บริโภคเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดได้

5.7.4 ผลลัพธ์นมข้นหวานจากข้าวโพดหวาน

ผลการวิเคราะห์พบว่าคุณสมบัติรสชาติดี และ ความเหมาะสมกับผู้สูงอายุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ผลการสำรวจเห็นว่าผู้ทดสอบให้คะแนนรสชาติของสินค้าแปรรูปเป็นอันดับที่ 1 ซึ่งร้อยละ 62 ของผู้ทดสอบตอบว่ามีความพึงพอใจรสชาติของนมข้นจากข้าวโพดหวานมาก และ 25% รองลงมามีความพึงพอใจมากที่สุด ปัจจัยอันดับ 2 คือ ความเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวและลักษณะของนมข้นมีลักษณะชวนรับประทาน ส่วนปัจจัยที่ได้คะแนนน้อยที่สุดได้แก่ความเหมาะสมของสินค้าต่อผู้สูงอายุ ที่ได้รับคะแนนอยู่ที่ 3.28 ซึ่งเมื่อเทียบกับความเหมาะสมของสินค้านมข้นต่อเด็กและทุกคนครอบครัวซึ่งอยู่ที่ 3.90 และ 3.94 ตามลำดับ และหากสำรวจเฉพาะความคิดเห็นของผู้ทดสอบที่มีอายุมากกว่า 41 ปีขึ้นไปซึ่งมีทั้งหมด 9 คนจะพบว่าผู้ทดสอบกลุ่มนี้กว่าร้อยละ 44 (4 ใน 9 ราย) เห็นด้วยมากที่สุดว่าผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ซึ่งอาจสรุปได้ว่าสินค้านี้มีรสชาติดี มีความเหมาะสมกับทุกวัย จากผลการประเมินแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ในการซื้อสินค้าที่ราคาต่างกัน จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบร้อยละ 46 ประเมินว่า ราคา 20 บาท น่าซื้อ และร้อยละ 43 ประเมินว่าการตั้งราคา 20 บาทน่าซื้อที่สุด อีกทั้งร้อยละ 61 เห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 25 บาท น่าซื้อ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ผู้เข้าร่วมทดสอบมีแนวโน้มที่จะยอมรับราคาสินค้าตั้งแต่ 20 - 25 บาท แต่มีแนวโน้มในการยอมรับลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในราคาที่ 30, และ 35 บาท จากผลการ



สอบถามราคาที่เหมาะสม ผู้ทดสอบส่วนใหญ่คิดว่าราคาของสินค้าประเภทนี้น่ามีราคาจะน้อยกว่า 20 บาท โดยที่ 64 คนจากผู้ทดสอบทั้งหมดหรือ 41% ตอบว่าราคาที่เหมาะสมเท่ากับ 20 บาท ซึ่งขนาดของสินค้าตัวอย่าง 4 ออนซ์นั้นหากมองด้วยตาเปล่าแล้วมีปริมาตรเล็กกว่ากระป๋องนมข้นหวานที่วางขายทั่วไป และร้อยละ 34 (55 ราย) ยินดีให้ราคาที่ 21 – 25 บาท ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลแสดงจากตารางที่ 4.7.13 ซึ่งสรุปได้ว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มเลือกซื้อสินค้าในราคาตั้งแต่ 20 – 25 บาท ผู้ทดสอบยังได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติมสำหรับผลิตภัณฑ์นมข้นจากข้าวโพดหวานซึ่งสามารถสรุปได้ว่า มีสีสวย และมีกลิ่นหอมแบบข้าวโพด แต่นมข้นจากข้าวโพดมีความหวานมากเกินไป และขาดข้อมูลรับรองด้านคุณค่าทางโภชนาการเพื่อประกอบการทำแบบสอบถาม

จากผลที่ได้จากการสอบถามผู้บริโภคซึ่งมีความเห็นว่าราคาจำหน่ายควรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 4 ออนซ์ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาอ้างอิงของครีมเทียมข้นหวานจะพบว่ามีนมข้นจากข้าวโพดหวานมีต้นทุนที่สูงกว่าราคาขายของครีมเทียมข้นหวานมาก กล่าวคืออยู่ประมาณ 30 และ 6 บาทต่อปริมาตร 4 ออนซ์ ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนการผลิตสูง ซึ่งผู้ผลิตอาจชูผลประโยชน์ทางด้านคุณค่าของข้าวโพดที่มีเหนือกว่าครีมเทียมข้นหวาน อีกทั้งยังมีความเหมาะสมกับผู้แพ้อัลเลอจีจากนมวัว ดังนั้นอาจสามารถตั้งราคาจำหน่ายที่สูงกว่าครีมเทียมข้นหวานได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ตั้งราคาจำหน่ายที่ 20 บาทก็ยังมีค่าต่ำกว่าต้นทุนการผลิตอยู่มาก ดังนั้นหากผู้ผลิตสามารถหาหนทางลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบลง เช่น ผลิตในปริมาณครั้งละมากๆ หรือเปลี่ยนขวดแก้วที่มีราคาสูงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มาราคาต่ำลงมา ก็อาจลดต้นทุนการผลิตลงได้มากและเพิ่มความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

5.7.5 ผลิตภัณฑ์คูกี้ถั่วแปยี้

ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยรสชาติดี ความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ และความเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปัจจัยดีต่อสุขภาพ ความเหมาะสมกับเด็ก และลักษณะชวนรับประทานไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยปัจจัยรสชาติดีและคุณสมบัติเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวให้คะแนนเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.17 คะแนน โดยร้อยละ 71 ของผู้เข้าทดสอบให้คะแนนพึงพอใจมากในรสชาติของสินค้าและร้อยละ 23 มีความพึงพอใจมากที่สุดร้อยละ 58 ของผู้ทดสอบลงความเห็นว่าสินค้านี้เหมาะกับทุกคนในครอบครัวมาก และร้อยละ 29 เห็นว่าเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวมากที่สุด อันดับ 2 ที่ได้คะแนนเฉลี่ยสูง ได้แก่ ลักษณะชวนรับประทานของผลิตภัณฑ์ซึ่งร้อยละ 66 ของผู้เข้าทดสอบเห็นว่ามีลักษณะชวนรับประทานมาก ในส่วนปัจจัยที่ได้อันดับต่ำสุดได้แก่คุณสมบัติเหมาะสมกับผู้สูงอายุ โดยมีสัดส่วนของผู้ลงความเห็นว่าไม่แน่ใจในคุณสมบัติด้านนี้ร้อยละ 31 และเห็นด้วยมากกว่ามีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ 44% โดยหากวิเคราะห์เฉพาะกลุ่มผู้มีอายุตั้งแต่ 41 ปีขึ้นไปจำนวน 37 ราย พบว่าร้อยละ 43 ยังคงเห็นด้วยมากกว่าสินค้าเหมาะสมกับผู้สูงอายุ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสินค้านี้มีรสชาติดี เหมาะสมกับทุกคนในครอบครัว ผู้สูงอายุ และเด็ก มีลักษณะชวนรับประทาน และดีต่อสุขภาพ เนื่องจากคะแนนเฉลี่ยทั้งหมดของสินค้าอยู่ในเกณฑ์ดี กล่าวคือ มีคะแนนเฉลี่ยหลายปัจจัยสูงกว่า 4 คะแนนจากคะแนนเต็ม 5 คะแนน ในด้านความเป็นไปได้ในการซื้อสินค้าที่ราคาต่างๆ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า



ผู้บริโภคมีแนวโน้มในการซื้อสูงสุดที่ราคา 30 บาท ตามด้วย 40 และ 50 บาทตามลำดับ โดยร้อยละ 52 เห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 30 บาท จะน่าซื้อมากที่สุด ในขณะที่เดียวกัน ร้อยละ 44 มีความเห็นว่าการตั้งราคาสินค้าที่ 40 บาทจะน่าซื้อ และร้อยละ 43 ลงความเห็นว่าไม่แน่ใจว่าจะซื้อในราคาที่ 40 บาท ซึ่งอาจสามารถสรุปได้ว่า การตั้งราคาสินค้าที่ราคา 30 บาทจะมีความเหมาะสมที่สุด และการตั้งราคาที่ 40 บาทยังคงอยู่ในระดับพอรับได้ อย่างไรก็ตามผลเมื่อให้ผู้ทดสอบประเมินราคาสินค้าที่เหมาะสม ผู้ทดสอบประมาณราคาสินค้าไว้ที่ 26 – 30 บาทสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 39 ของผู้ที่ทำการคำถามนี้ รองลงมาคือราคาที่ ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20 บาท ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตในการผลิตแป้งถั่วแปบีย จะใช้เมล็ดถั่วแปบียแห้งหนัก 1 กิโลกรัม ราคา 60 บาท/กิโลกรัม ซึ่งสามารถผลิตได้เนื้อแป้งหนัก 450 กรัม ดังนั้นต้นทุนในการผลิตแป้งถั่วแปบียต่อ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 134 บาท

จากผลที่ได้จากการสอบถามผู้บริโภคซึ่งมีความเห็นว่าราคาจำหน่ายควรอยู่ระหว่าง 26-30 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันซึ่งมีราคาควรอยู่ระหว่าง 19-28 บาท อีกทั้งยังมีความคิดเห็นว่าคูกี้ถั่วแปบียมีรสชาติดี หากผู้ผลิตตั้งราคาจำหน่ายที่ 28 บาทโดยมีต้นทุนที่ใช้ในการผลิต 22.31 บาทผู้ผลิตจะได้กำไร 5.69 บาท หรือประมาณร้อยละ 20 ซึ่งถือว่าเป็นราคาที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามหากผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้ก็จะมีกำไรเพิ่มมากขึ้น

5.7.6 ผลกระทบเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วง

ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยสินค้าดีต่อสุขภาพ และความเหมาะสมกับเด็ก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และปัจจัยด้านความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ และความเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ มีค่า $p > 0.05$ ผลค่าเฉลี่ยพบว่ารสชาติของสินค้าอยู่ในเกณฑ์ดีมีคะแนนเฉลี่ยสูง โดยร้อยละ 54 พึงพอใจมากในรสสินค้า และร้อยละ 39 พึงพอใจมากที่สุด ปัจจัยอันดับ 2 ที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดได้แก่ ปัจจัยเหมาะกับทุกคนในครอบครัว โดยร้อยละ 43 และ 37 มีความเห็นว่าเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวมาก และมากที่สุดตามลำดับ ปัจจัยที่มีคะแนนเฉลี่ยน้อยได้แก่ คุณสมบัติความเหมาะสมกับเด็ก 3.87 คะแนน ซึ่งยังถือว่าคะแนนเฉลี่ยมีค่าสูง จึงอาจสรุปได้ว่าสินค้านี้ดีต่อสุขภาพ และเหมาะกับทุกคนในครอบครัว รวมถึงผู้สูงอายุและเด็ก

จากการสอบถามถึงราคาจำหน่ายที่เหมาะสม ผู้ทดสอบทำการประมาณราคาสินค้าอยู่ในราคาหลากหลายตั้งแต่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่ต่ำกว่า 20 บาทไปจนถึงมากกว่า 50 บาท โดยร้อยละ 29 ซึ่งมีค่าสูงสุด ผู้ทดสอบทำการประเมินราคาสินค้าที่ราคาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 บาทเป็นจำนวน 27 รายจาก 92 รายที่ทำการตอบคำถามนี้ อันดับ 2 ได้แก่ ราคาที่ 41 – 50 บาท คิดเป็นร้อยละ 24 หรือ 22 จาก 92 รายที่ทำการตอบแบบสอบถาม จะเห็นว่าการประเมินราคาจากกลุ่มผู้เข้าทดสอบยังคงคลุมเครือและมีค่าตั้งแต่ น้อยกว่าหรือเท่า 20 บาทไปจนถึง 41 -50 บาท ในส่วนข้อเสนอแนะเพิ่มเติมผู้เข้าทดสอบแนะนำให้มีการเพิ่มการนำเสนอด้านคุณสมบัติของเส้นใยอาหารให้เพิ่มมากขึ้น และคาดหวังว่าสินค้าจะเหมาะสำหรับกลุ่มรักสุขภาพ และต้องการควบคุมน้ำหนัก ควรมีการปรับแต่งกลิ่นให้ดีขึ้น ให้มีกลิ่นหอมกว่านี้ และควรพัฒนาด้านบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มความน่าสนใจให้สินค้า ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเนื่องจากเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงเป็นการ



แปรรูปวัสดุเหลือทิ้งของมะม่วงมาอบแห้ง ดังนั้นต้นทุนที่เกี่ยวข้องจะมีเพียงค่าพลังงานในการแปรรูปและค่าแรงเท่านั้น อย่างไรก็ตามไม่พบผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันวางจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบได้

5.7.7 ปัจจัยที่มีต่อการเลือกซื้อสินค้าทางการเกษตร

ในการสำรวจปัจจัยที่มีต่อการเลือกซื้อสินค้าทางการเกษตรของผู้ทดสอบ แบ่งเป็น 12 ปัจจัย โดยค่าเฉลี่ยของทุกผลิตภัณฑ์เป็นดังแสดงในตารางที่ 4.7.25 และทำการเรียงลำดับปัจจัยตามแต่ละผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 4.7.26 โดยทำการวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรประกอบด้วย เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง มะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยวิธีอบแบบถาด มะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยวิธีพลังงานแสงอาทิตย์ ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน นมข้นหวานจากข้าวโพดหวาน สำหรับคูกี้ถั่วแปยีและเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงจะใช้การพิจารณาร่วมกัน จากตารางที่ 4.7.25 และ 4.7.26 พบว่าปัจจัยผ่าน อย. และ ปัจจัยรสชาติ เป็นปัจจัยที่มีผลคะแนนเฉลี่ยเป็นอันดับ 1 หรือ 2 จาก 5 ใน 6 ของผลิตภัณฑ์ และอันดับปัจจัยได้รับการประเมินเป็นอันดับต่ำสุดประกอบด้วย ปัจจัยกลิ่น และยี่ห้อ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

5.1 การทดลองศึกษากระบวนการผลิตผงมะนาวพร้อมดื่มสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-เมท

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาวพร้อมดื่ม ที่ใช้ mixture design จำนวน 5 สูตร พบว่า น้ำมะนาวพร้อมดื่มที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับโดยรวมมากที่สุด คือ สูตรที่มีส่วนประกอบดังนี้

- น้ำมะนาวสด	56.70%	โดยน้ำหนัก
- น้ำตาลทราย	29.85%	โดยน้ำหนัก
- น้ำผึ้ง	9.95%	โดยน้ำหนัก
- เกลือ	0.50%	โดยน้ำหนัก

ผลการคัดเลือกความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่นโฟมที่ทำให้โฟมมีความคงตัวที่เหมาะสมที่สุด ของสารก่อกำเนิดโฟมทั้ง 3 ชนิด คือ ปริมาณเมทโทเซลที่ 0.60 กรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม เวลาในการตีปั่น 30 นาที ปริมาณอัลบูมินจากไข่ขาวที่ 10.5 กรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม เวลาในการตีปั่น 30 นาที และปริมาณกลีเซอรอล โมโนสเตียเรต ที่ 15 กรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม เวลาในการตีปั่น 20 นาที โดยพิจารณาจากค่าโอเวอร์รันที่สูงที่สุด

ผลการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยอาศัยการออกแบบการทดลองแบบ mixture design จำนวน 5 สูตร พบว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจในด้านการยอมรับโดยรวมมากที่สุด คือสูตรที่มีส่วนประกอบของน้ำมะนาว (59.70 กรัม) น้ำตาลทราย (29.85 กรัม) น้ำผึ้ง (9.95 กรัม) และเกลือ (0.5 กรัม) ส่วนผลของชนิดของสารก่อกำเนิดโฟม และเวลาในการตีปั่นโฟม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟม ค่าโอเวอร์รัน ความคงตัว และความหนาแน่นของโฟม โดยการใช้ชนิดของสารก่อกำเนิดโฟมที่แตกต่างกัน ทำให้โฟมที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกัน และมีค่าโอเวอร์รัน ความคงตัว และความหนาแน่นของโฟมที่แตกต่างกันอีกด้วย ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อกำเนิดโฟมที่มากเกินไป และใช้เวลาในการตีปั่นที่ยาวนาน ทำให้ค่าโอเวอร์รันของโฟมมีค่าที่ลดลง และมีความคงตัวที่ไม่ดี ซึ่งจากผลการคัดเลือกความเข้มข้นของสารก่อกำเนิดโฟม และเวลาในการตีปั่นโฟมของสารก่อกำเนิดโฟม 3 ชนิด พบว่าเมทโทเซลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.60 เวลาตีปั่น 30 นาที มีค่าโอเวอร์รันสูงที่สุด และมีค่าความหนาแน่น และความคงตัวที่เหมาะสมจะนำไปผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟม-เมท

การพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์ การอบแห้งของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวในช่วงอุณหภูมิ 50 - 70 องศาเซลเซียส พบว่าโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโทเซลเป็นสารก่อกำเนิดโฟม แบบจำลองของ Page ใช้ทำนายผลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด และเหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ โดยสามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ตลอดช่วงการอบแห้ง และโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อกำเนิดโฟม แบบจำลองของ Henderson and Pabis ใช้ทำนายผลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด และเหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ โดยสามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ตลอดช่วงการอบแห้ง ซึ่งความถูกต้องในการทำนายได้ผลสอดคล้อง

กับค่า R^2_{adj} ที่มีค่ามากที่สุด และมีค่า RMSE กับค่า χ^2 ที่น้อยที่สุด และแบบจำลองของ Page และ Henderson and Pabis อีกทั้งยังเป็นแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อนทางคณิตศาสตร์มากเกินไป จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทำนายอีกด้วย

ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงทั้งก่อนและหลังขงละลาย และเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน เมื่อผ่านการอบแห้งแล้วพบว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่ไม่เหมาะสมสำหรับนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส เนื่องจากมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ จึงเลือกเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโทเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟมเพียงชนิดเดียวนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส และจากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโทเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งทั้งสามอุณหภูมิ มีค่าคุณลักษณะในด้านต่างๆ ใกล้เคียงกับเครื่องดื่มน้ำมะนาวก่อนการอบแห้ง แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพราะนอกจากจะมีคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเครื่องดื่มน้ำมะนาวแล้ว ยังใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ไม่นานเกินไปเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และถึงแม้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แต่มีผลทำให้เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ได้มีสีที่เปลี่ยนแปลงไปและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานด้วยเหตุนี้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงด้วยวิธีโฟม-แมท

5.2 การทดลองผลิตมะม่วงขึ้นอบแห้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ และการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ

การอบแห้งขึ้นมะม่วงรูปทรงลูกเต๋ารูปร่างขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยตู้อบลมร้อนระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้นลดลงตามเวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น โดยมีช่วงอัตราการทำแห้งคงที่สั้นมาก แล้วตามด้วยช่วงอัตราการทำแห้งลดลง ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของขึ้นมะม่วงตัวอย่างมีผลต่อสมบัติของมะม่วงขึ้นที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟขนาดเล็ก โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นของขึ้นมะม่วงที่ร้อยละ 36.18 ให้ผลการทดสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างมะม่วงอบแห้งโดยภาพรวมที่เหมาะสมกว่าตัวอย่างที่อบจากขึ้นมะม่วงที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 46.44 ในการอบขึ้นมะม่วงด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศระดับอุตสาหกรรม กำลังงานไมโครเวฟ และเวลาที่ใช้ในการอบมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง แต่ปัจจัยทั้งสองไม่มีผลร่วมต่อสมบัติดังกล่าว โดยกำลังงานและเวลาที่เหมาะสม คือ 1920 วัตต์ นาน 20 นาที ซึ่งทำให้ตัวอย่างมะม่วงขึ้นอบแห้ง มีสมบัติด้านเคมีและกายภาพ ดังนี้ ปริมาณความชื้น เท่ากับร้อยละ 23.30 ± 4.66 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี เท่ากับ 0.72 ± 0.03 ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) เท่ากับ 25.92 ± 7.57 ค่าความแข็ง เท่ากับ 363.85 ± 215.02 กรัม และค่าความหนาแน่น เท่ากับ 1.84 ± 0.49 กรัมต่อมิลลิลิตร ผลการศึกษากระบวนการอบแห้งที่



เหมาะสมโดยการใช้กำลังงานไมโครเวพระดับสูงตามด้วยกำลังงานไมโครเวพระดับต่ำพบว่าผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งที่ได้มีสมบัติทั้งทางด้านกายภาพและเคมีใกล้เคียงกัน และเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเกี่ยวกับผลไม้แห้ง (มพข.136/2546) อย่างไรก็ตามสภาวะการอบแห้งที่ใช้กำลังงานไมโครเวฟ 1920 วัตต์ นาน 20 นาที ตามด้วยการใช้กำลังงานไมโครเวฟ 960 วัตต์ นาน 1.5 นาที จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด ดังนี้ มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 10.42 ค่าวอเตอร์แอกติวิตีเท่ากับ 0.743 ค่าความแข็งเท่ากับ 0.445 N ค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 59.52, 0.95 และ 39.72 ตามลำดับ

การเตรียมวัตถุดิบเปลือกมะม่วงโดยการลอกและการแช่กรดมีแนวโน้มทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารในเปลือกมะม่วงลดลง อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งเปลือกมะม่วงในตู้อบลมร้อนไม่มีผลต่อสีของเปลือกมะม่วงแต่ส่งผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารในเปลือกมะม่วง การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที คงปริมาณเส้นใยอาหารในผงบเปลือกมะม่วงมากที่สุด ส่วนวิธีการทำแห้งเปลือกมะม่วงด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และขนาดของชิ้นมะม่วงส่งผลต่อลักษณะการอบแห้ง การลดลงของความชื้นของเปลือกมะม่วงสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศร้อน การอบในตู้อบลมร้อนจะสามารถลดความชื้นในเปลือกมะม่วงได้เร็วกว่าการตากแดดโดยตรง อย่างไรก็ตามวิธีการทำแห้งส่งผลต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหารเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้การประยุกต์ใช้ชิ้นมะม่วงกึ่งแห้งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและคุกกี้ ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากกว่าการเติมเส้นใยอาหารผง โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นคุณสมบัติสำคัญที่ต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาต่อไปในกรณีของการเติมเส้นใยอาหารผง

5.3 การทดลองการผลิตมะม่วงกวนแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบถาด

ศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของเนื้อมะม่วงกวนก่อนและหลังกวน จากผลการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเนื้อมะม่วงปั่นละเอียดทั้งหมด 3 แบบจำลอง โดยใช้แบบจำลองของ Ostwald-de Waele (power law), Bingham และ Herschel-Bulkley เพื่อใช้ทำนายพฤติกรรมการไหล พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress กับ shear rate ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด 3 แบบจำลองพิจารณาความสอดคล้องของแบบจำลองกับข้อมูลจากการทดลองด้วยค่า Root Means Squared Error (RMSE), coefficient of determination (R^2_{adj}) และ reduced chi-square (χ^2) พบว่าแบบจำลองของ Herschel- Bulkley สามารถพยากรณ์สมบัติทางรีโอโลยีของมะม่วงปั่นละเอียดได้ดีที่สุด

ศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงกวน จากผลการทดลองการพัฒนาระบวนการผลิตมะม่วงกวนแผ่นอบแห้งทั้งหมด 10 สิ่งทดลอง ทำการศึกษาปริมาณกรดซิตริกและปริมาณน้ำตาลทรายต่อการยอมรับของผู้บริโภคต่อมะม่วงกวนแผ่น โดยอบแห้งมะม่วงกวนแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ควบคุมอุณหภูมิของห้องอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที จากนั้นนำมะม่วงแผ่นที่ผลิตได้ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์เกรสชันแบบ quadratic model พบว่าปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายที่ผืนแปรนั้น ไม่สัมพันธ์กับค่าการยอมรับด้านสี กลิ่นโดยรวม และเนื้อ



สัมผัส ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายที่ผันแปรนี้สัมพันธ์กับค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านรสเปรี้ยว รสหวานและความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) โดยมีค่า R^2_{adj} ร้อยละ 92.50, 34.13 และ 71.61 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสมการรสหวานและความชอบโดยรวม พบว่าการเพิ่มปริมาณกรดซิตริกจะทำให้การยอมรับด้านรสหวานและความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น ส่วนสมการด้านรสเปรี้ยว พบว่าหากใช้กรดซิตริกที่ 1.5 กรัม จะใช้น้ำตาล 10 กรัม จึงจะทำให้การยอมรับด้านรสเปรี้ยวสูงที่สุด โดยจะทำให้ผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสเปรี้ยว รสหวานและความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.6, 6.9 และ 6.8 ตามลำดับ

ศึกษาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนและเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งมะม่วงแผ่นด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two term พบว่าแบบจำลองของ Two term สามารถทำนายอัตราการลดความชื้นได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R^2_{adj} สูงที่สุดเท่ากับ 0.9997 ค่า reduced chi-square ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.0000258 และ RMSE ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.0051

การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของเนื้อมะม่วงก่อนกวนและหลังกวน ที่ใช้แบบจำลองของ Ostwald-de Waele (power law), Bingham และ Herschel-Bulkley ในการทำนายพฤติกรรมการไหล พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress กับ shear rate ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด 3 แบบจำลอง พิจารณาความสอดคล้องของแบบจำลองกับข้อมูลจากการทดลองด้วยค่า Root Means Squared Error (RMSE), coefficient of determination (R^2_{adj}) และ reduced chi-square (χ^2) พบว่าแบบจำลองของ power law สามารถพยากรณ์สมบัติทางรีโอโลยีของมะม่วงปั่นละเอียดได้ดีที่สุด

การศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงกวนด้วยวิธีการอบแห้งลมร้อนแบบถาด และปริมาณกรดซิตริกและปริมาณน้ำตาลทรายที่ผู้บริโภคให้การยอมรับที่อุณหภูมิของห้องอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที และเมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์เกรสชันแบบ quadratic model พบว่าปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายที่ผันแปรนั้น ไม่สัมพันธ์กับค่าการยอมรับด้านสี กลิ่นโดยรวม และเนื้อสัมผัส ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณกรดซิตริกและน้ำตาลทรายที่ผันแปรนี้สัมพันธ์กับค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านรสเปรี้ยว รสหวานและความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) โดยมีค่า R^2_{adj} ร้อยละ 92.50, 34.13 และ 71.61 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสมการรสหวานและความชอบโดยรวม พบว่าการเพิ่มปริมาณกรดซิตริกจะทำให้การยอมรับด้านรสหวานและความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น ส่วนสมการด้านรสเปรี้ยว พบว่าหากใช้กรดซิตริกที่ 1.5 กรัม จะใช้น้ำตาล 10 กรัม จึงจะทำให้การยอมรับด้านรสเปรี้ยวสูงที่สุด โดยจะทำให้ผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสเปรี้ยว รสหวานและความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.6, 6.9 และ 6.8 ตามลำดับ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง (Drying kinetics) มะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที

โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two term พบว่าแบบจำลองของ Page Model มีค่า adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) เท่ากับ 0.9986 ซึ่งจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่เหลืออีก 3 แบบจำลอง ส่วนค่า root mean square error (RMSE) และ reduced chi-square (χ^2) ที่ได้จากแบบจำลองของ Page Model มีค่าเท่ากับ 0.0120 และ 0.000145 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าแบบจำลองที่เหลืออีก 3 แบบจำลอง ดังนั้นแบบจำลองของ Page Model จึงสามารถทำนายผลการทดลองได้ดีและครอบคลุมมากที่สุด

ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนและเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดอยู่ที่ร้อยละ 26.7 และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีกายภาพและทดสอบประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 26.7 พบว่าคุณภาพทางเคมีกายภาพและทดสอบประสาทสัมผัสของมะม่วงแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบถาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงเมทาไลต์และถุง OPP โดยพิจารณาจากคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบโดยรวม พบว่ามะม่วงแผ่นที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 140, 115 และ 60 วันตามลำดับ และถุงเมทาไลต์มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 144, 105 และ 67 วันตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้งที่บรรจุในถุง OPP จะพิจารณาอายุการเก็บจากคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัสมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 108, 90 และ 72 วันตามลำดับ จากการทำนายอายุการเก็บรักษามะม่วงแผ่นในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดนั้น หากประเมินอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเก็บรักษาในตู้เย็น พบว่าการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ จะมีอายุการเก็บรักษายาวนานที่สุด คือประมาณ 225 วัน ขณะที่การเก็บรักษาในถุงเมทาไลต์จะเก็บไว้ได้นาน 221 วัน และถุง OPP เก็บไว้ได้นาน 144 วัน

5.4 การผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดหวาน

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดหวานโดยใช้อุปกรณ์และเครื่องมือพื้นฐานได้สูตรที่เหมาะสมดังนี้คือ น้านมข้าวโพดร้อยละ 53.10 น้ำตาลทรายร้อยละ 44.20 (ใช้ 50 กรัมแบ่งผสม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแลคโตส) แบะแซร้อยละ 2.01 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.29 แลคโตสร้อยละ 0.30 เกลือร้อยละ 0.10 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความข้นหนืดใกล้เคียงกับนมข้นหวานทั่วไปในท้องตลาด แต่มีสีเหลืองและกลิ่นหอมของข้าวโพดหวานและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคโดยมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยจนถึงปานกลาง และมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมากกว่า 6 คะแนน

การพัฒนาสูตรต้นแบบได้สูตรต้นแบบข้าวเกรียบข้าวโพดหวานที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับชอบเล็กน้อย โดยควรปรับปรุงเคมีและรสหวานให้เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณเกลือจนถึงร้อยละ 3.3 จะมีผลทำให้คะแนนความชอบทางด้านความชอบโดยรวม ลักษณะปรากฏ และกลิ่นรสข้าวโพดสูงขึ้น สูตรข้าวเกรียบข้าวโพดที่เหมาะสม ประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 100 ส่วนผสมอื่นคิดเป็นร้อยละของแป้งมันสำปะหลัง ดังนี้คือ ข้าวโพดร้อยละ 50 ของแป้ง น้ำตาล ร้อยละ 7.7 ของแป้ง เกลือ ร้อยละ 3.3 ของแป้ง และน้ำข้าวโพด ร้อยละ 60 ของแป้ง อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 51 ถึง 70 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบแห้งอยู่ในช่วง 87 ถึง 120 นาที ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดที่ทำการพัฒนาได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน พ.ศ. 2546

5.5 การทดลองศึกษาเบื้องต้นในการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพด

จากการทดสอบสถานะในการย่อยข้าวโพดบดละเอียด พบว่าการนำข้าวโพดบดละเอียดผ่านกรรมวิธีปฏิบัติในเบื้องต้นด้วยการนึ่งอัดไอน้ำ อัตราส่วน 3 กรัม แล้วย่อยด้วยเอนไซม์เอคเซลเลสในเครื่องธรีมเลอร์ที่ระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่าจะได้ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดในระดับสูงที่ 20.6 ± 2.0 และ 13.7 ± 2.5 กรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 6.9 ± 0.7 และ 4.6 ± 0.8 กรัมต่อกรัมของข้าวโพดบดละเอียด ตามลำดับ หลังการย่อยได้ใส่เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุกโตส พบว่าเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสสามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุกโตสที่ 2.18 ± 0.81 กรัมต่อลิตร และจากการทดลองเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายมาตรฐานกลูโคสปริมาณ 30 กรัมต่อลิตร ทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย พบว่าเอนไซม์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุกโตสได้ที่ 13.78 ± 1.73 กรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 45.93 ของน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร แสดงว่าบัพเพอร์ที่ใช้ในการทดลองที่ 2 นั้นมีผลกระทบต่องานของเอนไซม์ชนิดนี้ทำให้ปริมาณของน้ำตาลฟรุกโตสได้น้อยกว่าการทดลองใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสกับสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย

จากการทดลองเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร ด้วยเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเป็นน้ำตาลฟรุกโตสโดยเครื่องธรีมเลอร์ และเครื่องเขย่า พบว่าสถานะทั้งสองสามารถเปลี่ยนไอโซเมอร์ของน้ำตาลได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยระดับความเป็นกรดต่าง (pH) และอุณหภูมิที่เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสสามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นฟรุกโตสได้สูงสุดก็คือ pH 5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และพบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ระดับ 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัมต่อลิตร สามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นฟรุกโตสได้ความเข้มข้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมกลูโคส-ฟรุกโตสขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากสถานะที่เหมาะสมที่สุด พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 7.06 ± 0.56 , 11.95 ± 0.94 , 10.22 ± 0.52 และ 29.23 ± 0.28 กรัมต่อลิตร และเมื่อทำให้เข้มข้นที่ 55 องศาบริกซ์ พบว่าน้ำเชื่อมกลูโคส-

ฟรุกโตสเข้มข้นมีน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 11.46 ± 0.29 , 16.48 ± 0.84 , 14.04 ± 0.33 และ 41.98 ± 0.72 กรัมต่อลิตร ในการศึกษาวิธีการทำบริสุทธิ์น้ำเชื่อมกลูโคสฟรุกโตสเบื้องต้น พบว่าการใช้ผงถ่านที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 5 โดยมีมวลต่อปริมาตร แล้ววนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที สามารถลดค่าสีของสารละลายกลูโคสฟรุกโตสได้สูงสุด โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีค่า L^*a^* และ b^* เท่ากับ 63.51 ± 0.07 , -0.81 ± 0.03 และ 29.30 ± 0.02 ตามลำดับ

5.6 การทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากถั่วแปยเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต

การทอดถั่วแปยด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ จะทำให้ได้ถั่วแปยที่มีลักษณะที่ดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพราะการทอดด้วยสุญญากาศทำให้น้ำมันเดือดได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำลง ส่งผลให้ถั่วแปยมีสีสวย อีกทั้งเครื่องทอดสุญญากาศมีระบบการสไลด์น้ำมันออกทำให้ถั่วไม่อมน้ำมัน เมื่อพิจารณา ค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) และปริมาณความชื้น(ร้อยละ) พบว่ามีค่าน้อยกว่าการทอดแบบธรรมดา ซึ่งสมบัติทั้งสองนี้มีผลต่อการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์และอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ถั่วแปยทอด สำหรับปริมาณไขมัน(ร้อยละ)ที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า การทอดด้วยเทคนิคสุญญากาศมีปริมาณไขมันต่ำ เพราะ การทำงานของเครื่องทอดสุญญากาศนั้นมีระบบการเหวี่ยงสไลด์น้ำมันออก เมื่อมีปริมาณไขมันต่ำจึงส่งผลต่ออายุการเก็บ คือ เกิดการหืนเนื่องจากน้ำมันที่เหลือในตัวผลิตภัณฑ์ถั่วแปยทอดค่อนข้างน้อยกว่าการทอดแบบธรรมดา แต่ปริมาณเถ้า(ร้อยละ)นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างการทอดด้วยเทคนิคสุญญากาศและการทอดธรรมดา สำหรับค่าสีนั้นจะเห็นว่าการทอดด้วยเทคนิคสุญญากาศจะมีค่าความสว่างมากกว่าการทอดธรรมดา เพราะใช้อุณหภูมิและเวลาในการทอดน้อยกว่า

การวิเคราะห์เรื่องอายุการเก็บของถั่วแปยได้ทำการวิเคราะห์ TBARS และค่าความแข็ง ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 7, 15 และ 30 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอายุการเก็บนั้นมีผลต่อค่าความหืน กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น แนวโน้มของการหืนก็เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความแข็งนั้นมีแนวโน้มที่จะแข็งขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น

การทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนทางประสาทสัมผัสถั่วแปยทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศมากกว่าถั่วแปยทอดด้วยวิธีธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกคุณลักษณะ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสยังแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิการทอดมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของถั่วแปยมากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทอด ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ทอดถั่วแปยโดยเครื่องทอดสุญญากาศคือ 135 องศาเซลเซียส

การแปรรูปถั่วแปยที่เหมาะสม คือ การแปรรูปโดยใช้วิธีไม่เปียก โดยแช่ถั่วในน้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และโมโนอัตราส่วนถั่วแปยต่อน้ำเท่ากับ 1 : 8 ซึ่งแบ่งที่ได้จากการไม่เปียกมีปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน ต่ำกว่าแบ่งที่ได้จากการต้มแห้ง แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและอะมิโนสที่สูงกว่า และในด้านค่าสี แม้ว่าไม่มีความแตกต่างในด้านความสว่างและค่าสี a แต่แบ่งที่ได้จากการไม่เปียกมีค่าสี b หรือสีเหลืองน้อยกว่าแบ่งที่ได้จากการต้มแห้ง ทำให้มองดูขาวนวลมากกว่า แบ่งถั่วแปยที่ได้จากการไม่เปียกเริ่มเกิดเจลาตินในซีได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า



แบ่งที่ได้จากการโม่แห้ง โดยให้สารละลายน้ำแป้งที่มีความหนืดสูง ทั้งในระหว่างที่ให้ความร้อนและเมื่อทำให้เย็นลง ในด้านคุณสมบัติทางหน้าที่ แป้งถั่วแปยี้ที่ได้จากการโม่เปียกมีค่าการละลายน้ำน้อยกว่า ในขณะที่มีค่าดัชนีการดูดซับน้ำและน้ำมันมากกว่าแป้งที่ได้จากการโม่แห้ง และสามารถเริ่มเกิดเจลได้ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 7 ส่วนการนำแป้งถั่วแปยี้ที่ได้จากการแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วโม่กับน้ำในอัตราส่วนของถั่วกับน้ำเท่ากับ 1: 8 มาผลิตคุกกี้โดยทดแทนแป้งสาลีในสูตรร้อยละ 10-30 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความกรอบ และความชอบโดยรวม ทั้งนี้สามารถเติมทดแทนได้สูงถึงร้อยละ 30 โดยที่ผู้ทดสอบชิมยังให้คะแนนการยอมรับโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

การเตรียมถั่วแปยี้สำหรับคั่วกับสมุนไพร โดยการนำถั่วที่แกะเปลือกแล้วมานึ่งเป็นเวลา 40 นาที แล้วทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ช่วยให้ถั่วมีเนื้อสัมผัสที่กรอบและมีความแข็งน้อยกว่าถั่วที่คั่วด้วยเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟหรือถั่วไม่ผ่านการนึ่ง การใช้อุณหภูมิสูงที่ 180 องศาเซลเซียส ในการคั่วถั่วกับสมุนไพรทอด 3 ชนิด ได้แก่ ใบมะกรูด กระเทียมจีน และพริกชี้ฟ้าแดง เป็นเวลานาน 5 นาที ทำให้ได้ถั่วที่มีสีเข้มกว่าการคั่วที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 และ 10 นาที เล็กน้อย และมีความกรอบแข็งมากกว่า โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบมากที่สุดทั้งในด้านสี กลิ่นรสสมุนไพร ความกรอบ และความชอบโดยรวม ทั้งนี้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบต่อถั่วแปยี้ที่ได้จากการคั่วกับสมุนไพรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที น้อยที่สุด เนื่องจากมีสีเข้ม และมีความแข็งมากเกินไป ถั่วแปยี้คั่วสมุนไพรที่ผู้ชิมให้การยอมรับมากที่สุดมีส่วนผสมคือ ถั่วแปยี้ทอดสุญญากาศ 90 กรัม ใบมะกรูดทอด 5.9 กรัม กระเทียมจีนทอด 2.5 กรัม พริกชี้ฟ้าแดงทอด 1.6 กรัม และเกลือป่น 1 กรัม มีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 2.21) เถ้า (ร้อยละ 4.32) โปรตีน (ร้อยละ 26.43) ไขมัน (ร้อยละ 11.43) เส้นใย (ร้อยละ 1.96) คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 65.08) และมีค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.197

5.7 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคเชิงพาณิชย์ในด้านต้นทุน ราคา และรสชาติประสาทสัมผัส

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการยอมรับของผลิตภัณฑ์แปรรูปทางเกษตร 6 ประเภทในเชิงพาณิชย์ของผู้บริโภคในด้านต้นทุนการผลิต ราคา และรสชาติประสาทสัมผัส ได้แก่ เครื่องดื่มมะนาวผง มะม่วงแผ่นอบแห้ง ด้วยวิธีอบแห้งแบบถาดและอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน นมข้นหวานจากข้าวโพดหวาน และคุกกี้ถั่วแปยี้ นอกจากนี้คณะวิจัยยังได้ศึกษาความคิดเห็นในเบื้องต้นของผู้บริโภคที่มีต่อเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงเพิ่มเติมด้วย

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์แปรรูป ซึ่งคะแนนอยู่ระหว่าง 3.46 – 4.19 จากคะแนนเต็ม 5.00 ส่วนปัจจัยอื่นๆได้รับการประเมินอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจเช่นเดียวกัน ความเหมาะสมกับทุกคนในครอบครัวได้รับคะแนนระหว่าง 3.58 – 4.17 หากผลิตภัณฑ์เน้นไปที่ผู้บริโภคที่เป็นเด็กผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมได้แก่ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน นมข้นหวานจากข้าวโพดหวาน และคุกกี้ถั่วแปยี้ซึ่งได้รับคะแนนระหว่าง 3.90 – 4.00 หากผลิตภัณฑ์เน้นไปที่ผู้บริโภคที่เป็นผู้สูงอายุ



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมได้แก่คุกกี้ถั่วแปยีซึ่งได้รับคะแนน 3.78 อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบชิมคิดว่าเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงมีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุเช่นเดียวกันโดยได้รับคะแนนที่ 4.14

ผู้ทดสอบชิมยังประเมินราคาที่เหมาะสมที่ควรขายในท้องตลาดของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่นเดียวกัน โดยที่มะม่วงแผ่นขนาด 100 กรัมควรมีราคาอยู่ที่ 30 บาท ข้าวเกรียบข้าวโพดหวานขนาด 35 กรัมควรมีราคาอยู่ที่ 9 บาท คุกกี้ถั่วแปยีขนาด 100 กรัมควรมีราคา 28 บาท ซึ่งราคาเหล่านี้มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกันหรือคล้ายคลึงกันที่วางจำหน่ายในท้องตลาด อย่างไรก็ตามในการผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงและนมข้นหวานจากข้าวโพดหวานนั้นมีต้นทุนที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์คล้ายคลึงที่วางจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นผู้ผลิตจึงควรลดต้นทุนและจุดขายที่ผลิตภัณฑ์มีเหนือคู่แข่ง



บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2544. สารานุกรมเกี่ยวกับแป้ง ตอน กำเนิดของแป้ง. ข่าวสารวิชาการในวงการแป้ง. ปีที่ 1 ฉบับที่ 4 หน้า 6
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- คุ้มเกล้า ตูลาดิลก และพินดา รัตนปิติกรณ์ (2551). น้ำกระเทียมดองชนิดผงโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 39:3 (พิเศษ), 515 – 518.
- ชัยวัฒน์ เผ่าสันตพัฒน์ และ คณะ. 2551. ออกแบบพัฒนาเครื่องทอดสุญญากาศ. ว.วิทย. กษ. 39 (3) (พิเศษ) : 357-360 (2551).
- ทรงฤทธิ์ อินแปลง. 2545. เทคโนโลยีธัญชาติและผลิตภัณฑ์. โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาเขตกรณในพระบรมราชูปถัมภ์.
- นันทวัน เทอดไทย ไพศาล วุฒิจำนงค์ อนุวัตร แจ่มชัด ฉัตรลดา กุสุจรีต. 2541. การศึกษาสภาวะการทอดสุญญากาศที่เหมาะสมสำหรับหอมแดง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยวรรณ ศุภวิทิพัฒนา. 2544. รายงานวิจัย เรื่อง การผลิตแป้งจากกล้วย. คณะเทคโนโลยี การเกษตร. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- ผาณิต รุจิรพิสิฐ. 2552. ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อคุณภาพรากบัวทอดสุญญากาศ. ว.วิทย. กษ. 40 (3) (พิเศษ) : 65 -68 (2552).
- พิชญา บุญประสม, จิตติมา ทรงจิตสมบูรณ์, วรรณนิศา แสงวงศ์คำ 2549. การอบแห้งโรสแมรี่และลาเวนเดอร์ ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการ IRPUS ปี 2549.
- ภรณ์ ลิ้มปิสิต. 2546. รายงานวิจัย เรื่อง การใช้แป้งข้าวเหนียวผสมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ ฯ.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่1.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2541. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 272 หน้า.
- วรายุทธ เนติกันต์ และนพพล เล็กสวัสดิ์. 2551. การผลิตเอทานอลและ R-phenylacetylcarbinol จากสารผสมระหว่างกากของแข็งที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องและกากน้ำตาล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 18(3): 121-128



วัชรวิทย์ มหัทธนพรรค และ รัตนา อัดปัญญา (2543). การพัฒนาวิธีการทำลำไยผงด้วยวิธี Foam-mat drying.

ปัญหาพิเศษภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม 2550 การแปรรูปผลผลิตการเกษตรให้เป็นอาหารทำอย่างไร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สุธิดา กิจเกษตรสถาพร และพนิดารัตนปิติกรณ์ (2551). การผลิตสารสกัดชนิดผงจากพริตแดงสดโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 39:3 (พิเศษ), 477 – 480.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของ กรมศุลกากรสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2552. [ออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.bangkokbiznews.com/home/detail/business/business/20090727/63458.html>

อรพิน ภูมิภมร. 2533. ระบบชีวภาพที่สำคัญต่อเทคโนโลยีชีวภาพ, เล่มที่ 5 เทคโนโลยีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. หน้า 213.

อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์ (nd.). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบัญชีต้นทุน [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://home.kku.ac.th/anuton/cost%20accounting/cost%20split.htm>

Ajila, C.M., Naidu, K.A., Bhat, S.G. and Prasada Rao, U.J.S. 2007. Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. Food Chemistry. 105: 982-988.

Ajila, C.M., Leelavathi, K. and Prasada Rao, U.J.S. 2008. Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. Journal of Cereal Science. 48: 319-326.

Ajila, C.M., Aalami, M., Leelavathi, K. and Prasada Rao, U.J.S. 2010. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. Innovative Food Science and Emerging Technologies. Article in press. doi:10.1016/j.ifset.2009.10.004.

AOAC. 1995. *Official methods of analysis* (16th ed., 4th revised). Arlington: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. 2000. *Official methods of analysis*. (15th ed.). Washington: Association of Official Analytical Chemists.

Applexion® Processes for Starch, Sugar and Sweetener Production [website]: <http://www.novasep.com/biomolecules/food-ingredients/Applications/sugar-and-sweeteners-production.asp> (accessed 30/06/11)



- Barbosa-Canovas and Vega-Mercado. 1996. Dehydration of Foods. Springer Us, USA.
- Belfauih, N. and Penninckx, M. (2000). A bifunctional _xylosidase-xylose isomerase from *Streptomyces* sp. EC 10, *Enzyme Microb. Technol.* 27 114–121.
- Beynum, G.M.A., van, and Roels, J.A. 1985. Starch Conversion Technology. Marcel Dekker, Inc., New York, p. 326.
- Bhosale, S. H., Rao, M. B., and Desphande, V. V. (1996). Molecular and industrial aspects of glucose isomerase. *Microbiological Reviews*, 60, 280–300.
- Brown, S., Sjolholm, C., and R.M. Kelly, (1993). Purification and characterization of a highly thermostable Glucose isomerase produced by the extremely thermophilic eubacterium *Thermotoga maritime*, *Biotechnol. Bioeng.* 41 878–886.
- Bundy, L.G., and Widen, P.B. 1996. Management of sweet corn processing wastes to protect groundwater quality. <http://digicoll.library.wisc.edu/cgi-bin/EcoNatRes/EcoNatResidx?ty=turn&entity=EcoNatRes002702640015&size=M> (accessed 01/07/07)
- Chaplin, M. (2001). Production of Glucose Syrup. [online] June 29. Available from <http://www.sbu.ac.uk/biologyenztech/glucose.html>
- Chen, W. P., & Anderson, A. W. (1979). Purification, immobilization and some properties of glucose isomerase from *Streptomyces flavogriseus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 38, 1111–1119.
- Collison, R., 1968, "Swelling and Gelation of Starch,". In Radley, J.A. (ed.), *Starch and Its Derivatives*, Chapman and Hall Ltd., London. pp 168-193.
- Davies, T., Miller, D.C. and Procter, A.A., 1980, *Starke*, Vol. 32, p. 149.
- Demirel, G., Ozcetin, G., Sahin, F., Tunturk, H., Aksoy, S., and Hasirci, N. (2006). Semiinterpenetrating polymer networks (IPNs) for entrapment of glucose isomerase. *Reactive & Functional Polymers*, 66, 389– 394.
- Deshpande, S.S., Sathe, S.K., Comforth, D.P. and Salunkhe, D.K. 1982. Effects of dehulled on functional properties of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour. *Cereal Chem.* 59(5); 396-401.
- Dewanto, V., Wu, X. and Lui, R-H. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J. Agri. Food Chem.* 50: 4959-4964.



- Dickey, L.C., McAloon, A., Craig, J.C. & Parris C. N. (1999) . Estimating the cost of extracting cereal protein with ethanol. *Industrial Crops and Products*. 10. 17-143.
- Douglas, C.W. and Mitchinson, C. (1997). Enzymes Involved in the Processing of Starch to sugars. *Trend in biotechnology*. 15, 349-352.
- Drouzas, A.E. and Schubert, H. 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of Food Engineering*. 28: 203-209.
- Drouzas, A.E., Tsami, E. and Saravacos, G.D. 1999. Microwave/vacuum drying of model fruit gels. *Journal of Food Engineering*. 39: 117-122.
- Drury, C. (2008). Management and Cost Accounting. 7th Edition. Pat Bond. London. UK.
- Durance, T.D., Wang, J.H. and Meyer, R.S. 1999. Process for drying mango and pineapples. Article online. Available on: http://www.freepatentsonline.com/_/5962057.html. [17/12/2009].
- Erle, U. and Schubert, H. 2001. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *Journal of Food Engineering*. 49: 193-199.
- Fellow, P. J. 1990. Food Processing Technology : Principal and Practice. 2nd edition, Ellis Horwood, West Sussex.
- Giri, S.K. and Prasad, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*. 78. 512-521.
- Gross, D.R. and Valensky, R.J. 1991. Method and Apparatus for Dehydrating Fruit. Article online. Available on: <http://www.freepatentsonline.com/5020237>. [17/12/2009].
- Hall, C. W. 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. AVI Publishing Company., Inc. Westport Conecticut. U.S.A. 382 pp.
- Hass, M. J., McAloon, A. J., Yee, W. C., & Foglia, T. A. (2005) A process model to estimate biodiesel production costs. *Bioresource Technology*. 97. 671-678.
- Healthy Ho Co., Ltd. 2010. น้ำเชื่อมฟรุ๊ตโตส. [Website]: http://quinl.com/viewProduct_Detail/Fructose_Syrup_thailand_6487_th.html
- Hizukuri, S. 1985. Relationship Between the Distribution of the Chain Length of Amylopectin and the Crystallite Structure of Starch Granules. *Carbohydr. Res*. Vol. 141, pp. 295-306.



