



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตมังคุดอบแห้งโดยใช้การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

Process Development of Dried Mangosteen by using Microwave Vacuum Drying

นามผู้วิจัย นางสาวธีรดา วิศาลรักษ์กิจ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิสิฐ ธรรมวิถี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาระบวนการผลิตมังคุดอบแห้งโดยใช้การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

Process Development of Dried Mangosteen by using Microwave Vacuum Drying

โดย

นางสาวธีรดา วิศาลรักษกิจ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. ๒๕๕๕

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธีรดา วิศาลรักษ์กิจ 2555: การพัฒนากระบวนการผลิตมังคุดอบแห้งโดยใช้การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D. 152 หน้า

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการอบแห้งมังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ ก่อนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ มังคุด (มีเมล็ดและไม่มีเมล็ด) แบ่งเป็น 2 ส่วน (ไม่ผ่านและผ่านออสโมติกดีไฮเดรชัน) และแช่แข็งจนผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ในส่วนที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันใช้การแช่ในสารละลายซูโครส (อัตราส่วน 65 กรัม/100 กรัม) ที่อุณหภูมิ 40±2 องศาเซลเซียส การออสโมติกดีไฮเดรชันก่อนการอบแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคทีวิตี สี เนื้อสัมผัส ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคทีวิตี และปริมาณกรดทั้งหมดของตัวอย่างมังคุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดลดลง ในขณะที่ค่าความสว่างและความแข็งเพิ่มขึ้น 62.59 – 75.04 และ 37.89 – 73.28 นิวตัน ตามลำดับ นอกจากนี้การออสโมติกดีไฮเดรชันสามารถลดเวลาการอบแห้งได้ร้อยละ 40-70 ขึ้นกับระดับกำลังไมโครเวฟ การเพิ่มกำลังไมโครเวฟจาก 1200 วัตต์ เป็น 1680 วัตต์ เพิ่มค่าคงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้ง ทำให้เวลาในการอบแห้งลดลงร้อยละ 30-40 จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีโครงสร้างรูพรุนละเอียด ทำให้ความสามารถในการกักตัวสูงขึ้น ($P \leq 0.05$) สำหรับการทดสอบด้านประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน พบว่าความชอบโดยรวมของมังคุดอบแห้งอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง จากแผนภาพความชอบพบว่า การเพิ่มคะแนนความชอบโดยรวมของมังคุดอบแห้ง (ไม่มีเมล็ดและมีเมล็ด) สามารถทำได้โดยลดค่าวอเตอร์แอคทีวิตี ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แต่เพิ่มความแข็ง ระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นของมังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันเพิ่มขึ้นจนเกินมาตรฐานของผลไม้อบแห้งที่สัปดาห์ที่ 3 และ 4 ในขณะที่การออสโมติกดีไฮเดรชันก่อนการอบแห้ง สามารถเพิ่มค่าพลังงานกระตุ้นของการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคทีวิตี และค่าความแข็ง ดังนั้นคุณภาพของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันสามารถเก็บที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ได้อย่างน้อย 8 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง มังคุดมีเมล็ดอบแห้งมีพลังงานกระตุ้นของการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณความชื้น และค่าความแข็งที่ต่ำกว่า เป็นผลให้การเก็บที่ 25 และ 35 องศาเซลเซียส สามารถรักษาคุณภาพได้เพียง 4 สัปดาห์ จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าร้อยละ 88.64 ยอมรับในผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ขณะเดียวกันการยอมรับในผลิตภัณฑ์มังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันอยู่ที่ร้อยละ 80.68

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Teerada Visalakkij 2012: Process Development of Dried Mangosteen by using Microwave Vacuum Drying. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Nantawan Therdthai, Ph.D. 152 pages.

The study was subjected to microwave vacuum drying of mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.) with and without osmotic dehydration. Prior to the microwave vacuum drying, mangosteen (containing seed and seedless parts) was divided into 2 parts (without and with osmotic dehydration) and then frozen until the product temperature reached -18°C. The osmotic dehydration was carried out in sucrose solution (65 g/100g w/w) at 40±2°C. The osmotic dehydration prior to drying affected moisture content, water activity, colour, texture, reducing sugar, total sugar and total acidity significantly ($P \leq 0.05$). With osmotic dehydration, moisture content, water activity and total acidity of seedless and containing seed samples were decreased, but L*- value and hardness were increased to 62.59 - 75.04 and 37.89 – 73.28 N, respectively. In addition, osmotic dehydration could reduce drying time by 40 – 70 % depending on microwave power. An increase in the microwave power from 1200 W to 1680 W enhanced drying kinetic rate constant of moisture ratio; as a result, drying time could be reduced to by 30 - 40 %. Scanning electron micrograph indicated that samples with osmotic dehydration had fine and porous structure, thereby their rehydration ability was improved ($P \leq 0.05$). From sensory evaluation using 30 untrained panelists, overall liking scores of all dried mangosteen were in the range of slightly like and moderately like. Based on preference mapping, overall liking score could be increased by decreasing water activity, moisture content and total acidity, but increasing hardness, regardless of parts of mangosteen (containing seed or seedless). During storage in aluminium foil bag at 4, 25 and 35 °C, moisture content of the dried mangosteen without osmotic dehydration was increased to over the quality standard limit of the dried fruit at the 3rd and 4th week. Osmotic dehydration before drying increased activated energy (Ea) of changes in moisture content, water activity and texture. Therefore, quality of the dried seedless mangosteen kept at 4, 25 and 35 °C could be maintained at least 8 weeks. Comparing to the dried seedless mangosteen, the dried mangosteen containing seed had lower Ea of changes in moisture content and texture. Thus, its quality (stored at 25 and 35 °C) could be only maintained for 4 weeks. From consumer test, the acceptability of the dried seedless mangosteen with osmotic dehydration was 88.64 %, while the acceptability of the dried mangosteen containing seed with osmotic dehydration was 80.68 %.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.นันทวัน เทอดไทย ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ และผศ.ดร.พิสิฐฐ์ ธรรมวิธิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษา
คำแนะนำ ความอนุเคราะห์ในทุกด้าน ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้อง
สมบูรณ์ขอกราบขอบพระคุณประธานการสอบ และผู้ทรงคุณวุฒิที่ช่วยแนะนำ และแก้ไขเพื่อให้
วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้ทุนบัณฑิต หัวข้อ
การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ
ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้
และอบรมสั่งสอนในเรื่องต่างๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่คอยอำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ใน
การทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนเพื่อน พี่ และน้องนิสิตปริญญาตรี นิสิตปริญญาโทและนิสิตปริญญา
เอกทุกท่านที่ช่วยเหลือเป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณย่า พี่ชาย น้องสาว และญาติพี่น้อง ที่ให้
การสนับสนุน ความห่วงใย ความช่วยเหลือ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จ
การศึกษา ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แก่ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุก
ท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยและขอน้อมรับไว้แต่เพียง
ผู้เดียว

ธีรดา วิสาธรักษ์กิจ

มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	105
สรุป	105
ข้อเสนอแนะ	107
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	108
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก ระดับสีของมังคุดสด	119
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	121
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	123
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์	130
ภาคผนวก จ แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	133
ภาคผนวก ฉ แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค	135
ภาคผนวก ช การวัดค่าไดออกไซด์ทริก	140
ภาคผนวก ซ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มผช. 136/2550)	142
ภาคผนวก ฌ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง (มอก. 919-2532)	146
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	152

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมังคุดสดในปี 2551-2553	5
2	คุณค่าทางโภชนาการของมังคุดต่อน้ำหนัก 100 กรัม	6
3	ค่า Dielectric constant (ϵ') และค่า Dielectric loss factor (ϵ'') ของแต่ละประเภทที่ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต	18
4	สิ่งทดลองของเนื้อมังคุดที่ไม่ได้ผ่านเทคนิคการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD	37
5	สิ่งทดลองของเนื้อมังคุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันในการ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD	38
6	คุณภาพมังคุดสด	47
7	ค่าสมบัติไดอิเล็กทริกของมังคุดไม่มีเมล็ดที่ไม่ผ่านและผ่านการ ออสโมติกดีไฮเดรชัน	48
8	ค่าสมบัติไดอิเล็กทริกของมังคุดมีเมล็ดที่ไม่ผ่านและผ่านการ ออสโมติกดีไฮเดรชัน	49
9	ประสิทธิภาพของแบบจำลอง Lewis และ Page model	54
10	พารามิเตอร์ของแบบจำลอง Lewis และ Page model	55
11	ความแข็งและวอเตอร์แอคติวิตีของมังคุดอบแห้งที่ผ่านและ ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน	61
12	ปริมาณกรดทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดหลังการอบแห้ง ของมังคุดไม่มีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน	63
13	ปริมาณกรดทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดหลังการอบแห้ง ของมังคุดมีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน	64

ตารางที่		หน้า
14	ความสามารถในการคืนตัวของมังกุดไม่มีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	67
15	ความสามารถในการคืนตัวของมังกุดมีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	68
16	คุณภาพของมังกุดอบแห้งที่คัดเลือก	74
17	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	77
18	การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	78
19	การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	84
20	การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของมังกุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	85
21	การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	88
22	การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของมังกุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	89
23	ค่าคงที่อัตรา พลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียสของการเปลี่ยนแปลงมังกุดที่ไม่ผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	92
24	ค่าคงที่อัตรา พลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียสของการเปลี่ยนแปลงมังกุดที่ผ่านการออสมอติกดีไฮเดรชัน	93
25	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของมังกุดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

(4)

ตารางที่		หน้า
26	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดคอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	96
27	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดคอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	97
28	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดคอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	98
29	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดมีเมล็ดคอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	99
30	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดมีเมล็ดคอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	100
31	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดมีเมล็ดคอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	101
32	ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค	103
33	คะแนนความชอบเฉลี่ยต่อผลิตภัณฑ์มังคุด ไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดคอบแห้ง	104
34	การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดคอบแห้ง	104

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างทั่วไปของแซนโทน	8
2	โครงสร้างทั่วไปของสารกลุ่มแซนโทน	9
3	การแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างเนื้อเยื่อของวัตถุคืบกับ สารละลายออสโมติกระหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชัน	11
4	การเตรียมมั่งคุดแช่แข็งโดยไม่ใช้เทคนิคการออสโมติกดีไฮเดรชัน	34
5	ขั้นตอนการเตรียมมั่งคุดแช่แข็งโดยใช้เทคนิคการออสโมติกดีไฮเดรชัน	35
6	แผนการทดลองของการอบแห้งมั่งคุด	45
7	การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งมั่งคุดด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ	51
8	อัตราการอบแห้งระหว่างการอบแห้งมั่งคุดด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ	52
9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายกับค่าคลาดเคลื่อนระหว่าง ค่าจริงกับค่าทำนาย	56
10	สีของมั่งคุดอบแห้งไม่มีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการ การออสโมติกดีไฮเดรชัน	57
11	โครงสร้างภายในของมั่งคุดหลังอบแห้งโดยการส่องกล้อง SEM (Scanning Electron Microscope)	59
12	คะแนนความชอบของมั่งคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการ ออสโมติกดีไฮเดรชัน	69
13	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์มั่งคุดอบแห้ง	71
14	มั่งคุดอบแห้ง	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียสของมังคุดบอแห้ง	79
16	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	81
17	การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	82
18	การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	83
19	การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทิวิตีระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	86
20	การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	91
ภาคผนวกที่		
ฉ1	เครื่อง Network Analyzer พร้อมหัววัด แบบ open ended coaxial probe	141

การพัฒนากระบวนการผลิตมังคุดอบแห้งโดยใช้การอบแห้ง แบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ

Process Development of Dried Mangosteen by using Microwave Vacuum Drying

คำนำ

มังคุดเป็นผลไม้ที่ได้รับการยกย่องว่าเป็น ราชนิแห่งผลไม้เมืองร้อน เป็นที่นิยมบริโภคของผู้บริโภคทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีลักษณะรูปทรงและสีส้มของผลสวยงาม แปลกตา ชวนให้รับประทาน มังคุดเป็นหนึ่งในผลไม้ที่สร้างชื่อเสียงให้แก่ประเทศไทย และเป็นผลไม้เป้าหมายชนิดหนึ่ง ที่ไทยต้องการขยายการส่งออก เพื่อสร้างรายได้เข้าประเทศ ปัจจุบันได้มีการนำมังคุดมาแปรรูปในรูปน้ำมังคุดและมังคุดอบแห้ง

การอบสโมกติกดีไฮเดรชันเป็นการแปรรูปอาหารชนิดหนึ่งที่สามารถลดปริมาณน้ำในวัตถุดิบและนิยมใช้กับผลไม้ เพื่อชะลอการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามผลไม้ที่ผ่านการอบสโมกติกดีไฮเดรชันสามารถลดปริมาณน้ำลงได้เพียงร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้นหรือมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีประมาณ 0.65 ซึ่งจุลินทรีย์ยังสามารถเจริญได้ (จุฑามาศ, 2542) ดังนั้นจึงนิยมนำผลไม้ที่ผ่านการอบสโมกติกดีไฮเดรชันมาผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนเพื่อลดปริมาณน้ำให้ต่ำลงโดยใช้อุณหภูมิในช่วง 55 ถึง 70 องศาเซลเซียส แต่ข้อเสียของการอบแห้งแบบลมร้อนคือในช่วงท้ายของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งลง ทำให้ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน ซึ่งส่งผลให้คุณภาพโภชนาการลดลง มีลักษณะและสีที่ไม่สวยงาม และใช้เวลาอบแห้งค่อนข้างนาน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) เช่น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟมาใช้ ในการแปรรูปอาหาร

การอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ เป็นกระบวนการอบแห้งที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพที่จะสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์และคุณลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์ให้ดีกว่าการอบแห้งแบบ

ดั้งเดิม (สวิตรา, 2553) ซึ่งการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศนั้นสามารถรักษาค่าทางโภชนาการ และสีไว้ได้ใกล้เคียงกับวัตถุดิบเดิม และใช้ระยะเวลาสั้นในการอบแห้ง

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ จึงมีเป้าหมายที่จะพัฒนากระบวนการผลิตมั่งคุดอบแห้ง โดยศึกษาการเตรียมวัตถุดิบและกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศเพื่อปรับปรุงคุณภาพของมั่งคุดอบแห้ง ซึ่งคาดว่ามั่งคุดที่ผ่านการเตรียมที่เหมาะสม และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศจะมีเนื้อสัมผัสที่กรอบ เบา และสีที่ใกล้เคียงกับมั่งคุดสด เหมาะสมต่อการบริโภคโดยตรงเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่าง (snack) โดยตลาดอาหารว่างมีอัตราการเติบโตและแข่งขันสูง จึงต้องการการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มความหลากหลาย และการปรับปรุงคุณภาพ โครงการวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการศึกษาการเพิ่มมูลค่าให้กับผลไม้ไทย โดยเฉพาะผลไม้ที่เป็นเอกลักษณ์ของประเทศไทยอย่างมั่งคุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการเตรียมมังกูดก่อนการอบแห้งต่อสมบัติไดอิเล็กทริก และลักษณะการอบแห้ง
2. เพื่อศึกษาผลของการเตรียมมังกูดก่อนการอบแห้งต่อคุณภาพของมังกูดอบแห้ง
3. เพื่อศึกษาคุณภาพของมังกูดอบแห้งที่พัฒนาได้
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมังกูดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา
5. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังกูดอบแห้ง

การตรวจเอกสาร

1. มังคุด

มังคุด (Mangosteen) ชื่อวิทยาศาสตร์: *Garcinia mangostana* Linn. เป็นพันธุ์ไม้ไม่ผลัดใบเขตร้อนชนิดหนึ่ง เชื่อกันว่ามีถิ่นกำเนิดอยู่ที่หมู่เกาะซุนดาและหมู่เกาะโมลุกกะแพร่กระจายพันธุ์ไปสู่หมู่เกาะอินดีสตะวันตกเมื่อราวพุทธศตวรรษที่ 24 แล้วจึงไปสู่ กัวเตมาลา ฮอนดูรัส ปานามา เอกวาดอร์ ไปจนถึงฮาวาย ในประเทศไทยมีการปลูกมังคุดมานานแล้วเช่นกัน เพราะมีกล่าวถึงในพระราชนิพนธ์เรื่อง รามเกียรติ์ในสมัยรัชกาลที่ 1 มังคุดจัดเป็นพืชโบราณ ทำให้ยากในการพัฒนาสายพันธุ์เนื่องจากเกสรตัวผู้ของดอกมังคุดเป็นหมันเมล็ดจึงเจริญจากเนื้อเยื่อของต้นแม่โดยไม่ได้รับการผสมเกสร ปัจจุบันมีเพียงสายพันธุ์เดียว เรียกว่า พันธุ์พื้นเมือง (วันดี, 2541)

มังคุดเป็นไม้ยืนต้น ลำต้นสูง 7 - 25 เมตร ผลแก่เต็มที่มีสีม่วงแดง ข้างสีเหลือง ใบเดี่ยวรูปรี แข็งและเหนียว ผิวใบมัน ดอกออกเป็นคู่ที่ซอกใบใกล้ปลายกิ่ง กลีบเลี้ยงสีเขียวอมเหลืองติดอยู่จนเป็นผล ผลมีเปลือกนอกค่อนข้างแข็ง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 - 6 เซนติเมตร เนื้อในมีสีขาวนวล เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 - 5 เซนติเมตร อาจมีเมล็ดอยู่ในเนื้อผลได้ ขึ้นอยู่กับขนาดและอายุของผล จำนวนกลีบของเนื้อจะเท่ากับจำนวนกลีบดอกที่อยู่ด้านล่างของเปลือกผลมังคุดมีรสชาติดหวานอมเปรี้ยวเหมือนสตรอเบอร์รี่ที่ยังไม่สุกหรือส้มที่มีรสหวาน เมล็ดไม่เป็นที่นิยมในการรับประทาน (นิรนาม, 2541)

แหล่งเพาะปลูกที่สำคัญ อยู่ในแถบ จังหวัด ทางภาคใต้ และภาคตะวันออก โดยเฉพาะ ชุมพร ระนอง จันทบุรี และตราด ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับ พื้นที่เพาะ ปลูกทุเรียน และเงาะ ปัจจุบันเกษตรกรชาวสวนหันมาปลูกมังคุด เพื่อการส่งออกมากขึ้น เนื่องจากตลาดต่างประเทศ มีความต้องการบริโภค มังคุดจำนวนมาก และขายได้ราคาดี ทำให้พื้นที่ปลูกมังคุดเพิ่มขึ้น จากเพียงประมาณ 90,000 ไร่ ในปีเพาะปลูก 2530 - 31 เป็นเกือบ 270,000 ไร่ ในปีเพาะปลูก 2539 - 40 (ธนาคารเพื่อการส่งออกแห่ง ประเทศไทย, 2543)

การส่งออกมังคุดไปตลาดต่างประเทศ มีมูลค่าเพิ่มขึ้นทุกปี (ตารางที่ 1) ทั้งในรูปมังคุดสดแช่เย็น และมังคุดสดแช่แข็ง แต่ส่วนใหญ่เป็นมังคุดสดแช่เย็น เนื่องจากเป็นที่นิยมของผู้บริโภค เพราะมีรสชาติดีกว่ามังคุดสดแช่แข็ง มังคุดที่เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศเป็นมังคุดคุณภาพสูง ผลมีขนาดใหญ่ คือ เกรด A (น้ำหนักผลละ 80 กรัม) จนถึงเกรดพิเศษหรือจัมโบ้ (น้ำหนักผลละ 110 กรัม) ผิวของผลเป็นมัน มีส่วนที่เป็นผิวลาย หรือตกระไม่เกินร้อยละ 5 ของผิวผลทั้งหมด นอกจากนี้เนื้อมังคุดต้องไม่เป็นเนื้อแก้ว และไม่มียางภายในผล (ธนาคารเพื่อการส่งออกแห่งประเทศไทย, 2543)

ตารางที่ 1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมังคุดสดในปี 2551 - 2553

ปี	ปริมาณ (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2551	44,268,607	743,952,726.00
2552	117,987,117	1,879,060,962.00
2553	119,571,737	1,955,828,332.00

ที่มา: กรมการค้าระหว่างประเทศ (2553)

1.1 คุณค่าทางโภชนาการ

เนื้อมังคุดมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะโพแทสเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส นอกจากนี้เนื้อมังคุดประกอบไปด้วยสารอาหารต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของมังคุดต่อน้ำหนัก 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ฟรุคโตส	2.4 g
ซูโครส	10.0 g
กลูโคส	2.2 g
มอลโตส	0.1 g
แลกโตส	<0.1 g
แลกโตส	<0.1 g
pH	3.52
ความชื้น	80.69 g
โปรตีน	0.50 g
Brix	18.8 g
ไฟเบอร์	1.35 g
วิตามินบี 2 (ไรโบเฟลวิน)	<0.08% mg/100g
วิตามินบี 1 (ไทอามิน)	0.08 mg/100g
วิตามิน A (B-carotene)	<50 IU/100g
วิตามิน C	7.2 mg/100g
วิตามิน E	0.6 IU/100g
ไนโตรเจน (TKN)	0.08 g
ฟอสฟอรัส	9.21 mg/100g
โพแทสเซียม	61.6 mg/100g
แคลเซียม	5.49 mg/100g
คอปเปอร์	0.06 mg/100g
เหล็ก	0.17 mg/100g
แมกนีเซียม	13.9 mg/100g

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของมังคุดต่อน้ำหนัก 100 กรัม (ต่อ)

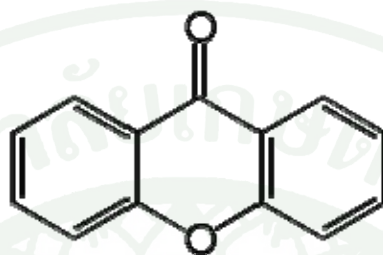
องค์ประกอบ	ปริมาณ
แมงกานีส	0.10 mg/100g
โซเดียม	6.43 mg/100g

ที่มา: Anon (2004)

โพแทสเซียม (K) เป็นแคทไอออนที่พบส่วนใหญ่ในของเหลวภายในเซลล์ (intracellular fluid) เมื่อใดก็ตามที่มีแร่ธาตุที่มีฤทธิ์เป็นกรด โพแทสเซียมจะเข้าไปรวมตัวด้วย ทำให้เกิดสถานะที่เป็นกลาง ดังนั้นจึงช่วยรักษาความสมดุลกรดด่าง กระตุ้นระบบประสาทสำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยทำงานร่วมกับแคลเซียมและโซเดียม และมีบทบาทเฉพาะเกี่ยวกับการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ และทำงานร่วมกับแมกนีเซียมในการคลายตัวของกล้ามเนื้อ กระตุ้นไคโนการกำจัดของเสีย และจะทำงานร่วมกับฟอสฟอรัสเพื่อส่งออกซิเจนไปยังสมอง แมกนีเซียม (Mg) เป็นแร่ธาตุที่จำเป็น มีอยู่ประมาณ 0.05 ของน้ำหนักร่างกาย ช่วยในการรักษาสมดุลของความเป็นกรดและด่างให้ปกติ การคลายตัวของกล้ามเนื้อ จำเป็นสำหรับการส่งสัญญาณประสาท (nerve impulse) และการหดตัวของกล้ามเนื้อ จำเป็นในการเปลี่ยนน้ำตาลในเลือดคือ กลูโคส ให้เป็นพลังงาน ฟอสฟอรัส (P) เป็นแร่ธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองในร่างกาย ช่วยทำหน้าที่เป็นสารบัฟเฟอร์ที่ควบคุมความสมดุลของกรดและด่างในเลือด ทำให้เลือดเป็นกลาง กระตุ้นการหดตัวของกล้ามเนื้อ รวมทั้งการหดตัวตามปกติของกล้ามเนื้อหัวใจ จำเป็นสำหรับการทำงานของไตและส่งเสริมกระตุ้นของประสาท (สิริพันธุ์, 2550)