- Hizukuri, S. 1988. Recent Advances in Molecular Structure of Starch. J. Jpn. Soc. Starch Sci. Vol. 31, p. 185.
- Hu, Q., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Xiao, G. and Sun, J. 2006. Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination. *Journal of Food Engineering*. 77: 977-982.
- Huitron, C., & Limon-Lason, J. (1978). Immobilization of glucose isomerase to ionchange materials. *Biotechnology and Bioengineering*, 20, 1377–1391.
- Karim, A. A. and Wai, C. C. (1999). Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. *Food Chemistry* 64, 337 – 343.
- Johnson, R., Padmaja, G., and Moorthy, S.N. (2009). Comparative production of glucose and high fructose syrup from cassava and sweet potato roots by direct conversion techniques. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 616–620.
- Kasemsuwan, T., Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S. and Radosavljevic, M., 1999, "Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch," *Cereal Chem.* Vol. 76, No. 5, pp. 629-637.
- Koshida, D. 1982. Method for Producing Dry Fruit Chip. Article online. Available on: <http://www.freepatentsonline.com/4341803>. [17/12/2009].
- Kurup, A.S., Subramani, H.J., Hidajat, K., and Ray, A.K. (2005). Optimal design and operation of SMB Bioreactor for sucrose inversion. *Chemical Engineering Journal*, 108, 19–33.
- Labuza, T. P. 1982. *Shelf-life Dating of Foods*. Food & Nutrition Press, Inc. Westport, Connecticut 06880 USA.
- Larrauri, J.A., Rupérez, P., Borroto, B. and Saura-Calixto, F. 1996. Mango peels as a new tropical fibre: Preparation and characterization. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 29: 729-733.
- Man, D. 2002. *Food Industry Briefing Series: Shelf Life*. Blackwell Science Ltd.Oxford. 112 pp.
- Misset, O., Labout, J., Wilms, J., Quax, W. J., Van Eekelen, C. A. G., and Busnach, H. A. High fructose corn syrup. *Biotechnological innovation in food processing*. Oxford: Butterworth.
- Morrison, W.R. and Laignelet, B. 1983. An Improved Colorimetric Procedure for Determining Apparent and Total Amylose in Cereal and Other Starches. *J. Cereal Sci.* No. 1, pp. 9-20.



- Nafisi-Movaghar. 1990. Fruit and Vegetable Dried Food Product. Article online. Available on: <http://www.freepatentsonline.com/4948609>. [17/12/2009].
- Newman, D. G., Eschenbach T. G., & Lavelle, J. P. (2004). Engineering Economic Analysis. 9th Edition. Oxford University Press. New York, NY.
- NFI. 2006a. พิกัดสินค้าข้าวโพดอ่อนสดหรือแช่เย็นปี 2549. http://www.nfi.or.th/stat/rep_h_amonize.asp?repnumber=rep05&flag_imex=E&flag_summary=Y&startdate=01/01/2006&stopdate=12/31/2006&harmonizeselect=0709900204 ข้าวโพดอ่อนสดหรือแช่เย็น (accessed 01/07/07)
- NFI. 2006b. http://www.nfi.or.th/stat/rep_hamonize.asp?repnumber=rep05&flag_imex=E&flag_summary=Y&startdate=01/01/2006&stopdate=12/31/2006&harmonizeselect=0710400001 ข้าวโพดหวานแช่เย็นจนแข็ง (accessed 01/07/07)
- NWICC. 2007. Module 2: Ethanol Science & Technology. <http://www.nwicc.com/pages/continuing/business/ethanol/Module2.htm> (accessed 01/07/07)
- Otto, J.N. 1985. Method for the production of high fructose corn syrup. US Patent No. 4523960.
- Parker, K., Salas, M. and Nwosu, C. V. 2010. Review: High fructose corn syrup: Production, uses and public health concerns. *Biotechnology and Molecular Biology Review*. 5(5): 71 – 78.
- Peryam, D.R. and Pilgrim, F.J. 1957. Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technology*, 11, 9-14.
- Pretty, J. N., Brett, C., Gee, D., Hine, R. E., Mason, C. F., Morison, J. I. L., Raven, H., Rayment, M. D., and Van Der Bijl, G. (2000). An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agriculture Systems*. 113-136.
- Rajkumar, P., Kailappan, R., Viswanathan, R. and Raghavan, G.S.V. (2007). Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *Journal of Food Engineering* 79, 1452–1459.
- Rhimi, M., Messaud, E. B., Borgi, M. A., Khadra, K. B., & Bejar, S. (2007). Co-expression of L-arabinose isomerase and D-glucose isomerase in E. coli and development of an efficient process producing simultaneously D-tagatose and D-fructose. *Enzyme and Microbial Technology*, 40, 1531–1537.
- Roberts, E.A. 1985. Grain legumes crops. Collin, London.



- Singh, R.P. 1994. Scientific principles of shelf life evaluation. In *Shelf life evaluation of food* . p 3-26. Edited by Man, C.M.D. and Jones, A.A. Chapman & Hall. Glosgow. 321 pp.
- Singh, T.K. and K.R. Cadwallader. 2004. Ways of measuring shelf-life and spoilage. P. 165-183. In *Understanding and Measuring the Shelf-life of Food*. Edited by Steele, R. CRC Press. Woodhead publishing limited. Cambridge. England. 407 pp.
- Strandberg, G. W., & Smiley, K. L. (1971). Free and immobilized glucose isomerase from *Streptomyces phaeochromogenes*. *Applied Microbiology*, 21, 588–593.
- Stephen, A.M. and Churm, S.C. 1995. “Gum and Mucilages”, in *Food polysaccharides and their applications*, Edied by Stephen, A.M., New York, Marcel Dekker.
- Subagio, A. 1996. Characterization of hyacinth bean (*Lablab purpureus* (L.) sweet) seeds from Indonesia and their protein isolate. *Food Chemistry*. 95(1), Pp 65-70.
- Tukel, S.S., and Alagoz, D. (2008). Catalytic efficiency of immobilized glucose isomerase in isomerization of glucose to fructose. *Food Chemistry* ,111. 658–662.
- Van Arsdel, W. B. 1973. *Food Dehydration*. The AVI Publishing Company, Inc, Westport, Connecticut. 1 : 331.
- Visuri, K. and A.M. Klivanov. 1987. Enzymatic production of high fructose corn syrup (HFCS) containing 55% fructose in aqueous ethanol. *Biotechnology and Bioengineering* 30(7): 917 – 920.
- Vuilleumier, S. 1993. Worldwide production of high-fructose syrup and crystalline fructose. *American Journal of Clinical Nutrition*. 58: 733S - 736S.
- Wardrip, E. K. (1971). High fructose corn syrup. *Food Technology*, 25, 501–504.
- White J. A., Case K. E., & Pratt D. B. (2010). *Principles of Engineering Economic Analysis*. 5th Edition. Johns Wiley & Sons Inc. Hoboken, NJ.
- Williams, P.A. and Phillips, G.O. 2000. Introduction to Food Hydrocolloids. In G.O. Phillips and P.A. Williams (Eds.). *Handbook of of hydrocolloids* (pp 1-20). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Yu, D., Wu, H., Zhang, A., Tian, L., Liu, L., Wang, C., and Fang, X. (2011). Microwave irradiation-assisted isomerization of glucose to fructose by immobilized glucose isomerase. *Process Biochemistry*, 46, 599–603



ภาคผนวก (Appendix)

ผ.2 การทดลองผลิตมะม่วงชั้นอบแห้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ และการผลิตเส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ

ผ.2.1 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้

ผ.2.1.1 เครื่องอบแห้งระดับอุตสาหกรรมที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ ผ.2.1: ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray type hot air dryer, NAVALOY, Thailand)



รูปที่ ผ.2.2: ตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave vacuum dryer, MARCH COOL, Thailand)



รูปที่ ผ.2.3: ตู้อบพลังแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก

ผ.2.2 การเปลี่ยนแปลงของมะม่วงในระหว่างกระบวนการทำแห้ง



รูปที่ ผ.2.4: มะม่วงสดพันธุ์โชคอนันต์



รูปที่ ผ.2.5: มะม่วงคลุกน้ำตาลก่อนการอบด้วยตู้อบลมร้อน



รูปที่ ผ.2.6: มะม่วงหลังอบด้วยตู้อบลมร้อนนาน 6 ชั่วโมง



รูปที่ ผ.2.7: มะม่วงหลังอบด้วยไมโครเวฟ กำลังงาน 2400 W นาน 10 นาที



รูปที่ ผ.2.8: มะม่วงหลังอบด้วยไมโครเวฟ กำลังงาน 2400 วัตต์ นาน 10 นาที ตามด้วย กำลังงาน 960 วัตต์ นาน 1.5 นาที



รูปที่ ผ.2.9: มะม่วงหลังอบด้วยไมโครเวฟ กำลังงาน 1920 W นาน 20 นาที



รูปที่ ผ.2.10: มะม่วงหลังอบด้วยไมโครเวฟ กำลังงาน 1920 W นาน 20 นาที ตามด้วย กำลังงาน 960 W นาน 1.5 นาที

ผ.2.3 การเปลี่ยนแปลงของเปลือกมะม่วงในระหว่างกระบวนการทำแห้ง



รูปที่ ผ.2.11: เปลือกมะม่วง



รูปที่ ผ.2.12: การแช่กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที



รูปที่ ผ.2.13: การอบแห้งมะม่วงด้วยตู้อบลมร้อน



รูปที่ ผ.2.14: เปลือกมะม่วงที่ผ่านการอบแห้ง



รูปที่ ผ.2.15: การบดเป็นผงโดยเครื่องบดแบบค้อน (Armfield : Model FT2, England)



รูปที่ ผ.2.16: เส้นใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์



การตากแดดโดยตรง

ขนาด 1.5 x 1.5 เซนติเมตร



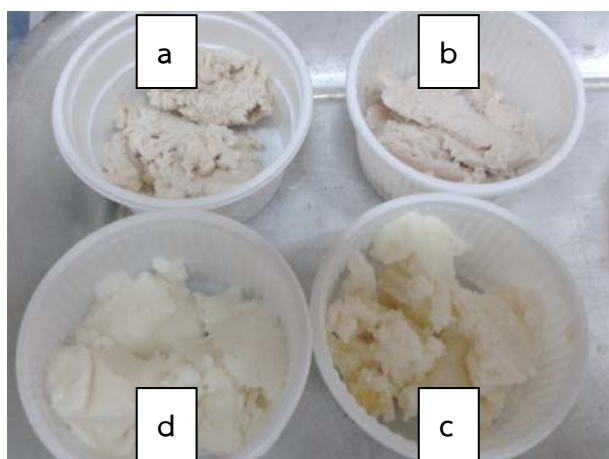
การตากแดดโดยตรง

คละขนาด

รูปที่ ผ.2.17: การทำแห้งเปลือกมะม่วงด้วยแสงอาทิตย์



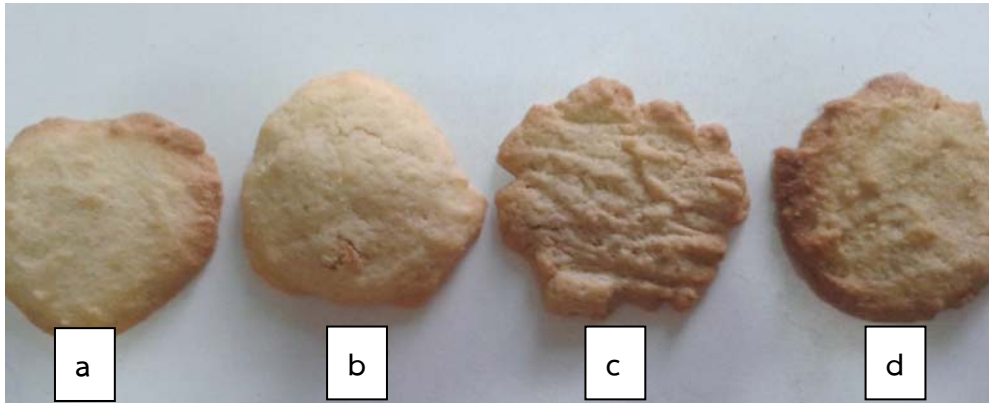
รูปที่ ผ.2.18: เส้นใยอาหารผงที่อบแห้งโดยพลังแสงอาทิตย์



รูปที่ ผ.2.19: ไอศกรีมนมผสมผลิตภัณฑ์จากมะม่วง โดย (a) ผสม ขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 และเส้นใยอาหารผงร้อยละ 2.5 (b) ผสม เส้นใยอาหารผงร้อยละ 2.5 (c) ผสม ขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 และ (d) ตัวอย่างควบคุม



รูปที่ ผ.2.20: คุกกี้ผสมขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 หลังการอบในตู้อบอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที



รูปที่ ผ.2.21: คุกกี้ผสมผลิตภัณฑ์จากมะม่วง โดย (a) ตัวอย่างควบคุม (b) ผสม ขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 (c) ผสม เส้นใยอาหารผงร้อยละ 2.5 และ (d) ผสม ขึ้นมะม่วงร้อยละ 5.0 และเส้นใยอาหารผง ร้อยละ 2.5

ผ.3 การผลิตมะม่วงกวนแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบถาด

ผ.3.1 อุปกรณ์เครื่องมือ

ผ.3.1.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้ในการทดลอง พัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งแผงรับพลังงานความร้อนทำจากแผ่นสังกะสีถูกผูกสีดำ นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แบบ indirect ภายในเครื่องประกอบด้วยพัดลม 2 ตัว เพื่อช่วยในการดูดลมร้อนเข้า และนำความชื้นออกไป โดยมีช่องลมเข้าและออก มีตะแกรง 4 ชั้น สำหรับบรรจุวัตถุดิบ



รูปที่ ผ.3.1: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (solar dryer) ที่พัฒนาขึ้นโดย ผศ.ดร. พิชญ์ บุญประสม พูลลาภ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ที่มา: สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผ.3.2 เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด (Tray Dryer) ที่ใช้เป็นเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดระดับห้องทดลอง (lab scale) สามารถอบแห้งได้ครั้งละ 4 ถาด ถาดที่ใช้เป็นถาดสแตนเลส มีขนาด 18.1 x 28 x 1.4 เซนติเมตร ลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งเป็นแบบทางขวางคือ ไหลจากซ้ายไปขวา การปรับระดับอุณหภูมิของลมร้อนและความเร็วลม สามารถปรับได้ด้วยปุ่มปรับระดับอุณหภูมิ และปุ่มปรับระดับความเร็วลมซึ่งอยู่ด้านหน้าของเครื่องอบแห้ง การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดเป็นการอบแห้งที่อาศัยลมร้อนจากฮีเตอร์ (heater) โดยลมร้อนจะไหลผ่านชั้นของถาดที่มีผลิตภัณฑ์บรรจุอยู่เป็นชั้นบางๆ

เพื่อให้สัมผัสกับอากาศร้อน แหล่งกำเนิดความร้อนติดตั้งอยู่ทางด้านข้าง ตำแหน่งของใบพัดติดตั้งใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดความร้อน เพื่อกระจายความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์ได้อย่างทั่วถึง



รูปที่ ผ.3.2: เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด (Tray dryer)

ที่มา: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผ.3.2 วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี

ผ.3.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ (Physical Analysis)

ผ.3.2.1.1 การวัดค่าสี ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Konica Minolta (Chroma Meter : CR-400, Japan) โดยวัดค่าสีในระบบ CIE ทำการวัดค่าสีออกมาเป็น $L^* C^* h^\circ$ ก่อนการวัดค่าสีทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐานแล้วจึงทำการวัดค่าสีตัวอย่างผลิตภัณฑ์ โดยนำตัวอย่างมะม่วงสุกใส่ภาชนะส่วนมะม่วงกวนใช้ตัวอย่างที่ขึ้นรูปแล้วทำการวัด โดยวัดทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ค่าสี L^* หมายถึงค่าความสว่าง มีค่าความสว่างมากเมื่อมีค่าใกล้ 100 และมีค่าความมืดมากเมื่อมีค่าใกล้ 0

ค่าสี C^* หมายถึง ค่าที่แสดงให้เห็นถึงความอิ่มตัวของสี (McGuire, 1992)

ค่าสี h° หมายถึง ค่าที่แสดงถึงมุมในการตกกระทบของค่า a^* ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา (McGuire, 1992)

ผ.3.2.2 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านแรงฉีกและแรงกด ได้ดัดแปลงมาจากวิธีการวัดแรงฉีกของผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่น (อนุวัตรและคณะ, 2543)



ผ.3.2.2.1 การวัดค่าแรงฉีก (Tensile) ตัดตัวอย่างลำใยแผ่นให้มีขนาด 10 mm x 200 mm นำมาวัดค่าแรงฉีกด้วยเครื่อง Texture Analyser TA.XT plus ทำการวัดสิ่งทดลองละ 5 ซ้ำ โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าในการวัดดังนี้

Mode :	Measure Force in Tension
Option :	Return to Start
Pre-Test Speed :	1.0 mm/s
Test Speed :	3.0 mm/s
Post-Speed :	10.0 mm/s
Distance :	30 mm
Trigger type :	Auto-5 g
Data Acquisition Rate :	10 pps
Accessory :	A/SPR (50 kg load cell)

ผ.3.2.2.2 การวัดค่าแรงกด (Compression) ตัดตัวอย่างลำใยแผ่นให้มีขนาด 25 mm x 30 mm นำมาวัดค่าแรงกดด้วยเครื่อง Texture Analyser TA.XT plus ทำการวัดสิ่งทดลองละ 5 ซ้ำ โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าในการวัดดังนี้

Mode :	Measure Force in Compression
Option :	Return to Start
Pre-Test Speed :	3.0 mm/s
Test Speed :	3.0 mm/s
Post-Speed :	10.0 mm/s
Distance :	10 mm
Calibration Height :	25 mm
Trigger type :	Auto-5 g
Data Acquisition Rate :	10 pps
Accessory :	P/2N (50 kg load cell)

ผ.3.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (Chemical Analysis)

ผ.3.2.2.1 การวัดปริมาณความชื้น ทำการสุ่มตัวอย่างมะม่วงป่นละเอียดหรือมะม่วงกวนแผ่น โดยนำตัวอย่างที่ได้มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ลงในกระป๋องหาความชื้น (moisture can) ที่ผ่านการนำไปดูดความชื้นออกแล้ว (โดยนำไปใส่ในโถดูดความชื้น) นำตัวอย่างไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาติดต่อกัน 6 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกจากตู้อบมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่ ทำการทดลองสิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\% d.b.)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\% w.b.)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง}} \times 100$$

ผ.3.2.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ใส่ตัวอย่างบนช่องใส่ตัวอย่าง ปิดฝา อ่านค่าจากเครื่อง Hand refractometer บันทึกผล ก่อนใช้งานต้องปรับมาตรฐาน และระหว่างการใช้งานต้องล้างเครื่องให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นก่อนทำการวัดตัวอย่างครั้งต่อไป

ผ.3.2.2.3 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ซึ่งตัวอย่างมะม่วงสุก 10 กรัมผสมกับน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) ซึ่งมีการปรับค่ามาตรฐานด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่าเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.00 และ 4.00 วัดโดยใช้ Glass electrode จุ่มลงในสารละลายตัวอย่างแช่ไว้ประมาณ 5 วินาที อ่านค่าที่ได้และบันทึกผล ส่วนตัวอย่างมะม่วงกวนซึ่งตัวอย่าง 1 กรัม บั่นให้ละเอียดผสมกับน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร แล้วทำเช่นเดียวกับตัวอย่างมะม่วงสุก

ผ.3.2.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ซึ่งตัวอย่างมะม่วงสุก 10 กรัมผสมกับน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตรไทเทรตตัวอย่างกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่ผ่านการ Standardized กับสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนธาเลต (KHP) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สุดท้ายให้มีค่า 8.10 ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) บันทึกปริมาตรที่ไทเทรตได้ คำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดมาลิก ส่วนตัวอย่างมะม่วงกวนซึ่งตัวอย่าง 1 กรัม บั่นให้ละเอียดผสมกับน้ำกลั่น แล้วทำเช่นเดียวกับตัวอย่างมะม่วงสุก สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 1 มิลลิลิตรทำปฏิกิริยาสมมูลย์พอดีกับกรดมาลิก 0.067 กรัม

$$\text{ปริมาณกรด (\%)} = \frac{\text{ปริมาณ NaOH ที่ไทเทรตได้} \times 0.067 \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH} \times 100}{\text{น้ำหนักมะม่วงเทียบเป็นน้ำหนักแห้ง (กรัม)}}$$

ผ.3.2.2.5 การวิเคราะห์ค่า a_w ใส่ตัวอย่างมะม่วงสุกหรือมะม่วงกวนที่สับละเอียดแล้วในตลับพลาสติก (a_w box) สำหรับวัดค่า a_w ปริมาณของตัวอย่างไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของตลับ แล้วนำไปใส่ในเครื่องวัดค่า a_w หมุนปุ่มจากตำแหน่งเปิดไปตำแหน่งอ่าน เครื่องเริ่มวัดค่า เมื่อเครื่องวัดเสร็จจะมีสัญญาณเตือน บันทึกผล ทำการวัด 3 ครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ย ก่อนจะต้องมีการปรับค่ามาตรฐานโดยใช้สารละลายมาตรฐานก่อน



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ผ.4 การผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดหวาน

ผ.4.1 ขั้นตอนการผลิตนมข้าวโพดชั้นหวาน



รูปที่ ผ.4.1: วัตถุดิบข้าวโพดหวาน



รูปที่ ผ.4.2: ข้าวโพดหวานที่ลอกเปลือกออก



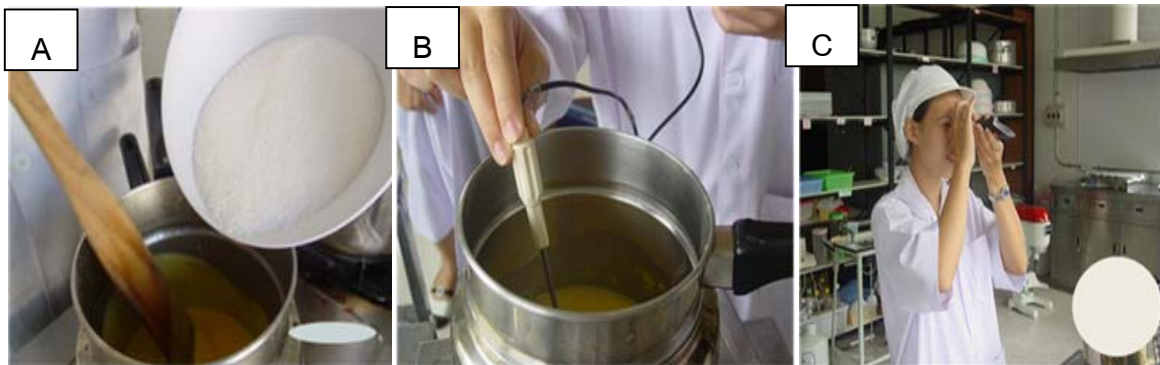
รูปที่ ผ.4.3: การฝานเอาเนื้อข้าวโพดหวาน



รูปที่ ผ.4.4: ขั้นตอนการคั้นแยกกน้ำและกากข้าวโพด



รูปที่ ผ.4.5: กรองน้ำข้าวโพดหวานด้วยผ้าขาวบาง



รูปที่ ผ.4.6: กระบวนการเคี่ยวน้ำนมข้าวโพด ตรวจสอบอุณหภูมิและวัดค่าความหวาน



รูปที่ ผ.4.7: ลักษณะนมข้าวโพดที่เคี่ยวจนวัดปริกซ์ได้ 65 องศาบริกซ์



รูปที่ ผ.4.8: กระบวนการปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสมมือถือ



รูปที่ ผ.4.9: ลักษณะเนื้อสัมผัสของนมข้าวโพดข้นหวานภายหลังการปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ ผ.4.10: การบรรจุนมข้าวโพดชั้นหวานขณะร้อนลงในขวด



รูปที่ ผ.4.11: การทำให้เย็นหลังบรรจุขณะร้อน



รูปที่ ผ.4.12: ผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดชั้นหวาน ใช้ทาขนมปัง หรือใช้ผสมในเครื่องดื่ม