นอกจากนี้ แซนโทน หรือ xanthen-9H-ones (ภาพที่ 1) เป็นสารที่ได้จากมังคุด และได้รับการศึกษาว่ามีประโยชน์ทางการแพทย์อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติด้านการเป็นสารแอนตีออกซิแดนท์ ป้องกันการเกิดมะเร็ง ป้องกันแบคทีเรีย ฟังไจ และไวรัส รวมถึงป้องกันโรคมาลาเรีย

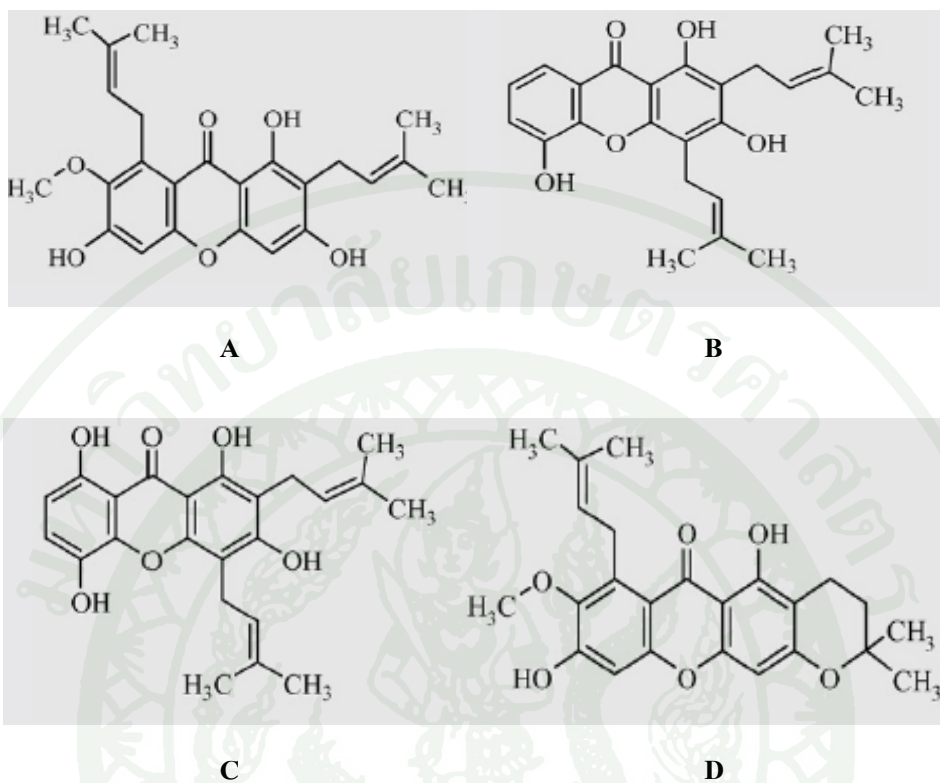
ช่วยลดความเครียด ลดการอักเสบ เพิ่มภูมิคุ้มกันต้านโรค ป้องกันโรคหัวใจ โรคมะเร็ง ช่วยบำรุงระบบย่อยอาหาร ช่วยฟื้นฟูสภาพผิว และช่วยป้องกันปัญหาทางสายตา (Aaron *et al.*, 2004)



ภาพที่ 1 โครงสร้างทั่วไปของแซนโทน

ที่มา: Aaron *et al.* (2004)

ในเนื้อมังคุดนั้นยังประกอบด้วยสารกลุ่มแซนโทนส่วนใหญ่ 4 ชนิดได้แก่ Alpha-mangostin, 8-Desoxygartanine, Gartanin, และ 3-Isomangostin (ภาพที่ 2) มีรายงานผลของสารในกลุ่มนี้ต่อการยับยั้งเชื้อวัณโรค การยับยั้ง leukemia และเซลล์มะเร็ง และมีรายงานการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของ LDL ตัวร้ายซึ่งมีผลต่อโรคหัวใจ ได้อีกด้วย (Limpisathian, 2008)



ภาพที่ 2 โครงสร้างทั่วไปของสารกลุ่มแซนโทน (A= Alpha-mangostin, B=8-Desoxygartanine, C=Gartanin, และ D=3-Isomangostin)

ที่มา: Zarena and Sankar (2009)

2. การเตรียมวัตถุดิบก่อนการอบแห้ง

2.1 การลวก

การลวกวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้บางชนิดก่อนที่จะนำไปแปรรูป เพื่อทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนที่จะนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกจัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนนี้อาจทำร่วมกับการทำความสะอาดวัตถุดิบ

และการปอกเปลือก ทำโดยนำวัตถุดิบไปให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด (Pre-set temperature) และรักษาระดับของอุณหภูมินี้ระยะเวลาหนึ่ง (Pre-set time) หลังจากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิห้อง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลวก คือ ชนิดของผัก และผลไม้ ขนาดของชิ้น อุณหภูมิ และวิธีการให้ความร้อน (นิธิยา, 2544)

การลวกเป็นการถ่ายเทความร้อน โดยจากน้ำร้อนหรือน้ำไปยังวัตถุดิบ โดยมี วัตถุประสงค์หลัก (นิธิยา, 2544) ดังนี้

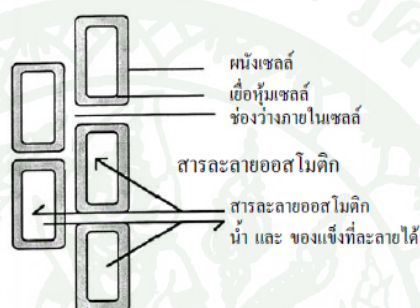
2.1.1 ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inactivation) วัตถุดิบก่อนนำไปอบแห้งหรือแช่เยือกแข็ง ต้องนำมาลวกเสียก่อน เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและแช่เยือกแข็งไม่สูงพอที่จะทำงานเอนไซม์ได้ หากวัตถุดิบไม่ผ่านการลวกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส และคุณภาพทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

2.1.2 ช่วยทำลายและลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวนอกของวัตถุดิบช่วยให้เก็บรักษาวัตถุดิบได้นานขึ้น

2.2 การลดปริมาณน้ำด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน

การลดปริมาณน้ำในผลไม้โดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน (Osmotic dehydration) เป็นขั้นตอนหนึ่งในการดึงน้ำบางส่วนออกจากผลไม้โดยอาศัยกระบวนการออสโมซิส (Osmosis) ก่อนที่จะนำไปทำแห้งโดยวิธีการอื่น ในระหว่างกระบวนการทำแห้งผลไม้โดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันนั้นจะมีถ่ายเทมวลสารของน้ำและสารละลายออสโมซิส โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังเซลล์ไปยังสารละลายออสโมซิสภายนอก ในขณะที่สารละลายออสโมซิสจะถ่ายเทจากสารละลายผ่านผนังเซลล์เข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ (Lazarides, 2001) ดังภาพที่ 3

การลดปริมาณน้ำด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งผลไม้ที่ไวต่อความร้อนหรือผลไม้ประเภทที่มีเนื้อนุ่ม (soft fruit) เนื่องจากการอบแห้งด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันเป็นวิธีที่ผลไม้ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ทำให้เนื้อผลไม้ไม่ถูกทำลายเนื่องจากความร้อน ช่วยรักษาสี กลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินในผลไม้ไว้ได้ (Ponting *et al.*, 1966)



ภาพที่ 3 การแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างเนื้อเยื่อของวัตถุดิบกับสารละลายออสโมติกระหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ที่มา: คณิตตา (2553)

ปัจจัยที่มีผลต่อการลดปริมาณน้ำโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน อัตราการถ่ายเทมวลสารในกระบวนการลดปริมาณน้ำโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันจะเกิดได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับสถานะต่างๆที่ใช้ในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ลักษณะของผลไม้ องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์ โดยเฉพาะโครงสร้างที่มีรูพรุน (Lazarides, 2001) รวมไปถึงขนาดและรูปร่างของผลไม้ด้วย

ชนิดของออสโมติกเอเจนต์ที่นิยม คือ โซเดียมคลอไรด์ และน้ำตาล (Ertekin and Cakaloğlu, 1996) เนื่องจากน้ำตาลจะมีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์

(Enzymatic browning) ได้ และสามารถรวมตัวกับสารให้กลืนรสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ป้องกันการสูญเสียกลืนรสที่ระเหยไประหว่างการลดปริมาณน้ำได้ (Ponting, 1966) นอกจากนี้ถ้าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น อัตราการสูญเสียจะมากขึ้น เป็นผลให้อัตราการออสโมติกดีไฮเดรชันเร็วขึ้น (Patricia and Fernanda, 2004)

อุณหภูมิของสารละลายเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึง เนื่องจากความร้อนทำให้โครงสร้างบางส่วนของผนังเซลล์ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสและเพคติน (Rahman *et al.*, 2007) ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) อ่อนตัว คุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านจึงเสียไปทำให้อัตราการแพร่กระจายของน้ำตาลเร็วขึ้น (Khin *et al.*, 2006) ถึงแม้ว่าอัตราการออสโมซิสจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลาย แต่ก็มีข้อจำกัดกล่าวคือ การใช้อุณหภูมิสูงเกินไป (70 - 90 องศาเซลเซียส) ทำให้สูญเสียกลืนรสและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Videv *et al.*, 1990)

2.3 การแช่เยือกแข็ง (Freezing)

การแช่เยือกแข็งจัดเป็นหน่วยปฏิบัติการหนึ่ง ที่ทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) นิยมใช้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นานเป็นเดือนหรือปี (นิธิยา, 2544) การเก็บรักษาอาหารด้วยการแช่เยือกแข็งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากวิธีนี้สามารถรักษากลิ่น รส สี และคุณค่าทางอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเสื่อมเสียเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงอย่างมาก รวมทั้งปฏิกิริยาทางเคมีอื่น ๆ อันเนื่องมาจากเอนไซม์และออกซิเดชันด้วย นอกจากนั้นการเกิดผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์จะทำให้หน้าที่เหลือที่จะทำปฏิกิริยาซึ่งจะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียลดลง (รุ่งนภา, 2535)

จุดเยือกแข็งของอาหาร คือ อุณหภูมิที่มีผลึกน้ำแข็งเล็กๆเกิดขึ้นอย่างสมดุลกับน้ำที่อยู่รอบๆ และก่อนเกิดผลึกน้ำแข็ง จะต้องมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำเสียก่อน หลังจากนั้นจะเกิด nucleation ทำให้เกิดการสร้างผลึกน้ำแข็งขึ้น nucleation มี 2 ชนิด คือ homogeneous nucleation และ heterogeneous nucleation ในอาหารส่วนใหญ่มักจะเกิดเป็น heterogeneous nucleation

มากกว่า โดยเฉพาะระหว่างการทำ supercooling ถ้าการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นด้วยอัตราที่สูง จะทำให้เกิด nuclei จำนวนมาก ดังนั้นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก (นิธิยา, 2544) ซึ่งขนาดและปริมาณของผลึกน้ำแข็งล้วนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การแช่เยือกแข็งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการน้อยมาก เนื่องจากยังลดอุณหภูมิให้ต่ำลง เป็นการลดอัตราการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจลนทรีย์ และปฏิกิริยาทางชีวเคมีให้น้อยลง แต่ไม่ได้ทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ จากงานวิจัยของ Han *et al.* (2004) ศึกษาสีของสตรอเบอรี่ และราสเบอร์รี่แดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 6 เดือน เปรียบเทียบกับสตรอเบอรี่และราสเบอร์รี่แดงสด ปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Katherine *et al.* (2010) ศึกษาความคงทนของวิตามินซีของผักและผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง กล่าวคือวิตามินซีของผัก collard และมันฝรั่ง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 52 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผัก collard และมันฝรั่งสด

3. การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้ง คือ เป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากอาหาร ให้เหลืออยู่ในปริมาณน้อยที่สุด ซึ่งจะลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีในอาหารให้น้อยลง ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น เพราะเมื่ออาหารมีน้ำลดลงจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (นิธิยา, 2544) โดยค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่ต่ำกว่า 0.60 จะทำให้อาหารเก็บได้นาน (สุคนธ์ชื่น, 2543) การทำแห้งยังช่วยลดน้ำหนัก ทำให้ลดค่าใช้จ่ายระหว่างการเก็บรักษาและขนส่งด้วย และสำหรับบางผลิตภัณฑ์ การอบแห้งจะให้ความสะดวกในการใช้งานและการบริโภค (Fellows, 2000)

3.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการอบแห้งผักและผลไม้

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหาร และสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนี้

3.1.1 การสูญเสียวิตามิน

ผลไม้เป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินซีและโปรวิตามินเอ คือ เบต้า-แคโรทีน การทำแห้งมีผลให้ปริมาณวิตามินซีและแคโรทีนลดลง ซึ่งจะผันแปรตามวิธีการอบแห้งที่ใช้ เช่น ผลการศึกษาวิธีการอบแห้งแครอท 2 วิธี คือ วิธีการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air drying) และการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งภายใต้สุญญากาศ (vacuum freeze drying) พบว่า วิธีแรกมีบีตา-แคโรทีนเหลือเพียง ร้อยละ 60 ขณะที่วิธีการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งภายใต้สุญญากาศมีบีตา - แคโรทีนเหลือถึงร้อยละ 80 (Jayaraman and Das Gupta, 1995)

3.1.2 การสูญเสียสารสีธรรมชาติ

สีของผักและผลไม้หลังการอบแห้งจะเปลี่ยนไป เนื่องจากการอบแห้งทำให้ลักษณะผิวหน้าของอาหารเปลี่ยนแปลง การสะท้อนแสงเปลี่ยน และยังมีผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้ง อาหารที่ผ่านการทำแห้งจะมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อน ปฏิกิริยาทางเคมี เกิดสารสีน้ำตาล อุณหภูมิ และความชื้นของอาหาร (ชมภู, 2550) อัตราการเกิดสีน้ำตาลในนมหรือผลิตภัณฑ์ผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษา ขึ้นอยู่กับค่าวอเตอร์แอคทีวิตีของอาหาร และอุณหภูมิในการเก็บรักษา อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิการอบแห้งที่สูง และเมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 4 - 5 และอุณหภูมิการเก็บสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส (Fellows, 2000)

3.1.3 การสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสูญเสียธรรมชาติ

ความร้อนนอกจากจะทำให้น้ำระเหยแล้วยังทำให้สารระเหยบางชนิดสูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียสารหอมระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความดันไอ และความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารหอมระเหย สารหอมระเหยที่มีความสามารถในการระเหยและการแทนที่ จะเกิดการสูญเสียในช่วงแรกของการอบแห้ง เกิดการสูญเสียสารระเหยในช่วง

หลังของการอบแห้งต่ำ การควบคุมสภาวะการทำแห้งในแต่ละขั้นตอน จะช่วยลดการสูญเสียให้น้อยที่สุด (วิไล, 2547)

การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียสารให้กลิ่นและรสชาติของผักด้วยวิธีการอบแห้งแบบธรรมดาและอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยแบ่งผักออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผักที่ไม่มีสารที่ระเหยได้ ผักที่มีสารที่ระเหยได้ง่าย และผักที่มีทั้งสารที่ระเหยและไม่ระเหย จากการทดลองพบว่า ความผิดปกติของกลิ่นและรสชาติของผักอบแห้งที่เกิดขึ้น ไม่ได้เกิดจากการสูญเสียสารให้กลิ่น แต่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เอนไซม์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความผิดปกติของกลิ่นและรสชาติ (Jayaraman and Das Gupta, 1995)

3.1.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสและการคืนรูป

การอบแห้งนั้น จะเป็นวิธีการทำลายลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างถาวร ทำให้เกิดการหดตัว เกิดการสุกอย่างช้าๆ และเมื่อแช่น้ำ จะทำให้เกิดการคืนรูปได้ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะผักอบแห้งจะหดตัวเร็วมาก ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุ คือ มีการสูญเสีย differential permeability ใน protoplasmic membrane สูญเสีย turgor pressure ภายในเซลล์ โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ สตาร์ชเกิดผลึก และมีการสลายพันธะไฮโดรเจนของสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสของผักอบแห้งด้วยลมร้อนจะเสื่อมลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะผักอบแห้งที่ยังมีปริมาณความชื้นสูง (Fellows, 2000)

4. การอบแห้งโดยไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ (Microwave vacuum drying)

ไมโครเวฟ คือ พลังงานที่เกิดขึ้นจากการแผ่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ไมโครเวฟมีความยาวคลื่นระหว่าง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร มีความถี่ของช่วงคลื่นระหว่าง 300 เมกกะเฮิร์ต ถึง 300 กิกะเฮิร์ต โดยช่วงความถี่คลื่นไมโครเวฟที่นำมาใช้ในงานทางอุตสาหกรรม และการวิจัยนั้นอยู่ในช่วง 915 ถึง 2450 เมกกะเฮิร์ต (Pappas *et al.*, 1999) แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่

ใช้ในการถนอมอาหารของไมโครเวฟนั้น อาศัยสมบัติการมีไดโพล (dipole) 2 ขั้วคู่ ของโมเลกุลของน้ำ ในอาหาร และอนุภาคที่มีประจุ (Charged particles) (ไพศาลและรุ่งนภา, 2549)

4.1 สมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

เตาไมโครเวฟจะส่งคลื่นมายังอาหาร เมื่อคลื่นไมโครเวฟไปกระทบภาชนะที่เป็นโลหะ หรือมีส่วนผสมของโลหะจะเกิดการสะท้อนกลับ (Reflection) ไม่สามารถดูดคลื่นไว้ได้ อาหารที่ได้ ภาชนะดังกล่าว อาหารอาจจะไม่สุก ดังนั้นอาหารควรใส่อยู่ในภาชนะที่คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุ ผ่านได้ (Transmission) ภาชนะที่สามารถทะลุผ่านได้เป็นภาชนะที่ทำจากแก้ว กระจก และพลาสติก ภาชนะเหล่านี้จะไม่ร้อนแต่ทำให้ตัวอาหารร้อน เนื่องจากภาชนะดังกล่าวไม่ดูดคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งปกติอาหารทั่วไปสามารถดูดซับ (Absorption) คลื่นไมโครเวฟได้ เนื่องจากสมบัติไดอิเล็กทริกของ อาหาร เมื่อดูดซับคลื่นไมโครเวฟ โมเลกุลของน้ำในอาหารจะเกิดการสั่นสะเทือน ส่งผลให้เกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทาน ส่งผลให้อาหารสุก (วิไล, 2547)

4.2 สมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric properties) ของอาหาร

สมบัติไดอิเล็กทริกเป็นพารามิเตอร์หลักที่บ่งบอกว่าวัตถุหรืออาหารนั้นสามารถทำให้เกิด ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ หรือคลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่วิทยุได้ (Sosa-Morales *et al.*, 2010) โดยใน อาหารแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ อุณหภูมิ แตกต่างกันไปซึ่งส่งผลให้การดูด ซับพลังงานไมโครเวฟแตกต่างกัน (เหมการ, 2545) โดยสมบัติไดอิเล็กทริกที่สำคัญและแสดงเป็นค่า ตัวเลขได้แก่

4.2.1 Dielectric constant (ϵ') เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเก็บกักพลังงานที่ ตกกระทบเข้าไปเมื่อวัตถุอยู่ในสนามไฟฟ้า

4.2.2 Dielectric loss factor (ϵ'') เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการแพร่กระจายของ พลังงานไฟฟ้าในอาหารหรือการสูญเสียไป โดยพลังงานที่สูญเสียไปนี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงาน

ความร้อน (Ikediala *et al.*, 2000) อาหารหรือวัตถุที่มีค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริกสูง จะสามารถเกิดความร้อนได้มาก

โดยอาหารแต่ละชนิด แต่ละอุณหภูมิก็มีสมบัติไดอิเล็กตริกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ϵ'' ของ น้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (12.48) มีค่ามากกว่า ϵ'' ของน้ำแข็ง (0.0029) ที่อุณหภูมิ -12 องศาเซลเซียส นั้นหมายความว่าน้ำทำให้เกิดความร้อนได้ดีกว่าน้ำแข็ง เนื่องจากน้ำแข็งมีโครงสร้างที่ยึดติดกันทำให้โมเลกุลของน้ำหมุนได้ยาก ค่า ϵ'' เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็ง เป็นของเหลวระหว่างการละลายอาหารแช่แข็ง เช่น เนื้อวัวแช่แข็ง มันฝรั่งแช่แข็ง และผักขมแช่แข็ง ดังแสดงในตารางที่ 3 วัสดุที่เป็นพลาสติกและกระดาษจะมีค่า ϵ'' ต่ำ เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีสมบัติการทะลุผ่านของคลื่นไมโครเวฟ (Yam and Lai, 2004)

ตารางที่ 3 ค่า Dielectric constant และค่า loss factor ของวัสดุแต่ละประเภทที่ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต

วัสดุ	ϵ'	ϵ''
น้ำแข็ง (-12 องศาเซลเซียส)	3.2	0.0029
น้ำ (1.5 องศาเซลเซียส)	80.5	25.0
น้ำ (25 องศาเซลเซียส)	78	12.48
น้ำ (75 องศาเซลเซียส)	60.5	39.93
0.1 โมลาร์ NaCl (25 องศาเซลเซียส)	75.5	18.1
ไขมันและน้ำมัน (อุณหภูมิปกติ)	2.5	0.15
เนื้อวัวดิบ (-15 องศาเซลเซียส)	5.0	0.75
เนื้อวัวดิบ (25 องศาเซลเซียส)	40	12
เนื้อวัวอบ (23 องศาเซลเซียส)	28	5.6
มันฝรั่ง (-15 องศาเซลเซียส)	4.5	0.9
มันฝรั่ง (23 องศาเซลเซียส)	38	11.4
ผักขม (23 องศาเซลเซียส)	13	6.5
ผักขม (-15 องศาเซลเซียส)	34	27.2

ที่มา: Yam and Lai (2004)

4.2.3 Loss tangent ($\tan \delta$) คืออัตราส่วนระหว่างค่า Loss factor และ Dielectric constant ดังแสดงในสมการที่ 1 ซึ่งแสดงถึงระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน (Trabelsi *et al.*, 1998) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปกลายเป็นพลังงานความร้อนกับพลังงานที่ถูกกักเก็บไว้ (Al-Muhtaseb *et al.*, 2010) อาหารมีค่านี้สูงแสดงว่าอาหารจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น (Gabriel *et al.*, 1998) ในขณะที่อาหารมีค่า Loss tangent ต่ำ คลื่นไมโครเวฟจะส่งผ่านเข้าไปในอาหารโดยไม่มีการกระจายความร้อนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามความร้อนที่เพิ่มขึ้นอาจขึ้นอยู่กับปัจจัย

อื่น ๆ ด้วยเช่น ความร้อนจำเพาะของอาหาร ขนาดของตัวอย่าง และสมบัติของตัวอย่าง

(Jindarat *et al.*, 2010)

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (1)$$

การเกิดความร้อนในอาหารด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นเกิดจากอาหารดูดซับคลื่นไมโครเวฟแล้วเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน กล่าวคือไมโครเวฟทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย และเสียดสีกันของไอออนที่เคลื่อนที่ ทำให้เกิดความร้อนขึ้น (สุริยา, 2551) นอกจากนี้ยังทำให้สารประกอบที่มีขั้ว เช่น น้ำ เกิดการเรียงตัวของประจุบวกและลบอย่างเป็นระเบียบ พร้อมกับการหมุนตัวกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ คือ 915 ถึง 2450 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล ทำให้เกิดความร้อนขึ้น (Decareau, 1992) การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ชา สมุนไพร และเครื่องเทศ ข้อดีของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ คือ ความร้อนถูกสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและราคาแพง (Kessler, 2002) เนื่องจากไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนทั้งชิ้น จะช่วยปรับปรุงการถ่ายเทความร้อน และลดการเกิดเปลือกแข็งที่ผิวรอบนอกของอาหารได้ (Maskan, 2000) แต่การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟนั้นเกิดผลเสีย คือ อุณหภูมิที่ใช้สำหรับอาหารนั้นสูงเกินไป เพราะว่าไมโครเวฟมีการให้ความร้อนแบบทันทีทันใด และส่งผ่านความร้อนจากภายใน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความเสียหาย เช่น เกิดจุดไหม้บริเวณใจกลางชิ้นอาหาร และสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เป็นต้น จึงมีการประยุกต์ระบบสุญญากาศ (Vacuum) เข้ามาร่วมกับการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อที่จะลดจุดเดือดของน้ำลง และเพิ่มความแตกต่างของแรงดันไอน้ำ ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากชิ้นอาหารเร็วขึ้น และการอบแห้งเกิดอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร

4.3 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

การอบแห้งโดยไมโครเวฟระบบสุญญากาศนั้น เป็นวิธีการอบแห้งที่รวมข้อดีระหว่างการอบแห้งแบบสุญญากาศ และการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยการใช้การลดความดันในระบบสุญญากาศ ร่วมกับการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่รวดเร็วจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Cui *et al.*, 2004^c) ผลของการอบแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การนำเทคโนโลยีการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศมาใช้ในการอบแห้ง ทำให้มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ความสามารถในการคืนรูป สี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร ดังนี้

4.3.1 ผลของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีผลต่ออัตราการอบแห้ง

จากงานวิจัยของ Lin *et al.* (1998) ได้รายงานว่าการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ เป็นกระบวนการอบแห้งที่เร็วกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยที่การอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศใช้เวลาเพียง 33 นาทีเท่านั้นในการอบแห้งแครอทสไลด์ 1 กิโลกรัมที่ผ่านการลวก (ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 91.4) จนมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 ในขณะที่การอบแห้งแบบลมร้อนและแบบแช่เยือกแข็งนั้นต้องใช้เวลารวมถึง 8 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Hu *et al.* (2006)^a พบว่าการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศของถั่วแระญี่ปุ่นใช้เวลาในการอบแห้งเร็วกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนมาก โดยที่การอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศของถั่วแระญี่ปุ่นนั้นใช้เวลา 30 นาที ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 5 - 10 ของเวลาในการอบแห้งแบบลมร้อน อย่างไรก็ตาม การเพิ่มกำลังในการอบแห้งมีผลอย่างยิ่งกับอัตราการอบแห้ง ซึ่งจะเป็นการเร่งการเคลื่อนที่ของน้ำที่อยู่ภายในให้ออกมา และกำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการระเหยที่ผิวของผลิตภัณฑ์ด้วย

4.3.2 ผลของการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่มีผลต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์

จากงานวิจัยของ Bondaruk *et al.* (2007) ได้รายงานว่าการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งแบบลมร้อน โครงสร้างของมันฝรั่งโดยใช้การอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศนั้นมีรูพรุนที่เป็ดกว้างและจำนวนเพิ่มขึ้นตามกำลังวัตต์ การอบแห้งแบบลมร้อนนั้น มีรูพรุนที่เป็ดกว้างและจำนวนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Therdtthai and Zhou (2009) ได้รายงานว่าการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศนั้นมีรูพรุนที่เป็ดกว้างมากกว่าโครงสร้างของใบสาระแนที่ใช้การอบแห้งด้วยลมร้อน และจำนวนเพิ่มขึ้นตามกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้น

4.3.3 ผลของการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่มีต่อการคั่วตัวของผลิตภัณฑ์

Hu *et al.* (2006)^b ได้ศึกษาอัตราการคั่วตัวของถั่วกระป๋องอบแห้งที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและลมร้อน พบว่า ที่ 10 นาที อัตราการคั่วตัว เท่ากับ 2.14 และ 1.94 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศมีอัตราการคั่วตัวที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Lin *et al.* (1998) ได้รายงานว่าการอบแห้งของแครอทสไลด์อบแห้งที่อุณหภูมิ 25 และ 100 องศาเซลเซียส แครอทสไลด์ที่อบแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศมีอัตราการคั่วตัวที่เร็วกว่าแครอทสไลด์ที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลความหนาแน่นที่แสดงไว้ว่า โครงสร้างที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีความจุในการดูดซับน้ำสูงมากเมื่อทำการคั่วตัวเป็นรูปร่างเดิม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Therdtthai and Northongkom (2011) พบว่า ความสามารถในการดูดน้ำกลับของกระชายที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศสูงกว่ากระชายที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.3.4 ผลของการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่มีต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

Hu *et al.* (2006)^b รายงานไว้ว่า ถั่วกระฉี่ป่นที่อบแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศมีความกรอบ (crispness) มากกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากมีรูพรุนที่มากกว่าตัวอย่างลมร้อน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Cui *et al.* (2008)^a รายงานไว้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความแข็ง (hardness) ของแครอทและแอปเปิ้ลสไลด์ที่อบแห้งแบบลมร้อนมากกว่าค่าความแข็งของแครอทและแอปเปิ้ลสไลด์ที่อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ เนื่องจากโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแบบลมร้อนมีผิวหน้าที่หนาและแข็งกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ จึงทำให้ค่าความแข็งมากกว่างานวิจัยของ Bai-Ngew *et al.* (2011) รายงานว่าความแข็งของทุเรียนอบกรอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศค่าใกล้เคียงกับทุเรียนทอดซึ่งมีลักษณะกรอบเนื่องจากการลดความชื้นในตัวอย่างและการเกิดความร้อนอย่างรวดเร็วของคลื่นไมโครเวฟ

4.3.5 ผลของการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่มีต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์

คุณภาพทางด้านสีเป็นคุณภาพที่มีความสำคัญต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ การอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศทำให้สีผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากระหว่างกระบวนการอบแห้งเนื่องจากมีอัตราการอบแห้งที่เร็ว มีผลช่วยให้รักษาคูณภาพผลิตภัณฑ์ทางด้านสีไว้ (สันต์กฤต, 2551) ซึ่งจากงานวิจัยของ Yongsawatdigul and Gunasekaran (1996) ได้ศึกษาการอบแห้งแคนเบอร์รี่ด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่า สีของแคนเบอร์รี่ยังคงเป็นสีแดงสดอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Therdtthai and Zhou (2009) ซึ่งรายงานว่าสีของใบสาระแนที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีลักษณะเป็นสีเขียวอมเหลืองสว่าง ในขณะที่สีของใบสาระแนที่อบแห้งแบบลมร้อนสีน้ำตาลคล้ำ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Hu *et al.* (2006)^b ที่ศึกษาการอบแห้งถั่วกระฉี่ป่นด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ และการอบแห้งแบบลมร้อน พบว่า สีของถั่วกระฉี่ป่นที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อนมีความแตกต่างกันกับถั่วกระฉี่ป่นสด ($P \leq 0.05$) ในขณะที่สีของถั่วกระฉี่ป่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศนั้นไม่มีความแตกต่างกับถั่วกระฉี่ป่นสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.3.6 ผลของการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่มีต่อกลิ่นและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

จากงานวิจัยของ Cui *et al.* (2008)^b พบว่าสารระเหยที่ให้กลิ่นรสในน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศนั้น มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผึ้งธรรมชาติ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Figiel (2009) ที่รายงานว่า การอบแห้งหวักระเทียมและกระเทียมสไลด์โดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศมีการสูญเสียสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบกลิ่นของกระเทียมน้อยกว่ากระเทียมที่อบแห้งด้วยลมร้อน

4.3.7 ผลของการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่มีต่อคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

คุณค่าทางโภชนาการมันจะสูญเสียไปเนื่องจากความร้อน และการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ การใช้การอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศนั้นทำให้เวลาการได้รับความร้อนสั้นลงจึงช่วยในการรักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน นอกจากนี้ระหว่างการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศนั้นมีปริมาณออกซิเจนในตู้อบที่ต่ำกว่าในการทำแห้งที่ความดันปกติ จากงานวิจัยของ Hu *et al.* (2006)^a ที่ศึกษาปริมาณวิตามินซี และคลอโรฟิลล์ของถั่วแระญี่ปุ่น ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งแบบลมร้อน พบว่า ปริมาณวิตามินซีและคลอโรฟิลล์ของถั่วแระญี่ปุ่นที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมากกว่าถั่วแระญี่ปุ่นที่อบแห้งด้วยลมร้อน กล่าวคือ วิตามินซีและคลอโรฟิลล์ที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ มีปริมาณร้อยละ 84.1 และร้อยละ 32.6 ตามลำดับ ขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อน มีปริมาณร้อยละ 35.6 และร้อยละ 25.2 ตามลำดับ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Cui *et al.* (2004)^c ที่ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์, คลอโรฟิลล์ a และ b ในต้นหอมอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ เหลืออยู่ที่ร้อยละ 97.1, 97.2 และ 98.3 ตามลำดับ แต่การอบแห้งแบบลมร้อน เหลืออยู่ที่ร้อยละ 38.3, 37.0 และ 41.9 ตามลำดับ นอกจากนี้ในปี 2008^a Cui *et al.* ได้มีการศึกษาปริมาณวิตามินซีในแอปเปิ้ลแดงสไลด์อบแห้ง พบว่าปริมาณวิตามินซีในแอปเปิ้ลแดงสไลด์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ เหลืออยู่ที่ร้อยละ 89 ขณะที่ปริมาณวิตามินซีของแอปเปิ้ลแดงสไลด์ที่อบแห้งแบบลมร้อนเหลือร้อยละ 63.7

งานวิจัยของ Lin *et al.* (1998) ที่ศึกษาปริมาณแอลฟา-เบต้าแคโรทีนของแครอทอบแห้ง พบว่า ปริมาณเบต้าแคโรทีนของแครอทที่อบแห้งลมร้อนมีการสูญเสียแอลฟา-เบต้าแคโรทีนมากกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ โดยที่ปริมาณการสูญเสียแอลฟา-เบต้าแคโรทีนของการอบแห้งแบบลมร้อนร้อยละ 19.2 ขณะที่ปริมาณการสูญเสียโดยการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ คือ ร้อยละ 3.2 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Cui *et al.* (2008)^c ที่รายงานว่าปริมาณแคโรทีนในแครอทสไลด์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศเหลืออยู่ร้อยละ 94.7 ขณะที่ปริมาณแคโรทีนของแครอทสไลด์ที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อน เหลืออยู่เพียงร้อยละ 70.6

4.3.8 ผลของการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากงานวิจัย Lin *et al.* (1998) ที่ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครอทอบแห้ง โดยใช้ผู้ทดสอบ 12 คนที่ไม่ได้รับการฝึกฝน โดยยึดเอาลักษณะทางคุณภาพทางด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม พบว่าแครอทที่ผ่านการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศได้รับความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมากที่สุด และได้คะแนนความชอบใกล้เคียงกับแครอทที่ผ่านการอบแห้งแช่เยือกแข็งในด้านสีและกลิ่นรส แครอทสไลด์ที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อน ได้คะแนนต่ำที่สุดในทุกๆลักษณะของการประเมิน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ สวัสดิ์ และคณะ (2553) ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบกลิ่นทุเรียน ความกรอบ กลิ่นรสทุเรียน รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวมของทุเรียนอบแห้งด้วยสุญญากาศที่ผ่านการเตรียมด้วยแช่แข็ง-สไลด์ และสไลด์-แช่แข็งมากกว่าทุเรียนทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

5. การใช้ข้อโมติกดีไฮเดรชันร่วมกับการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศเป็นการลดระยะเวลาในการอบแห้งและสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง เมื่อนำวิธีการออสโมติกดีไฮเดรชันวัตถุดิบก่อนการอบแห้งเข้ามาใช้ร่วมกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ จะทำให้สามารถลดระยะเวลาและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์อบแห้งได้มากยิ่งขึ้น จากงานวิจัยของ Visalrakkij and Thredthai (2012) พบว่า มังคุดอบแห้ง

ทั้งมีเมล็ดและไม่มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอคทีวิตีน้อยกว่ามันคุดอบแห้งทั้งมีเมล็ดและไม่มีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) งานวิจัยของ Nimmanpipug and Therdthai (2012) พบว่าโครงสร้างมะละกอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีลักษณะรูพรุนมากกว่ามะละอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน โดยความสามารถในการกักตัวของมะละกอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ขึ้นอยู่กับเวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชัน เนื่องจากการออสโมติกดีไฮเดรชันสามารถปกป้องเนื้อเยื่อจากการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วด้วยไมโครเวฟ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Erle and Schubert (2001) พบว่าโครงสร้างแอปเปิ้ลสไลด์อบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันเกิดการแตกหัก ส่วนแอปเปิ้ลสไลด์ที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีโครงสร้างที่คงตัว

6. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพและนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์การอบแห้งของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยทั่วไปการสร้างแบบจำลองกึ่งทฤษฎีทำได้โดยการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ของสมการของฟิคที่ให้ง่ายขึ้น ซึ่งแบบจำลองพื้นฐานที่ใช้กันแพร่หลาย คือ Lewis Model โดยแบบจำลองนี้มีลักษณะคล้ายกับกฎการเย็นตัวของนิวตัน โดยอัตราการอบแห้งเป็นอัตราส่วนของผลต่างระหว่างปริมาณความชื้นของวัสดุที่อบแห้งกับความชื้นที่สมดุล ดังแสดงในสมการที่ 2 และเมื่อทำการอินทิเกรตได้เป็น Lewis model ดังสมการที่ 3 (Azzouz *et al.*, 2002)

$$\frac{dM}{dT} = -k (X - X_e) \quad (2)$$

$$\text{Moisture ratio} = \frac{(X_t - X_e)}{(X_0 - X_e)} = \exp(-kt) \quad (3)$$

X_0 คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

X_t คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลา t (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

- X_e คือ ปริมาณความชื้นสมดุลของ (กิโกรัมน้ำ/กิโกรัมวัตถุดิบแห้ง)
 k คือ ค่าคงที่แบบจำลอง
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

แบบจำลอง Lewis นี้เป็นแบบจำลองเบื้องต้นที่ง่ายและไม่ซับซ้อนแต่ก็มีข้อเสียคือ แบบจำลองนี้มีแนวโน้มที่ค่าทำนายมีค่ามากกว่าค่าจริง (over-predict) ในช่วงต้นของการอบแห้ง และค่าทำนายต่ำกว่าค่าจริง (under-predict) ในช่วงท้ายของการอบแห้ง (Babalís *et al.*, 2006) โดยแบบจำลองแสดงดังสมการที่ 4

$$\text{Moisture Ratio} = \exp(-kt) \quad (4)$$

แบบจำลอง Page เป็นการปรับปรุงจำลอง Lewis เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบจำลองดังกล่าว แบบจำลองนี้ได้นำมาใช้เพื่อทำนายการอบแห้งของถั่วเหลือง ถั่วขาว ถั่วเขียวและข้าวโพดเป็นต้น (Doymaz, 2005) โดยแบบจำลองแสดงดังสมการที่ 5

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (5)$$

- n คือ อันดับปฏิกิริยา k คือ ค่าคงที่แบบจำลอง
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

จากงานวิจัยของ Bai-Ngew *et al.* (2011) พบว่า แบบจำลอง Page มีความเหมาะสมในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาในการอบแห้ง ทูเรียนด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมากกว่าแบบจำลอง Lewis เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายกับค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย พบว่าความคลาดเคลื่อนแบบจำลอง Page มีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด และมีลักษณะ Unsystematic นั้นหมายความว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและความคลาดเคลื่อนเกิดได้กระจายทั่วไป ไม่จำเพาะตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Therdthai *et al.* (2011) พบว่า แบบจำลอง Page สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณ

ความขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาในการอบแห้งสัสมายน้ำผึ้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยไมโครเวฟสุญญากาศได้ดีที่สุด เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายกับค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย พบว่าแบบจำลอง Page มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

7. อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงเวลาตั้งแต่ผลิตภัณฑ์นั้นได้ผลิตขึ้นมา ระหว่างช่วงเวลานี้ผลิตภัณฑ์ยังมีคุณภาพทางด้านคุณค่าทางอาหาร รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏเป็นที่พอใจของผู้บริโภค จนถึงเวลาที่ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค หรือไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค (รุ่งนภา, 2549) สิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณออกซิเจน และแสง จัดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอาหาร เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการทำงานของปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้นำไปสู่การเสื่อมเสียของอาหาร

7.1 การเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย

อายุการเก็บรักษาได้มีการศึกษาจากปัจจัยคุณภาพที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาดังนี้

7.1.1 สี เช่น สีคล้ำ สีซีด สีแปลกปลอม การเกิดสีน้ำตาล ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับค่าออกเตอรแอกติวิตี และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา หากเก็บไว้ในอุณหภูมิสูง สีจะคล้ำขึ้น โดยอาหารที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 4 ถึง 5 และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ง่าย (นิธิยา, 2544)

7.1.2 กลิ่นรส เช่น กลิ่นหืน นิธิยา (2545) กล่าวว่า การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ และค่าออกซิเจนแอคทีวี่ ดังนั้นปริมาณออกซิเจน และปริมาณความชื้นในอาหารจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้อาหารเกิดการเหม็นหืนได้เร็วขึ้น กลิ่นคาราเมล หรือกลิ่นคั่วสุก กลิ่นรสแปลกปลอมอื่นๆ

7.1.3 เนื้อสัมผัส เช่น เหนียว อ่อนตัว การสูญเสียความสามารถในการละลาย

7.1.4 ความชื้น เป็นปัจจัยคุณภาพที่ทำให้อาหารสูญเสียความกรอบและเชื้อรา

นอกจากนี้ทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในมัจจุคอบแห้งเกิดเร็วขึ้น เช่น การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เป็นต้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยอาศัยหลักการทาง จลนพลศาสตร์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งมักเป็นการเปลี่ยนแปลงในรูป สมการอันดับ 0 สมการอันดับ 1 และอันดับ 2 ดังสมการที่ 6 ถึง 8 (รุ่งนภา, 2549)

$$\text{เมื่อ } n = 0; \quad C_A - C_{A0} = -kt \quad (6)$$

$$\text{เมื่อ } n = 1; \quad \ln \left(\frac{C_A}{C_{A0}} \right) = -kt \quad (7)$$

$$\text{เมื่อ } n = 2; \quad \frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = -kt \quad (8)$$

C_A คือ ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่เวลาใดๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

C_{A0} คือ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant)

t คือ ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง (วัน)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 มังคุด (*Garcinia mangostana* Linn) ปลูกทางภาคใต้ ระดับปีที่ 5 จากระดับปีที่ 6 ระดับ (ภาคผนวก ก) ขนาดกลาง เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร จากตลาดไท จังหวัดปทุมธานี
- 1.2 น้ำตาลทราย ตรามิตรผล
- 1.3 แคลเซียมคลอไรด์ (Food grade บริษัท ยูเออนด์วี โฮลดิ้ง (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย)
- 1.4 กรดซิตริก (Food grade บริษัท ยูเออนด์วี โฮลดิ้ง (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบและการผลิต

- 2.1 เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 3 กิโลกรัม ความละเอียด 0.01 กรัม
- 2.2 อุปกรณ์เครื่องครัว
- 2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้า รุ่น DS-425P บริษัท TERAOKA SEIKO CO, LTD. ประเทศญี่ปุ่น
- 2.4 เครื่องแช่แบบแข็งแบบลมพ่น (Air blast freezer) บริษัท Macalit (Macchine Alimentari LTD.) ประเทศอิตาลี
- 2.5 เครื่องอบแห้ง Microwave Vacuum Dryer บริษัท มาร์ชกูล อินดัสทรี จำกัด. ประเทศไทย

3. อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ

- 3.1 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

3.1.1 เครื่องวัดสี Spectrophotometer รุ่น CM – 3500d ยี่ห้อ Minolta ประเทศญี่ปุ่น

3.1.2 เครื่องวัดค่า Water activity รุ่น Aw CX3TE ยี่ห้อ AQUA Lab บริษัท Decagon Device ประเทศสหรัฐอเมริกา ปริมาณ 2 กรัม ต่อ 1 ชั่วโมง

3.1.3 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd รุ่น TA500 บริษัท Lloyd Instrucment ประเทศอังกฤษ

3.1.4 เครื่อง Refractometer รุ่น PAL- α ยี่ห้อ ATAGO. ประเทศญี่ปุ่น

3.2 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

3.2.1 อุปกรณ์วัดสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric properties) รุ่น Network Analyser โดยใช้หัววัดแบบ Open-ended coaxial probe (Dielectric measurement kit V.2.1.0; Püschner, Schwanewede, ประเทศเยอรมัน)

3.2.2 ตู้อบไฟฟ้า รุ่น VD53 ยี่ห้อ BINDER. ประเทศเยอรมนี

3.2.3 ตู้อบไฟฟ้าสุญญากาศ รุ่น VD53 ยี่ห้อ BINDER ประเทศเยอรมนี

3.2.4 เครื่อง UV-VIS รุ่น VD53 ยี่ห้อ SHIMADZU

3.2.5 เครื่องวัดอุณหภูมิสภาพแก้ว รุ่น DSC 7 ยี่ห้อ PerkinElmer ประเทศอเมริกา

3.2.6 จานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด

3.2.7 เติลิกเคเตอร์ พร้อมสารดูดความชื้น

3.2.8 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง รุ่น BS 224S บริษัท Sartorius ประเทศไทย

3.2.9 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.2.10 ชุดวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon ตามวิธีการของ AOAC (2000)

3.2.11 ชุดวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) ด้วยการไทเทรต ตามวิธีการของ AOAC (2000)

3.2.12 ชุดวิเคราะห์ PPO (Polyphenoloxidase)

3.3 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์

3.3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA (Plate Count Agar)

3.3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA (Potato Dextrose Agar)