ผ.4.1 ขั้นตอนการผลิตนมข้าวโพดชั้นหวาน



รูปที่ ผ.4.13: องค์ประกอบของข้าวเกรียบข้าวโพด



รูปที่ ผ.4.14: ส่วนผสมของเนื้อข้าวโพด น้ำข้าวโพด น้ำตาลและเกลือ



รูปที่ ผ.4.15: ส่วนผสมของเนื้อข้าวโพด น้ำข้าวโพด น้ำตาลและเกลือ เมื่อผ่านความร้อน



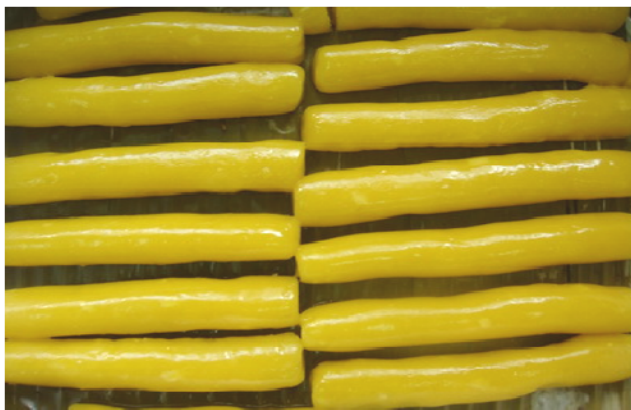
รูปที่ ผ.4.16: ส่วนผสมของเนื้อข้าวโพด น้ำข้าวโพด น้ำตาลและเกลือ เมื่อผสมกับแป้ง



รูปที่ ผ.4.17: ส่วนผสมแป้งข้าวเกรียบ



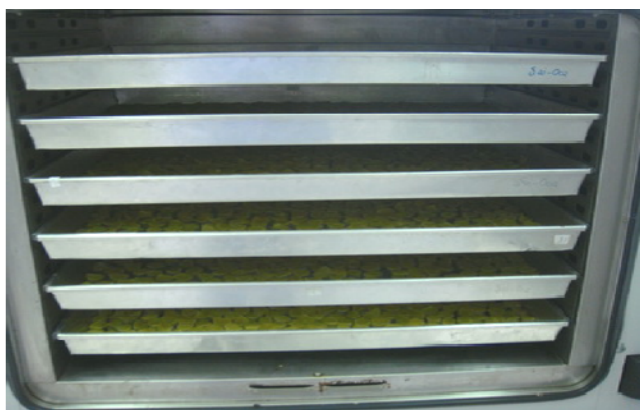
รูปที่ ผ.4.18: แป้งข้าวเกรียบก่อนนึ่ง



รูปที่ ผ.4.19: แป้งข้าวเกรียบนึ่งสุกจะใส



รูปที่ ผ.4.20: ข้าวเกรียบที่ฝานเป็นแผ่นบาง



รูปที่ ผ.4.21: การอบในเตาอบลมร้อน



รูปที่ ผ.4.22: แผ่นข้าวเกรียบเมื่อแห้ง



รูปที่ ผ.4.23: ข้าวเกรียบเมื่อทอดแล้ว

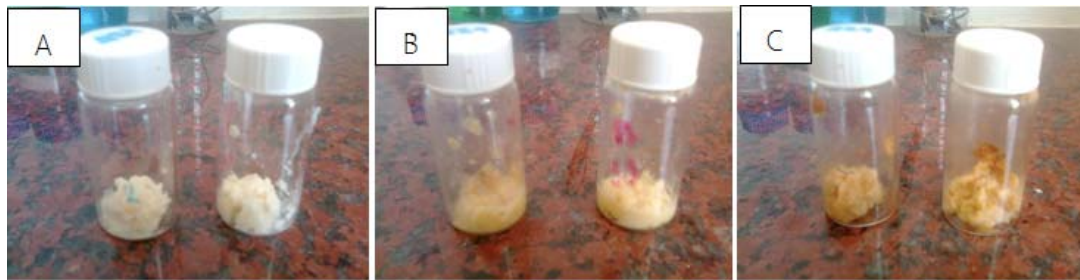


รูปที่ ผ.4.24: การทดสอบทางประสาทสัมผัสในบุท ห้องประเมินทางประสาทสัมผัส



รูปที่ ผ.4.25: การทดสอบทางประสาทสัมผัสในบุท นอกสถานที่

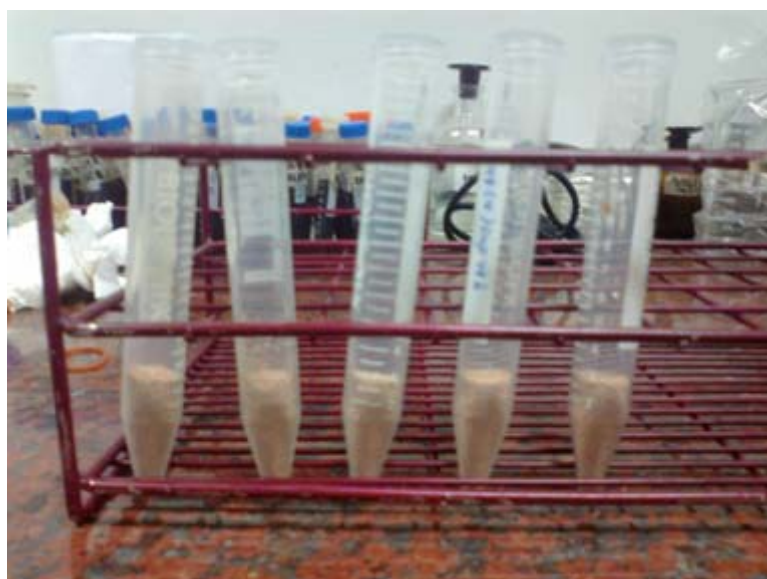
ผ.5 การทดลองศึกษาเบื้องต้นในการผลิตน้ำเชื่อมข้าวโพด



รูปที่ ผ.5.1: ข้าวโพดบดละเอียด (A) ที่ไม่ผ่านกรรมวิธีเบื้องต้น (B) นำไปต้มน้ำเดือดนาน 30 นาที และ (C) นำไปอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที



รูปที่ ผ.5.2: เอนไซม์แอสเซอเรส 1500



รูปที่ ผ.5.3: เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส

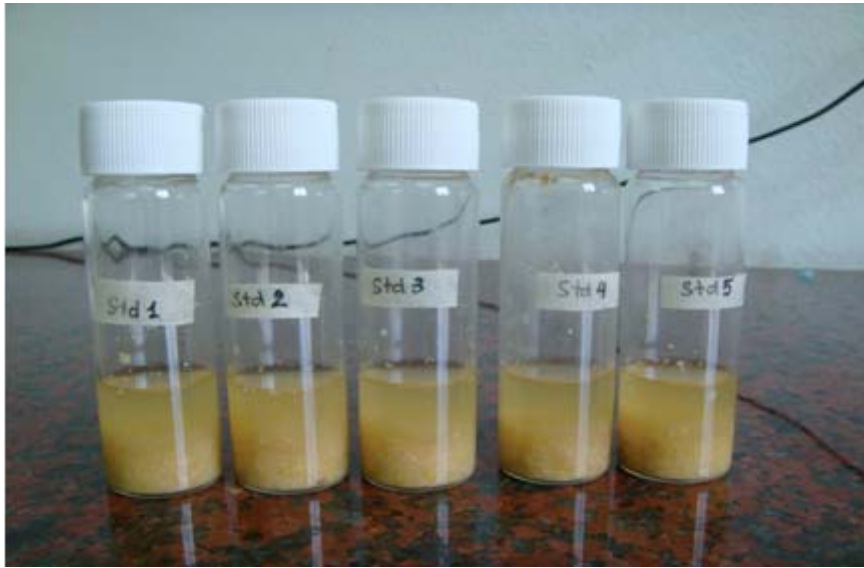


รูปที่ ผ.5.4: การทำปฏิกิริยาในด้วยเครื่องรุ่มเลอร์



รูปที่ ผ.5.5: เครื่องหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง สำหรับใช้แยกกากระดับ 4 ลิตร





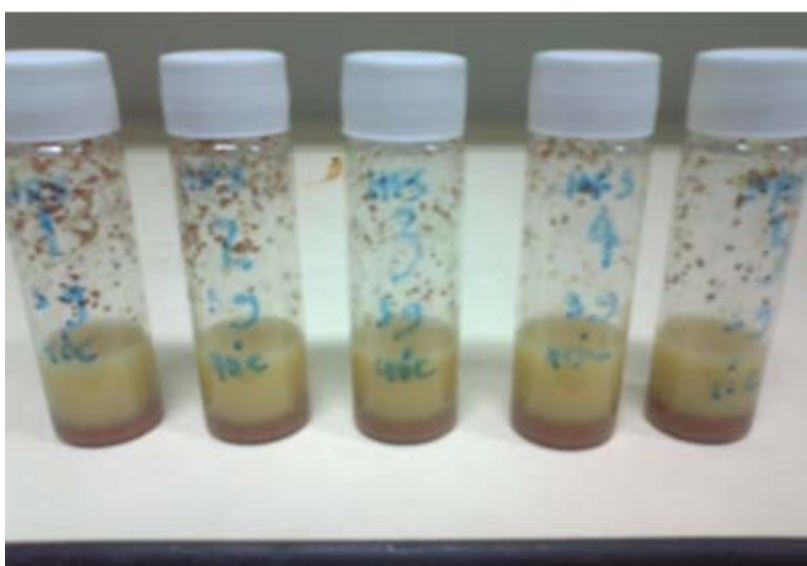
รูปที่ ผ.5.6: ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัฟเฟอร์ 10 มิลลิลิตร และเอนไซม์แอสเพอเรส 1500 ก่อนนำไปทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องร้อมเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง



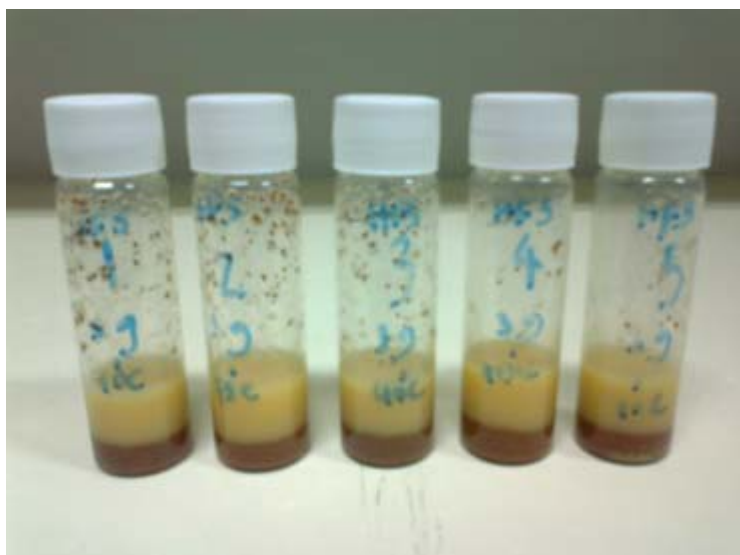
รูปที่ ผ.5.7: ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัฟเฟอร์ 10 มิลลิลิตร และเอนไซม์แอสเพอเรส 1500 หลังทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องร้อมเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง



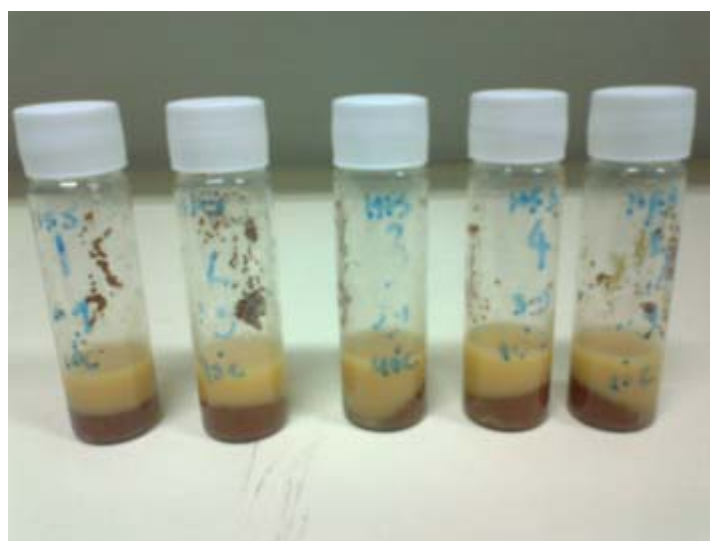
รูปที่ ผ.5.8: ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร และเอนไซม์แอสเพอเรส 1500 หลังทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องธรมเลอร์ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง



รูปที่ ผ.5.9: ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร แล้วย่อยด้วยเอนไซม์แอสเพอเรส 1500 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องธรมเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และผสมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องธรมเลอร์ เป็นระยะเวลานาน 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ ผ.5.10: ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร แล้วย่อยด้วยเอนไซม์แอกเซอโรเรส 1500 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องธรัมเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และผสมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องธรัมเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง



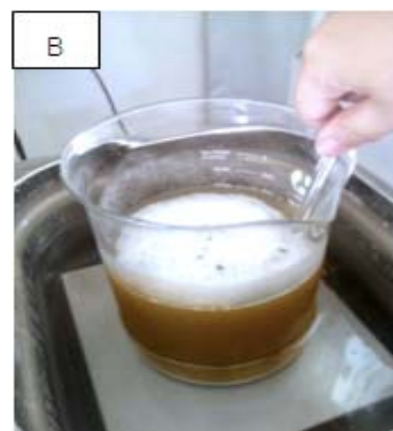
รูปที่ ผ.5.11: ข้าวโพดบดละเอียดที่ผ่านกรรมวิธีอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อัตราส่วน 3 กรัม ผสมในบัพเฟอร์ 10 มิลลิลิตร แล้วย่อยด้วยเอนไซม์แอกเซอโรเรส 1500 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องธรัมเลอร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และผสมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส ทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องธรัมเลอร์ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง



รูปที่ ผ.5.12: การทดสอบเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุคโตสด้วยสารละลายมาตรฐานกลูโคส ความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร ทำปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ ผ.5.13: น้ำเชื่อมที่ไม่ผ่านการแยกกากข้าวโพด (a) และน้ำเชื่อมที่ผ่านการแยกกากข้าวโพด (b)



รูปที่ ผ.5.14: การเติมผงถ่าน (a) และกวน (b) นาน 20 นาที ในระหว่างให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อลดสีของน้ำเชื่อมกลูโคส/ฟรุคโตส



รูปที่ ผ.5.15: การลดกลั่นในน้ำเชื่อมกลูโคส-ฟรุคโตสด้วยการแช่ในเรซิน อัตราส่วน 1:1 (ของเหลว : เรซิน) นาน 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผ.5.16: การทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผ.5.17: น้ำเชื่อมกลูโคส/ฟรุคโตสเข้มข้น 55 องศาบริกซ์



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ผ.6 การทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากถั่วแปยีเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต



รูปที่ ผ.6.1: เครื่อง Hammer Mill สำหรับไม่หยาบ



รูปที่ ผ.6.2: เครื่อง Sample Mill สำหรับไม่ละเอียด



รูปที่ ผ.6.3: เครื่องคั่วกาแฟ



รูปที่ ผ.6.4: เครื่องทอดสุญญากาศ



รูปที่ ผ.6.5: ถั่วแปยี่เม็ดลัดแห้ง



รูปที่ ผ.6.6: ถั่วแปยี่หลังแช่น้ำและแกะเปลือกแล้ว



รูปที่ ผ.6.7: การโม่ถั่วแปยี่ด้วยเครื่องปั่น



รูปที่ ผ.6.8: ตกตะกอนน้ำแป้งในถัง



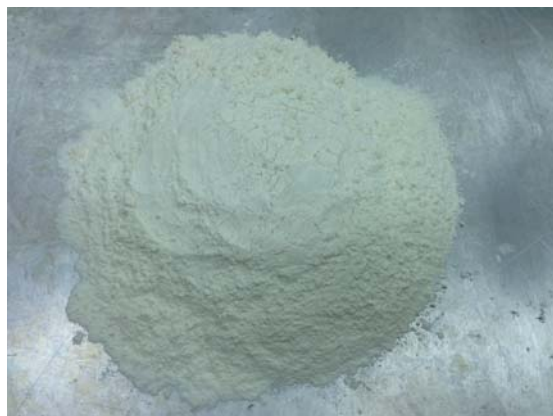
รูปที่ ผ.6.9: กรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น



รูปที่ ผ.6.10: ถั่วแปยี่ที่ผ่านการโม่ปียกแล้วบดให้หมด



รูปที่ ผ.6.11: เกลี่ยบนถาดเพื่อนำไปอบแห้ง



รูปที่ ผ.6.12: แป้งถั่วแปยีหลังไม่หยาบและไม่ละเอียด



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ผ.7 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคเชิงพาณิชย์ในด้านต้นทุน ราคา และรสชาติประสาทสัมผัส

แบบสอบถามการพัฒนารูปแบบและราคาสินค้าทางการเกษตรก่อนนำเข้าสู่ตลาด

คำชี้แจง

แบบสอบถามฉบับนี้จัดทำโดยคณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยสินค้าทางการเกษตรตัวใหม่ก่อนที่จะนำสู่ท้องตลาด แบบสอบถามนี้จะแบ่งออกเป็นทั้งหมด 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 จะเป็นการสอบถามข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถาม และส่วนที่ 2 จะเป็นการสอบถามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม

กรุณาอ่านคำอธิบายและคำถามอย่างละเอียดก่อนจะเลือกคำตอบ คณะผู้จัดทำขอขอบคุณที่สละเวลาเพื่อตอบแบบสอบถาม

ขอขอบพระคุณที่สละเวลาของท่านในการวิจัยครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ส่วนที่ 1: ข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถาม

โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงในช่อง ☐ ข้างหน้าตัวเลือกที่เหมาะสม

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง
2. อายุ ☐ ต่ำกว่า 20 ปี ☐ 21 – 30 ปี ☐ 31 – 40 ปี
☐ 41 - 50 ปี ☐ 51 – 60 ปี ☐ มากกว่า 60 ปี
3. สถานภาพ ☐ โสด ☐ สมรส ☐ หย่า
☐ ม่าย ☐ แยกกันอยู่ ☐ อื่นๆ
4. ระดับการศึกษาสูงสุด ☐ ต่ำกว่ามัธยมศึกษาปีที่ 6 ☐ มัธยมศึกษาปีที่ 6 หรือเทียบเท่า
☐ อนุปริญญา ☐ ปริญญาตรี
☐ สูงกว่าปริญญาโท ☐ ไม่ระบุ
5. อาชีพ ☐ นักเรียน/นักศึกษา ☐ รับจ้าง ☐ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ
☐ พนักงานบริษัทเอกชน ☐ ประกอบอาชีพส่วนตัว ☐ ไม่ได้ทำงาน
☐ อื่นๆ โปรดระบุ
6. รายได้ต่อเดือน ☐ ต่ำกว่า 15,000 บาท ☐ 15,001 – 25,000 บาท
☐ 25,001 – 50,000 บาท ☐ 50,001 – 100,000 บาท
☐ มากกว่า 100,000 บาท ☐ ไม่ระบุ
7. จำนวนสมาชิกในครอบครัว (รวมตัวท่านด้วย)
 - 7.1 ผู้ใหญ่ (อายุระหว่าง 20 – 60 ปี)..... คน
 - 7.2 ผู้สูงอายุ (อายุมากกว่า 61 ปีขึ้นไป)..... คน
 - 7.3 วัยรุ่น (อายุระหว่าง 13 – 19 ปี) คน
 - 7.4 เด็ก (อายุน้อยกว่า 12 ปีลงมา)..... คน



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

8. ครอบครัวท่านซื้ออาหารและวัตถุดิบจากสถานที่เหล่านี้นับเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ (ผลรวมเป็น 100%)

8.1 ไฮเปอร์มาร์เก็ต เช่น โลตัส บิ๊กซี.....%

8.2 ซูเปอร์มาร์เก็ต เช่น ท็อป ริมปิง.....%

8.3 ห้างขายส่ง เช่น แมคโคร%

8.4 ตลาดสด/ตลาดนัด.....%

8.5 ร้านสะดวกซื้อ เช่น 7-11.....%

8.6 ร้านขายของชำ.....%

8.7 อื่นๆ โปรดระบุ%

ผลรวม%

9. ความถี่ในการเลือกซื้ออาหารและวัตถุดิบ

☐ ทุกวันหรือบ่อยกว่า

☐ 4-6 ครั้งต่อสัปดาห์

☐ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์

☐ สัปดาห์ละครั้ง

☐ 2-3 ครั้งต่อเดือน

☐ เดือนละครั้งหรือน้อยกว่า

☐ ไม่ทราบ



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ผลิตภัณฑ์.....

ส่วนที่ 2: ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคำตอบที่เหมาะสม

ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์ที่ท่านได้ทดลองชิมมีความพึงพอใจอย่างไรต่อท่าน

รายการ	เห็นด้วย อย่างยิ่ง	เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็น ด้วย	ไม่เห็นด้วย อย่างยิ่ง
1. สินค้ามีรสชาติดี					
2. สินค้านี้บรรจุอยู่ในหีบห่อที่สวยงามดึงดูด สายตา					
3. สินค้านี้ดีต่อสุขภาพ					
4. สินค้านี้เหมาะกับผู้สูงอายุ					
5. สินค้านี้เหมาะกับเด็ก					
6. สินค้านี้เหมาะกับทุกคนในครอบครัว					
7. สินค้านี้มีลักษณะชวนรับประทาน					



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ท่านคิดว่าปัจจัยต่อไปนี้มีผลต่อการซื้อสินค้าทางการเกษตรของท่านอย่างไร

ปัจจัย	มีผลมากที่สุด	มีผลมาก	ไม่แน่ใจ	มีผลน้อย	มีผลน้อยที่สุด
1. รสชาติ					
2. ราคา					
3. ดีต่อสุขภาพ					
4. รับประทานง่าย					
5. หาซื้อได้ง่าย					
6. ยี่ห้อ					
7. กลิ่น					
8. บรรจุภัณฑ์					
9. ผ่าน อย.					
10. เก็บรักษาได้ง่าย					



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปัจจัย	มีผลมากที่สุด	มีผลมาก	ไม่แน่ใจ	มีผลน้อย	มีผลน้อยที่สุด
11. ทุกคนในครอบครัวชอบ					
12. ทำจากธรรมชาติ ไม่มีสารสังเคราะห์					

ท่านคิดว่าหากสินค้านี้วางขายในราคาดังต่อไปนี้ ท่านมีแนวโน้มที่จะซื้อสินค้านี้อย่างไร

สินค้า.....ขนาด (น้ำหนัก/ปริมาตร)..... (กรัม/ซีซี)

ราคา/กล่อง	น่าจะซื้อมากที่สุด	น่าจะซื้อ มาก	ไม่แน่ใจ	ไม่น่าจะซื้อ	ไม่น่าจะซื้อ มากที่สุด
1. ราคา 100 บาท					
2. ราคา 125 บาท					
3. ราคา 150 บาท					
4. ราคา 200 บาท					
5. ราคา 250 บาท					
6. ราคา 300 บาท					



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ท่านคิดว่าสินค้านี้ควรวางขายในราคาเท่าใด บาท

ข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....



ผ.8 โครงการฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี

การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการวิจัย “การเพิ่มมูลค่าผลิตผลพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงฯ ระยะที่ 2 ปีที่ 4” ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตผลพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน อีกทั้งยังเพื่อถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้ประกอบการ และประชาชนผู้สนใจในผลิตภัณฑ์เกษตรแปรรูป นอกจากนี้ยังได้มีการสาธิตกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิจัยของโครงการวิจัยไม่น้อยกว่า 5 ผลิตภัณฑ์ โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นผู้ประกอบการ และประชาชนผู้สนใจทั่วไป จำนวน 30 คน ในจังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน

รายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรม

ใบลงทะเบียน
การฝึกอบรม เรื่อง “การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ และผลไม้นิคมอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาการเกษตรในพื้นที่สูง ระยะที่ 4 ปีที่ 2”
วันศุกร์ที่ 14 มิถุนายน 2556 เวลา 08.30 - 16.30 น.
ณ อาคารวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

ลำดับ	ชื่อ	สกุล	ที่อยู่/หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	ลายมือชื่อ
1	นางลักขณา	จอมปัญญา	อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	083-577077	ลักขณา
2	นางวราพร ศรีสวัสดิ์	สุนทร	อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	087-1916389	วราพร
3	นายเอกสิทธิ์	จันทกลาง	174 ม.12 ต.น้ำดิบ อ.ป่าซาง จ.ลำพูน	081-0266225	เอกสิทธิ์
4	นางอินทิพย์	มั่งเงิน	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่	081-2829549 indamee.mae@hotmail.com	อินทิพย์
5	น.ส.นฤมล	มั่งเงิน	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่	083-1145700	นฤมล
6	นายวราภรณ์	ตันติชนะกุล	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่	081-372 0921	วราภรณ์
7	นายอดิสร	ขวัญหัว	73 ม.3 ต.ท่ากุ่มพร้าว อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่	053-024661 086-8930233	
8	นางคำน้อย	กำริ	กลุ่มเกษตรกรรมวางอาหารปลอดภัย บ้านไร่ทอง 102 ม.3 ต.ชนมสวัสดิ์ อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่	084-8102089	คำน้อย
9	น.ส.นันทวรรณ	บัวออน	กลุ่มเกษตรกรรมวางอาหารปลอดภัย บ้านไร่ทอง 102 ม.3 ต.ชนมสวัสดิ์ อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่	080-1279943	นันทวรรณ
10	นายวีรวิทย์	จารุณมิก	กลุ่มเกษตรกรรมวางอาหารปลอดภัย บ้านไร่ทอง 102 ม.3 ต.ชนมสวัสดิ์ อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่	094-1757799	วีรวิทย์

รูปที่ ๘.๘.๑: รายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรม

ลำดับ	ชื่อ	สกุล	ที่อยู่/หน่วยงาน	เบอร์โทรศัพท์	ลายมือชื่อ
11	นายคมสันต์	ใจคอดี	122/5 ม.6 ถ.ลำพูน-เชียงใหม่ ต.อุโมงค์ อ.เมือง จ.ลำพูน	053-558-716 081-0126950	
12	นายพรพงษ์	วังคำฟู	122/5 ม.6 ถ.ลำพูน-เชียงใหม่ ต.อุโมงค์ อ.เมือง จ.ลำพูน	053-558-716 081-0126950	
13	น.ส.พรรณเพ็ญ	เครือไทย	สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	053-942563	
14	น.ส.วิลาวัลย์	เลิศพูนวิไลกุล	สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	053-942563 053-942585	
15	นางนิตยา	บุญพิมพ์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	053-942478 081-1118344	
16	น.ส.กรรณิการ์	दानไพบุลย์	หอจ.ทองพูนฟูต ต.อุโมงค์ อ.เมือง จ.ลำพูน		
17			หอจ.ทองพูนฟูต ต.อุโมงค์ อ.เมือง จ.ลำพูน		
18	นายขรรค์ชัย	ทองม้วน	บจก.อาหารภาคเหนือ 323 ม.1 ต.หนองตอง อ.หางดง จ.เชียงใหม่	053-464034-6	
19	น.ส.วีริญา	ขันคำ	บจก.อาหารภาคเหนือ 323 ม.1 ต.หนองตอง อ.หางดง จ.เชียงใหม่	053-464034-6	
20	ณิศา	เทวพันธ์	135 ม. 12 ต.บ้านดง อ.ป่าแดด จ.ลำพูน		ณิศา
21	ณพรัตน์	ไกรทอง	121 ม.4 ต.บ้านดง อ.ป่าแดด จ.ลำพูน		ณพรัตน์
22	ปิยะสิทธิ์	สิดสิทธิ์	54/2 สิงห์ราช ร.1 ต.สันติ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	099-4335044	ปิยะสิทธิ์
23	ศุภโชค	ม.วิเศษ	ถนนพหลโยธิน กม. 21 อ.เมือง จ.เชียงใหม่	089-1422430	ศุภโชค

รูปที่ ผ.8.1: รายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรม (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	สกุล	ชื่อ/นามสกุล	เบอร์โทรศัพท์	ลายมือชื่อ
24	นายพนพร	เล็กสวัสดิ์	192/5 ม. ๖ ต. ๖ อ. ๖ จ. ๖	055-2355555	สมชาย
25	นายสุชาติ	ใจคำ	หมู่ ๖ ต. ๖ อ. ๖ จ. ๖	054-๖๖๖๖๖	สมชาย
26	นายสมาน	สมณี	๖๐๖. ๔ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	085-7๖๖๖๖๖	สมชาย
27	น.ส.สุวิสา	เดชแสง	(น.ส. ๖๖๖) ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	086-2067258	สมชาย
28	น.ส.จเรจ	นันทา	๖๖๖ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	088-๖๖๖๖๖๖	สมชาย
29	น.ส.อารีย์	จัน	๖๖๖/๖๖ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	089 ๖๖๖๖๖๖๖	สมชาย
30	น.ส.ปวลี	เหลียวตระกูล	๖๖๖ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	0๖7-๖๖๖๖๖๖๖	สมชาย
31	น.ส.ปณิดา	อุปนาม	๖๖๖ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	0๖5-๖๖๖๖๖๖๖	สมชาย
32	น.ส.ศิริพันธุ์	เล่ากันทะ	๖๖๖ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	08๖-๖๖๖๖๖๖๖	สมชาย
33	น.ส.อรพรรณ	แสงสี	๖๖๖ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	๖๖7-๖๖๖๖๖๖๖	สมชาย
34	น.ส.จรรณภา	สมสุด	๖๖๖ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	087๖๖๖๖๖๖๖	สมชาย
35	น.ส.พิมพ์ล	พิชยภิญโญ	๖๖๖/๖๖ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	๖๖๖๖๖๖๖๖๖๖	สมชาย
36	น.ส.ธิดา	เกื้อหวานวอดัง	๖๖๖/๖๖ ม. ๖ อ. ๖ จ. ๖	083-๖๖๖๖๖๖๖๖	สมชาย

รูปที่ ผ.8.1: รายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรม (ต่อ)



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ลำดับ	ชื่อ	สกุล	ชื่อ/นามสกุล/ชื่อเล่น	หมายเลขบัตร	ชื่อ
๓๕	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๓๕๕๕๕-๕๕๕	สงวน
๓๖	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๓๖๖๖๖-๖๖๖	สงวน
๓๗	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๓๗๗๗๗-๗๗๗	สงวน
๓๘	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๓๘๘๘๘-๘๘๘	สงวน
๓๙	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๓๙๙๙๙-๙๙๙	สงวน
๔๐	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๐๐๐๐-๐๐๐	สงวน
๔๑	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๑๑๑๑-๑๑๑	สงวน
๔๒	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๒๒๒๒-๒๒๒	สงวน
๔๓	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๓๓๓๓-๓๓๓	สงวน
๔๔	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๔๔๔๔-๔๔๔	สงวน
๔๕	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๕๕๕๕-๕๕๕	สงวน
๔๖	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๖๖๖๖-๖๖๖	สงวน
๔๗	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๗๗๗๗-๗๗๗	สงวน
๔๘	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๘๘๘๘-๘๘๘	สงวน
๔๙	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๔๙๙๙๙-๙๙๙	สงวน
๕๐	สมิทธิ์	สงวน	สงวน	๕๐๐๐๐-๐๐๐	สงวน

รูปที่ ผ.8.1: รายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรม (ต่อ)

การถ่ายทอดเทคโนโลยีภาคบรรยาย



รูปที่ ผ.8.2: การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการภาคบรรยายในช่วงเช้า

การถ่ายทอดเทคโนโลยีภาคปฏิบัติการสาธิต



รูปที่ พ.8.3: การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการภาคปฏิบัติการสาธิตในช่วงบ่าย



รูปที่ ผ.8.3: การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการภาคปฏิบัติการสาธิตในช่วงบ่าย (ต่อ)



รูปที่ ผ.8.3: การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการภาคปฏิบัติการสาธิตในช่วงบ่าย (ต่อ)

ประวัติและผลงานวิจัย ที่สำคัญของคณะวิจัย



ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ เฉลิมชาติ

1. ชื่อ-สกุล (ไทย) นาย ยงยุทธ เฉลิมชาติ
ชื่อ-สกุล (อังกฤษ) Mr. Yongyut Chalermchat
2. หมายเลขบัตรประชาชน 3 6012 00186 23 0
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่ 155 หมู่ที่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100
โทรศัพท์ 0-5394-8295
โทรสาร 0-5394-8238
E-mail yachalermchat@gmail.com
5. ประวัติการศึกษา
ปริญญาตรีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัย Lund ประเทศสวีเดน.
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ
1) เทคโนโลยีโฟมเมท
2) เทคโนโลยีการอบแห้ง



7. ประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

7.1	<u>ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย</u>	ไม่มี
7.2	<u>หัวหน้าโครงการวิจัยที่กำลังทำ</u>	ไม่มี
7.3	<u>งานวิจัยที่กำลังทำ</u>	ไม่มี

8. ผลงานทางวิชาการ

8.1 วารสาร

Yongyut Chalermchat, Mustafa Fincan and Petr Dejmek. 2004. Pulsed electric field treatment for solid-liquid extraction of red beetroot pigment: mathematical modelling of mass transfer. *Journal of Food Engineering*, 64, 229-236.

Yongyut Chalermchat and Petr Dejmek. 2005. Effect of pulsed electric field pretreatment on solid-liquid expression from potato tissue. *Journal of Food Engineering*, 71, 164-169.

Yongyut Chalermchat and Petr Dejmek. 2004. Bimodal mass transfer in plant tissue pre-treated by pulsed electric field: study on red beetroot. In: *Proceedings of the 15th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-15)*. Bangkok, Thailand

Yongyut Chalermchat and Petr Dejmek. 2005. Non-thermal pulsed electric field treatment for enhancement of solid-liquid extraction: study on red beetroot. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering*, Bangkok, Thailand.

Yongyut Chalermchat and Pichaya Boonprasom. (2008). Mass transfer during osmotic dehydration of dragon fruit flesh (*Hylocereus undatus*). *Agricultural Science Journal*, 39:3(suppl.), 62-65.

Tarinee Timabud and **Yongyut Chalermchat**. (2009). Effect of drying process by fluidized bed dryer on physical properties of aroma-coated rice. In *Proceedings of the 47th conference of Kasetsart University*, Thailand.

Chopaka Theprungsri and **Yongyut Chalermchat** (2009). Production of rice coated with encapsulated natural pandan extracts and dried by fluidization technique. In *Proceedings of the 47th conference of Kasetsart University*, Thailand.

Pattaraporn Weerachart and **Yongyut Chalermchat** (2009) Effect of temperature and concentration on mass transfer in dragon fruit during osmotic dehydration. In *Proceedings of the 47th conference of Kasetsart University*, Thailand.



- Yongyut Chalermchat**, Luca Malungone and Petr Dejmek (2010). Electroporeabilization of apple tissue: Effect of cell size, cell size distribution and cell orientation. *Biosystems Engineering*, 105, 357-366.
- Tarinee Timabud, Chopaka Theprungsri and **Yongyut Chalermchat**. (accepted) Physical properties and 2-Acetyl-1-Pyrroline content of aroma coated rice dried by fluidization. *Agricultural Science Journal*.
- Yongyut Chalermchat** and Pinyo Owatit. 2010. Water adsorption isotherms and thermodynamic analysis of Thai style marinated dried fish (Pla Sawan). *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, (accepted for publication).
- Kanokorn Photinon, **Yongyuth Chalermchart**, Chartchai Khanongnuch, Shih-Han Wang and Chung-Chiun Liu. 2010. A thick-film sensor as a novel device for determination of polyphenols and their antioxidant capacity in white wine. *Sensors*, 10, 1670 – 1678.
- Yongyut Chalermchat**, Patarabhorn Weerachat and Pichaya Boonprasom Poonlarp. 2010. Effect of temperature on mass transfer parameters during osmotic dehydration of pitaya (dragon fruit) flesh in sucrose solution, *Food and Bioprocess technology: An International Journal*. (accepted for publication)

8.2 การประชุมวิชาการ

- Yongyut Chalermchat** and Pichaya Boonprasom. Mass transfer during osmotic dehydration of dragon fruit flesh (*Hylocereus undatus*). (ภาคบรรยาย) การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 6 จังหวัดขอนแก่น, 14-15 สิงหาคม 2551.
- Tarinee Timabud, Chopaka Theprungsri and **Yongyut Chalermchat**. Physical properties and 2-Acetyl-1-Pyrroline content of aroma coated rice dried by fluidization. (โปสเตอร์) การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 7 จังหวัดกระบี่,
- Pichaya Boonprasom, Autcharaphorn Apiwongngam and **Yongyuth Chalearmchart** (2009). Drying kinetics and dried product quality of rosemary leaves, lavender flowers and rose petals. (โปสเตอร์) การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 7 จังหวัดกระบี่
- Tarinee Timabud and **Yongyut Chalermchat**. Effect of drying process by fluidized bed dryer on physical properties of aroma-coated rice. (โปสเตอร์) การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 47 กรุงเทพฯ, 2552



Chopaka Theprungsri and **Yongyut Chalermchat**. Production of rice coated with encapsulated natural pandan extracts and dried by fluidization technique. (โปสเตอร์) การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 47 กรุงเทพฯ, 2552

Pattaraporn Weerachart and **Yongyut Chalermchat**. Effect of temperature and concentration on mass transfer in dragon fruit during osmotic dehydration. (โปสเตอร์) การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 47 กรุงเทพฯ, 2552

8.2 ประชุมวิชาการระดับชาติ

Yongyut Chalermchat and Petr Dejmek. 2004. Bimodal mass transfer in plant tissue pre-treated by pulsed electric field: study on red beetroot. In: Proceedings of the 15th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-15). Bangkok, Thailand

Yongyut Chalermchat and Petr Dejmek. 2005. Non-thermal pulsed electric field treatment for enhancement of solid-liquid extraction: study on red beetroot. In Proceedings of the 2nd International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering, Bangkok, Thailand.

Yongyut Chalermchat. 2006. Pre-treatment step by Pulsed electric fields in the processing of plant based foods, In Proceedings of the 8th agro-industrial conference: food innovation, Bangkok, Thailand.

Yongyut Chalermchat. 2008. Influence of the anisotropy of plant tissue and the orientation of applied electric fields on electroporation. ISSAAS International Congress 2008, 15-19 December 2008, the Emerald Hotel, Bangkok, Thailand.

Yongyut Chalermchat. 2008. Effect of temperature on mass diffusivities in Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*). ISSAAS International Congress 2008, 15-19 December 2008, the Emerald Hotel, Bangkok, Thailand.



ประวัติผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ เพียรมงคล

1. ชื่อ-สกุล (ไทย) นายอภิรักษ์ เพียรมงคล
ชื่อ-สกุล (อังกฤษ) Mr. Aphirak Phianmongkhon
2. หมายเลขบัตรประชาชน 3501400691001
3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
4. หน่วยงาน สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สำนักวิชา
อุตสาหกรรมเกษตร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่ 155 หมู่ที่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100
โทรศัพท์ 053-948289, 081-8852809
โทรสาร 053-948244
E-mail aphirak.p@cmu.ac.th
5. ประวัติการศึกษา BSc (Agriculture), Chiang Mai University, Thailand
MSc (Biotechnology), King Mongkut University of
Technology Thonburi, Thailand
Ph.D. (Food technology) The University of Reading,
United Kingdom
6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ
6.1 เทคโนโลยีอาหาร
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย (งานวิจัยทั้งหมดที่ผ่านมา)
 - 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย
 - 7.1.1 โครงการแก้ไขปัญหาน้ำนมดิบภาคเหนือ
 - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย
 - 7.2.1 Development of synbiotic rice based yogurt-like products

- 7.2.2 Production of dietary fibers from mangoes's peel
- 7.2.3 Recovery of whey protein from cheese whey
- 7.2.4 Production of intermediate moisture mango cube using hot air in combination with vacuum microwave dryers
- 7.2.5 Pasteurization of Asiatic Pennywort juice using electrical Techniques.
- 7.2.6 Shelf life extension of herbal tea
- 7.2.7 Effect of stabilizers, emulsifiers and ice cream machines on properties of dairy ice cream
- 7.2.8 The HALAL regulations: case study Indonesia
- 7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว**
 - 7.3.1 Development of synbiotic rice based yogurt-like products
 - 7.3.2 Production of dietary fibers from mangoes's peel
 - 7.3.3 Recovery of whey protein from cheese whey
 - 7.3.4 Production of intermediate moisture mango cube using hot air in combination with vacuum microwave dryers
 - 7.3.5 Pasteurization of Asiatic Pennywort juice using electrical Techniques.
 - 7.3.6 An application of sufficient economy's concept for solving problems relevant with raw milk produced from farmer
- 7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ**
 - 7.4.1 Shelf life extension of herbal tea
 - 7.4.2 Effect of stabilizers, emulsifiers and ice cream machines on properties of dairy ice cream
 - 7.4.3 The HALAL regulations: case study Indonesia

8. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

8.1 วารสาร

Naowakul, B., Wirjantoro, T.I. and Phianmongkhol, A. 2013. Effects of speed and time of wet milling on properties of dietary fiber powder from pomelo's albedo. Food and Applied Bioscience Journal 1(1): 34-43. (in Thai).

Phianmongkhol, A, Rongkom, H. and Wirjantoro, T.I. 2012. Effect of fat replacer systems and maltitol on qualities of fat and calorie reduced dairy ice cream. Chiang Mai University Journal of Natural Science 11(1): 193-204.

- Boonterm, A., Muangman, S., Thanakaew, A., Phianmongkhol, A. and Wirjantoro, T.I. 2012. Effect of rice types on various properties of germinated rice ice cream. Chiang Mai University Journal of Natural Science 11(1): 205-214.
- Wungrath, J., Wirjantoro, T.I. and Phianmongkhol, A. (2009). Effect of Probiotic added mixtures goat and cow milk yoghurt consumption on immunoglobulin A (Ig A) induction in healthy adolescents. Journal of Health Research. 23(1): 5-9.
- Phianmongkhol, A. and Wirjantoro, T.I. (2008) The Viability of Lactic Acid Bacteria and *Bifidobacterium bifidum* in Yoghurt Powder During Storage. Chiang Mai University Journal of Natural Science. 8(1): 95-104.
- Pattanagul, P., Pinthong, R., Phianmongkhol, A. and Tharatha, S. (2008). Mevinolin, citrinin and pigments of adlay angkak fermented by *Monascus* sp. International Journal of Food Microbiology. 126: 20-23.
- Pattanagul, P., Pinthong, R., Phianmongkhol, A. and Leksawasdi, N. (2007). Review of Angkak Production (*Monascus purpureus*). Chiang Mai Journal of Science. 34(3) 319-328.

8.2 การประชุมวิชาการนานาชาติ

- Boontem, A., Muangman, S., Thanakaew, A., Phianmongkhol, A. and Wirjantoro, T.I. Effect of rice types on various properties of germinated rice ice cream. An oral presentation. The role of agriculture and natural resources on global change on 7-9 November 2011 at Imperial Mae Ping, Chiang Mai.
- Pa-in, P., Dumrongrit, U., Phianmongkhol, A. and Wirjantoro, T.I. Production of intermediate moisture pineapple by hot air oven and vaccum microwave oven. An oral presentation. Food and Applied Bioscience on 6-7 February 2012 at Kantary Hills Hotel, Chiang Mai.
- Phianmongkhol, A., Kohtbantau, S. and Wirjantoro, T.I. Whey protein recovery from cheese whey by a continous foam fractionation technique. An oral presentation. Food and Applied Bioscience on 6-7 February 2011 at Kantary Hills hotel, Chiang Mai.
- Phianmongkhol, A., Ruangkom, H. and Wirjantoro, T.I. Effect of fat replacer system and maltitol on qualities of fat and calorie reduced dairy ice cream. An oral presentation. The role of agriculture and natural resources on global change on 7-9 November 2011 at Imperial Mae Ping, Chiang Mai.

Rongkom, H., Phianmongkhol, A. and Wirjantoro, T.I. Physical properties of vacuum impregnated cantaloupe and apple affected by vacuum pressure levels. An oral presentation in the 1st ASEAN plus three Graduate Research Congress on 1-2 March 2012.

Phianmongkhol, A., Wirjantoro, T.I., Prathum, C. and Leotaragul, A. Public perception in Thai native chicken (Pradu Hang-Dum Chiang Mai) via food contests. An oral presentation in Animal Industry in Jakarta Convention Center, Jakarta on 5-6 July 2012.

Phianmongkhol, A. and Wirjantoro, T.I. Various properties of salt coagulated cheese produced by calcium chloride and calcium propionate. An oral presentation in Animal Industry in Jakarta Convention Center, Jakarta on 5-6 July 2012.

9. ประสบการณ์การทำงาน

2547 - ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร



ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์ญา บุญประสม พูลลาภ

1.	ชื่อ-สกุล (ไทย)	นางพิชญา บุญประสม พูลลาภ
	ชื่อ-สกุล (อังกฤษ)	Mrs. Pichaya Boonprasom Poonlanp
2.	หมายเลขบัตรประชาชน	3 1016 00945 34 5
3.	ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์
4.	หน่วยงาน	สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ที่อยู่	155 หมู่ 2 ต. แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่
	โทรศัพท์	0-5394-8237
	โทรสาร	0-5394-8238
	E-mail	pichaya.aey@hotmail.com
5.	ประวัติการศึกษา	Philosophy of Doctor (Bioresource Engineering), Oregon State University Master of Science (Bioresource Engineering), Oregon State University วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ อาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น



6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ
- 1) เทคโนโลยีการอาหาร
 - 2) เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว
 - 3) เทคโนโลยีการอบแห้ง
 - 4) วิศวกรรมอาหาร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย ไม่มี

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัยที่กำลังทำ

- 1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบจากเศษผัก (Development of Crispy Vegetable Chip from Vegetable Waste)
- 2) การประยุกต์เทคโนโลยีการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับบรรจุภัณฑ์แอ็กทีฟเพื่อเพิ่มคุณภาพผักบนที่สูง (Applications of vacuum Cooling Technology and Active Packaging for Improvement of Quality of Highland Vegetables)

7.3 งานวิจัยที่กำลังทำ

- 1) ผลกระทบของการจัดการห่วงโซ่ความเย็นต่อการการสูญเสียและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าและกะหล่ำปลีในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน (Effects of Cold-Chain Management on Postharvest Losses and Quality of Kale and Cabbage in Upper Northern Area)
- 2) Research and Development on Increasing Efficiency of Vegetables Postharvest Management in the Royal Project 2

8. ผลงานทางวิชาการ

- 1) ณัฐพล กามล ดนัย บุญเกียรติ และ พิษญา บุญประสม พูลลาภ. 2555. การลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลี. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร (*in press*).
- 2) พิษญา บุญประสม, อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล และ อรพรรณ แสงสี. 2554. กระบวนการอบแห้งชาสมุนไพรจากอาร์ติโชคสายพันธุ์อิมพีเรียลสตาร์. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี 2554.
- 3) ปิ่นอนงค์ จอมศักดิ์ ดนัย บุญเกียรติ และ พิษญา บุญประสม พูลลาภ. 2554. ผลของบรรจุภัณฑ์แอ็กทีฟต่อคุณภาพของบรอกโคลีหั่นชิ้นพร้อมปรุง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร (*in press*)

- 4) ดาวรุ่ง จันทา ดนัย บุญยเกียรติ และ พิษญา บุญประสม พูลลาภ. 2554. คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์แอ็กทีฟ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร (*in press*)
- 5) อรพรรณ แสงสี อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล และ พิษญา บุญประสม พูลลาภ. 2554. ผลของการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของชาสมุนไพรจากอาร์ติโชคสายพันธุ์อิมพีเรียลสตาร์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42(1) 552-555.
- 6) พวกเพชร เหมรัตน์ตระกูล, ดนัย บุญยเกียรติ และ พิษญา บุญประสม 2553. ผลของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของปวยเล้ง วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1): 37-46.
- 7) พิษญา บุญประสม อัจฉราพร อภิวงศ์งาม และ ยงยุทธ เฉลิมชาติ 2553. จลนศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพหลังการอบของใบโรสแมรี่ ดอกลาเวนเดอร์ และกลีบดอกกุหลาบ วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1): 544-547.
- 8) อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล และ พิษญา บุญประสม พูลลาภ 2553. ผลของกรรมวิธีการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมีของใบมะกรูดอบแห้ง วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1): 548-551.
- 9) กิตติศักดิ์ เรือนมา, ดนัย บุญยเกียรติ และ พิษญา บุญประสม 2552. ผลของการลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็นต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 72. วารสารเกษตร 25(1): 85-93.
- 10) กฤษติยา อุตอรินทร์, ดนัย บุญยเกียรติ และ พิษญา บุญประสม 2551. กระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อโดยใช้ระบบสุญญากาศ วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39 (3): 536-539.
- 11) ปรีตณีย์ วังหล่อ, ดนัย บุญยเกียรติ และ พิษญา บุญประสม 2551. กระบวนการลดอุณหภูมิบรอกโคลีโดยใช้ระบบสุญญากาศ วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 39 (3): 532-535.
- 12) วีนิล ชินนาพันธ์, ดนัย บุญยเกียรติ และ พิษญา บุญประสม 2551. กระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้โดยใช้ระบบสุญญากาศ วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 39 (3): 540-543.
- 13) กรรณิการ์ ตัณเส้า, ดนัย บุญยเกียรติ และ พิษญา บุญประสม 2551. ผลของการลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็นต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์ 329. ผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี 2551.
- 14) พิษญา บุญประสม, พรชัย ราชตะนะพันธุ์ และ วุฒิรัตน์ พัฒนิบูลย์ 2551. การผลิตสารดูดซับเอทิลีนสำหรับยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 39(3): 107- 110.
- 15) ยงยุทธ เฉลิมชาติ และ พิษญา บุญประสม 2551. การถ่ายเทมวลในเนื้อแก้วมังกร (*Hylocereus undatus*) ด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 39(3): 62-65.
- 16) วุฒิรัตน์ พัฒนิบูลย์, พรชัย ราชตะนะพันธุ์ และ พิษญา บุญประสม 2550. การผลิตสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยหอมทอง วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 38 (5): 325-328.