3.3.3 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.3.4 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (Autoclave-steam sterilizer) รุ่น 3850M ยี่ห้อ Tuttnauer ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.5 ตู้ฆ่าเชื้อลมร้อน รุ่น FD-115 ยี่ห้อ BINDER ประเทศเยอรมัน

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.4.1 อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.4.2 แบบสอบถาม

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

4.1 ถังอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 12×18 เซนติเมตร

4.2 เครื่องปิดผนึกถุง

4.3 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Kottermann รุ่น 2736, ประเทศเยอรมัน

4.4 ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Super Chill ประเทศไทย

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS[®] เวอร์ชัน 12.0

5.2 โปรแกรมสำเร็จรูป XLSTAT[®] เวอร์ชัน 2006

วิธีการ

1. ตรวจสอบคุณภาพมังคุดสด

คัดเลือกมังคุดสดมาตรวจสอบคุณภาพต่างๆ ได้แก่

1.1 คุณภาพทางกายภาพ

1.1.1 วัดค่าสีเนื้อมังคุด ค่าสี L^* , a^* , b^* ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ดังแสดงใน
ภาคผนวก ข

1.2 คุณภาพทางเคมี

1.2.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Refractometer ดังแสดงใน
ภาคผนวก ค

1.2.2 ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ค

1.2.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงใน
ภาคผนวก ค

1.2.4 ปริมาณกรดทั้งหมด (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ค

1.2.5 ปริมาณแซนโทน วิธี HPLC ส่งตรวจวิเคราะห์ที่ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จังหวัดปทุมธานี

2. ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อสมบัติไดอิเล็กทริกของมังคุดก่อนการอบแห้ง

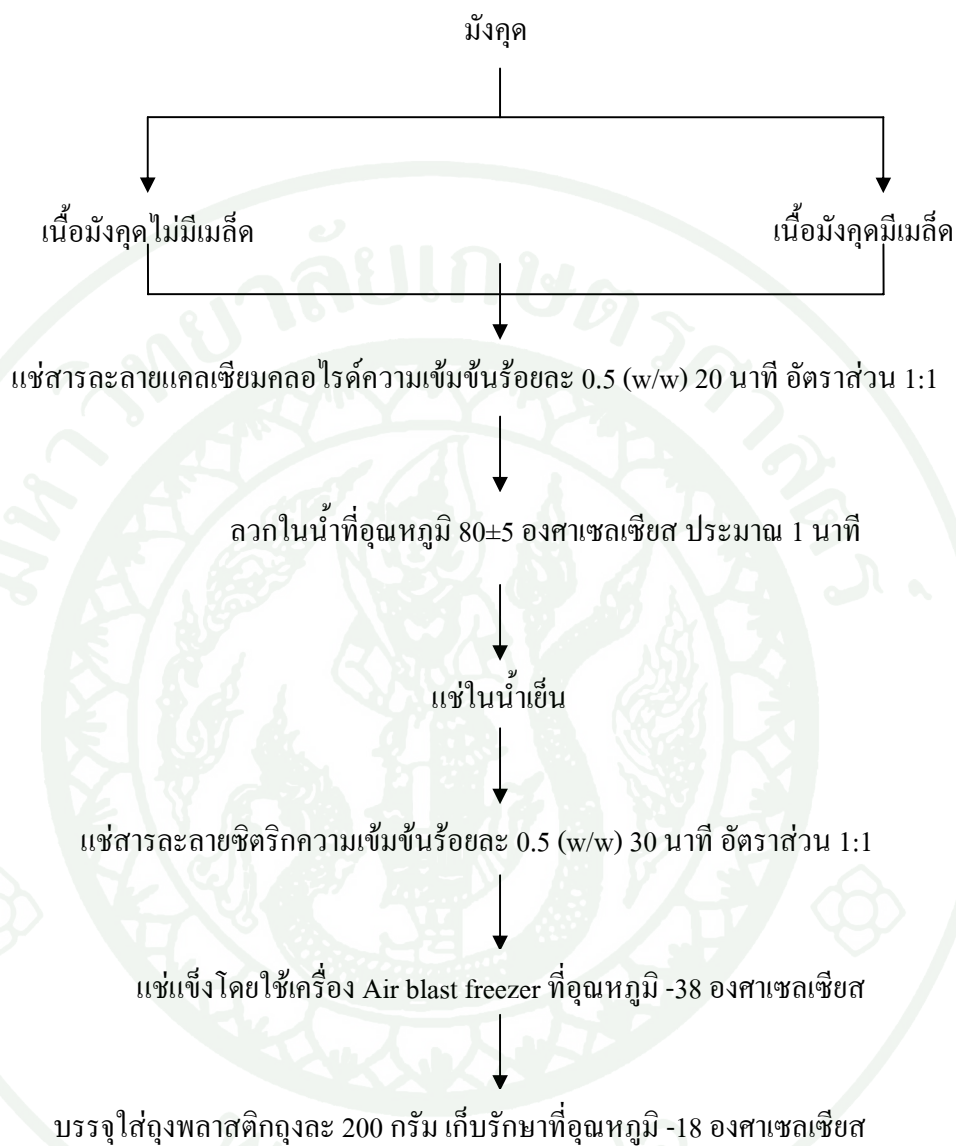
2.1 การเตรียมมังคุดแช่แข็งโดยไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

การเตรียมมังคุดเพื่อนำมาทำเป็นมังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน โดย
ดัดแปลงวิธีการเตรียมจากวรรณรัตน์ (2554) เริ่มจากนำมังคุดมาล้างให้สะอาด ปอกเปลือก

โดยแยกเป็นเนื้อมังกุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ด แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ร้อยละ 0.5 ด้วยอัตราส่วนเนื้อมังกุดต่อสารละลาย เท่ากับ 1:1 (w/w) เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมังกุดไปลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 นาที พักในอ่างน้ำเย็นประมาณ 15 วินาที นำเนื้อมังกุดที่ได้ไปแช่ในสารละลายซิดริกร้อยละ 0.5 ด้วยอัตราส่วนเนื้อมังกุดต่อสารละลาย เท่ากับ 1:1 (w/w) นาน 30 นาที จากนั้นทิ้งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรง จัดใส่ถาดพลาสติกแช่แข็งโดย Air blast freezer ที่อุณหภูมิ -38 องศาเซลเซียส จนเนื้อมังกุดมีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส บรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนถุงละ 200 กรัม และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาอบแห้ง ดังภาพที่ 4

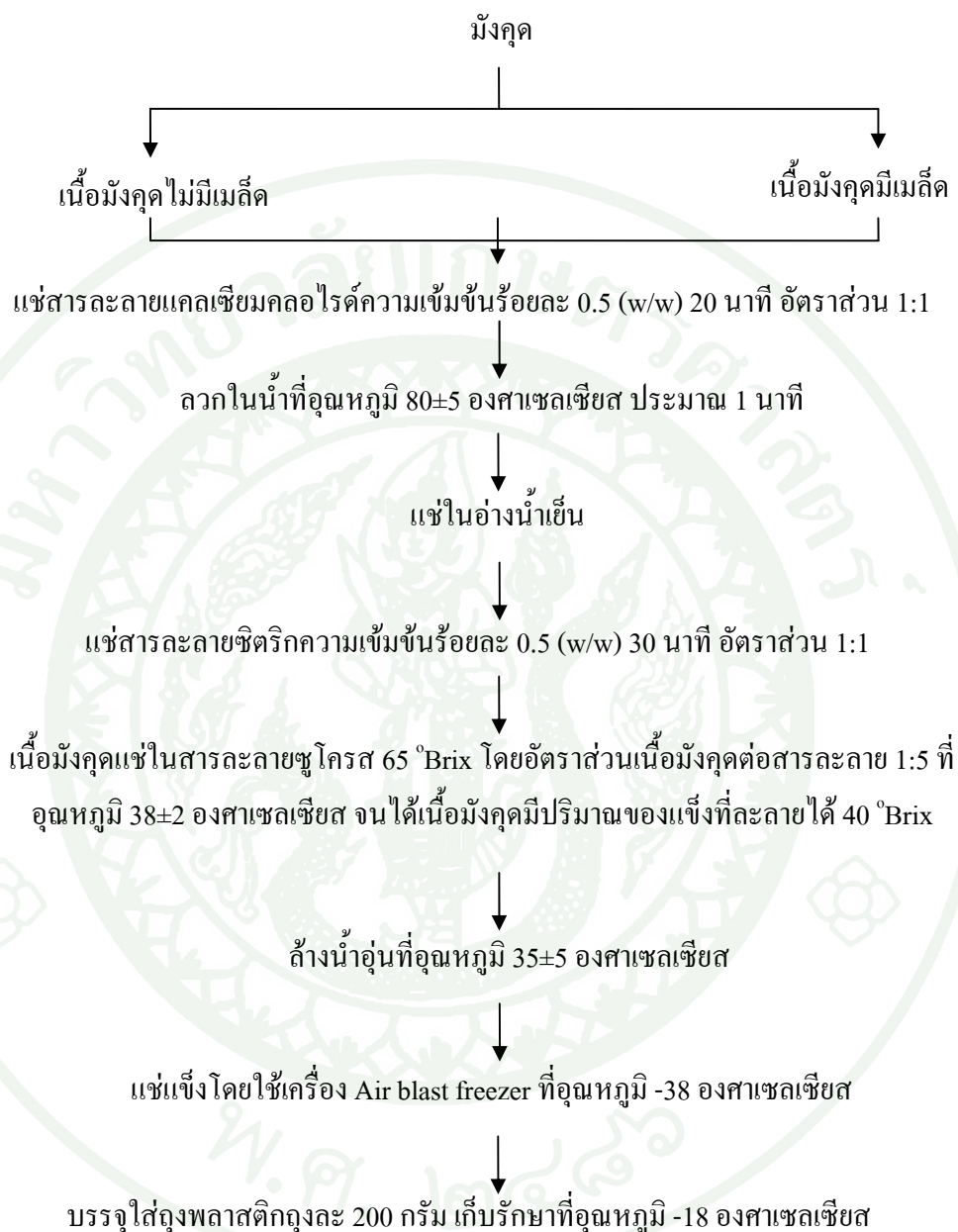
2.2 การเตรียมมังกุดแช่แข็งโดยใช้เทคนิคการออสโมติกดีไฮเดรชัน

การเตรียมมังกุดเพื่อนำมาทำเป็นมังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันโดยดัดแปลงวิธีการเตรียมจากวรรณรัตน์ (2554) และคณิตดา (2552) เริ่มจากนำมังกุดมาล้างให้สะอาด ปอกเปลือกโดยแยกเป็นเนื้อมังกุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ด แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ด้วยอัตราส่วนเนื้อมังกุดต่อสารละลาย เท่ากับ 1:1 (w/w) เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมังกุดไปลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 นาที พักในอ่างน้ำเย็น 15 วินาที นำเนื้อมังกุดที่ได้ไปแช่ในสารละลายซิดริกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ด้วยอัตราส่วนเนื้อมังกุดต่อสารละลาย เท่ากับ 1:1 (w/w) นาน 30 นาที จากนั้นนำเนื้อมังกุดทำการลดปริมาณน้ำโดยใช้เทคนิคการออสโมติกดีไฮเดรชัน นำเนื้อมังกุดแช่ในสารละลายซูโครส 65 °Brix โดยใช้อัตราส่วนเนื้อมังกุดต่อสารละลายซูโครสเป็น 1:5 (คณิตดา, 2553) ที่อุณหภูมิ $38-40$ องศาเซลเซียส และทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TTS) ด้วยเครื่อง Refractometer ทุกๆ 30 นาที จนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในทั้งหมดในเนื้อมังกุดมีค่าเท่ากับ 40 °Brix นำมาล้างด้วยน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 35 ± 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรง จากนั้นจัดใส่ถาดพลาสติก นำเข้าสู่ Air blast freezer จนเนื้อมังกุดมีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส บรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนถุงละ 200 กรัม และนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาอบแห้ง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 การเตรียมมังคุดแช่แข็งโดยไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ที่มา: คัดแปลงจาก วรรณรัตน์ (2554)



ภาพที่ 5 การเตรียมมังคุดแช่แข็งโดยใช้การออสโมติกดีไฮเดรชัน

ที่มา : ดัดแปลงจาก วรรณรัตน์ (2554) และคณิตา (2552)

จากนั้นศึกษาการถ่ายเทมวลสารในรูปของปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9 และ 10

$$\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสีย; } WL = \frac{M_0 X \frac{w}{0} - M_t X \frac{w}{t}}{M_0} \times 100 \text{ (กรัม/100กรัมตัวอย่างสด)} \quad (9)$$

$$\text{ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น; } SG = \frac{M_t X \frac{ts}{t} - M_0 X \frac{ts}{0}}{M_0} \times 100 \text{ (กรัม/100กรัมตัวอย่างสด)} \quad (10)$$

M_0 คือ น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

M_t คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังการออสโมติก (กรัม)

$X \frac{w}{0}$ คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัมน้ำ / กรัมวัตถุดิบแห้ง)

$X \frac{w}{t}$ คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างหลังการออสโมติก (กรัมน้ำ / กรัมวัตถุดิบแห้ง)

$X \frac{ts}{t}$ คือ ปริมาณของแข็งของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัมน้ำ / กรัมวัตถุดิบแห้ง)

$X \frac{ts}{0}$ คือ ปริมาณของแข็งของตัวอย่างหลังการออสโมติก (กรัมน้ำ / กรัมวัตถุดิบแห้ง)

2.3 สมบัติไดอิเล็กทริกของมังกุดก่อนการอบแห้ง

นำมังกุด ไม่มีเมล็ด มีเมล็ด ไม่มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน และ มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน แยกปั่นพอละเอียด ใส่แก้วพลาสติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร ประมาณ 3 ใน 4 ของแก้ว จากนั้นนำเข้าเครื่องแช่แข็งแบบเร็วจนเนื้อมังกุดมีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เก็บรักษาที่ตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นำมาวัดค่าสมบัติไดอิเล็กทริก ได้แก่ dielectric constant, dielectric loss factor และ loss tangent โดยเครื่อง Network Analyser โดยใช้หัววัดแบบ Open-ended coaxial probe ดังแสดงในผนวก ข

วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) แล้ววิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ศึกษากระบวนการอบแห้งมัจจุที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

3.1 ศึกษากระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศของเนื้อมัจจุที่ไม่ได้ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ศึกษากระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ โดยนำมัจจุแช่แข็งที่ไม่ได้ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน 200 กรัม วางบนจานแก้ว โดยที่วางเนื้อมัจจุแต่ละชิ้นไม่ติดกัน จากนั้นอบด้วยเครื่องไมโครเวฟอบแห้งร่วมสุญญากาศ ควบคุมความดันที่ 160 mmHg โดยการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ปัจจัยศึกษาคือ กำลังไมโครเวฟ 3 ระดับ ได้แก่ 1200, 1440 และ 1680 วัตต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สิ่งทดลองของเนื้อมัจจุที่ไม่ได้ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันในการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD

ลักษณะเนื้อมัจจุ	สิ่งทดลอง	กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)
เนื้อมัจจุมีเมล็ด	1	1200
	2	1440
	3	1680
เนื้อมัจจุไม่มีเมล็ด	4	1200
	5	1440
	6	1680

3.2 ศึกษากระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศของเนื้อมังคุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ศึกษากระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ โดยนำมังคุดแช่แข็งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน 200 กรัม วางบนจานแก้ว โดยที่วางเนื้อมังคุดแต่ละชิ้นไม่ติดกัน จากนั้นอบด้วยเครื่องไมโครเวฟอบแห้งร่วมสุญญากาศ โดยที่งานหมุนที่ระดับความดัน 160 mmHg โดยการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ปัจจัยศึกษาคือ กำลังไมโครเวฟ 3 ระดับ ได้แก่ 1200, 1440 และ 1680 วัตต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สิ่งทดลองของเนื้อมังคุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันในการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD

ลักษณะเนื้อมังคุด	สิ่งทดลอง	กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)
เนื้อมังคุดมีเมล็ด	1	1200
	2	1440
	3	1680
เนื้อมังคุดไม่มีเมล็ด	4	1200
	5	1440
	6	1680

ทำการคำนวณสัดส่วนของปริมาณความชื้น (Moisture ratio) ดังสมการที่ 11 แล้วแสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้ง

$$\text{สัดส่วนของปริมาณความชื้น (MR)} = \frac{(X_t - X_e)}{(X_0 - X_e)} \quad (11)$$

X_0 คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัมน้ำ/กรัมวัตถุดิบแห้ง)

X_t คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลา t (กรัมน้ำ/กรัมวัตถุดิบแห้ง)

X_e คือ ปริมาณความชื้นสมดุลของ (กรัมน้ำ/กรัมวัตถุดิบแห้ง)

คำนวณอัตราการอบแห้ง (Drying rate) ดังสมการที่ 12

$$\text{Drying rate} = \frac{X_i - X_{i-1}}{\Delta t} \quad (12)$$

จากนั้นอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองลีวีส (Lewis's model) และแบบจำลองเพจ (Page's model) ดังสมการที่ 13 และ 14 ตามลำดับ (Roberts *et al.*, 2008)

$$\frac{(X_t - X_e)}{(X_0 - X_e)} = \exp(-kt) \quad (13)$$

$$\frac{(X_t - X_e)}{(X_0 - X_e)} = \exp(-kt^n) \quad (14)$$

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant) ที่อุณหภูมิ t ใดๆ (นาที่⁻¹)

n คือ ค่า empirical constant

t คือ เวลาในการอบ (นาที่)

ตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error, RMSE) และค่าไคสแควร์ (χ^2) ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองและค่าจากการทดลอง ดังสมการที่ 15, 16 และ 17 ตามลำดับ จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงที่ได้จากการทดลองและค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของแบบจำลอง (สมการที่ 18)

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}\right)}} \quad (15)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \sum (x - y)^2} \quad (16)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (X - Y)^2}{N - n} \quad (17)$$

$$\text{Residual} = X - Y \quad (18)$$

X คือ ค่าจริงที่ได้จากการทดลอง

Y คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง

N คือ จำนวนหน่วยของข้อมูล

n คือ จำนวนค่าคงที่

Residual คือ ความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของแบบจำลอง

4. ตรวจสอบคุณภาพมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

4.1 คุณภาพทางกายภาพ

4.1.1 ค่าสี L*, a*, b* ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Hunter and Harod, 1987) ดังแสดงในภาคผนวก ข

4.1.2 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีด้วยเครื่อง water activity รุ่น Aw CX3TE ดังแสดงในภาคผนวก ข

4.1.3 ค่าความแข็ง ด้วยเครื่อง Lloyd รุ่น TA 500 ดังแสดงในภาคผนวก ข

4.1.4 โครงสร้างภายใน โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ส่องโครงสร้างที่ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต บางเขน

4.2 คุณภาพทางเคมี

4.2.1 ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ค

4.2.2 ปริมาณกรดทั้งหมด (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ค

4.2.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงใน ภาคผนวก ค

4.2.4 ปริมาณแซนโทน วิธี HPLC ส่องตรวจวิเคราะห์ที่ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย อำเภอกลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

4.2.5 ปริมาณ PPO (Polyphenoloxidase) (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ค

4.2.6 ความสามารถในการกั้นตัว (Therdthai and Northongkom, 2011) ดังแสดงใน ภาคผนวก ค

4.2.7 อุณหภูมิสภาพแก้ว (Glass transition temperature) ส่องวิเคราะห์ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เขตพญาไท กรุงเทพฯ

4.3 คุณภาพประสาทสัมผัส

นำมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการอบสโมคคิไฮเดรชันที่ได้จากการศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบ และกำลังไมโครเวฟต่อคุณภาพของมังคุดอบแห้งในข้อ 3.1 มาวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-Point Hedonic Scale กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยสุ่มตัวอย่างให้ผู้ทดสอบทีละชุด (1 ชุด มี 3 ตัวอย่าง) ทั้งหมด 4 ชุด ระหว่างการทดสอบแต่ละตัวอย่าง คำนวณระหว่างตัวอย่าง จากนั้นให้ผู้ทดสอบให้คะแนน โดยใช้แบบสอบถาม ดังแสดงในภาคผนวก จ

4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความชอบโดยรวมและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการอบสโมกดีไฮเดรชัน

สร้างสมการเพื่อทำนายค่าความชอบโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง จากค่าคุณภาพทางกายภาพได้แก่ สี L^* a^* b^* ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี และค่าความแข็ง ทางเคมีได้แก่ ปริมาณความชื้น น้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง ปริมาณกรดทั้งหมด และความสามารถในการคืนตัว โดยใช้เทคนิค Partial Least Square (PLS) ซึ่งเป็นวิธีการที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความชอบโดยรวม กับตัวแปรต้นได้แก่ ค่าคุณภาพกายภาพและเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แล้ววิเคราะห์ออกมาในรูปแบบสมการถดถอย

5. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมังคุดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

นำมังคุดอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยนำตัวอย่างมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการอบสโมกดีไฮเดรชัน จำนวน 20 กรัมบรรจุในถุงลามิเนตอะลูมิเนียมฟอยล์ (12×18 เซนติเมตร) ถุงละ 20 กรัม เก็บตัวอย่างในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส แล้วทำการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีทุก 1 สัปดาห์ คุณภาพทางประสาทสัมผัสทุก 2 สัปดาห์ คุณภาพทางจุลินทรีย์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพ โดยค่าคุณภาพที่ทำการศึกษาได้แก่

5.1 คุณภาพทางกายภาพ

5.1.1 ค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี และค่าความแข็งดังแสดงในภาคผนวก ข

5.2 คุณภาพทางเคมี

5.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก

สร้างสมการเพื่อทำนายค่าความชอบโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งจากค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ สี $L^* a^* b^*$ ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี และค่าความแข็ง ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น น้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง ปริมาณกรดทั้งหมด และความสามารถในการคั้นตัว โดยใช้เทคนิค Partial Least Square (PLS) ซึ่งเป็นวิธีการที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความชอบโดยรวม กับตัวแปรต้น ได้แก่ ค่าคุณภาพกายภาพและเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แล้ววิเคราะห์ออกมาในรูปแบบสมการถดถอย

6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมังคุดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

นำมังคุดอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยนำตัวอย่างมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการอบสโมกดิไฮเดรชัน จำนวน 20 กรัมบรรจุในถุงลามิเนตอะลูมิเนียมฟอยล์ (12×18 เซนติเมตร) ถุงละ 20 กรัม เก็บตัวอย่างในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส แล้วทำการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีทุก 1 สัปดาห์ คุณภาพทางประสาทสัมผัสทุก 2 สัปดาห์ คุณภาพทางจุลินทรีย์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพ โดยค่าคุณภาพที่ทำการศึกษาได้แก่