- 17) ปวีณา อินทจักร, นิธิยา รัตนพานนท์ และพิชญา บุญประสม 2550. การทำแห้งชิ้นมะม่วงแก้วทรงลูกบาศก์ด้วยออสโมติกดีไฮเดรชันร่วมกับการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบต วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 38 (5): 301-304.
- 18) วุฒิรัตน์ พัฒนิบูลย์, พรชัย ราชชนะพันธ์ และพิชญา บุญประสม 2549. การศึกษาเบื้องต้นของการผลิตสารดูดซับเอทิลีน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37(5): 54-57.
- 19) ปวีณา อินทจักร, พิชญา บุญประสม 2549. การใช้เทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชันร่วมกับเทคนิคสเปาเต็ดเบตในการทำแห้งเนื้อมะม่วงแก้ว วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37 (5): 313-316.
- 20) ธัญนันท์ ฤทธิมณี, กัมปนาท บำรุงกิจ, ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข, พิชญา บุญประสม. 2549. การพยากรณ์คุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งหลังการขนส่งทางรถบรรทุกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 37(5): 38-41.
- 21) พิชญา บุญประสม, ฐิติมา ทรงจิตสมบูรณ์, วรรณนิศา แสงวงศ์. (2549) การอบแห้งโรสแมรี่และลาเวนเดอร์ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการ IRPUS ปี 2549.
- 22) วิทยา อภัย, วิชชา สอาดสุด, พิชญา บุญประสม, อรุณารณ์ สอาดสุด. 2548. การศึกษาเบื้องต้นผลการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นร่วมกับกรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของลำไยสดพันธุ์ดอ วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 36 ฉบับที่ 5-6 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม 2548.
- 23) อนุชา พันธุ์เวท, พิชญา บุญประสม 2548. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพส้มสายน้ำผึ้งในระหว่างการขนส่งทางรถบรรทุก วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 36 ฉบับที่ 5-6 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม 2548.
- 24) นภาพร เขียวคำ, พิชญา บุญประสม 2548. การอบแห้งเปปเปอร์มินต์ ยูเอสเอมินท์และเลมอนไทม์ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 36 ฉบับที่ 5-6 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม 2548.
25. ชนิตา น้ำเงิน, พิชญา บุญประสม 2547. การลดอุณหภูมิขั้นต้นของผักด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการ IRPUS ปี 2547.
26. ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล, ไพโรจน์ วิริยจารี, พิชญา บุญประสม, พชรินทร์ ระวียัน, สุกเวท มานิช, ศรัล วรณพันธ์, พวงทอง ใจสันต์, สุรินทร์พร ศรีไพโรสนธิ, ศรายุทธ สมประสงค์. 2547. “การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาแก่กลุ่มเกษตรกร เล่มที่ 1”, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ที่ได้รับทุนอุดหนุนจากทบวงมหาวิทยาลัย
27. ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล, ไพโรจน์ วิริยจารี, พิชญา บุญประสม, พชรินทร์ ระวียัน, สุกเวท มานิช, ศรัล วรณพันธ์, พวงทอง ใจสันต์, สุรินทร์พร ศรีไพโรสนธิ, ศรายุทธ สมประสงค์. 2547. “การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาแก่กลุ่มเกษตรกร เล่มที่ 2” , รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ที่ได้รับทุนอุดหนุนจากทบวงมหาวิทยาลัย



28. ภัทรวรา ปฐมรังษิยังกุล, ไพโรจน์ วิริยจारी, พิชญา บุญประสม. “การพัฒนาสูตรใส่กรอกปลารสแกงเขียวหวาน”, การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 6 งาน THAIFEX&MALFEX 2004.
29. Kasem Pilakunta, Danai Boonyakiat and Pichaya Boonprasom. 2010. Effect of Vacuum Cooling on Quality of Organic Chayote Shoot (*Sechium edule* Sm.). *As. J. Food Ag-Ind. (In press)*.
30. Apichart Sirinanut, Danai Boonyakiat and Pichaya Boonprasom. 2010. Effect of Vacuum Cooling on Physico-chemical Properties of Organic Cilantro (*Coriandrum sativum* Linn.). *Proceeding of Food Innovation Asia Conference 2010*.
31. Boonprasom, P. and Danai Boonyakiat 2010. Effect of Vacuum Cooling and Different Storage Temperatures on Physico-chemical Properties of Broccoli. *Acta Hort.* 877(2): 933-939.
32. Danai Boonyakiat and P. Boonprasom 2010. Effect of Vacuum Cooling and Packaging on Physico-chemical Properties of ‘Red’ Holy Basil. *Acta Hort.* 877(1): 419-426.
33. Boonprasom, P. and Danai Boonyakiat 2010. Effect of Vacuum Cooling Operation Parameters on Cooling Time and Weight Loss of ‘Red’ Holy Basil. *Acta Hort.* 877(2): 827-834.
34. Bung-ila, Jirapa, Danai Boonyakiat and P. Boonprasom, 2009. Effect of vacuum cooling on physico-chemical properties of holy basil (*Ocimum sanctum* Linn.). *Asian Journal of Food & Agro-Industry*, October-December 3(4): 469-480.
35. Apai, W., Sardud, V., Boonprasom, P. and Sardud, U. 2009. Effect of chitosan-coating with citric acid and potassium sorbate on post harvest decay and browning of longan fruit during cold storage. *Acta Hort.* 837:181-188.
36. Apai, W., Sardud, V., Boonprasom, P. and Sardud, U. 2009. Effect of chitosan-coating with citric acid and potassium sorbate on pericarp browning and polyphenol oxidase activity of longan fruit. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 31(6): 621-628, Nov. - Dec. 2009.
37. Apai, W., Sardud, V., Boonprasom, P. and Sardud, U. 2008. Effect of citric acid incorporated with chitosan-based coating to control pericarp browning in fresh longan fruit. *Acta Hort.* 787: 265-272
38. Apai, W., Sardud, V., Boonprasom, P. and Sardud, U. 2008. Antifungal Activity of Chitosan Coating and Its Components on *Lasiodiplodia theobromae* in Longan. *Acta Hort.* 804:234-242.



39. Rithmanee, T., G. Bumroonggit, and P. Boonprasom. 2008. Quality Prediction of 'Sai Nam Pung' Tangerine after Truck Transportation Using Artificial Neural Network. *Acta Hort.* 802: 379-383.
40. Boonprasom, P. and P. Prathomrangsiyangkul. 2005. *Postharvest Losses and Prevention during Marketing Chain of Tangerine (C.Reticulata Blanco cv. Sai Nam Pung)* Report. CMU. Thailand.
41. Boonprasom, P. and G. Bumroonggit. 2005. Tangerine Yield Prediction Using Artificial Neural Network (ANN). *CMU Journal*, 4(1): 39-48
42. Boonprasom, P., G. Bumroonggit, D. Banturat, and S. Somprasong. 2005. *Optimal Condition for Drying Herbs Using Solar Dryer*. Report. Royal Project. Thailand.
43. Boonprasom, P. and C. Namnguen. 2005. Forced-Air Tunnel Precooling of Vegetables. IRPUS. TRF. Thailand.
44. Boonprasom, P. and A. Pantuwate. 2005. Postharvest losses and quality of tangerine fruits cv.Sai Nam Pung. IFT. Annual Meeting, July 15-20, USA
45. Boonprasom, P. 2004. *Development of a Solar Dryer for Medicine Plants*. Report. CMU. Thailand.
46. Boonprasom, P. 2004. *Cooling Process Parameters and Transient Heat Transfer Analysis of Chinese Cabbage, Michili, and Lettuce in Forced-Air Tunnel Cooling*. Report. CMU., Thailand.
47. Boonprasom, P. 2004. *Refrigeration Load Calculation Software for Fruit and Vegetable Cold Storages*. Report. CMU. Thailand.
48. Boonprasom, P. 2003. *Energy Conservation in Food Factory of the Royal's Project (Doi-Cum)*. Report. CMU., Thailand.
49. Boonprasom, P. 2002. *Cooling Process Parameters and Transient Heat Transfer Analysis of Blueberries Exposed to Cooling in Controlled Atmosphere Storage*. Ph.D. Thesis. Oregon State University, USA.
50. Boonprasom, P. 2002. *Mass Transfer Characteristics of Blueberries Stored in Controlled Atmosphere Storage Conditions*. Ph.D. Thesis. Oregon State University, USA.
51. Boonprasom, P. 2002. *Effect of Controlled Atmosphere Storage on Fresh Elliott Blueberries Quality*. Ph.D. Thesis. Oregon State University, USA.
52. Boonprasom, P. and M. L. Hellickson. 1996. Simulation of Energy Use by Controlled Atmosphere Generation Equipment in Fruit Cold Storage. *The*



9. รางวัล

- 9.1 ได้รับรางวัลในการนำเสนอผลงานระดับนานาชาติสาขา Postharvest ในหัวข้อเรื่อง “Production of Ethylene Absorber for Extending the Postharvest Life of ‘Gros Michel’ Banana” ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ Banana and Plantain in Africa: Harnessing International Partnerships to Increase Research Impact 2008 ณ เมืองมอมบาซา ประเทศเคนยา ในระหว่างวันที่ 5-9 ตุลาคม 2551 ซึ่งจัดโดย The International Institute of Tropical Agriculture (IITA).
- 9.2 ได้รับรางวัลชมเชย สาขาเครื่องจักรกลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว ในการนำเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ในหัวข้อเรื่องผลการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของชาสมุนไพรจากอาร์ติโชคสายพันธุ์อิมพีเรียลสตาร์. งานสัมมนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 8 2553. จัดโดยศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ ดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่.
- 9.3 ได้รับรางวัลที่ 1 ในการนำเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ในหัวข้อเรื่องคุณภาพหลังการอบของชาโรสแมรี่ ชาลาเวนเดอร์ และชาดอกกุหลาบ. งานประชุมวิชาการการประชุมวิชาการผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวงประจำปี 2552 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ ดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่.
- 9.4 ได้รับรางวัลที่ 1 ในการนำเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ในหัวข้อเรื่องกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้โดยใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum Cooling Process of Pak Choi (*Brassica chinensis*)) สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ประเพณีนักศึกษาการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 7 “พืชสวนไทย ใต้ร่มพระบารมี” (The 7th National Horticultural Congress 2008) ในระหว่างวันที่ 26-30 พฤษภาคม 2551 ณ โรงแรมอัมรินทร์ลากูน อ.เมือง จังหวัดพิษณุโลก
- 9.5 ได้รับรางวัลชมเชย ในการนำเสนอผลงานระดับชาติภาคโปสเตอร์ในหัวข้อเรื่องกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum Cooling Process of Lettuces (*Lactuca Sataiva*)) สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ประเพณีนักศึกษาการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 7 “พืชสวนไทย ใต้ร่มพระบารมี” (The 7th National Horticultural Congress 2008) ในระหว่างวันที่ 26-30 พฤษภาคม 2551 ณ โรงแรมอัมรินทร์ลากูน อ.เมือง จังหวัดพิษณุโลก
- 9.6 ได้รับรางวัลชมเชย ในการนำเสนอผลงานระดับชาติภาคโปสเตอร์ในหัวข้อเรื่องกระบวนการลดอุณหภูมิบรอกโคลีโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum Cooling Process of Broccoli) สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ประเพณีนักศึกษาการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 7



“พืชสวนไทย ไตร่ตรองพระบารมี” (The 7th National Horticultural Congress 2008) ในระหว่างวันที่ 26-30 พฤษภาคม 2551 ณ โรงแรมอัมรินทร์ลากูน อ.เมือง จังหวัดพิษณุโลก

- 9.7 ได้รับรางวัลชมเชย (Professional Vote) ในการนำเสนอผลงานระดับชาติในหัวข้อเรื่อง การอบแห้งโรสแมรี่และลาเวนเดอร์ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, โครงการ IRPUS ปี 2549

10. การนำเสนอผลงานวิจัยระดับนานาชาติ

1. P. Boonprasom and Danai Boonyakiat. 2010. Effect of Vacuum Cooling and Packaging on quality of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* Linn.). Oral Presentation in ISMAB 2010 International symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering, 5-7 April 2010, Fukuoka, Japan.
2. P. Boonprasom and Danai Boonyakiat. 2010. Effect of Vacuum Cooling and Packaging on Physico-chemical Properties of Lemongrass (*Cymbopogon citratus* Stapf.). Poster Presentation in ISMAB 2010 International symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering, 5-7 April 2010, Fukuoka, Japan.
3. P. Boonprasom. and Danai Boonyakiat 2009. Effect of Vacuum Cooling and Different Storage Temperatures on Physico-chemical Properties of Broccoli. Oral Presentation in Sixth International Postharvest Symposium, 8-12 April 2009, Antalya, Turkey.
4. P. Boonprasom. and Danai Boonyakiat 2009. Effect of Vacuum Cooling Operation Parameters on Cooling Time and Weight Loss of ‘Red’ Holy Basil. Poster Presentation in Sixth International Postharvest Symposium, 8-12 April 2009, Antalya, Turkey.
5. Danai Boonyakiat and P. Boonprasom. 2009. Effect of Vacuum Cooling and Packaging on Physico-chemical Properties of ‘Red’ Holy Basil. Poster Presentation in Sixth International Postharvest Symposium, 8-12 April 2009, Antalya, Turkey.
6. Boonprasom, P. 2009. Comparative Study of Drying Rosemary Leave, Lavender Flower and Rose Petal with Solar, Tray and Vacuum Microwave Dryers. ISSAAS International Congress 2009, 23-27 FEBRUARY 2009, The Emerald Hotel, Bangkok, Thailand.
7. Pichaya Boonprasom and Wuttirat Patanibul. 2008. Production of Ethylene Absorber for Extending the Postharvest Life of ‘Gros Michel’ Banana. International Conference on Banana and Plantain in Africa: Harnessing International Partnerships to Increase Research Impact, October 5-9, 2008, Mombasa, Kenya.
8. P. Boonprasom, T. Rithmanee and G. Bumroonggit. 2008. Quality Prediction of ‘Sai Nam Pung’ Tangerine after Truck Transportation Using Artificial Neural Network. Fourth International Symposium on Applications of Modelling as an Innovative Technology in the Agri-Food-Chain, June 9-11, 2008, Madrid, Spain.



9. Boonprasom, P. and A. Pantuwate. 2005. Postharvest losses and quality of tangcrine fruits cv. Sai Nam Pung. Institute of Food Technology (IFT) Annual Meeting, July 15-20, 2005. New Orleans, USA.

11. โครงการบริการวิชาการ

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	แหล่งทุน
1	การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการอบแห้งข้าวแต๋น	สวทช
2	การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งดอกลาเวนเดอร์	สวทช
3	การพัฒนากระบวนการผลิตผลสตรอเบอร์รี่แช่อิ่มอบแห้ง	สวทช
4	Establishing Good Manufacturing Practice (GMP) Program for Pork Meat Products Manufacturer	สวทช
5	การปรับปรุงกระบวนการผลิตของอาหารกระป๋อง	สวทช



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สจินดา ศรีวิวัฒน์

1.	ชื่อ-สกุล (ไทย) ชื่อ-สกุล (อังกฤษ)	นางสุจินดา ศรีวัฒนะ Mrs. Sujinda Sriwattana
2.	หมายเลขบัตรประชาชน	3 5099 01322 42 1
3.	ตำแหน่งปัจจุบัน	พนักงานมหาวิทยาลัยตำแหน่งอาจารย์
4.	หน่วยงาน ที่อยู่ โทรศัพท์ โทรสาร E-mail	สาขาวิชาเทคโนโลยีพัฒนาผลิตภัณฑ์ สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 155 หมู่ที่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100 053-948232, 053-948204 053-948232 sujinda.s@cmu.ac.th
5.	ประวัติการศึกษา	B.Sc. (Food Science and Technology) Chiang Mai University, THAILAND. (1986) M.Sc. (Agro-Industrial Product Development) Kasetsart University, THAILAND. (1991) Joint research program: Department of Food Science and Technology, The University of Georgia, USA) Ph.D. (Agro-Industrial Product Development) Kasetsart University, THAILAND. (2003)
6.	สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ	
	6.1) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการทดสอบผู้บริโภค	
	6.2) ระบบประกันคุณภาพ GMP HACCP	



7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย ไม่มี

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

7.2.1 การพัฒนาไส้อ้วนลดไขมันและยืดอายุการเก็บรักษาโดยไม่ใช้วัตถุกันเสีย ภายใต้โครงการการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรอาหารภาคเหนือ: ไส้อั่ว

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2555

7.2.2 การเพิ่มมูลค่าผลผลิตพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อการพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน ปีที่ 2 (ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน), 2555

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2555 โครงการความร่วมมือกับต่างประเทศ (ไทย – เยอรมัน)

7.2.3 การใช้เทคนิคออสโมติกในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี่สูตรลดน้ำตาลที่ไม่เจือสีและไม่แต่งกลิ่นรส: แยมสตรอเบอรี่ ไส้ผลไม้จากสตรอเบอรี่ และสตรอเบอรี่ทอปปิง และการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2554

7.2.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2554 ประเภทบัณฑิตศึกษา

7.2.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงปรุงรสกึ่งสำเร็จรูปรสหมูปราศจากผงชูรสและลดโซเดียม

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2554 ประเภทบัณฑิตศึกษา

7.2.6 การผลิตเปลือกในเสาวรสอบแห้งเพื่อใช้เป็นเพกทินเมทอกซีต่ำๆ MRG-WI535S046

แหล่งทุน: ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี 2553

7.2.7 การเพิ่มมูลค่าผลผลิตพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อการพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน (นมข้าวโพดชั้นหวาน), 2553

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2553 โครงการความร่วมมือกับต่างประเทศ (ไทย – เยอรมัน) ปี 2553

7.2.8 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์ลดเกลือโซเดียม

แหล่งทุน: ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี 2551

7.2.9 การใช้โปรตีน/ไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงคุณภาพขนมปังข้าวไร่แป้งข้าวเจ้า

แหล่งทุน: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) IPUS2, 2551



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

- 7.2.10 โครงการวิจัย “การพัฒนาแยมเสาวรสโดยใช้เพกทินจากเปลือกเสาวรส”
แหล่งทุน: ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี 2550
- 7.2.11 โครงการวิจัย “ขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวเสริมโปรตีนและใยอาหาร”, 2549 และ 2550
แหล่งทุน: งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2549 และ 2550
- 7.2.12 โครงการวิจัย “การรับรู้และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โครงการหลวง ภูมิศึกษา จังหวัดเชียงใหม่ (ผลิตภัณฑ์แยมสตอเบอรี่และกาแฟคั่วบด)”
แหล่งทุน: มูลนิธิโครงการหลวง 2549
- 7.2.13 โครงการวิจัย “การรับรู้และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โครงการหลวง ภูมิศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ (ผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรและผักผลไม้กรอบ)”
แหล่งทุน: มูลนิธิโครงการหลวง, 2548
- 7.2.14 โครงการวิจัย “การศึกษาการผลิตชาใบบัวบกผงชนิดซอง”
แหล่งทุน: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2547
- 7.2.15 โครงการวิจัย “การใช้ *Rhizopus oligosporous* ในการผลิตเห็ดปลวกลิสง”
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2543

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- 7.2.1 การพัฒนาไส้อั่วลดไขมันและยืดอายุการเก็บรักษาโดยไม่ใช้วัตถุกันเสีย ภายใต้โครงการการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรอาหารภาคเหนือ: ไส้อั่ว
- 7.2.2 การเพิ่มมูลค่าผลผลิตพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อการพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน ปีที่ 2 (ข้าวเกรียบข้าวโพดหวาน), 2555
- 7.2.3 การใช้เทคนิคออสโมติกในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สตอเบอรี่สูตรลดน้ำตาลที่ไม่เจือสี และไม่แต่งกลิ่นรส: แยมสตอเบอรี่ ไส้ผลไม้จากสตอเบอรี่ และสตอเบอรี่ ทอปปิง และการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์
- 7.2.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม
- 7.2.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงปรุงรสกึ่งสำเร็จรูปรสหมูปราศจากผงชูรสและลดโซเดียม
- 7.2.6 การผลิตเปลือกในเสาวรสบแห้งเพื่อใช้เป็นเพกทินเมทอกซีต่ำๆ MRG-WI535S046
- 7.2.7 การเพิ่มมูลค่าผลผลิตพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อการพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน (นมข้าวโพดชั้นหวาน), 2553
- 7.2.8 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ลดเกลือโซเดียม
- 7.2.9 การใช้โปรตีนไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงคุณภาพขนมปังขาไก่แป้งข้าวเจ้า



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

- 7.2.10 โครงการวิจัย “การพัฒนาแยมเสาวรสโดยใช้เพกทินจากเปลือกเสาวรส”
- 7.2.11 โครงการวิจัย “ขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวเสริมโปรตีนและใยอาหาร”, 2549 และ 2550
- 7.2.12 โครงการวิจัย “การรับรู้และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โครงการหลวง ภูมิศึกษา จังหวัดเชียงใหม่ (ผลิตภัณฑ์แยมสตอเบอรี่และกาแฟควับด)”
- 7.2.13 โครงการวิจัย “การรับรู้และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โครงการหลวง ภูมิศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ (ผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรและผักผลไม้กรอบ)”
- 7.2.14 โครงการวิจัย “การศึกษาการผลิตชาใบบัวบกผงชนิดซอง”
- 7.2.15 โครงการวิจัย “การใช้ *Rhizopus oligosporous* ในการผลิตเห็ดปลวกลิสง”
- 7.2.16 โครงการวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้าสำหรับผู้สูงอายุ

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ

- 7.4.1 การพัฒนาเครื่องต้มลำไยสกัดจากลำไยอบแห้งทั้งผลตากเกรด
แหล่งทุน: ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น
 สัญญารับทุนปี 2556 (ลู่วงแล้วร้อยละ 40)

8. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ผลงานวิจัยทั้งหมดที่ผ่านมา)

8.1 วารสาร/การประชุมวิชาการ

- Torricon D. D., Janes M.E., No H. K., **Sriwattana S.**, and Prinyawiwatkul W. 2013. Storage Time and Temperature Affect Antimicrobial Activity of Chitosan Solutions against *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7. J. Chitin Chitosan 18(2), 69-74.
- Sriwatana S.**, Utama-ang, N., Thakeow, P., Senapa J., Phimolsiripol, Y., Surawang, S., Pongsirikul, I., and Sergio Angeli. 2012. Physical, Chemical and Sensory Characterization of the Thai- Crispy Pork Rind ‘Kaeb Moo’. CMU. J. Nat. Sci. Special Issue on Agricultural & Natural Resources. 11(1): 181-191.
- Tipwichai, B., and **Sriwattana, S.** 2012. Optimization of strawberry-longan bar formulation using response surface methodology. CMU.J.Nat.Sci.Special Issue on Agricultural & Natural Resources. 11(1): 171-180.
- Jirangrat W., Ordonez K.C., Wang J., Corredor J.A.H., **Sriwattana S.**, and Prinyawiwatkul W. 2012. The 2012 IFT Annual Meeting Technical Program. Las Vegas, U.S.A.



- Asasuppakit K., Phimolsiripol Y., and **Sriwattana S.** 2012. “Shelf life simulation through sorption isotherm of dried passion fruit rind”. International conference “Food and Applied Bioscience” Kantary Hills Hotel, Chiang Mai, Thailand. 6-7 February, 2012.
- Sangsuwan J., Yodalai H., Lapirattanakool W., Leucha N., Rattanapanone N. and **Sriwattana S.** 2012. “Effect of packaging materials on shelf life of snack bar” International conference “Food and Applied Bioscience” Kantary Hills Hotel, Chiang Mai, Thailand. 6-7 February, 2012.
- Somthawil S., Pongsirikul I., Pimolsiripol Y., Sangsuwan J., Leksawasdi N., Thechapun C. and **Sriwattana S.** 2012. Effects of fat replacers on the qualities of Northern Thai style Sausage. International conference “Food and Applied Bioscience” Kantary Hills Hotel, Chiang Mai, Thailand. 6-7 February, 2012.
- Somthawil S. and **Sriwattana S.** 2012. The use of just about right scales in reformulation of Thai Northern style sausage. The proceeding of 50th Kasetsart University Annual Conference. 31January-2 February, 2012.
- Thong-Lor C. and **Sriwattana S.** 2012. Effects of sodium chloride replacement with potassium chloride and potassium lactate on qualities of pork seasoning powder. The proceeding of 50th Kasetsart University Annual Conference. 31January-2 February, 2012.
- Tipwichai, B., and **Sriwattana, S.** 2011. Optimization of strawberry-longan bar formulation using response surface methodology. International conference “the role of agriculture and natural resources on global change (ANGC 2011). Imperial Mae Ping, Chiang Mai, Thailand. November 7, 2011.
- Sriwattana, S.** , Utama-ang, N., Thakeow, P., Senapa, J., Phimolsiripol, Y., Surawang, S., Pongsirikul, I., and Sergio Angeli. Physical, Chemical and Sensory Characterization of the Thai-Crispy Pork Rind 'KaeB Moo'. International conference “the role of agriculture and natural resources on global change (ANGC 2011). Imperial Mae Ping, Chiang Mai, Thailand. November 7, 2011.