6.1 คุณภาพทางกายภาพ

6.1.1 ค่าสีในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี และค่าความแข็งดังแสดงในภาคผนวก ข

a. คุณภาพทางเคมี

i. ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก

b. คุณภาพทางจุลินทรีย์

6.3.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001) ดังแสดงในภาคผนวก ง

6.3.2 ยีสต์และรา (BAM, 2001) ดังแสดงในภาคผนวก ง

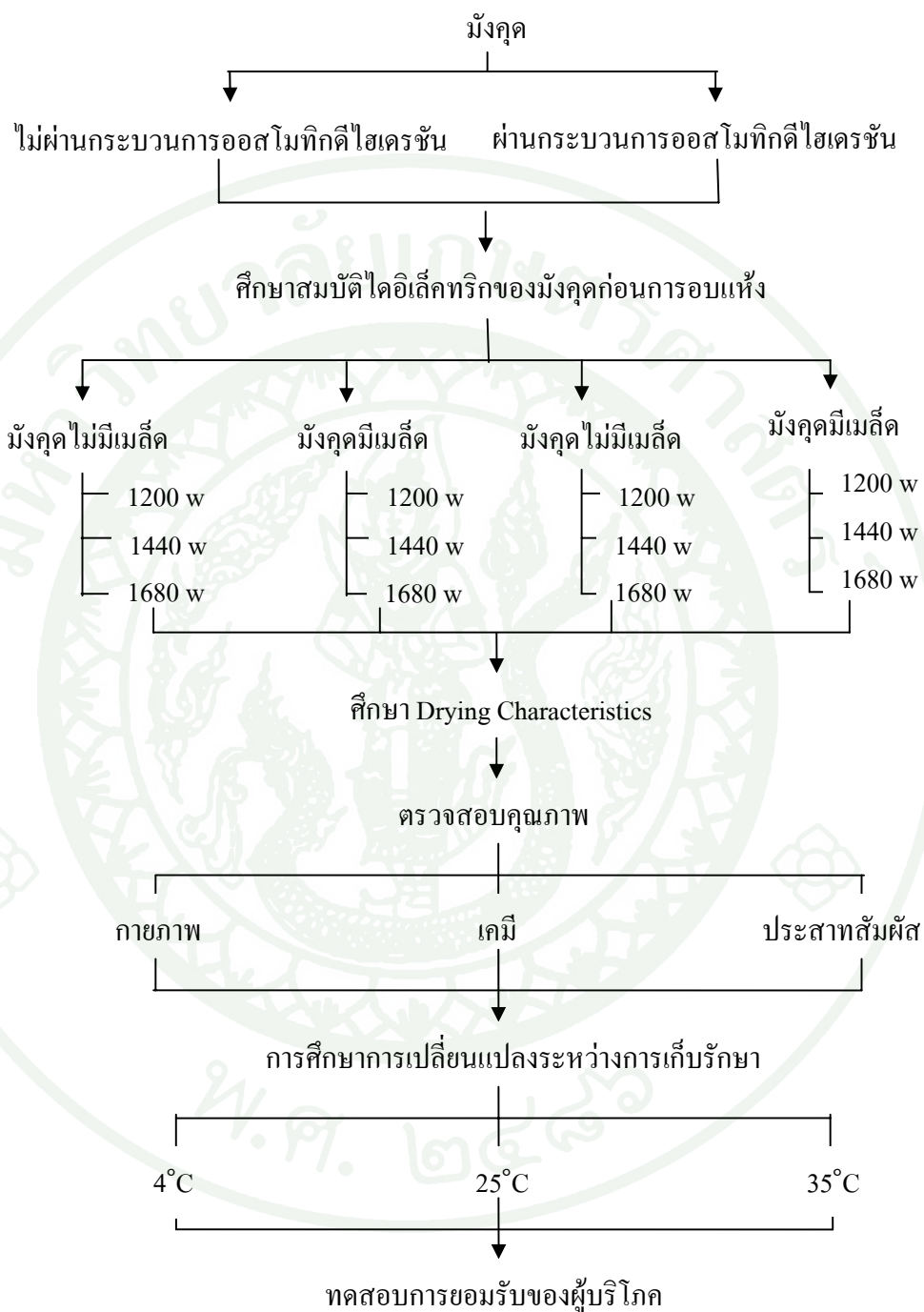
6.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พร้อมทั้งสอบถามการยอมรับ ด้วยแบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ง โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ที่รับประทานมังคุดจำนวน 30 คน โดยสุ่มตัวอย่างที่ละตัวอย่าง ให้รับประทานน้ำเปล่าคั่นระหว่างตัวอย่างดังแสดงในภาคผนวก จ

6. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง

ทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งที่ได้จากการพัฒนากระบวนการผลิต ด้วยวิธี Central Location Test (CLT) โดยคัดเลือกผู้บริโภคทั่วไปที่รับประทานมังคุดและผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจำนวน 88 คน ณ บริเวณโรงอาหารกลาง 2 ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน โดยที่แบบสอบถาม 1 ชุด ประกอบไปด้วย แบบสอบถาม ตัวอย่างมังคุดอบแห้งไม่มีเมล็ด 2 ชิ้นต่อ 1 ชุด และมังคุดอบแห้งมีเมล็ด 1 ชิ้น ต่อ 1 ชุด ซึ่งแบบสอบถามแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ

แผนการศึกษาตลอดโครงการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ด้วยภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนการทดลองของการอบแห้งมังคุดด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและหากสิ่งทดลองมีความแตกต่าง ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS[®] เวอร์ชัน 12

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Partial Least Square (PLS) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป XLSTAT[®] เวอร์ชัน 2006

สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ระยะเวลาการทำวิจัย 18 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2553 ถึงเดือนมีนาคม 2555

ผลและวิจารณ์

1. คุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมัจจุสด

การผลิตมัจจุสดอบแห้งเลือกใช้มัจจุสด จากตลาดไท จ.ปทุมธานี โดยมีการควบคุมคุณภาพดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพมัจจุสด

ค่าคุณภาพ	มัจจุสดไม่มีเมล็ด	มัจจุสดมีเมล็ด
L*-value (ค่าความสว่าง)	74.76±1.04	76.94±1.15
a*-value (ค่าสีแดง)	1.27±0.20	1.49±0.37
b*-value (ค่าสีเหลือง)	11.46±0.38	8.89±0.74
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (องศาบริกซ์)	14.48±0.34	15.76±0.65
ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	84.68±1.36	80.34±1.44
pH	3.21±0.32	3.67±0.24
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละน้ำหนักเปียก)	0.25±0.00	0.26±0.00
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละน้ำหนักเปียก)	4.50±0.03	4.50±0.03
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละน้ำหนักเปียก)	10.10±0.16	10.10±0.16
แซนโทน (mg/kg)	4.78	5.66

2. ผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อสมบัติไดอิเล็กทริกของมัจจุสดก่อนการอบแห้ง

การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟกับวัตถุดิบชนิดต่างๆ ค่า dielectric constant จะสามารถอธิบายถึงความสามารถของวัตถุดิบในการดูดซับคลื่นไมโครเวฟเมื่อวางวัตถุดิบไว้ในสนามไฟฟ้า ในขณะที่ค่า loss factor สามารถอธิบายการเปลี่ยนพลังงานที่ดูดซับได้ให้กลายเป็นความร้อน (Sosa-Morales, 2010) จากผลการทดลองตารางที่ 7 และ 8 ค่า dielectric constant และ

loss factor ของมังกุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน มีค่าที่สูงกว่ามังกุดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน เพราะปริมาณความชื้นและของแข็งที่ต่างกัน หลังจากมังกุดได้ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของมังกุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ด คือ 11.62 กรัม/100 กรัม และ 9.31 กรัม/100 กรัม ปริมาณน้ำที่สูญเสียของมังกุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ด คือ 49.12 กรัม/ 100 กรัม และ 49.98 กรัม/100 กรัม ดังนั้นปริมาณความชื้นของมังกุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดลดลงจาก 6.877 ± 0.203 และ 5.264 ± 0.021 กรัม/กรัมวัตถุดิบแห้ง เป็น 1.289 ± 0.063 และ 2.222 ± 0.023 กรัม/กรัมวัตถุดิบแห้งตามลำดับ

ระหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชันสารละลายซูโครสเกิดการไฮโดรไลซ์จากน้ำตาลสามารถออกซิโดซ์เป็นกรดบางชนิดได้ (สมบัติ, 2546) เป็นผลให้ไฮโดรเจนไอออนในมังกุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันเพิ่มขึ้น เพิ่มความสามารถในการดูดซับ และการเปลี่ยนแปลงพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อนได้ (Yam and Lai, 2004) ดังนั้น dielectric constant, loss factor และ loss tangent ของมังกุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เป็นไปในทางที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับมังกุดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน เช่นเดียวกับ Reyes *et al.*, (2007) ที่รายงานว่า สมบัติไดอิเล็กทริกของมะเขือเทศที่ผ่านออสโมติกดีไฮเดรชันมีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเพิ่มขึ้นของ loss factor การเปลี่ยนแปลงสมบัติไดอิเล็กทริกของมังกุดไม่มีเมล็ด มีความชัดเจนมากกว่าในส่วนของมังกุดมีเมล็ด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสมบัติไดอิเล็กทริกของมังกุดอาจมีผลกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ

ตารางที่ 7 สมบัติไดอิเล็กทริกของมังกุดไม่มีเมล็ดที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

การเตรียมวัตถุดิบ	Dielectric		
	constant	Loss factor	Loss tangent
ไม่มีเมล็ด	$17.749^b \pm 0.61$	$4.401^b \pm 0.55$	$0.232^b \pm 0.06$
ไม่มีเมล็ดผ่าน			
การออสโมติกดีไฮเดรชัน	$25.119^a \pm 0.24$	$14.178^a \pm 2.29$	$0.500^a \pm 0.06$

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-b} ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงถึงทดลองในแถวที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 8 สมบัติไดอิเล็กทริกของมังกูดมีเมล็ดที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

การเตรียมวัตถุดิบ	Dielectric		
	constant	Loss factor	Loss tangent
มีเมล็ด	21.363 ^b ±0.48	6.366 ^b ±0.38	0.287 ^b ±0.04
มีเมล็ดผ่าน			
การออสโมติกดีไฮเดรชัน	24.824 ^a ±0.53	11.519 ^a ±0.90	0.465 ^a ±0.03

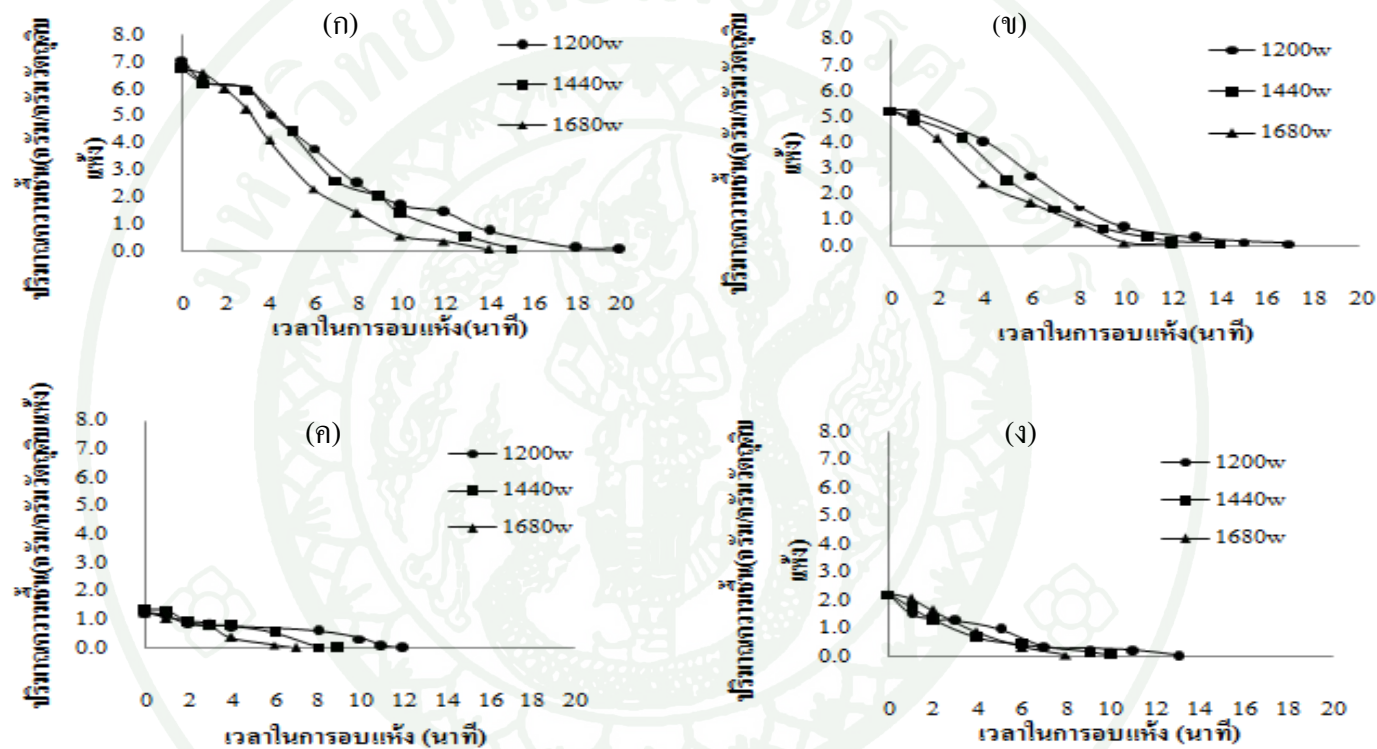
หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-b} ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงถึงสิ่งทดลองในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3. ศึกษากระบวนการอบแห้งมังกูดที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

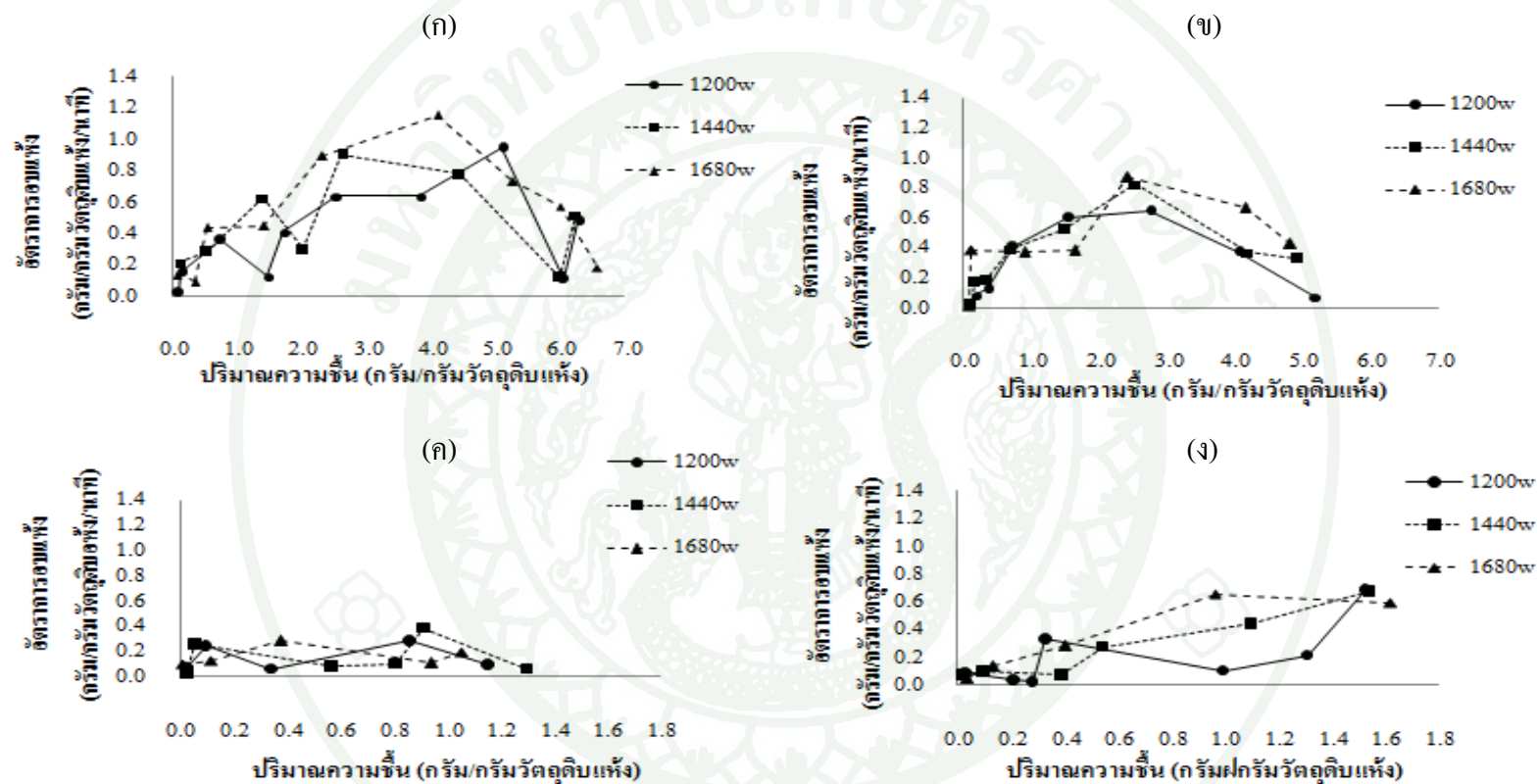
เมื่อทำการศึกษาคัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างกระบวนการอบแห้งของมังกูดที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับความดันที่ 13.33 กิโลปาสกาล โดยทำการอบแห้ง 3 สภาวะ ได้แก่ 1200, 1440 และ 1680 วัตต์ พบว่าสัดส่วนของปริมาณความชื้นมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้ง โดยในช่วงแรกของการอบแห้ง สัดส่วนของปริมาณความชื้นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 7) เนื่องจากอุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงท้ายของการอบแห้ง สัดส่วนของปริมาณความชื้นจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันไอลดลง อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารมายังผิวหน้ามีค่าต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ (วิล, 2547) ด้านอัตราการอบแห้งของมังกูดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ภาพที่ 8 ก และ ข) พบว่าในช่วงแรกปริมาณความชื้นและน้ำอิสระในมังกูดยังมากอยู่ ส่งผลให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟ และความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อนสูง อุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ช่วงแรกของการอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากที่ยืนจนจุดสูงสุด อัตราการอบแห้งจะลดระดับลงมา ผลมาจากปริมาณความชื้นและน้ำอิสระที่ลดลง ส่งผลให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟ และ loss factor น้อยลง (Thredthai and Zhou, 2009) ส่วนอัตราการอบแห้งของมังกูดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันค่อนข้างต่ำ เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น และน้ำอิสระที่ต่ำกว่ามาก

(ภาพที่ 8 กและ ง)

การเพิ่มขึ้นของกำลังไมโครเวฟจาก 1200 วัตต์ เป็น 1680 วัตต์ ทำให้ที่อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการอบแห้งทุเรียนแผ่นที่เพิ่มกำลังวัตต์จาก 3.88 วัตต์ต่อกรัม เป็น 7.23 วัตต์ต่อกรัม ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งให้รวดเร็วขึ้น (Bai-Ngew *et al.*, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการอบแห้งในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้แก่ ใบสะระแหน่ (Therdthai and Zhou, 2009) กลิบกระเทียม (Figiel, 2008) และเห็ด (Giri and Prasad, 2007) อย่างไรก็ตาม กำลังไมโครเวฟจาก 1200 วัตต์ เป็น 1680 วัตต์ไม่มีผลต่อมั่งคุดมีเมลลิตที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งมังคุดด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ; มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก), มังคุดมีเมล็ดอบแห้งไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข), มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ค) และ มังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ง)



ภาพที่ 8 อัตราการอบแห้งระหว่างการอบแห้งมังคุดด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ; มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก), มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการ ออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข), มังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ค) และมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ง)

ค่า n มีค่าต่ำกว่า 1 และแบบจำลอง Page มีความเหมาะสมในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาในการอบแห้ง เมื่อสร้างกราฟความสัมพัทธ์

ระหว่างการทำนายกับค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย (ภาพที่ 9) พบว่าจากการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 1200, 1440 และ 1680 วัตต์ พบว่าเวลาในการอบแห้งที่ทำให้ปริมาณความชื้นของมังคุดไม่มีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันลดลงต่ำกว่า 0.10 กรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง คือ 20, 15 และ 14 นาทีตามลำดับ ดังนั้นน้ำอิสระที่ออกไประหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชันเป็นการปรับสมบัติไดอิเล็กทริก ทำให้เวลาในการอบแห้งของมังคุดไม่มีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันลดลงเป็น 12, 9 และ 7 นาทีตามลำดับ สำหรับเวลาในการอบแห้งของมังคุดมีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันของกำลังวัตต์ 1200, 1440 และ 1680 วัตต์ คือ 17, 14 และ 12 นาที ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่สั้นกว่ามังคุดไม่มีเมล็ดที่กำลังวัตต์เดียวกัน เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นของมังคุดทั้งมีและไม่มีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันไม่เท่ากัน การอบแห้งมังคุดมีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันที่ใช้เวลา 13, 10 และ 8 นาทีตามลำดับ

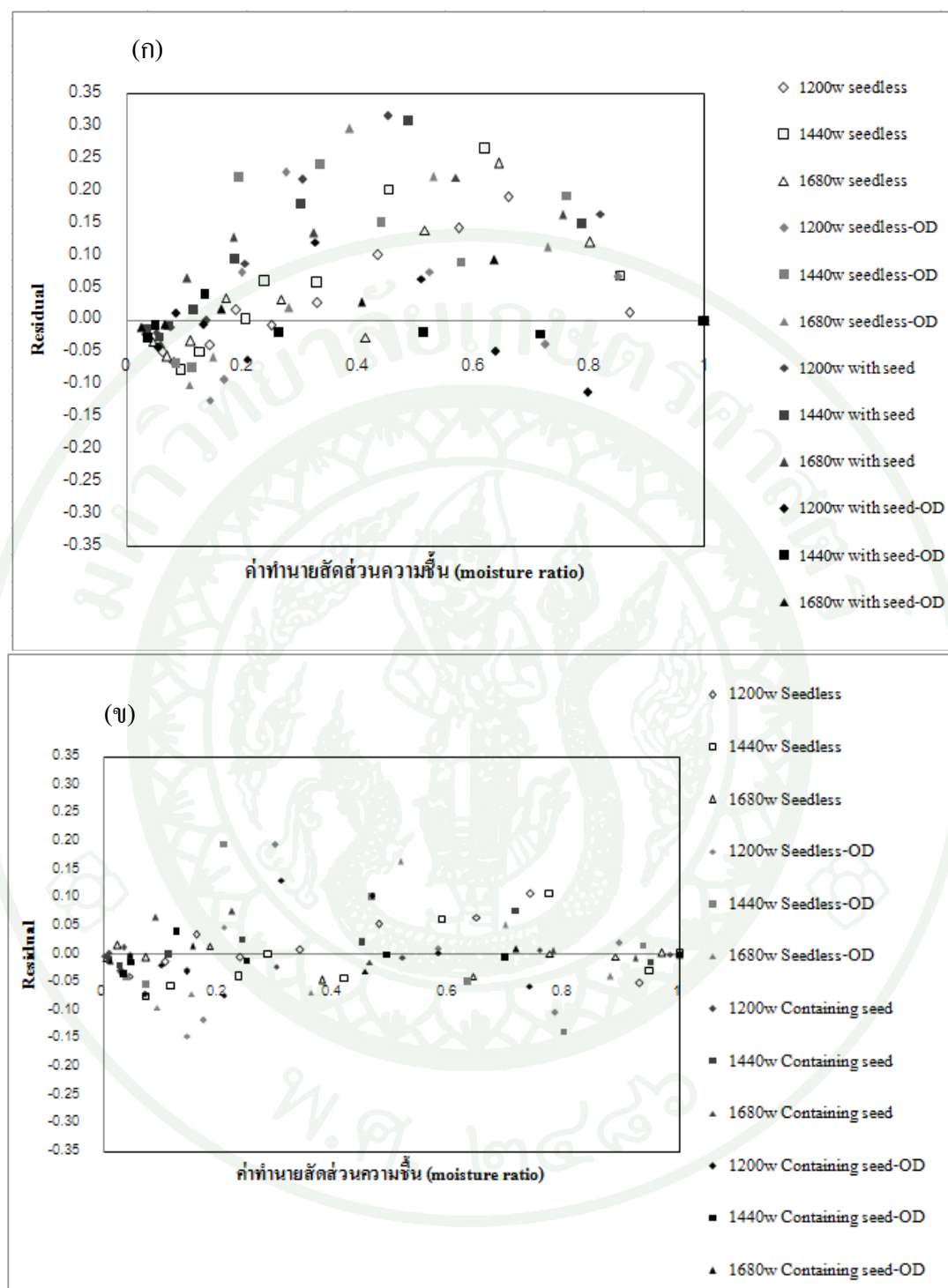
การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของความชื้นระหว่างการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองของ Lewis และ Page ในการอธิบาย (ตารางที่ 9 และ 10) จากแบบจำลอง Lewis มีค่าการทำนายความชื้นที่ต่ำอาจเป็นเพราะว่าความสัมพัทธ์ระหว่างสัดส่วนของความชื้นและเวลาในการอบแห้งไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงอันดับที่ 1 จึงใช้แบบจำลอง Page ในการปรับค่าทำนาย จากแบบจำลอง Page พบว่าแบบจำลอง Page model มีค่าเข้าใกล้ 0 มากกว่าแบบจำลอง Lewis และมีลักษณะ Unsystematic ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยและกระจายไม่จำเพาะตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bai-Ngew *et al.* (2011) ที่รายงานว่า แบบจำลอง Page มีความเหมาะสมในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาในการอบแห้งทุเรียน เมื่อพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย และการกระจายตัวของคลาดเคลื่อนแบบจำลอง Page สามารถอธิบายสัดส่วนของความชื้นของมังคุดมีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันได้ดี สำหรับมังคุดไม่มีเมล็ด แบบจำลอง Page สามารถทำนายสัดส่วนของความชื้นของมังคุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันได้ไม่ดีเท่าการทำนายในมังคุดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน เป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสมบัติไดอิเล็กทริกของมังคุดไม่มีเมล็ดระหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชันสามารถเร่งการอบแห้ง ดังนั้น ความชื้นจึงลดลงอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง Lewis และ Page

แบบจำลอง	พารามิเตอร์	มั่งคุดไม่มีเมล็ด			มั่งคุดไม่มีเมล็ดที่ผ่านการ ออกซิโมทิกดีไฮเดรชัน			มั่งคุดมีเมล็ด			มั่งคุดมีเมล็ดที่ผ่านการ ออกซิโมทิกดีไฮเดรชัน		
		1200w	1440w	1680w	1200w	1440w	1680w	1200w	1440w	1680w	1200w	1440w	1680w
Lewis	r	0.98	0.961	0.966	0.952	0.939	0.933	0.957	0.962	0.974	0.962	0.982	0.99
	RMSE	0.083	0.121	0.143	0.108	0.153	0.151	0.175	0.164	0.121	0.126	0.022	0.041
Page	r	0.992	0.992	0.999	0.936	0.963	0.976	0.999	0.998	0.996	0.988	0.999	0.998
	RMSE	0.048	0.056	0.02	0.164	0.097	0.084	0.013	0.03	0.037	0.068	0.021	0.015

ตารางที่ 10 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง Lewis และ Page

		พารามิเตอร์		
		Lewis model	Page model	
กำลังไมโครเวฟ				
การเตรียมมังคุด	(วัตต์)	k (min ⁻¹)	n	k (min ⁻¹)
มังคุดไม่มีเมล็ด	1200	0.138	1.306	0.071
	1440	0.158	1.450	0.052
	1680	0.220	1.929	0.031
มังคุดไม่มีเมล็ดที่ผ่าน				
การอบสโมทิก				
ดีไฮเดรชัน	1200	0.161	1.157	0.109
	1440	0.274	1.773	0.066
	1680	0.318	1.550	0.128
มังคุดมีเมล็ด				
	1200	0.198	2.110	0.015
	1440	0.240	1.703	0.052
	1680	0.282	1.637	0.080
มังคุดมีเมล็ดที่ผ่านการ				
อบสโมทิกดีไฮเดรชัน				
	1200	0.223	0.847	0.300
	1440	0.334	0.971	0.362
	1680	0.450	1.240	0.332

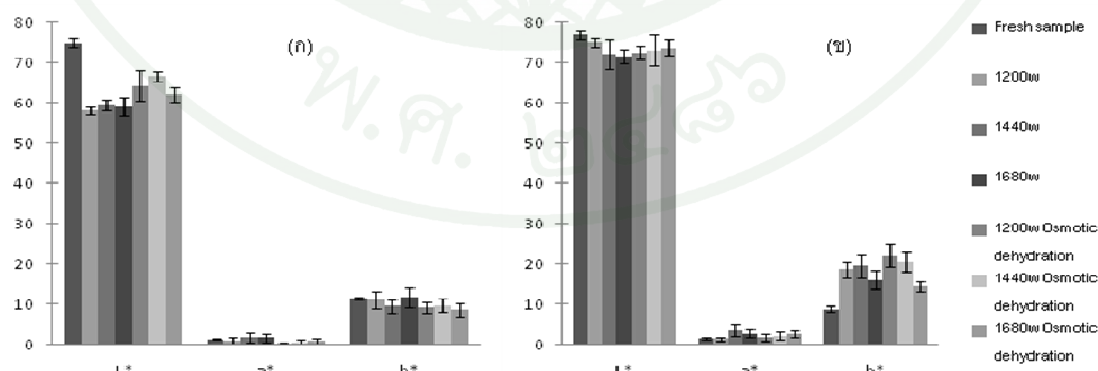


ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทำนายกับค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย; Lewis model (ก) และ Page model (ข)

4. คุณภาพมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

4.1 คุณภาพทางกายภาพ

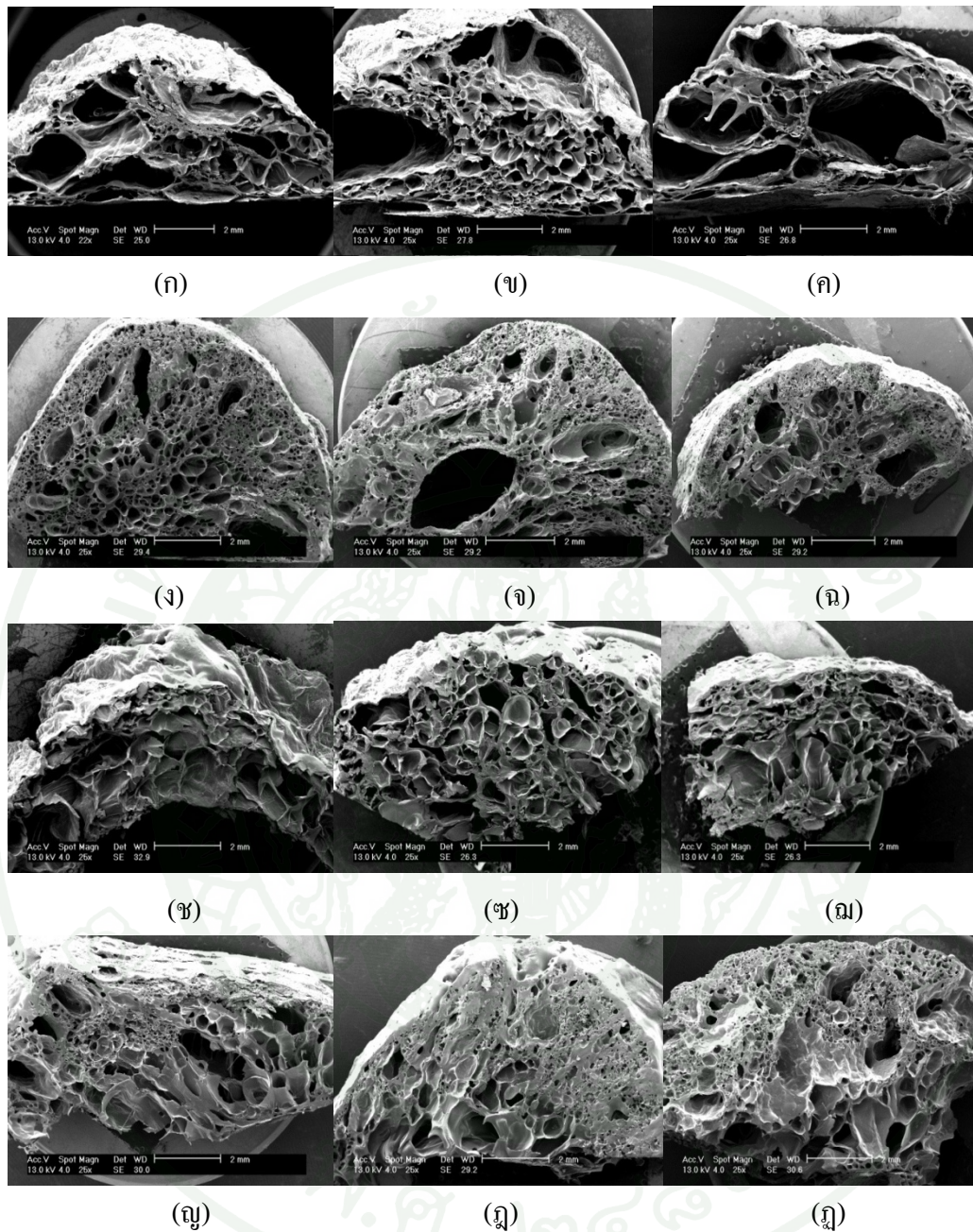
ค่าความสว่าง (L^* -value) ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งอยู่ในช่วง 59 - 61 มีความแตกต่างกับมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 10 (ก)) มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีค่าความสว่างที่มากกว่าไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ซึ่งสอดคล้องกับ *Borguez et al.* (2010) รายงานว่าข้อดีของการนำผลไม้ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันในสารละลายน้ำตาล คือช่วยยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) การเปลี่ยนแปลงพลังงานไมโครเวฟไม่มีผลต่อสีของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง ($P > 0.05$) เพราะเวลาในการอบแห้งที่สั้นและสภาวะสุญญากาศระหว่างการอบแห้ง ทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (*Hu et al.*, 2006^b) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของวรรณรัตน์ (2554) พบว่าค่าความสว่างของมังคุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันโดยลมร้อนน้อยกว่า ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมากกว่ามังคุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ *Therdthai and Zhou* (2009) พบว่าการอบแห้งใบสาระแหน่โดยการอบลมร้อน ส่งผลให้ค่าความสว่างน้อยลง และค่าสีแดง (a^* -value) มากขึ้น ในส่วนของมังคุดมีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ภาพที่ 10 (ข)) ไม่มีผลกับค่าความสว่าง และค่าสีแดง อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนระหว่างการวัดสีที่มีส่วนของเมล็ดด้วย อย่างไรก็ตามค่าสีเหลือง (y^* -value) ลดลงเมื่อกำลังไมโครเวฟสูงขึ้น ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 10 สีของมังคุดอบแห้ง; มังคุดไม่มีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก) และมังคุดมีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข)

พิจารณาค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (ตารางที่ 11) พบว่ามังคุดอบแห้งมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับมังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่ามังคุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ต่ำกว่าเนื่องจากระหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชันเกิดการถ่ายเทมวลของน้ำและสารละลายออสโมซิส ทำให้ภายในผลไม้มีน้ำอิสระลดลงและปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น (Lazarides, 2001)

เมื่อนำมังคุดอบแห้งมาศึกษาโครงสร้างพื้นฐานภายในโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด ที่กำลังขยาย 25 เท่า พบว่ากำลังไมโครเวฟและการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งมีผลต่อโครงสร้างของมังคุดอบแห้งอย่างชัดเจน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศทำให้เกิดรูพรุน ซึ่งเกิดจากการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วระหว่างการอบแห้ง และความดันไอสู่ขึ้นส่งผลให้เกิดแรงดันภายในผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นโพรง (Therdthai and Zhou, 2009) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bai-Ngew *et al.* (2011) ซึ่งพบว่าโครงสร้างของทุเรียนแผ่นอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีรูพรุนกระจายตัวอย่างทั่วถึง งานวิจัยของ Erle and Schubert (2000) พบว่าโครงสร้างแอปเปิ้ลสไลด์อบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน มีโครงสร้างที่แตกหัก เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างของแอปเปิ้ลสไลด์อบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันที่ยังคงตัวอยู่ เมื่อเทียบโครงสร้างภายในมังคุดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ภาพที่ 11 (ก-ค, ช-ฅ)) พบว่ารูพรุนเพิ่มขนาดใหญ่กว่าโครงสร้างที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ภาพที่ 11 (ง-ฉ, ญ-ฎ)) เนื่องจากมังคุดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีปริมาณน้ำอิสระมากกว่า เมื่อแช่แข็งส่งผลให้มีปริมาณและขนาดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์มากกว่ามังคุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน เมื่อนำไปอบแห้ง ส่งผลให้เกิดความดันภายในและความร้อนที่มากกว่าเกิดโพรงขนาดใหญ่กว่า โดยการใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นในการอบแห้งทำให้มีการทำลายโครงสร้างผลิตภัณฑ์มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hu *et al.* (2006²) ที่ศึกษาโครงสร้างของถั่วแระญี่ปุ่น ในขณะที่เดียวกันมังคุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า เมื่อนำไปแช่แข็งจึงเกิดผลึกน้ำแข็งน้อยและขนาดเล็ก เมื่อนำไปอบแห้งแรงดันไอบนมังคุดจึงน้อยกว่าส่งผลให้ลักษณะรูพรุนน้อยและละเอียดมากกว่า (ภาพที่ 11 (ง-ฉ, ญ-ฎ))



ภาพที่ 11 โครงสร้างภายในของมังกุดหลังอบแห้งโดยการส่องกล้อง SEM (Scanning Electron Microscope); มังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่กำลังวัด 1200, 1440 และ 1680 วัตต์ (ก – ค), มังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออกซิโมทิกดีไฮเดรชันที่กำลังวัด 1200, 1440 และ 1680 วัตต์ (ง – จ), มังกุดมีเมล็ดอบแห้งที่กำลังวัด 1200, 1440 และ 1680 วัตต์ (ข – ฉ), มังกุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออกซิโมทิกดีไฮเดรชันที่กำลังวัด 1200, 1440 และ 1680 วัตต์ (ญ – ฎ)

ค่าความแข็ง (Hardness) ของมังกุดอบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับมังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน อย่างไรก็ตามการเพิ่มกำลังวัตต์ไมโครเวฟไม่มีผลต่อค่าความแข็ง ($P > 0.05$) มังกุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีค่าความแข็งที่ต่ำกว่ามังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ตารางที่ 11) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากลักษณะโครงสร้างโพรงขนาดใหญ่ของมังกุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันจึงทำให้ง่ายต่อการแตกหัก จึงเป็นผลให้ค่าความแข็งจึงน้อยกว่ามังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของวรรณรัตน์ (2554) พบว่าค่าความแข็งของมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยการอบลมร้อนอยู่ในช่วง 0.19 - 0.61 นิวตัน ซึ่งน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ อาจเกิดปริมาณความชื้นที่มากกว่า ในมังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยการอบลมร้อนมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 9 - 15 ของน้ำหนักแห้ง ทำให้เนื้อสัมผัสมีความหยุ่น แต่มังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีปริมาณความชื้นอยู่ร้อยละ 2 - 3 ของน้ำหนักแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hu *et al.* (2006²) พบว่าค่าความแข็งของถั่วแระญี่ปุ่นอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมากกว่าถั่วแระญี่ปุ่นอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากโครงสร้างของถั่วแระญี่ปุ่นอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศไม่ติดกัน เมื่อเทียบกับลมร้อนที่มีโครงสร้างที่ยืดหยุ่น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Nimmanpipug and Therdthai (2012) พบว่ามะละกอแช่อบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีรูปทรงที่ละเอียดและกรอบ เมื่อเทียบกับโครงสร้างของมะละกออบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันและอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีลักษณะแน่นหยุ่นนุ่ม

ตารางที่ 11 ความแข็งและวอเตอร์แอกทिवิตีของมังกุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

การเตรียมตัวอย่าง	กำลังวัตต์	ความแข็ง (นิวตัน)		วอเตอร์แอกทिवิตี	
		ไม่มีเมล็ด	มีเมล็ด	ไม่มีเมล็ด	มีเมล็ด
ไม่ผ่านการ	1200	12.925±2.79 ^a	28.695±1.26 ^a	0.397 ^a ±0.01	0.389 ^a ±0.02
ออสโมติก	1440	17.827±1.26 ^a	39.747±2.11 ^a	0.385 ^a ±0.01	0.375 ^{ab} ±0.00
ดีไฮเดรชัน	1680	14.130±2.81 ^a	38.967±3.16 ^a	0.366 ^a ±0.00	0.368 ^{ab} ±0.04
ผ่านการ	1200	39.045±2.97 ^b	72.028±1.96 ^b	0.341 ^b ±0.01	0.347 ^{cd} ±0.01
ออสโมติก	1440	37.892±1.48 ^b	73.284±2.96 ^b	0.334 ^b ±0.00	0.323 ^d ±0.01
ดีไฮเดรชัน	1680	38.197±1.14 ^b	71.42±2.96 ^b	0.325 ^b ±0.01	0.320 ^d ±0.01

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2 คุณภาพทางเคมี

จากตารางที่ 12 พบว่าปริมาณความชื้นของมังกุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันอยู่ในช่วงร้อยละ 8.50 - 11.29 (น้ำหนักแห้ง) มังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันอยู่ในช่วงร้อยละ 2.48 - 3.60 (น้ำหนักแห้ง) การเพิ่มกำลังไมโครเวฟจาก 1200 วัตต์ เป็น 1680 วัตต์ ทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ($P \leq 0.05$) ด้านปริมาณกรดทั้งหมดของมังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่ามีปริมาณกรดทั้งหมดน้อยกว่ามังกุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน เนื่องจากระหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชันมังกุด การถ่ายเทมวลสารของน้ำและสารละลายออสโมซิส น้ำจะเคลื่อนที่จากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังเซลล์ไปยังสารละลายภายนอก ทำให้กรดที่สามารถแตกตัวในน้ำได้เคลื่อนที่จากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังเซลล์ไปยังสารละลายภายนอก ส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดของมังกุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันลดลง จากตารางที่ 12 พบว่าปริมาณความชื้นของมังกุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันอยู่ในช่วงร้อยละ 8.50 - 11.29 (น้ำหนักแห้ง) มังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันอยู่ในช่วงร้อยละ 2.48 - 3.60

(น้ำหนักแห้ง) การเพิ่มกำลังไมโครเวฟจาก 1200 วัตต์ เป็น 1680 วัตต์ ทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ($P \leq 0.05$) ด้านปริมาณกรดทั้งหมดของมังคุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่ามีปริมาณกรดทั้งหมดน้อยกว่ามังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน เนื่องจากระหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชันมังคุด การถ่ายเทมวลสารของน้ำและสารละลายออสโมซิส น้ำจะเคลื่อนที่จากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังเซลล์ไปยังสารละลายภายนอก ทำให้กรดที่สามารถแตกตัวในน้ำได้เคลื่อนที่จากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังเซลล์ไปยังสารละลายภายนอก ส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดของมังคุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันลดลง ปริมาณกรดทั้งหมดของมังคุดทั้งแบบมีเมล็ดไม่มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดของมังคุดไม่มีเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับมังคุดมีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน(ตารางที่ 13) ที่ลดลงเช่นกัน ซึ่งอาจเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้น้ำตาลเกิดการออกซิไดส์เกิดเป็นกรดแอลโดนิค กรดยูโรนิค และกรดแอลคานิก (สมบัติ, 2546) อิเล็กตรอนถูกส่งผ่านและเปลี่ยนไปเป็นหมู่คาร์บอกซิลิก ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อเพิ่มกำลังไมโครเวฟ แต่ในทางกลับกันปริมาณกรดทั้งหมดของมังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันลดลงเมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของกำลังวัตต์ไมโครเวฟส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดของมังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านและการออสโมติกดีไฮเดรชันลดลง ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 12 ปริมาณกรดทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดหลังการอบแห้งของมังคุดไม่มีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

	ไม่มีเมล็ด			ไม่มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน		
	1200 วัตต์	1440 วัตต์	1680 วัตต์	1200 วัตต์	1440 วัตต์	1680 วัตต์
ปริมาณความชื้น (%db)	9.36 ^{ab} ±0.38	10.67 ^a ±0.38	8.50 ^c ±0.20	2.62 ^d ±2.31	2.73 ^d ±0.19	2.48 ^d ±0.74
กรดทั้งหมด (%)	0.40 ^a ±0.01	0.34 ^b ±0.01	0.31 ^c ±0.01	0.03 ^f ±0.00	0.04 ^c ±0.00	0.04 ^d ±0.00
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	8.14 ^d ±0.07	7.32 ^c ±0.03	7.24 ^c ±0.05	18.81 ^a ±0.30	18.16 ^b ±0.14	9.50 ^c ±0.01
น้ำตาลทั้งหมด (%)	20.30 ^c ±0.06	19.35 ^c ±0.10	16.45 ^d ±0.11	47.36 ^a ±1.68	46.03 ^a ±0.54	40.95 ^b ±0.52
พอลิฟีนอลออกซิเดส	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-f} ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 13 ปริมาณกรดทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดหลังการอบแห้งของมังคุดมีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

	มีเมล็ด			มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน		
	1200 วัตต์	1440 วัตต์	1680 วัตต์	1200 วัตต์	1440 วัตต์	1680 วัตต์
ปริมาณความชื้น (%db)	11.11 ^a ±2.02	11.29 ^a ±2.42	9.29 ^b ±1.56	3.00 ^d ±1.33	2.09 ^d ±0.55	3.60 ^{cd} ±1.48
กรดทั้งหมด (%)	0.30 ^a ±0.00	0.23 ^b ±0.01	0.16 ^c ±0.01	0.05 ^f ±0.00	0.06 ^c ±0.00	0.08 ^d ±0.01
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	11.08 ^d ±0.08	10.98 ^d ±0.15	9.17 ^c ±0.15	21.93 ^a ±0.04	19.88 ^b ±0.16	13.19 ^c ±0.07
น้ำตาลทั้งหมด (%)	21.66 ^c ±0.10	20.90 ^c ±0.06	18.02 ^d ±0.11	43.47 ^a ±0.22	43.43 ^a ±0.62	39.48 ^b ±0.05
พอลิฟีนอลออกซิเดส	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-f} ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ส่วนกิจกรรมเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสนั้น ไม่พบปริมาณเอนไซม์หลังจากการทำ อบแห้งแล้วทั้งในมังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการอบสโม่ทิกดีไฮเดรชัน (ตารางที่ 12-13) เนื่องจากกระบวนการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง และการอบแห้ง ซึ่งการลวกเป็นลดกิจกรรม เอนไซม์ได้ (วรรณรัตน์, 2554) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sun *et al.* (2010) ที่ได้ศึกษาใน แห้ว (chufa) พบว่าแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจะถูกทำลายเมื่อความ ร้อนที่ใช้มีอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยของวรรณรัตน์ (2554) พบว่า การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งยังพบกิจกรรมเอนไซม์หลงเหลืออยู่ ดังนั้นการอบแห้งด้วย ไมโครเวฟสุญญากาศสามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสได้