- Wilailux, C., and **Sriwattana S.** 2011. Development of Reduced Sodium Salt Frankfurter. The 5th TRF-MAG Congress. The Thailand Research Fund. March 30 – April, 2011.
- Suthi, J., and **Sriwattana, S.** 2011. Development of reduced fat and sodium porkball. The 3rd NPRU national conference 2011.10 August, 2011. Nakhon Pathom.
- Sriwattana, S.**, Pongsirikul, I., and Decharattanangkul, S. 2011. Quality development of strawberry topping product using osmotic dehydration. The 3rd Thailand Research Symposium. August 30, 2011. Central World, Bangkok.
- Walker, J., Boeneke, C. A., **Sriwattana, S.**, Herrera-Corredor, J. A., and Prinyawiwatkul, W. 2010. Consumer Acceptance and Purchase Intent of a Novel Low-Fat Sugar-Free Sherbet Containing Soy Protein. Journal of Food Quality. 33: 27-41.
- Wanniyom W., and Sriwattana, S. 2010. Development of Passion Fruit Jam Using Passion Rind. **The 4th** TRF-MAG Congress. The Thailand Research Fund. March 30 – April 1, 2010. Jomtien Palm Beach Hotel and Resort. Pattaya, Chon Buri. p 131.
- Wilailux, C., and **Sriwattana S.** 2010. Effects of Sodium Chloride Replacement with Potassium Chloride on Qualities of Frankfurter. The proceeding of 48th Kasetsart University Annual Conference. 3-5 February, 2010. p.1-8.
- Garcia, K., **Sriwattana, S.**, No, H.K., Herrera-Corredor, J. A., and Prinyawiwatkul, W. 2009. Sensory Optimization of a Mayonnaise –Type Spread Made with Rice Bran Oil and Soy Protein. J Food Sci. 74(6): S 248- S254. impact factor = 1.489
- Wanniyom W., and Sriwattana, S. 2009. Potential of Passion Fruit Rind to Substitute the Use of Commercial Low Methoxyl Pectin in Reduce Calorie Passion Fruit Jam. The 13th Nation Graduate Research Conference. May 15-16, 2009, North-Chiang Mai University, Chiang Mai. p 8.
- Moonkam Y., and Sriwattana, S. 2009. Effect of Maltodextrin and Gum Arabic on the Properties of the Spray Dried Red Powder Extracted from Pitaya Rind..



The 13th Nation Graduate Research Conference. May 15-16, 2009., North-Chiang Mai University, Chiang Mai. p 7.

Kunpanut N., Teerapreyapong N., and Sriwattana, S. 2009. Development of Strawberry Topping with no Added Color and Flavor. Industrial Project Undergraduate Students Conference. March, 2009. Siam Paragon Hall, Bangkok.

Sriwattana, S., N. Laokuldilok and W. Prinyawiwatkul. (2008). Sensory Optimization of Broken Rice-Based Snacks Fortified with Protein and Fiber. J Food Sci. 73(6): S333- S338. impact factor = 1.489 (ที่มา : Journal Citation Reports, 2008)

Bunroeng, N., Jankam, P. and Sriwattana, S. (2008). Quality Development of Strawberry Jam. Industrial Project Undergraduate Students Conference. March, 2008. Siam Paragon Hall, Bangkok.

Kaewreantong, C., Wiriya kijpholman. and Sriwattana, S. (2008). Development of Sweet Pepper Hard Candy. Industrial Project Undergraduate Students Conference. March, 2008. Siam Paragon Hall, Bangkok.

Sriwattana, S., Naruenartwongsakul, S., H.Charern, M., Hanmoungjai, P. and Somprasong, S. (2006). Broken rice based snack fortified with protein and fiber. Report presented to National Research Council of Thailand, Phase1.

Sriwattana, S. and Phongsirikul, I. (2006). Consumer Perception and Acceptance toward Royal Project Ground Coffee. Royal Project Conference. November 16-17, 2006. Green Lake Resort. Chiang Mai, Thailand.

Sriwattana, S. and Phongsirikul, I. (2006). Consumer Perception and Acceptance toward Royal Project Strawberry Jam. Royal Project Conference. November 16-17, 2006. Green Lake Resort. Chiang Mai, Thailand.

Sriwattana, S. and Phongsirikul, I. (2006). Consumer Perception and Acceptance toward Royal Project Products. The 8th Agro-Industrial Conference: Food innovation. June 5-16, 2006. BITEC Bangna, Bangkok.

Sriwattana, S. (2005). Modeling and Optimization for Food Formulation. Food Journal. 35(3): 2005.



Sriwattana, S. and Phongsirikul, I. (2004). Study on Production of Indian Pennywort Tea. Final report. Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai.

Junprative, A., **Sriwattana, S.** (2004). Development of Oyster Mushroom Vegetarian Sausage. The 6th Agro-Industrial Conference. May 28-29, 2004. IMPACT, Bangkok.

Sriwattana, S., Resurreccion A. V. A., Haruthaithanasan, V., and Chompreeda P. (2003). A Strategic Approach to Formulating Dehydrated Tom Yum Kung Using Trained Panel and U. S. Consumers. The 12th Biennial International Congress of Asian Regional Association for Home Economics (ARAHE). August 8, 2003.

Sriwattana, S., Resurreccion A. V. A., Haruthaithanasan, V., and Chompreeda P. (2002). Development of Thai Cuisine for Western Consumers: Product Idea Generation and Screening. The Kasetsart Journal. 23(2): 2002.

Sriwattana, S., Haruthaithanasan, V., Chompreeda P., and Resurreccion A. V. A. (2002). Development of Dehydrated Tom Yum Kung. The 2002 IFT Annual Meeting Technical Program. Anaheim, California, U.S.A.

Teramoto, Y., Kanlayakrit, W., Khanongnuch, C., Utama-ang, N., **Sriwattana, S.,** and Chavanich S. 2000. Alcoholic Beverages in Thailand. J. Ferment. June/July 2000. Pp. 57-61.

Sriwattana, S., Phongsirikul, I.. Study on Preparative and Storage Conditions of Starter Cultures for Tempeh Fermentation., The 2nd Joint Seminar on Development of Thermotolerant Microbial Resources and their Applications., 21-25 November 2000., Yamaguchi, Japan.

9. หนังสือ:

- 9.1 สุจินดา ศรีวัฒนะ. 2547. เทคโนโลยีผู้บริโภค. ใน: นิธิยา รัตนูปนันท และ ไพโรจน์ วิริยจารี. (บรรณาธิการ), เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร. TRIO Advertising & Media Co., Ltd. เชียงใหม่.



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพล เล็กสวัสดิ์

1.	ชื่อ-สกุล (ไทย)	นายณพพล เล็กสวัสดิ์
	ชื่อ-สกุล (อังกฤษ)	Mr. Noppol Leksawasdi
2.	หมายเลขบัตรประชาชน	3 5099 01167 25 6
3.	ตำแหน่งปัจจุบัน	พนักงานมหาวิทยาลัยตำแหน่งอาจารย์ หัวหน้าสำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4.	หน่วยงาน	สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ที่อยู่	155 หมู่ที่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100
	โทรศัพท์	053-948296, 053-948237, 081-9506-544
	โทรสาร	053-948238
	E-mail	noppol@hotmail.com
5.	ประวัติการศึกษา	B.E. (Bioprocess Engineering) The University of New South Wales, Sydney, Australia (1999) <u>Cargill Australia Prize, Honour Class I & The University Medal</u> Ph.D. (Biotechnology) The University of New South Wales, Sydney, Australia (2004)
6.	สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ	
	6.1 สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา	
	6.2 สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย	
	6.3 สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและนิเทศศาสตร์	

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

- 1) โครงการเพิ่มมูลค่าอาหารภาคเหนือ: ไร่ข้าว (วช.)

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

- 1) การสกัดสารแอนทราควิโนนจากต้นยอ
- 2) การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับทำนายเวลาที่ใช้ในการทำแห้งส่วนต่างๆ ของต้นยอ
- 3) การตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องบดและผสมโรงงานเจที เจริญไทย
- 4) การผลิตเอทานอลจากลำไยอบแห้ง
- 5) การผลิต *R*-phenylacetylcarbinol และสารผลิตภัณฑ์ข้างเคียงด้วยลำไยอบแห้งในระบบของเหลวเฟสเดียว
- 6) การประยุกต์ใช้กระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์มเมชันแบบสองเฟสในการผลิต PAC ด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้ลำไยอบแห้งเป็นแหล่งอาหารคาร์บอน
- 7) การผลิต *R*-PAC ด้วยระบบ two-phase biotransformation จากลำไยอบแห้ง โดยมีการตรวจติดตามค่า pH ด้วยหัววัดแบบ Ion Sensitive Field Effect Transistor (ISFET)
- 8) การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิต *R*-PAC จากกากของแข็งในกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน
- 9) การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอนไซม์ไฟเตสและไฟรูเวตตีคาร์บอกซีเลสจากกากของแข็งที่เหลือจากกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ของบริษัทแม่ทาฟิดิจากัด (สวทช. MTEC)
- 10) การนำลำไยอบแห้งมาผลิตสารเคมีเพื่อการค้า
- 11) การใช้กากเนื้อลำไยอบแห้งปราศจากน้ำตาลโมเลกุลสายสั้นเป็นแหล่งอาหารคาร์บอนในการผลิตเอนไซม์ไฟรูเวตตีคาร์บอกซีเลสและ *R*-phenylacetylcarbinol
- 12) การปรับปรุงประสิทธิภาพการสกัดสารแอนทราควิโนนจากรากต้นยอโดยใช้ถังอัดความดันไอน้ำ และชุดสกัดสารผสมของแข็งด้วยของเหลว
- 13) โครงการการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางเกษตรบนพื้นที่สูง ระยะที่ 4 ปีที่ 1 (NRCT-DFG และ วช.)
- 14) โครงการกระบวนการต้นแบบสำหรับผลิตเอทานอล และเอนไซม์ไฟรูเวตตีคาร์บอกซีเลส
- 15) โครงการการผลิตผงเอนไซม์ไฟรูเวตตีคาร์บอกซีเลสหลายระดับความบริสุทธิ์

- 16) การศึกษาวิจัยต่อยอดการใช้ประโยชน์สายการผลิตน้ำตาลลำไย ภายใต้โครงการการจัดจ้างที่ปรึกษาการเจรจาทางธุรกิจเพื่อให้เกิดการลงทุนในสายการผลิตน้ำตาลลำไย การกำหนดรูปแบบการบริหารจัดการให้เกิดความยั่งยืน และการศึกษาวิจัยต่อยอดการใช้ประโยชน์สายการผลิตน้ำตาลลำไย

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- 1) การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับทำนายเวลาที่ใช้ในการทำแห้งส่วนต่างๆ ของต้นยอ. 2548. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: สกว. IRPUS
- 2) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารแอนทราควิโนนจากส่วนต่าง ๆ ของต้นยอ (*Morinda sp.*) ฯ. 2549. Kasetsart Journal Natural Sciences 42: 118 - 126. แหล่งทุน: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (CMU)
- 3) การสกัดสารแอนทราควิโนนจากต้นยอ. 2549. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: มช. และ สกว. IRPUS.
- 4) การเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ในเปลือกผล เนื้อ และ เมล็ดของลำไย มะม่วงและลิ้นจี่ทั้งสดและผลิตภัณฑ์แปรรูปชนิดต่างๆ. 2549. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. ต่างประเทศ
- 5) การตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องบดและผสมโรงงานเจที เจริญไทย. 2550. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: สวทช. MTEC
- 6) การผลิตเอทานอลจากลำไยอบแห้ง. 2549. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน
- 7) การผลิต *R*-phenylacetylcarbinol และสารผลิตภัณฑ์ข้างเคียงด้วยลำไยอบแห้งในระบบของเหลวเฟสเดียว. 2549. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: สกว. IRPUS
- 8) การประยุกต์ใช้กระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์มเมชันแบบสองเฟสในการผลิต PAC ด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้ลำไยอบแห้งเป็นแหล่งอาหารคาร์บอน. 2549. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: สกว. IRPUS
- 9) การผลิต *R*-PAC ด้วยระบบ two-phase biotransformation จากลำไยอบแห้ง โดยมีการตรวจติดตามค่า pH ด้วยหัววัดแบบ Ion Sensitive Field Effect Transistor (ISFET). 2550. แหล่งทุน: สวทช. YSTP
- 10) การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิต *R*-PAC จากกากของแข็งในกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน. 2550. สวทช. MTEC)

- 11) การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอนไซม์ไฟเตสและไฟรูเวตติคาร์บอกซิเลสจากกากของแข็งที่เหลือจากกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ของบริษัทแม่ทาพีดีจำกัด. 2551. แหล่งทุน: สวทช. MTEC
- 12) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงจากเนื้อมะม่วง ลำไย และลิ้นจี่ โดยใช้เทคโนโลยีทำแห้งเยือกแข็ง และเทคนิคการลดขนาดที่อุณหภูมิต่ำมาก. 2552. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. ต่างประเทศ
- 13) การนำลำไยอบแห้งมาผลิตสารเคมีเพื่อการค้า. 2552. รายงานวิจัยสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน
- 14) การใช้กากเนื้อลำไยอบแห้งปราศจากน้ำตาลโมเลกุลสายสั้นเป็นแหล่งอาหารคาร์บอนในการผลิตเอนไซม์ไฟรูเวตติคาร์บอกซิเลสและ *R*-phenylacetylcarbinol. 2552. รายงานวิจัยสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน
- 15) โครงการกระบวนการต้นแบบสำหรับผลิตเอทานอล และเอนไซม์ไฟรูเวตติคาร์บอกซิเลส. 2553. รายงานวิจัยสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน
- 16) โครงการการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางเกษตรบนพื้นที่สูง ระยะที่ 4 ปีที่ 1. 2554. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. ต่างประเทศ
- 17) โครงการทวนสอบเทคโนโลยี การผลิตน้ำตาลลำไย และคุณสมบัติเชิงคุณภาพ สุขภาพ และศักยภาพเชิงพาณิชย์. 2553. รายงานวิจัยสมบูรณ์. แหล่งทุน: สวก.
- 18) โครงการการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ปีที่ 1. 2554. รายงานวิจัยสมบูรณ์. แหล่งทุน: โครงการไทยเข้มแข็ง)
- 19) โครงการการพัฒนาสายการผลิตน้ำตาลลำไยสำเร็จรูปในระดับขยายขนาด ปีที่ 1. 2554. รายงานวิจัยสมบูรณ์. แหล่งทุน: สภาอุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่
- 20) โครงการเพิ่มมูลค่าอาหารภาคเหนือ: ใส่อั่ว. 2554. รายงานวิจัยสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน
- 21) โครงการการผลิตผงเอนไซม์ไฟรูเวตติคาร์บอกซิเลสหลายระดับความบริสุทธิ์. 2554. รายงานวิจัยสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน
- 22) โครงการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลลำไยเพื่อให้ความพร้อมภายใต้ในโครงการโรงงานต้นแบบถ่ายทอดเทคโนโลยีอุตสาหกรรมน้ำตาลลำไย ปีที่ 2. 2555. สภาอุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่
- 23) โครงการการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ปีที่ 2. 2555. รายงานวิจัยสมบูรณ์. แหล่งทุน: โครงการไทยเข้มแข็ง
- 24) โครงการการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางเกษตรบนพื้นที่สูง ระยะที่ 4 ปีที่ 2. 2555. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. แหล่งทุน: วช. ต่างประเทศ

7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ

- 1) โครงการการผลิตเอนไซม์ไพรูเวตดีคาร์บอกซิเลสจากเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณมากด้วยลำไยล้นตลาด และกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์มเมชัน เพื่อผลิตฟีนิลแอซีติลคาร์บิโนล. 2555. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน. ความสำเร็จจุลวงของโครงการร้อยละ 70
- 2) โครงการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ข้าวเก่าเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์. 2555. แหล่งทุน: สวก. ความสำเร็จจุลวงของโครงการร้อยละ 80
- 3) การใช้สารสกัดลำไยล้นตลาดความเข้มข้นสูงสำหรับการผลิตเอทานอลด้วยถังหมักต่อเนื่องแบบอนุกรมและเซลล์รวมเพื่อผลิตฟีนิลแอซีติลคาร์บิโนลด้วยระบบไบโอทรานส์ฟอร์มเมชันพร้อมหน่วยคัดแยกเซลล์ และหมุนเวียนใช้ตัวทำละลายอินทรีย์. 2556. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน. ความสำเร็จจุลวงของโครงการร้อยละ 30
- 4) การศึกษาวิจัยต่อยอดการใช้ประโยชน์สายการผลิตน้ำตาลลำไย ภายใต้โครงการการจัดจ้างที่ปรึกษาการเจรจาทางธุรกิจเพื่อให้เกิดการลงทุนในสายการผลิตน้ำตาลลำไย การกำหนดรูปแบบการบริหารจัดการให้เกิดความยั่งยืน และการศึกษาวิจัยต่อยอดการใช้ประโยชน์สายการผลิตน้ำตาลลำไย 2556. แหล่งทุน: อวน. ความสำเร็จจุลวงของโครงการร้อยละ 90
- 5) โครงการการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ปีที่ 3. 2556. แหล่งทุน: โครงการไทยเข้มแข็ง. ความสำเร็จจุลวงของโครงการร้อยละ 60

8. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

1. วารสาร

Wongwat Temiyaputra, Thidarat Suebsanga, Kesinee Yajom, Sirilak Piyaworanon, [Noppol Leksawasdi](#). 2009. Influences of Anthraquinone Extraction Techniques from *Morinda* sp. on Extraction Efficiency. *Kasetsart Journal Natural Sciences* 42: 118 - 126 . ISSN 0075-5192.

พรรณทิวา พุทธาเทพ, ขวัญตา เสมอเชื้อ, รณชัย ปรรณานผล, [นพพล เล็กสวัสดิ์](#). 2552. การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อการผลิตเอทานอล และเซลล์รวมสำหรับกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์มเมชันจากสารผสมระหว่างสารสกัดจากลำไยอบแห้งกับกากน้ำตาลในสภาวะตั้งนิ่ง. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ 1: 1-16.

วรยุทธ์ เนติกันต์, [นพพล เล็กสวัสดิ์](#). 2552. การผลิตเอทานอลและ *R*-phenylacetylcarbinol จากสารผสมระหว่างกากของแข็งที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง และ

กากน้ำตาล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 28(1): - . (อยู่ระหว่างการจัดพิมพ์)

Mallika Boonmee, [Noppol Leksawasdi](#), Wallace Bridge, Peter L. Rogers. 2007. Electrodialysis for lactate removal in the production of the dairy starter culture *Lactococcus lactis* NZ133. International Journal of Food Science & Technology 42(5): 567-572, DOI:10.1111/j.1365-2621.2006.01276.x.

[Noppol Leksawasdi](#), Bettina Rosche, Peter L. Rogers. 2005. Mathematical model for kinetics of enzymatic conversion of benzaldehyde and pyruvate to (R)-phenylacetylcarbinol. Biochemical Engineering Journal (23): 211-220, ISSN: 1369-703X, DOI: 10.1016/j.bej.2004.11.001.

[Noppol Leksawasdi](#), Peter L. Rogers, Bettina Rosche. 2005. Improved Enzymatic Two-Phase Biotransformation for (R)-phenylacetylcarbinol: Effect of Dipropylene Glycol and Modes of pH Control. Biocatalysis and Biotransformation (23): 445-451, ISSN: 1024-2422, DOI: 10.1080/10242420500444135.

[Noppol Leksawasdi](#), Yvonne Y.S. Chow, Michael Breuer, Bernhard Hauer, Bettina Rosche, Peter L. Rogers. 2004. Kinetic analysis and modelling of enzymatic (R)-phenylacetylcarbinol batch biotransformation process. Journal of Biotechnology (111): 179-189, ISSN: 0168-1656, DOI:10.1016/j.jbiotec.2004.04.001

Mallika Boonmee, [Noppol Leksawasdi](#), Wallace Bridge, Peter L. Rogers. 2003. Batch and continuous culture of *Lactococcus lactis* NZ133: experimental data and model development . Biochemical Engineering Journal (14): 127-135, ISSN: 1369-703X, DOI: 10.1016/S1369-703X(02)00171-7.

[Noppol Leksawasdi](#), Michael Breuer, Bernhard Hauer, Bettina Rosche, Peter L. Rogers. 2003. Kinetics of pyruvate decarboxylase deactivation by benzaldehyde. Biocatalysis and Biotransformation (21): 315-320, ISSN: 1024-2422, DOI: 10.1080/10242420310001630164.

Waranyoo Pulsawat, [Noppol Leksawasdi](#), Peter L. Rogers, John L. R. Foster. 2003. Anions effects on biosorption of Mn(II) by extracellular polymeric substance (EPS) from *Rhizobium etli*. Biotechnology Letters (25): 1267-1270, ISSN: 0141-5492, DOI: 10.1023/A: 1025083116343.

Bettina Rosche, [Noppol Leksawasdi](#), Vanessa Sandford, Michael Breuer, Bernhard Hauer, Peter L. Rogers. 2002. Enzymatic (R)-phenylacetylcarbinol production in

benzaldehyde emulsions. *Applied Microbiology and Biotechnology* (60): 94-100, ISSN: 0175-7598, DOI: 10.1007/s00253-002-1084-7.

Noppol Leksawasdi, Eva L. Joachimsthal, Peter L. Rogers. 2001. Mathematical modeling of ethanol production from glucose/xylose mixtures by recombinant *Zymomonas mobilis*. *Biotechnology Letters* (23): 1087-1093, ISSN: 0141-5492, DOI: 10.1023/A: 1010599530577.

2. บทความทางวิชาการ

นพพล เล็กสวัสดิ์. 2552. การเสริมสร้างความมั่นคงทางอาหารด้วยเชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นที่สอง. สารสนัปรสิทธศนัอุตสาหกรรณเกษตร มหาวิททยาลัยเชียงใหม 1(1, พฤษภาคม): 1-2.

นพพล เล็กสวัสดิ์. 2552. โครงการจัตประชมวิทการเชื้อเพลิงชีวภาพจากเศษเหลือทังทางกรเกษตร และอุตสาหกรรณเกษตร: ความคืบหน้าครั้งที่ 1. สารสนัปรสิทธศนัอุตสาหกรรณเกษตร มหาวิททยาลัยเชียงใหม 1(3, กรกฎาคม): 1-2.

นพพล เล็กสวัสดิ์. 2552. ทิศทางกรพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ. สารสนัปรสิทธศนัอุตสาหกรรณเกษตร มหาวิททยาลัยเชียงใหม 1(2, มิถุนายน): 1-2.

3. การประชมวิทการนานาชาติ

Prasit Sirichipchaiyan, **Noppol Leksawasdi**. 2006. Country Paper (Thailand) on the Intellectual Property Rights, Symposium on Intellectual Property Rights and Its Implications for Developing Countries, 26 - 29 September 2006, Indian International Centre, New Delhi, India, Oral Presentation.

Noppol Leksawasdi, Bettina Rosche, Peter L. Rogers. 2005. Enzymatic Processes for Fine Chemicals and Pharmaceuticals: An Optimal Strategy for *R*-phenylacetylcarbinol Production, Proceedings of the 4th Asian Pacific Chemical Reaction Engineering Symposium (APCRE '05), 12 - 15 June 2005, Gyeongju, Korea, Oral Presentation.

Noppol Leksawasdi, Michael Breuer, Bernhard Hauer, Peter L. Rogers, Bettina Rosche. 2004. Strategy of enhancing *Rhizopus javanicus* PDC production and investigation of its deactivation kinetic, Fermentation and Bioprocessing Conference, 5 - 6 July 2004, UQ Centre University of Queensland, Brisbane, Australia, Poster Presentation Number 18, Page 52-52, ISBN 0 646 43707 0.

- Bettina Rosche, Vanessa Sandford, [Noppol Leksawasdi](#), Allen Chen, Gernalia Satianegara, Cindy Gunawan, Michael Breuer, Bernhard Hauer, Peter L. Rogers. 2003. Bioprocess development for ephedrine production, 6th International Symposium on Biocatalysis and Biotransformations BIOTRANS 2003, 28 June 2003 - 3 July 2003, Palacky University, Olomouc, Czech Republic, Poster Presentation, Page 244-244, ISSN: 0009-2770.
- [Noppol Leksawasdi](#), Caleb K. Cheung, Malcolm Noble, Pauline M. Doran. 2003. Application of EXCEL and Visual Basic in the design and control of a dynamic bioreactor air feeding system, Fermentation and Bioprocessing Conference: Ideas into products, 14 - 15 April 2003, The Garvan Institute for Medical Research, Sydney, Australia, Poster Presentation, Page 54-54, ISBN 0 7334 2023 0.
- [Noppol Leksawasdi](#), Michael Breuer, Bernhard Hauer, Bettina Rosche, Peter L. Rogers. 2003. Model development of pyruvate decarboxylase deactivation kinetics by benzaldehyde, School of Biotechnology and Biomolecular Sciences Second Annual Symposium, 7 November 2003, Swiss Grand Hotel, Sydney, Australia, Poster Presentation P-22, ISBN 0 7334 1581 4.
- [Noppol Leksawasdi](#), Michael Breuer, Bernhard Hauer, Peter L. Rogers, Bettina Rosche. 2003. Prediction of *R*-PAC batch biotransformation with mathematical model, Fermentation and Bioprocessing Conference: Ideas into products, 14 - 15 April 2003, The Garvan Institute for Medical Research, Sydney, Australia, Page 34-34, ISBN 0 7334 2023 0.
- Waranyoo Pulsawat, [Noppol Leksawasdi](#), Peter L. Rogers, John L. R. Foster. 2003. Anions effects on biosorption of manganese by EPS from *Rhizobium etli* M4, BioThailand 2003: Technology for Life, 17 - 20 July 2003, Pattaya Exhibition and Convention Hall, Pattaya, Thailand, Poster Presentation P-ENV-10, Page 307-307, ISBN not available.
- [Noppol Leksawasdi](#), Bettina Rosche, Peter L. Rogers. 2002. Mathematical model development of *R*-PAC biotransformation in benzaldehyde emulsions, School of Biotechnology and Biomolecular Sciences First Annual Symposium, 8 November 2002, Swiss Grand Hotel, Sydney, Australia, Oral Presentation III-2, ISBN: 0 7334 1581 4.