ระหว่างการอบแห้ง เมื่อมีการสูญเสีย น้ำ ทำให้สารละลายน้ำตาลในมังคุดเข้มข้นขึ้น จนถึงจุดอิ่มตัว เกิดผลึกและส่งผลต่ออุณหภูมิสภาพแก้ว (Galsstransition temperature, T_g) ใน สภาพที่เป็นแก้ว ลักษณะของตัวอย่างจะเปราะบาง ความแข็งแรงสูง และมีการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลต่ำ (Vega-Galvez *et al.*, 2012) T_g ของมังคุดอบแห้งที่ผ่านการอบสโม่ทิกดีไฮเดรชันมีค่า มากกว่า (T_g มังคุดไม่มีเมล็ด = 25.96 องศาเซลเซียส และ T_g มังคุดมีเมล็ด = 11.11 องศาเซลเซียส) มังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการอบสโม่ทิกดีไฮเดรชัน (T_g มังคุดไม่มีเมล็ด = 3.00 องศาเซลเซียส และ T_g มังคุดมีเมล็ด = -7.01 องศาเซลเซียส) เนื่องจากการอบสโม่ทิกดีไฮเดรชันสามารถลดปริมาณน้ำ อิสระด้วยการดึงน้ำออก และการเกิดปฏิกิริยาการแพร่ระหว่างน้ำกับน้ำตาล ทำให้การเคลื่อนที่ของ โมเลกุลน้ำใน amorphous ลดลง ส่งผลให้ T_g สูงขึ้น (Deng and Zhou, 2007)

ความสามารถในการคืนตัวของมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการอบสโม่ทิก ดีไฮเดรชันแสดงในตารางที่ 14 สำหรับมังคุดอบแห้งไม่มีเมล็ดที่ผ่านการอบสโม่ทิกดีไฮเดรชันมี ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAC) มากกว่าเมื่อเทียบกับมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่าน การอบสโม่ทิกดีไฮเดรชัน ($P \leq 0.05$) ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณของแข็งระหว่างการอบสโม่ทิก ดีไฮเดรชันช่วยปกป้องโครงสร้างจากการทำลายด้วยความร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถคืนตัวได้ดี เนื่องจากความสามารถในการคืนตัว (RA) ขึ้นอยู่กับเนื้อเยื่อและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (Debnath *et al.*, 2004) ซึ่งโครงสร้างของมังคุดอบแห้งไม่มีเมล็ดที่ผ่านการอบสโม่ทิกดีไฮเดรชัน (ภาพที่ 11) แสดงถึงการถูกทำลายน้อยกว่ามังคุดที่ไม่ผ่านการอบสโม่ทิกดีไฮเดรชัน อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการคืนตัวของมังคุดมีเมล็ดอบแห้ง ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการอบสโม่ทิกดีไฮเดรชัน (ตารางที่ 15) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อาจเกิดจากภายในมังคุดที่มี

เมล็ด ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่เหมาะสำหรับการดูดน้ำกลับ อย่างไรก็ตาม ผลกระทบของกำลัง
ไม่โครเวฟที่มีต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (DHC) และความ
สามารถในการคืนตัวไม่ชัดเจน เพราะตัวอย่างทั้งหมดได้รับการอบแห้งภายใต้ระดับความดันเดียว
กัน ดังนั้นการหดตัวของทุกตัวอย่างลดลง ทำให้ความสามารถในการคืนตัวของทุกตัวอย่างดีขึ้น



ตารางที่ 14 ความสามารถในการคืนตัวของมังกูดไม่มีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออกสโมทิกดีไฮเดรชัน

	ไม่มีเมล็ด			ไม่มีเมล็ดที่ผ่านออกสโมทิกดีไฮเดรชัน		
	1200 วัตต์	1440 วัตต์	1680 วัตต์	1200 วัตต์	1440 วัตต์	1680 วัตต์
WAC	0.21 ^c ±0.01	0.23 ^c ±0.04	0.19 ^c ±0.01	0.37 ^{ab} ±0.04	0.40 ^a ±0.02	0.33 ^b ±0.02
DHC	0.71 ^a ±0.08	0.75 ^a ±0.03	0.72 ^a ±0.07	0.74 ^a ±0.01	0.69 ^a ±0.06	0.73 ^a ±0.05
RA	0.15 ^c ±0.02	0.17 ^{bc} ±0.04	0.13 ^c ±0.01	0.27 ^a ±0.03	0.28 ^a ±0.04	0.24 ^{ab} ±0.00

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงถึงทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

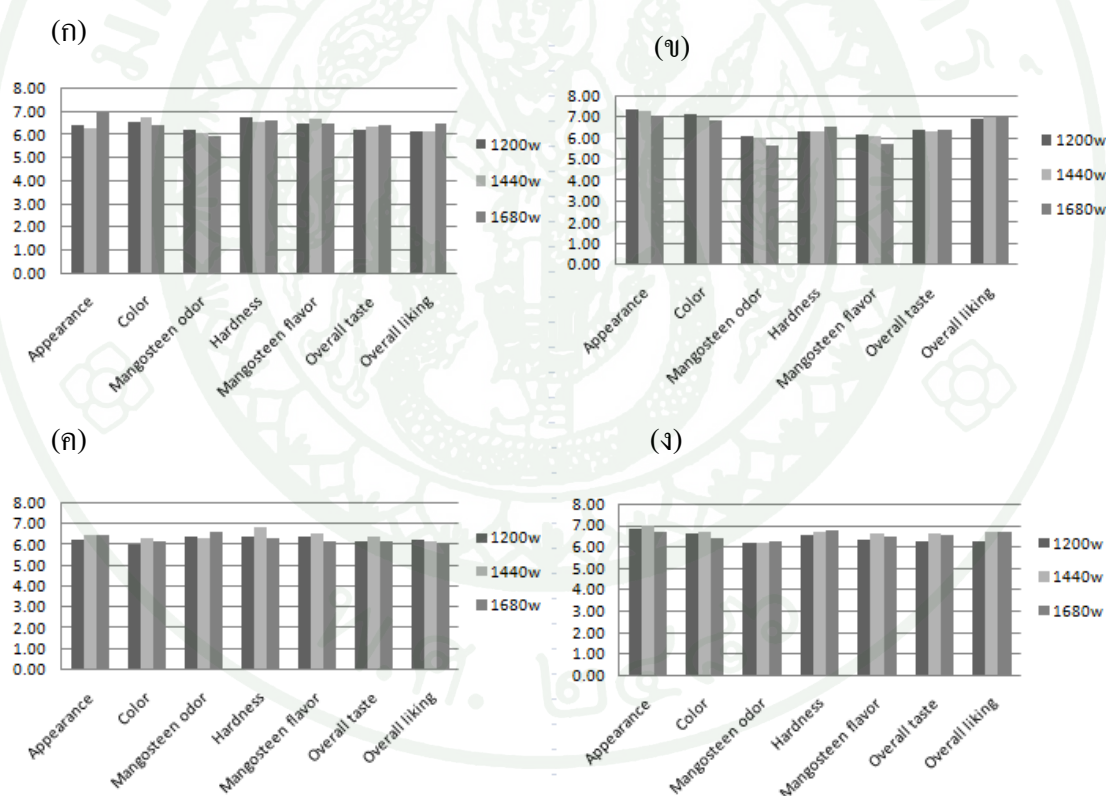
ตารางที่ 15 ความสามารถในการคืนตัวของมังกุดมีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

	มีเมล็ด			มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน		
	1200 วัตต์	1440 วัตต์	1680 วัตต์	1200 วัตต์	1440 วัตต์	1680 วัตต์
WAC ^{ns}	0.20±0.02	0.19±0.01	0.17±0.03	0.19±0.03	0.24±0.04	0.22±0.02
DHC ^{ns}	0.85±0.17	0.90±0.09	0.87±0.13	0.73±0.09	0.74±0.11	0.73±0.08
RA ^{ns}	0.16±0.01	0.17±0.01	0.14±0.00	0.14±0.04	0.17±0.00	0.16±0.00

หมายเหตุ ตัวอักษร^{ns} หมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ผลปรากฏว่า มังคุดไม่มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวมที่มากกว่ามังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 12 ก และ ข สำหรับมังคุดมีเมล็ด ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน มีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี ความแข็ง กลิ่นรสมังคุด รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวมมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 12 ค และ ง) เนื่องจากการใช้เวลาการอบแห้งที่สั้นกว่า จึงช่วยรักษารูปร่าง สี และกลิ่นรสของมังคุดได้



ภาพที่ 12 คะแนนความชอบของมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน; มังคุดอบแห้งไม่มีเมล็ดไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก), มังคุดมีเมล็ดอบแห้งไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข), มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ค) และ มังคุดมีเมล็ดอบแห้งผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ง)

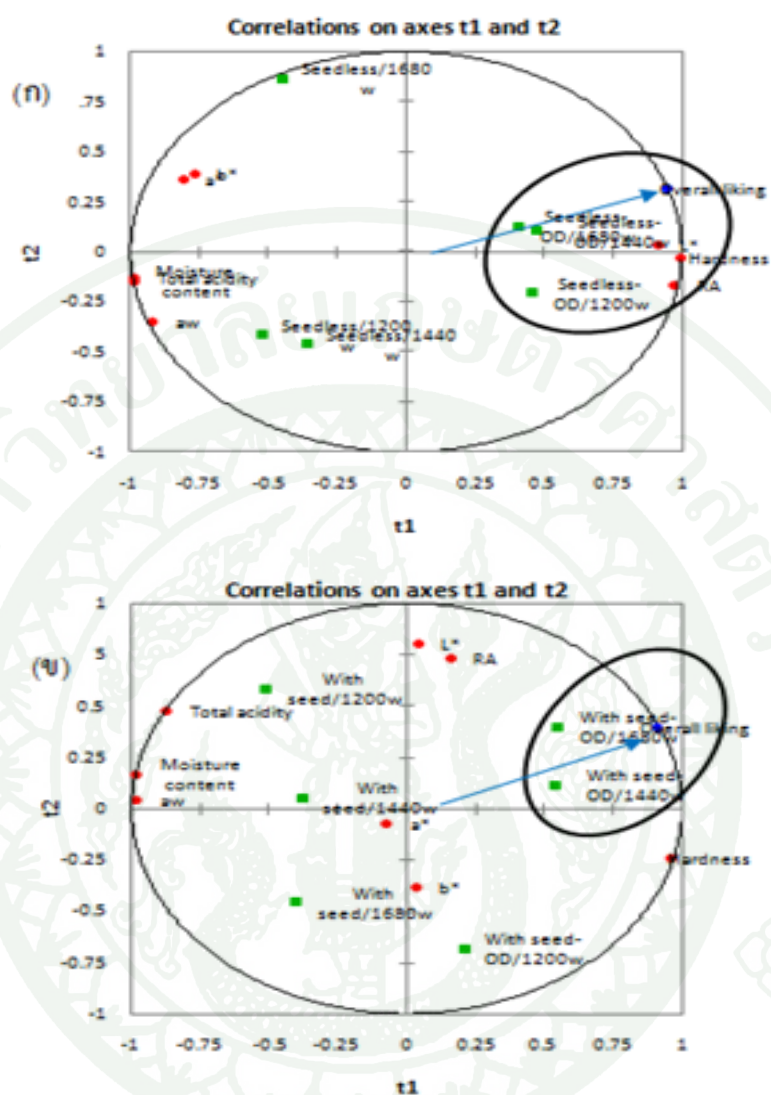
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความชอบโดยรวมและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมั่งคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

จากภาพที่ 13 แสดงแผนภาพความชอบของมั่งคุดไม่มีเมล็ดโดยการวิเคราะห์ด้วย Partial Least Square (PLS) พบว่าการเพิ่มวอเตอร์แอคทีวิตี้ ปริมาณความชื้น และปริมาณกรดทั้งหมดทำให้ความชอบโดยรวมของตัวอย่างลดลง ขณะที่การเพิ่มความแข็ง ความสามารถในการคืนตัว และความสว่างทำให้คะแนนความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์แสดงในสมการที่ 21

$$\begin{aligned} \text{Overall liking score} = & 8.927 - (3.154 \times 10^{-2} \times \text{Moisture content}) - (6.300 \times \text{water activity}) - \\ & (6.814 \times 10^{-3} \times L^*) - (0.017 \times a^*) + (6.235 \times 10^{-2} \times b^*) + (4.701 \times 10^{-3} \times \text{Hardness}) - \\ & (0.636 \times \text{Total acidity}) - (0.366 \times \text{Rehydration ability}), R^2 = 0.999 \end{aligned} \quad (21)$$

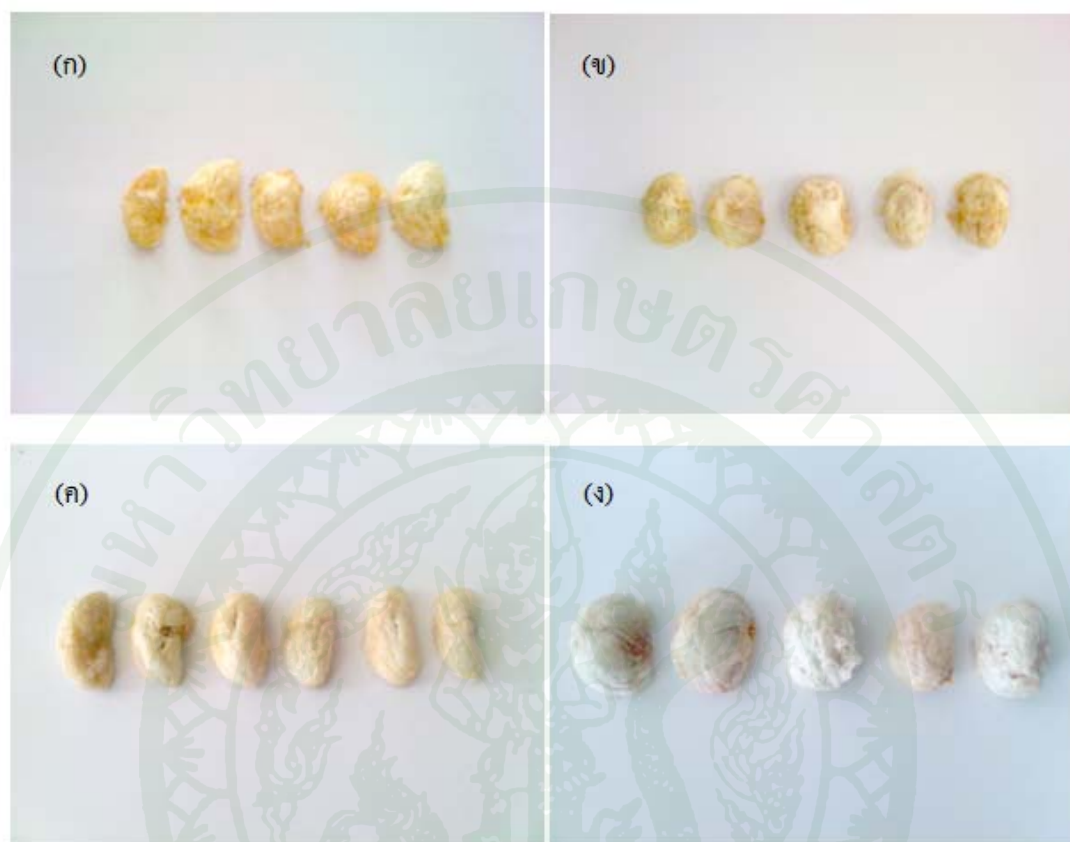
ดังนั้น มั่งคุดไม่มีเมล็ดคอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ภาพที่ 13 (ก)) มีความชอบที่มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน สำหรับมั่งคุดมีเมล็ดคอบแห้ง (ภาพที่ 13 (ข)) พบว่ามั่งคุดมีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันและการอบแห้งที่ 1440 วัตต์ และ 1680 วัตต์ มีความชอบมากที่สุด ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคะแนนความชอบโดยรวม แสดงได้ดังสมการที่ 22 จากสมการพบว่า การเพิ่มค่าสีแดง (a^* -value) ค่าสีเหลือง (b^* -value) ปริมาณความชื้น ปริมาณกรดทั้งหมด และวอเตอร์แอคทีวิตี้ ส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างลดลง การเพิ่มความแข็ง ความสามารถในการคืนตัวและความสว่าง ทำให้คะแนนความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น

$$\begin{aligned} \text{Overall liking score} = & 1.746 - (1.688 \times 10^{-2} \times \text{Moisture content}) - (3.232 \times \text{water activity}) + \\ & (6.851 \times 10^{-2} \times L^*) - (1.342 \times 10^{-2} \times a^*) - (1.8288 \times 10^{-2} \times b^*) + (2.9678 \times 10^{-3} \times \text{Hardness}) - \\ & (0.311 \times \text{Total acidity}) + (7.084 \times \text{Rehydration ability}), R^2 = 0.987 \end{aligned} \quad (22)$$



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง; มังคุดไม่มีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก) และ มังคุดมีเมล็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข)

คัดเลือกกระบวนการผลิตมังคุดอบแห้ง โดยเปรียบเทียบความชอบของผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ระหว่างมังคุดอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟทั้ง 3 ระดับ สำหรับมังคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่า ตัวอย่างไม่มีเมล็ดเมื่อนำมาอบที่ไมโครเวฟ 1680 วัตต์ ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด สำหรับตัวอย่างมีเมล็ด การอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 1440 วัตต์ ทำให้ได้ตัวอย่างที่มีคะแนนความชอบมากที่สุด มังคุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าตัวอย่างไม่มีเมล็ดและอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 1200 วัตต์ ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด ตัวอย่างมีเมล็ด การอบแห้งที่กำลังวัตต์ 1440 วัตต์ ทำให้ตัวอย่างคะแนนความชอบมากที่สุด ดังนั้น จึงทำการเลือกมังคุดทั้ง 4 ตัวอย่าง (ภาพที่ 14) มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมังคุดอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 16)



ภาพที่ 14 มังคุดอบแห้ง; มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันที่กำลังวัด 1680 วัตต์ (ก), มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันที่กำลังวัด 1200 วัตต์ (ข), มังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันที่กำลังวัด 1440 วัตต์ (ค) และ มังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันที่กำลังวัด 1440 วัตต์ (ง)

ตารางที่ 16 คุณภาพของมั่งคุดอบแห้งที่คัดเลือก

คุณภาพ	ไม่มีเมล็ด (1680w/14 min)	ไม่มีเมล็ด ออสโมติกดีไฮเดรชัน (1200w/12 min)	มีเมล็ด (1440w/14 min)	มีเมล็ด ออสโมติกดีไฮเดรชัน (1440w/10 min)
ปริมาณความชื้น(%db)	8.50±0.20	2.62±2.31	11.29±2.42	3.00±1.33
วอเตอร์แอคทิวิตี	0.366±0.00	0.341±0.01	0.375±0.02	0.323±0.01
ความแข็ง (N)	14.13±2.81	39.05±2.97	39.75±2.11	73.28±2.96
WAC	0.19±0.01	0.37±0.04	0.19±0.01	0.24±0.04
DHC	0.72±0.07	0.74±0.01	0.90±0.09	0.74±0.11
RA	0.13±0.01	0.27±0.03	0.17±0.01	0.17±0.00
L*	59.07±2.34	64.11±3.8	72.11±3.69	73.02±3.82
a*	1.69±1.06	0.17±0.50	3.62±1.51	2.22±1.03
b*	11.72±2.46	9.29±1.35	19.55±2.79	20.61±2.33
ปริมาณกรดทั้งหมด(ร้อยละ)	0.34±0.01	0.03±0.00	0.23±0.01	0.06±0.00
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(ร้อยละ)	7.24±0.05	18.81±0.30	10.98±0.15	19.88±0.16

ตารางที่ 16 คุณภาพของมัจจุคอบแห้งที่คัดเลือก (ต่อ)

คุณภาพ	ไม่มีเมล็ด (1680w/14 min)	ไม่มีเมล็ดคอสโมติก ดีไฮเดรชัน (1200w/12 min)	มีเมล็ด (1440w/14 min)	มีเมล็ด คอสโมติกดีไฮเดรชัน (1440w/10 min)
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	16.45±0.11	47.36±1.68	20.90±0.06	43.43±0.62
ปริมาณพอลิฟีนอลออกซิเดส	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
แซนโทน (mg/kg)	4.20	4.22	4.97	5.01
Tg (°C)	3.00	25.96	-7.01	11.11

5. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมังกุดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

5.1 ปริมาณความชื้น

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของมังกุดอบแห้งทั้งไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยในช่วงวันที่ 21-28 ของอายุการเก็บรักษาปริมาณความชื้นสูงเกินมาตรฐานชุมชน (มผช. 136/2550) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้อบแห้ง (มอก. 919-2532) สำหรับมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าปริมาณความชื้นไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ตลอดการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ($P > 0.05$) แต่มังกุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น โดยเริ่มพบความแตกต่างจากวันที่ 0 ($P \leq 0.05$) ในวันที่ 14 ในขณะที่การเก็บที่ 4 องศาเซลเซียสไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ($P > 0.05$) (ตารางที่ 17-18) การที่ปริมาณความชื้นของมังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันต่ำกว่า และสามารถเก็บได้นานกว่ามังกุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน เนื่องจากค่า T_g ของมังกุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันสูงกว่า ซึ่งเกิดจากการออสโมติกดีไฮเดรชันจะมีน้ำตาลอยู่ในรูป amorphous state ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำลดลง เกิดความเสถียรมากกว่ามังกุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันที่มีค่า T_g ต่ำกว่า

ตารางที่ 17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง

วัน	ไม่ผ่านการอบสโม่ทิกดีไฮเดรชัน			ผ่านอบสโม่ทิกดีไฮเดรชัน		
	4 °C	25 °C	35 °C	4 °C ^{ns}	25 °C ^{ns}	35 °C ^{ns}
0	8.5 ^c ±0.2	8.5 ^d ±0.2	8.5 ^d ±0.2	2.26±0.90	2.26±0.90	2.26±0.90
7	11.98 ^d ±0.55	12.67 ^c ±0.41	14.29 ^c ±0.67	2.33±0.20	2.45±0.28	2.30±0.10
14	15.15 ^c ±0.23	17.10 ^b ±0.37	16.45 ^b ±0.21	2.40±0.47	2.84±0.10	2.20±0.10
21	16.57 ^b ±0.31	20.44 ^a ±0.55	23.35 ^a ±0.42	2.43±0.23	3.01±0.35	2.68±0.14
28	18.69 ^a ±1.00	ND	ND	2.93±0.07	3.02±0.14	2.93±0.17
35	ND	ND	ND	2.90±0.05	3.02±0.50	3.01±0.81
42	ND	ND	ND	2.81±0.91	3.09±0.35	3.08±0.59
49	ND	ND	ND	3.24±0.84	3.01±0.20	3.19±0.02
56	ND	ND	ND	3.05±0.49	3.16±0.17	3.29±0.17