Chaleeda Borompichaichartkul, Grainne Moran, George Srzednicki, Robert Driscoll, [Noppol Leksawasdi](#), Graham Ball. 2001. Studies of physical state of water in frozen china maize (Huangmo 417) using NMR technique-deuterium relaxation and DSC, Quality management and market access: Proceedings of the 20th ASEAN/2nd APEC, seminar on postharvest technology, 11 - 14 September 2001, Lotus Hotel Pang Suan Kaew, Chiang Mai, Thailand, Page 215-220, ISBN: 974 436 249 9.

[Noppol Leksawasdi](#), Eva L. Joachimsthal, Peter L. Rogers. 2001. Model development for ethanol production by recombinant *Zymomonas mobilis* ZM4 (pZB5), 23rd Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals, 6 - 9 May 2001, Colorado, United State, Poster 2-87, NREL/CP-580-30100.

4. การประชุมวิชาการระดับชาติ (ภาษาอังกฤษ)

Amalia S. Agustina, Phantiwa Poodtatep, Khwanta Smerchuar, Poonsiri Phrathong, Utoomporn Apiwongngam, Kitiya Laewongnin, Peerawat Jaiwunglok, Krit Sittivangkul, Ronachai Pratanaphon, Chartchai Khanongnuch, [Noppol Leksawasdi](#). 2009. Screening of cultivated whole cells in dried longan extract for the biphasic biotransformation of *R*-phenylacetylcarbinol. 11th Agro-Industrial Conference: Food Innovation Asia Conference 2009. BITEC, BangNa, 18-19 June 2009.

Taweyot Kunyotying, [Noppol Leksawasdi](#). 2009. Anthraquinone Extraction from *Morinda* sp. Root Powder in Steam Pressurized Condition. The 47th Kasetsart University Annual Conference, 17 - 20 March 2009, 50th Year Building, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, Poster Presentation Number Agro19/P352, Book 8 (Subject: Agro-Industry) Page 275 - 282, Full Paper in CD & Proceeding Book 8, ISBN 978-974-660-362-1.

Wongwat Temiyaputra, Thidarat Suebsanga, Kesinee Yajom, Sirilak Piyaworanon, [Noppol Leksawasdi](#). 2008. Influences of Anthraquinone Extraction Techniques from *Morinda* sp. on Extraction Efficiency, The 46th Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart University celebrates His Majesty's 80th birthday and 80 years of peace and prosperity in the Kingdom, 29 January - 1 February 2008, 50th Year Building, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, Poster Presentation

Number Agro13/P31, Book 7 (Subject: Agro-Industry) Page 171-182, Full Paper in CD & Proceeding Book 7, No ISBN Available.

Aekarak Samranthin, [Noppol Leksawasdi](#). 2006. The Application of Cleaner Technology in The Survey and Preliminary Assessment to Suggest the Alternative Methods for the Minimization of Raw Materials and Energy Losses in Animal Feed Processing Factory, 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, 10-12 October 2006, Queen Sirikit National Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand, Poster Presentation Number G_G0024, Page 263-263, Full paper in CD, ISBN 974-229-963-3.

[Noppol Leksawasdi](#), Peter L. Rogers, Bettina Rosche. 2005. Cost Effective Development of Two-Phase Biotransformation for (*R*)-phenylacetylcarbinol Production, BioThailand 2005: Biotechnology Challenges in the 21st Century, 2 - 3 November 2005, Queen Sirikit National Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand, Poster Presentation Number 29, Page 157-157, ISBN not available.

[Noppol Leksawasdi](#), Michael Breuer, Bernhard Hauer, Bettina Rosche, Peter L. Rogers. 2003. Theoretical and experimental studies in developing rate equations for the enzymatic production of *R*-phenylacetylcarbinol, BioThailand 2003: Technology for Life, 17 - 20 July 2003, Pattaya Exhibition and Convention Hall, Pattaya, Thailand, Poster Presentation P-ENZ-13, Page 210-210, ISBN not available.

5. การประชุมวิชาการระดับชาติ (ภาษาไทย)

Reniga Takhampanya, Kajohndech Rujirapong, [Noppol Leksawasdi](#). 2007. Processing of Bamboo Borer Using the Methods of Frying and Tray Drying, The 45th Kasetsart University Annual Conference, Self-sufficient Agriculture: Projects Initiated by His Majesty the King, 30 January - 2 February 2007, 50th Year Building, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, Poster Presentation Number Agro55/P142, Book 4 (Subject: Agricultural Extension and Home Economics, Subject: Agro-Industry) Page 611-617, Full Paper in CD & Proceeding Book 4, ISBN 978-974-88167-3-8.

Suteekarn Suwanteerangkul, Tanaporn Wongchindarak, [Noppol Leksawasdi](#). 2007. The Development of Mathematical Model & Computer Program in the Prediction of Drying Time for Various Parts of *Morinda* sp., 33rd Congress on Science and Technology of Thailand: Science and Technology for Global Sustainability To

- celebrate the 80th Birthday Anniversary of His Majesty the King, 18-20 October 2007, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, Thailand, Poster Presentation Number F_F0003, Page 249, Full paper in CD, ISBN 978-974-8460-92-5.
- Wongwat Temiyaputra, Thidarat Suebsanga, Kesinee Yajom, Sirilak Piyaworanon, **Noppol Leksawasdi**. 2007. The Comparison of Various Anthraquinone Extraction Methods From *Morinda* sp. Root. Food Innovation Asia 2007: “Q” Food for Good Life, ProPak Asia 2007, BITEC, Bangkok, June 14-15, 2007, Poster Presentation P1-01-CP.
- Aekarak Samranthin, **Noppol Leksawasdi**. 2006. The Application of Cleaner Technology in The Survey and Preliminary Assessment to Suggest the Alternative Methods for the Minimization of Raw Materials and Energy Losses in Animal Feed Processing Factory, 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, 10-12 October 2006, Queen Sirikit National Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand, Poster Presentation Number G_G0024, Page 263-263, Full paper in CD, ISBN 974-229-963-3.
- Sukanya Palakul, Supaporn Fongduang, **Noppol Leksawasdi**. 2006. Production of Alcohol from Dried Longan. The 8th Agro-Industrial Conference: Food Innovation, 15-16 June 2006. Bitec Bangna, Bangkok, THAILAND, Poster Presentation P5-27, ISBN 974-466-154-2.
- Noppol Leksawasdi**. 2005. Application of EXCEL and Visual Basic in the development of mathematical model for various enzymatic reaction, NSTDA Annual Conference 2005, S&T in Thailand: Towards the Molecular Economy, 28 - 30 March 2005, Thai Science Park, Pathoomthani, Thailand, Oral Presentation, p. 284-284, ISBN not available.
- Noppol Leksawasdi**. 2005. Design of Substrates Feeding Profiles in Fed Batch Biotransformation of *R*-phenylacetylcarbinol, Academic Days: Chiang Mai University's Research Way, 8 – 10 December 2005, Chiang Mai Hill Hotel, Chiang Mai, Thailand, Oral Presentation Number BiT01, Page 122, ISBN not available.
- ฐิติพร กันจันวงศ์, ณัฐพงษ์ กาละปิ่น, **นพพล เล็กสวัสดิ์**. 2551. การผลิตเอทานอลและกรดอินทรีย์จากลำไยอบแห้ง. งานนิทรรศการแสดงผลงานพัฒนาเทคโนโลยีทุนปริญญาตรี สกว. ครั้งที่ 6 (IRPUS51 Project Expo), 28 – 30 มีนาคม 2551, รอยัล พารากอน ฮอลล์, ชั้น 5 สยามพารากอน, กรุงเทพฯ. โครงการวิจัย R50D01001.

- พรรณทิพา พุทธาเทพ, ขวัญตา เสมอเชื้อ, **นพพล เล็กสวัสดิ์**. 2551. การประยุกต์ใช้กระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์มเมชันแบบสองเฟสในการผลิต PAC ด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้ลำไยอบแห้งเป็นแหล่งอาหารคาร์บอน. งานนิทรรศการแสดงผลงานพัฒนาเทคโนโลยีทุนปริญญาตรี สกว. ครั้งที่ 6 (IRPUS51 Project Expo), 28 – 30 มีนาคม 2551, รอยัล พารากอน ฮอลล์, ชั้น 5 สยามพารากอน, กรุงเทพฯ. โครงการวิจัย R50D03006.
- พีรวัส ใจวังโลก, กฤษ สิริวิวงศ์กุล, โอภาส ตรีวิศศักดิ์, **นพพล เล็กสวัสดิ์**. 2551. การผลิต R-PAC ด้วยระบบ two-phase biotransformation จากลำไยอบแห้งโดยมีการตรวจติดตามค่า pH ด้วยหัววัดแบบ Ion Sensitive Field Effect Transistor (ISFET). การนำเสนอผลงานในโครงการนำร่องเพื่อผลิตบัณฑิตด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากผู้มีความสามารถพิเศษ ครั้งที่ 2 (YSTP Presentation), 27 มีนาคม 2551, ศูนย์บริหารจัดการเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), กรุงเทพฯ.
- พูนศิริ พระทอง, กิตติยา แลงค์นิน, อุทมพร อภิวงศ์งาม, **นพพล เล็กสวัสดิ์**. 2551. การผลิต R-phenylacetylcarbinol และสารผลิตภัณฑ์ข้างเคียงด้วยลำไยอบแห้งในระบบเบนซาลดีไฮด์อิมัลชัน. งานนิทรรศการแสดงผลงานพัฒนาเทคโนโลยีทุนปริญญาตรี สกว. ครั้งที่ 6 (IRPUS51 Project Expo), 28 – 30 มีนาคม 2551, รอยัล พารากอน ฮอลล์, ชั้น 5 สยามพารากอน, กรุงเทพฯ. โครงการวิจัย R50D03005.
- วงศ์วัฒน์ เตมีบุตร, สิริลักษณ์ ปิยวรรณท์, เกศินี ยะจอม, ธิธาร์ตน์ สืบสง่า, **นพพล เล็กสวัสดิ์**. 2550. การสกัดสารแอนทราควิโนนจากต้นยอด้วยคลอโรฟอร์ม เมทานอล ไดเอทิล อีเทอร์ และวิธีการสกัดแบบอื่นๆ. งานนิทรรศการแสดงผลงานพัฒนาเทคโนโลยีทุนปริญญาตรี สกว. ครั้งที่ 5 (IRPUS50 Project Expo), 20 – 22 เมษายน 2550, รอยัล พารากอน ฮอลล์, ชั้น 5 สยามพารากอน, กรุงเทพฯ. โครงการวิจัย R14913002 หน้า 311.
- สุธิกานต์ สุวรรณธีรางกูร ธนพร วงศ์จินดารักษ์ และ **นพพล เล็กสวัสดิ์**. 2550. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับทำนายเวลาที่ใช้ในการทำแห้งส่วนต่างๆ ของต้นยอ. งานนิทรรศการแสดงผลงานพัฒนาเทคโนโลยีทุนปริญญาตรี สกว. ครั้งที่ 5 (IRPUS50 Project Expo), 20 – 22 เมษายน 2550, รอยัล พารากอน ฮอลล์, ชั้น 5 สยามพารากอน, กรุงเทพฯ. โครงการวิจัย R14913001 หน้า 309.

9. ลิขสิทธิ์

โปรแกรมช่วยกรอกข้อมูล KPI สำหรับหน่วยงานระดับภาควิชาและสำนักงานเลขานุการสังกัดคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เวอร์ชัน 1.0, เลขคำขอ 200009, สัญลักษณ์ ว1.2994 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 09/12/2551.

- โปรแกรมลดขนาดหน่วยความจำภาพในสไลด์พาวเวอร์พอยท์, เลขคำขอ 200011, สัญลักษณ์ ว1.2996 สำนัก
ลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 09/12/2551.
- โปรแกรมสร้างเวปฐานข้อมูลภาพถ่ายการทำกิจกรรมบุคลากร AutoWebGenerator พร้อม User Interface
ปี 2551, เลขคำขอ 200006, สัญลักษณ์ ว1.2991 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สิน
ทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 09/12/2551.
- โปรแกรมสร้างเวปเพจสำหรับรับการตรวจประเมินการประกันคุณภาพการศึกษา คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากสำนักงานประกันคุณภาพการศึกษา กพร สกอ และสมศ, เลขคำขอ
200008, สัญลักษณ์ ว1.2993 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่
รับคำขอ 09/12/2551.
- โปรแกรมหาผลลัพธ์ของค่า Kc ในระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมแบบพหุคูณ (proportional
controller) ในกรณีที่ค่าเวลาคงที่ของเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากับ 0 และ 1, เลขคำขอ 200007,
สัญญลักษณ์ ว1.2992 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ
09/12/2551.
- โปรแกรมหาผลลัพธ์ของค่า Kc และ Tau_I ในระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมแบบพหุคูณ (proportional-
integral controller), เลขคำขอ 200010, สัญลักษณ์ ว1.2995 สำนัก
ลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 09/12/2551.
- โปรแกรมตรวจสอบค่าลำดับชั้นสะสมเฉลี่ยของวิชาเอก และค่าลำดับชั้นสะสมเฉลี่ยทั้งหมด สำหรับนักศึกษา
ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เลขคำขอ
167044, สัญลักษณ์ ว1.2563 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่
รับคำขอ 9/8/2550.
- โปรแกรมสร้างเวปฐานข้อมูลงานวิจัยของบุคลากร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เลขคำขอ
167043, สัญลักษณ์ ว1.2562 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่
รับคำขอ 9/8/2550.
- โปรแกรมสร้างเวปฐานข้อมูลภาพถ่ายการทำกิจกรรม ของบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เลขคำขอ 167042, สัญลักษณ์ ว1.2561 สำนักลิขสิทธิ์
ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 9/8/2550.
- โปรแกรมพลศาสตร์กระบวนการอันดับที่สอง: ถังปล่อยน้ำออกจากแรงโน้มถ่วงแบบมีปฏิสัมพันธ์ใน
ทิศทางเดียว (non-interacting tanks), เลขคำขอ 167041, สัญลักษณ์ ว1.2560 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วน
จัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 9/8/2550.
- โปรแกรมพลศาสตร์กระบวนการอันดับที่สอง: เส้นแนวโน้มของเรสปอนซ์ที่สัมพันธ์กับค่าเกน ขนาดของดิสเท
อร์เบ้นซ์ ค่าเวลาคงที่ และพารามิเตอร์เซต, เลขคำขอ 167040, สัญลักษณ์ ว1.2559 สำนักลิขสิทธิ์
ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 9/8/2550.

โปรแกรมพลศาสตร์กระบวนการอันดับหนึ่ง: ถังปล่อยน้ำออกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, เลขคำขอ 140012, สัญลักษณ์ ว1.2281 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 22/9/2549.

โปรแกรมพลศาสตร์กระบวนการอันดับหนึ่ง: ถังผสม, เลขคำขอ 140013, สัญลักษณ์ ว1.2282 สำนัก-ลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 22/9/2549.

โปรแกรมพลศาสตร์กระบวนการอันดับหนึ่ง: เทอร์โมมิเตอร์, เลขคำขอ 140011, สัญลักษณ์ ว1.2280 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 22/9/2549.

โปรแกรมพลศาสตร์กระบวนการอันดับหนึ่ง: แผ่นงานบันทึกเวลาอัตโนมัติสำหรับการทดลองทางจลนพลศาสตร์, เลขคำขอ 140010, สัญลักษณ์ ว1.2279 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 22/9/2549.

โปรแกรมพลศาสตร์กระบวนการอันดับหนึ่ง: เส้นแนวโน้มของเรสพอนซ์ที่สัมพันธ์กับค่าเกน, ขนาดของดิสทอร์เบ้นซ์และค่าเวลาคงที่, เลขคำขอ 140009, สัญลักษณ์ ว1.2278 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 22/9/2549.

โปรแกรมสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกลไกปฏิกิริยาเคมีหลายรูปแบบ ที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา, เลขคำขอ 99426, สัญลักษณ์ ว1.1766 สำนักลิขสิทธิ์ ส่วนจัดการงานลิขสิทธิ์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา, วันที่รับคำขอ 12/5/2548.

10. ประสบการณ์การทำงาน

2547 – ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
2548 – 2552	ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิจัยและวิเทศสัมพันธ์
2552 – 2554	รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2554 – ปัจจุบัน	หัวหน้าสำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ประวัติผู้วิจัย

นางสาวอัจฉรา เทียมภักดี

1. ชื่อ-สกุล (ไทย) นางสาวอัจฉรา เทียมภักดี
ชื่อ-สกุล (อังกฤษ) Miss Autchara Tiampakdee
2. หมายเลขบัตรประชาชน 3570501337385
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ข้าราชการทบวงมหาวิทยาลัย ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ 8
4. หน่วยงาน สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่ 155 หมู่ที่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100
โทรศัพท์ 053-948248, 089-8506-844
โทรสาร 053-948244
E-mail autchara@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2536)
ปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2549)
6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ
 - 6.1 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
 - 6.2 สาขาเคมีวิเคราะห์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
 - 7.1 ผู้อำนวยการแผนวิจัย ไม่มี
 - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย
 - 7.2.1 โครงการการพัฒนาการผลิตชาเขียวด้วยวิธีอบแห้งแบบอินฟราเรดภายใต้สภาวะสุญญากาศและป้อนความร้อน เพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี. 2556. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน.
 - 7.2.2 โครงการบะหมี่เสริมโปรตีนจากแป้งถั่วเหลือง. 2548. แหล่งทุน: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. งบประมาณแผ่นดิน.

7.3 งานวิจัยที่สำเร็จแล้ว

- 7.3.1 โครงการเนยแข็งจากนมถั่วเหลืองทางเลือกใหม่ของอาหารมังสวิรัติ. 2545. แหล่งทุน: วช.
- 7.3.2 โครงการคุณค่าทางอาหารและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เนยแข็งจากถั่วเหลือง. 2544. แหล่งทุน: สวทช.
- 7.3.3 โครงการการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาลำไยสดเพื่อแปรรูปเป็นลำไยแห้งในเชิงพาณิชย์. 2543. แหล่งทุน: สกว.
- 7.3.4 การทดสอบการใช้เพกตินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสในการผลิตแยม. 2541. แหล่งทุน: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- 7.3.5 โครงการบะหมี่เสริมโปรตีนจากแป้งถั่วเหลือง. 2548. แหล่งทุน: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. งบประมาณแผ่นดิน.
- 7.3.6 โครงการน้ำพริกหนุ่มแช่เยือกแข็งคุณภาพสูงและซอสพริกจากพริกตกเกรดสำหรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี. 2550. แหล่งทุน: วช.
- 7.3.7 โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีนวัตกรรมของผลิตภัณฑ์ลำไย. 2550. แหล่งทุน: วช.
- 7.3.8 โครงการการพัฒนาการผลิตชาเขียวด้วยวิธีอบแห้งแบบอินฟราเรดภายใต้สภาวะสุญญากาศและป้อนความร้อน เพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี. 2556. แหล่งทุน: วช. งบประมาณแผ่นดิน.

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ ไม่มี

8. ประสบการณ์การทำงาน

- 2536 - 2538 บริษัททูปิงค์แดรี่โปรดักส์ จำกัด ตำแหน่ง Supervisor ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
- 2538 - ปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ประวัติผู้วิจัย

ดร.สรรญา เขียนาวางวงศ์

1. ชื่อ-สกุล (ไทย) นางสาวสรรญา เขียนาวางวงศ์
ชื่อ-สกุล (อังกฤษ) Miss Sorraya Khiewnavawongsa
2. หมายเลขบัตรประชาชน 3100700026197
3. ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัยตำแหน่งอาจารย์
4. หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่ 155 หมู่ที่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100
โทรศัพท์ 053-948296, 083-981-2322
โทรสาร 053-948238
E-mail ksorraya@gmail.com
5. ประวัติการศึกษา
B.Eng. (Chemical Engineering) King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand (1998)
M.Eng. (Decision Sciences and Engineering Systems) Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York (2001)
M.S. (Industrial Technology) Purdue University, West Lafayette, IN, USA (2004)
Ph.D. (Industrial Technology) Purdue University, West Lafayette, IN, USA (2011)
6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ
 - 6.1) สาขาวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม
 - 6.2) สาขาห่วงโซ่อุปทาน

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย ไม่มี

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย ไม่มี

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- 1) การเพิ่มมูลค่าผลิตผลพืชผัก และผลไม้เศรษฐกิจเพื่อพัฒนาการเกษตรบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน ปีที่ 2: ระยะที่ 4

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ

- 1) การศึกษาห่วงโซ่อุปทานของมะม่วงมหาชนก

8. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ผลงานวิจัยทั้งหมดที่ผ่านมา)

8.1 วารสาร

Davis, J., Schmidt, E., Khiewnavawongsa, S., & Scott, R. (June, 2009). "Developing a Manufacturing Cost-of-Ownership Algorithm for Comparing Goods from Traditional Suppliers to Vendor Management." Presented at Association of Engineering Education Conference. Austin, TX.

8.2 บทความทางวิชาการ

Khiewnavawongsa, S., & Schmidt E. (2010). An essay of green supply chain management in the electronics industry. *Review of The Electronics and Industrial Distribution Industries*. 8(1). 13–30.

8.3 การประชุมวิชาการนานาชาติ

Khiewnavawongsa, S., & Schmidt, E. (March, 2011). "Gulf's Oil Spill Effect on the Environment and the Supply Chain." Presented at Federation of Business Disciplines Conference. Houston, TX.

Schmidt, E., Newton, K., & Khiewnavawongsa, S. (October, 2010). "Learning Retention Comparison for Distance Course to On-Campus Students." Presented at the 2010 ATMAE Annual Conference. Panama City, FL.

Schmidt, E., Khiewnavawongsa, S., & Newton K. (January, 2010). "Assessment Distance Readiness in Adult Learners: Comparison of Non-traditional Undergraduate to Part-time Graduate Students." Presented at Hawaii International Conference on Education. Honolulu, HI.

- Tudor D., Schmidt, E., & Khiewnavawongsa, S. (January, 2010). "Skills and Success – Comparison of Secondary Student Success with Undergraduate Student Success." Presented at Hawaii International Conference on Education. Honolulu, HI.
- Khiewnavawongsa, S., & Schmidt, E. (June, 2009). "Assessment of the Mentoring Relationship between the Faculty and Graduate Students at Purdue University." Will present at Association of Engineering Education Conference. Austin, TX.
- Khiewnavawongsa, S., Leong, R., & Schmidt, E. (June, 2007). "RealTime Learning in a Distant Course." Submitted at Association of Engineering Education Conference. Honolulu, HI.
- Khiewnavawongsa, S., Newton, K., Schmidt, E., & Green, P. (June, 2007). "Measuring Customer Perceptions: A Follow-Up Collaborative Project Conducted by Students for a Midwest Trucking Company." Submitted at Association of Engineering Education Conference. Honolulu, HI.
- Khiewnavawongsa, S., Leong, R., & Schmidt, E. (June, 2006). "Learning Through Macromedia Breeze." Presented at Association of Engineering Education Conference. Chicago, IL.
- Khiewnavawongsa, S., Schmidt, E. & Newton, K. (June, 2006). "Development and Trend of Curriculum in Industrial Distribution." Presented at Association of Engineering Education Conference. Chicago, IL.
- Newton, K., Khiewnavawongsa, S., & Nashine, R. (June, 2006). "Measuring Customer Perceptions: A Collaborative Project Conducted by Students for a Midwest Trucking Company." Presented at Association of Engineering Education Conference. Chicago, IL.
- Khiewnavawongsa, S. & Schmidt, E. (March, 2005). "Evaluation of Supply Chain Safety Stock Policies." Submitted at Federation of Business Disciplines Conference. Dallas, TX.
- Khiewnavawongsa, S., Schmidt, E., & Newton, K. (March, 2005). "Mathematical Model Validation for Warehouse Sizing Problem." Presented at Federation of Business Disciplines Conference. Orlando, FL.

4. การประชุมวิชาการระดับชาติ

9. ประสบการณ์การทำงาน

2554 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่