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงสิ่งทดลองในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ในแต่ละแถว หมายถึงสิ่งทดลองในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านมาตรฐาน

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของมังคุดมีเมล็ดอบแห้ง

วัน	ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน			ผ่านออสโมติกดีไฮเดรชัน		
	4°C	25°C	35°C	4°C ^{ns}	25°C	35°C
0	11.29 ^d ±7.42	11.29 ^d ±7.42	11.29 ^d ±7.42	2.27±0.64	2.27 ^c ±0.64	2.27 ^d ±0.64
7	13.56 ^c ±3.21	14.33 ^c ±2.67	15.87 ^c ±1.45	2.61±0.12	2.74 ^{bc} ±0.33	2.82 ^{cd} ±0.19
14	15.98 ^b ±2.54	16.99 ^b ±1.45	19.01 ^b ±1.09	2.92±0.21	3.54 ^{ab} ±0.59	3.58 ^{bc} ±0.16
21	17.90 ^a ±1.42	18.02 ^a ±0.56	20.31 ^a ±0.48	3.23±0.17	3.97 ^{ab} ±0.18	4.02 ^{ab} ±0.12
28	ND	ND	ND	3.34±0.82	4.36 ^{ab} ±0.07	4.73 ^{ab} ±0.20
35	ND	ND	ND	3.44±0.19	4.77 ^{ab} ±0.10	5.03 ^{ab} ±0.18
42	ND	ND	ND	3.55±0.01	5.40 ^a ±0.05	5.94 ^a ±0.08
49	ND	ND	ND	3.62±0.24	ND*	ND*
56	ND	ND	ND	3.63±0.61	ND*	ND*

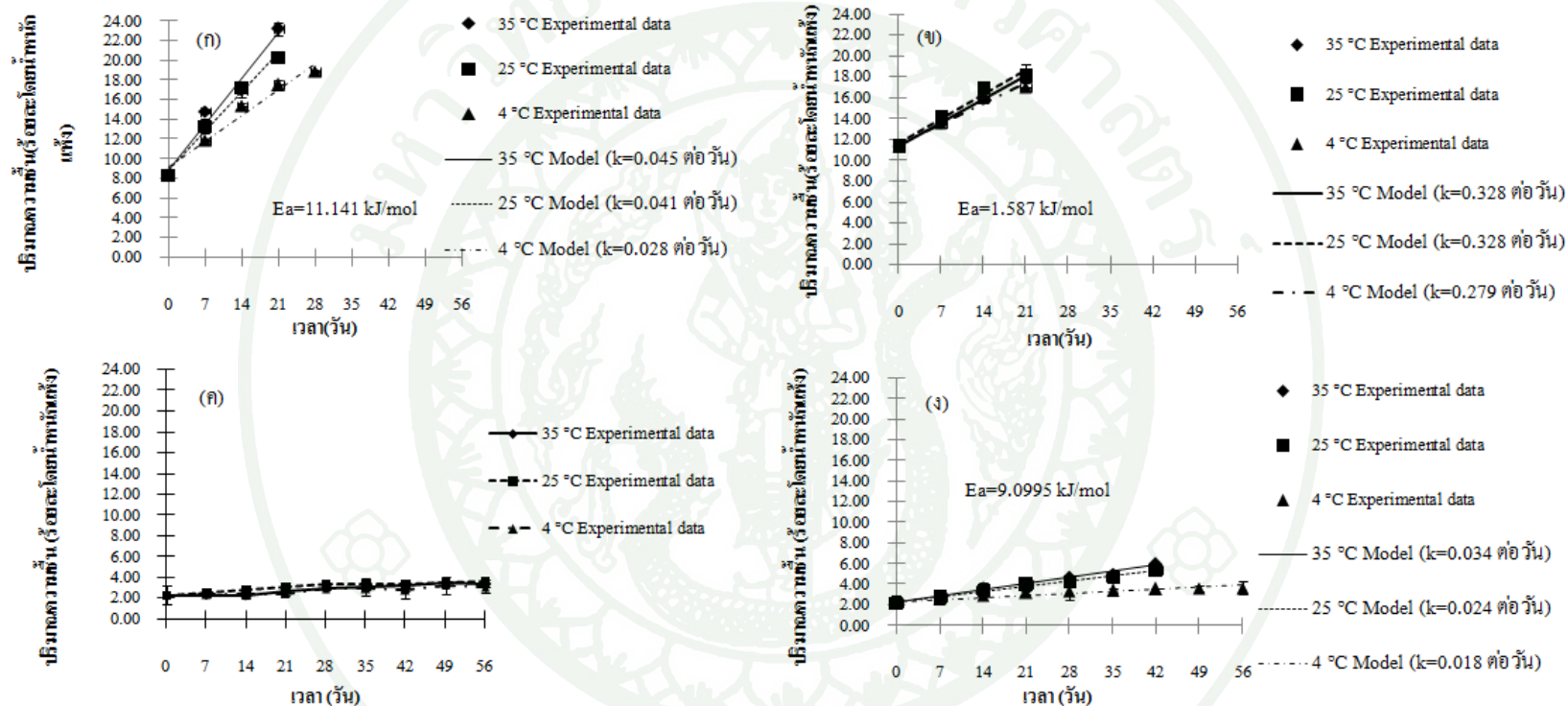
หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านมาตรฐาน

ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

เมื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการเก็บรักษาของมังคุดทั้งไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยสมการจลนพลศาสตร์ พบว่าค่าคงที่อัตรา (k) มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น ค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) ของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันน้อยกว่ามังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง แสดงว่ามังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นได้ง่ายกว่าตัวอย่างที่ไม่มีเมล็ด ในส่วนมังคุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน อุณหภูมิการเก็บมีผลต่อปริมาณความชื้นของมังคุดมีเมล็ดอบแห้ง แต่ไม่มีผลต่อมังคุดอบแห้งไม่มีเมล็ด (ภาพที่ 15)

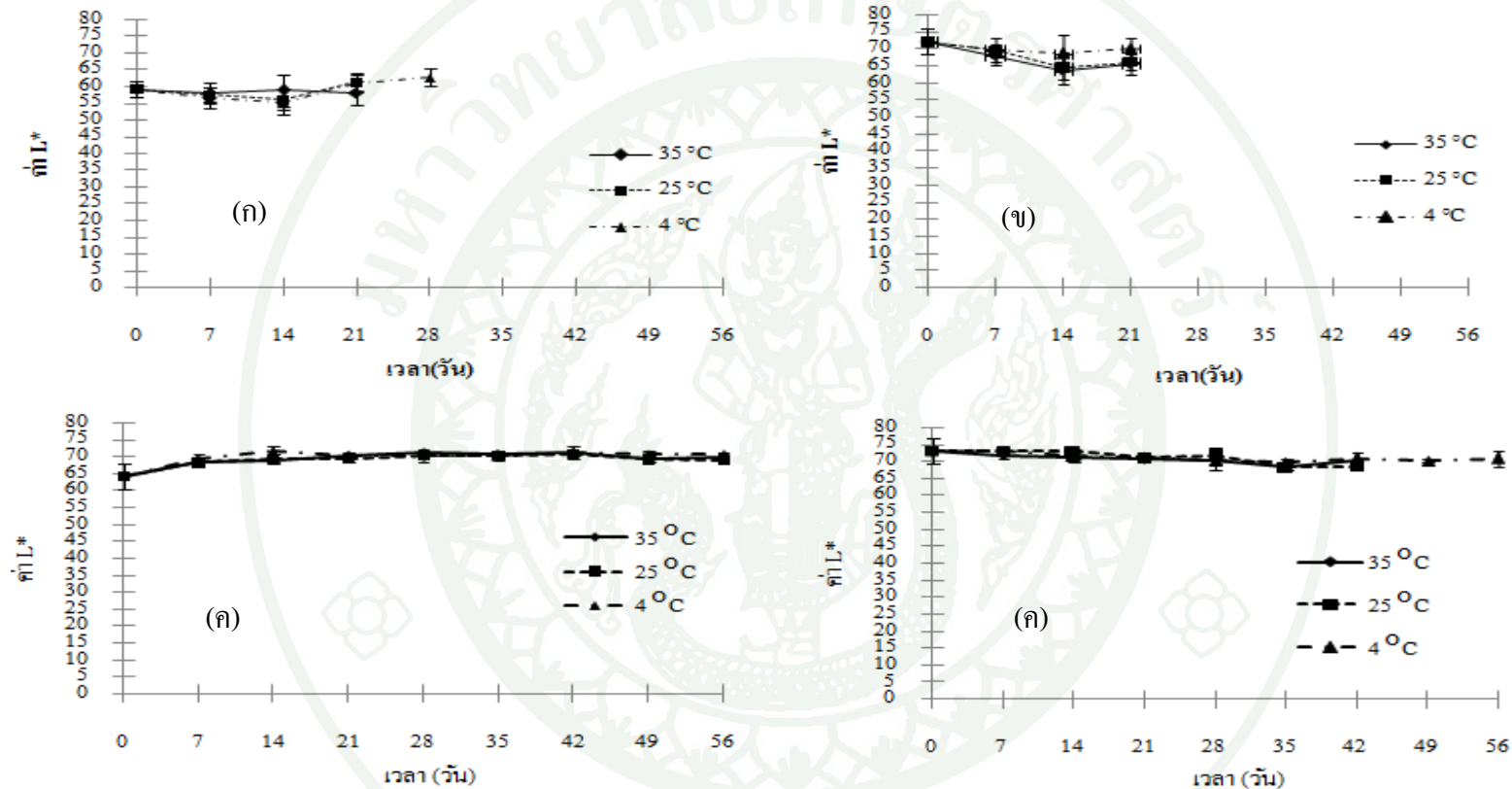


ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียสของมังคุดอบแห้ง; ปริมาณความชื้นของมังคุดอบแห้งไม่มีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก), ปริมาณความชื้นของมังคุดอบแห้งมีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข), ปริมาณความชื้นของมังคุดอบแห้งไม่มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ค) และ ปริมาณความชื้นของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ง)

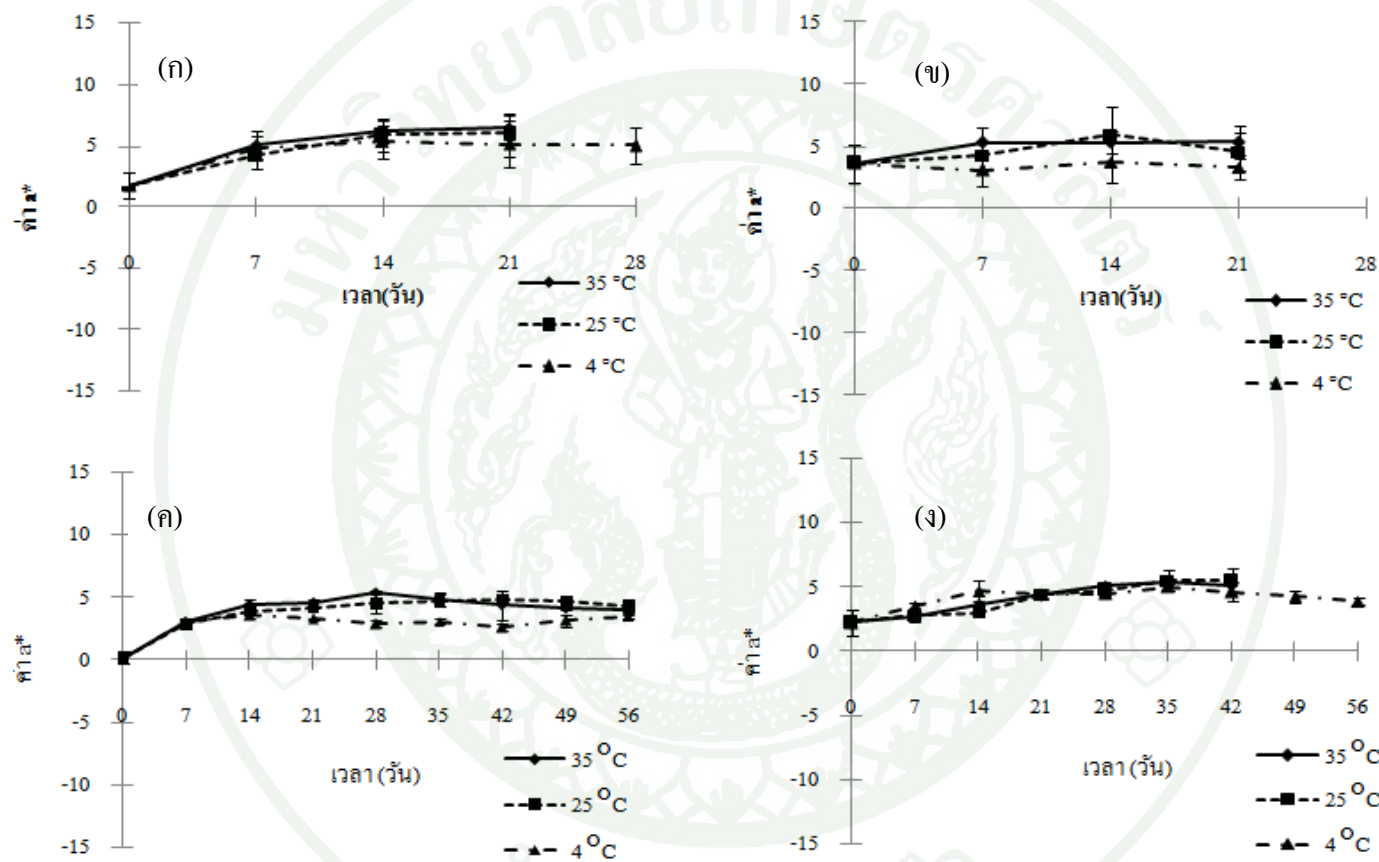
5.2 ค่าสี

ระหว่างการเก็บรักษามังคุดอบแห้งในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าสี (L^* -value, a^* -value และ b^* -value) มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ ค่า L^* , a^* และ b^* ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออกซิโมทิกดีไฮเดรชันอยู่ในช่วง 55.21 - 62.67, 1.69 - 6.55 และ 11.72 - 15.68 ตามลำดับ ค่า L^* , a^* และ b^* มังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออกซิโมทิกดีไฮเดรชันอยู่ในช่วง 63.51 - 72.11, 3.09 - 5.24 และ 18.10 - 22.13 ตามลำดับ ในตัวอย่างที่ผ่านการออกซิโมทิกดีไฮเดรชัน ค่า L^* , a^* และ b^* มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งอยู่ในช่วง 64.11 - 71.07, 0.17 - 4.89 และ 9.29 - 17.78 ตามลำดับ ค่า L^* , a^* และ b^* มังคุดมีเมล็ดอบแห้งอยู่ในช่วง 68.25 - 73.02, 2.22 - 5.49 และ 18.90 - 20.79 ตามลำดับ (ภาพที่ 16-18)

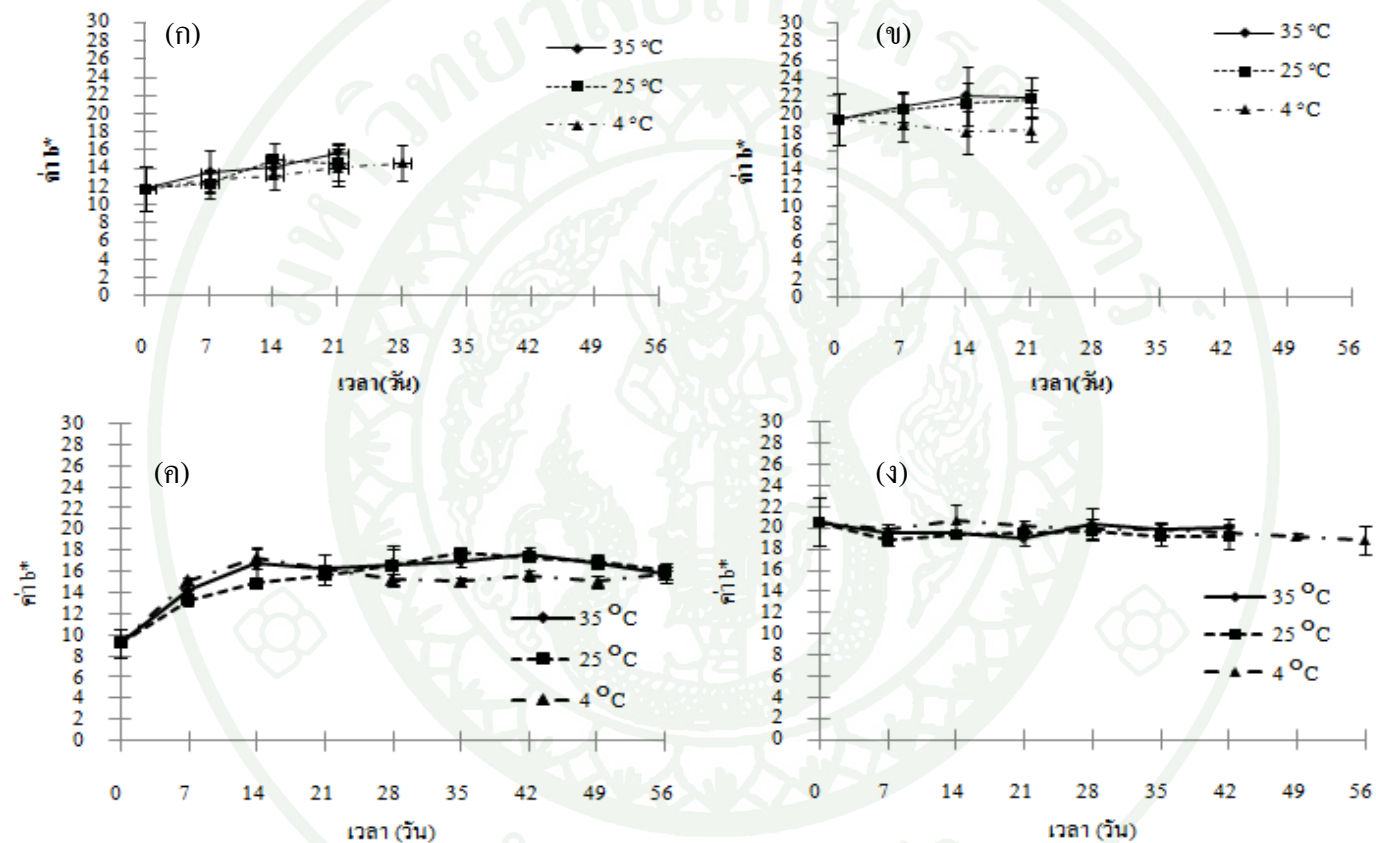
การที่ค่าสีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเกิดการไม่พบกิจกรรมเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นผลจากการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งและการอบแห้ง ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยของวรรณรัตน์ (2554) พบว่าระหว่างการเก็บมังคุดแช่อบแห้ง ค่าสีมีแนวโน้มน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลต่อค่าสี ดังนั้นการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งและการอบแห้งของงานวิจัยนี้ มีความเหมาะสมต่อมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออกซิโมทิกดีไฮเดรชัน



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส; ค่า L* ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก), ค่า L* ของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข), ค่า L* ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ค) และ ค่า L* ของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ง)



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส; ค่า a^* ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก), ค่า a^* ของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข), ค่า a^* ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ค) และ ค่า a^* ของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ง)



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส; ค่า b^* ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก), ค่า b^* ของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข), ค่า b^* ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ค) และ ค่า b^* ของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ง)

5.3 วอเตอร์แอคทีวิตี

ระหว่างการเก็บรักษามังคุดอบแห้งในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (ตารางที่ 19-20) พบว่าค่าวอเตอร์แอคทีวิตีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการแพร่ผ่านของความชื้นเข้ามาในบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างสภาพของน้ำและน้ำตาลในโครงสร้าง ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอคทีวิตีสูงขึ้น โดยการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บสามารถเร่งการเปลี่ยนแปลงของวอเตอร์แอคทีวิตีอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทีวิตีของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง

วัน	ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน			ผ่านออสโมติกดีไฮเดรชัน		
	4 °C	25 °C	35 °C	4 °C ^{ns}	25 °C	35 °C
0	0.366 ^d ±0.00	0.366 ^d ±0.00	0.366 ^d ±0.00	0.313±0.00	0.313 ⁱ ±0.00	0.313 ^g ±0.00
7	0.405 ^c ±0.00	0.441 ^c ±0.00	0.431 ^c ±0.01	0.310±0.00	0.322 ^h ±0.00	0.334 ^f ±0.00
14	0.439 ^b ±0.00	0.536 ^b ±0.00	0.538 ^b ±0.00	0.328±0.00	0.336 ^g ±0.00	0.352 ^e ±0.00
21	0.401 ^c ±0.01	0.612 ^a ±0.00	0.612 ^a ±0.00	0.333±0.00	0.341 ^f ±0.00	0.357 ^e ±0.00
28	0.512 ^a ±0.00	ND	ND	0.342±0.00	0.346 ^e ±0.00	0.364 ^{de} ±0.00
35	ND	ND	ND	0.351±0.00	0.352 ^d ±0.00	0.375 ^{cd} ±0.00
42	ND	ND	ND	0.367±0.00	0.364 ^c ±0.00	0.378 ^c ±0.01
49	ND	ND	ND	0.367±0.00	0.397 ^b ±0.00	0.436 ^b ±0.00
56	ND	ND	ND	0.405±0.25	0.414 ^a ±0.00	0.501 ^a ±0.01

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-i} ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ND หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านมาตรฐาน

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าอเตอร์แอคทีวิตีของมังกุดมีเมล็ดอบแห้ง

วัน	ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน			ผ่านออสโมติกดีไฮเดรชัน		
	4°C	25°C	35°C	4°C	25°C	35°C
0	0.375 ^d ±0.00	0.375 ^d ±0.01	0.375 ^d ±0.02	0.322 ^f ±0.00	0.322 ^f ±0.00	0.322 ^g ±0.00
7	0.380 ^c ±0.00	0.410 ^c ±0.01	0.390 ^c ±0.00	0.331 ^{ef} ±0.00	0.421 ^c ±0.00	0.479 ^f ±0.00
14	0.395 ^a ±0.00	0.425 ^b ±0.00	0.439 ^b ±0.00	0.342 ^{de} ±0.00	0.530 ^d ±0.00	0.591 ^c ±0.00
21	0.392 ^b ±0.00	0.475 ^a ±0.01	0.490 ^a ±0.00	0.356 ^{bc} ±0.00	0.574 ^c ±0.00	0.613 ^d ±0.00
28	ND	ND	ND	0.359 ^{bc} ±0.00	0.645 ^b ±0.00	0.686 ^c ±0.00
35	ND	ND	ND	0.352 ^{cd} ±0.00	0.650 ^{ab} ±0.00	0.678 ^b ±0.00
42	ND	ND	ND	0.349 ^{cd} ±0.01	0.662 ^a ±0.00	0.681 ^a ±0.00
49	ND	ND	ND	0.367 ^{ab} ±0.00	ND*	ND*
56	ND	ND	ND	0.358 ^a ±0.01	ND*	ND*

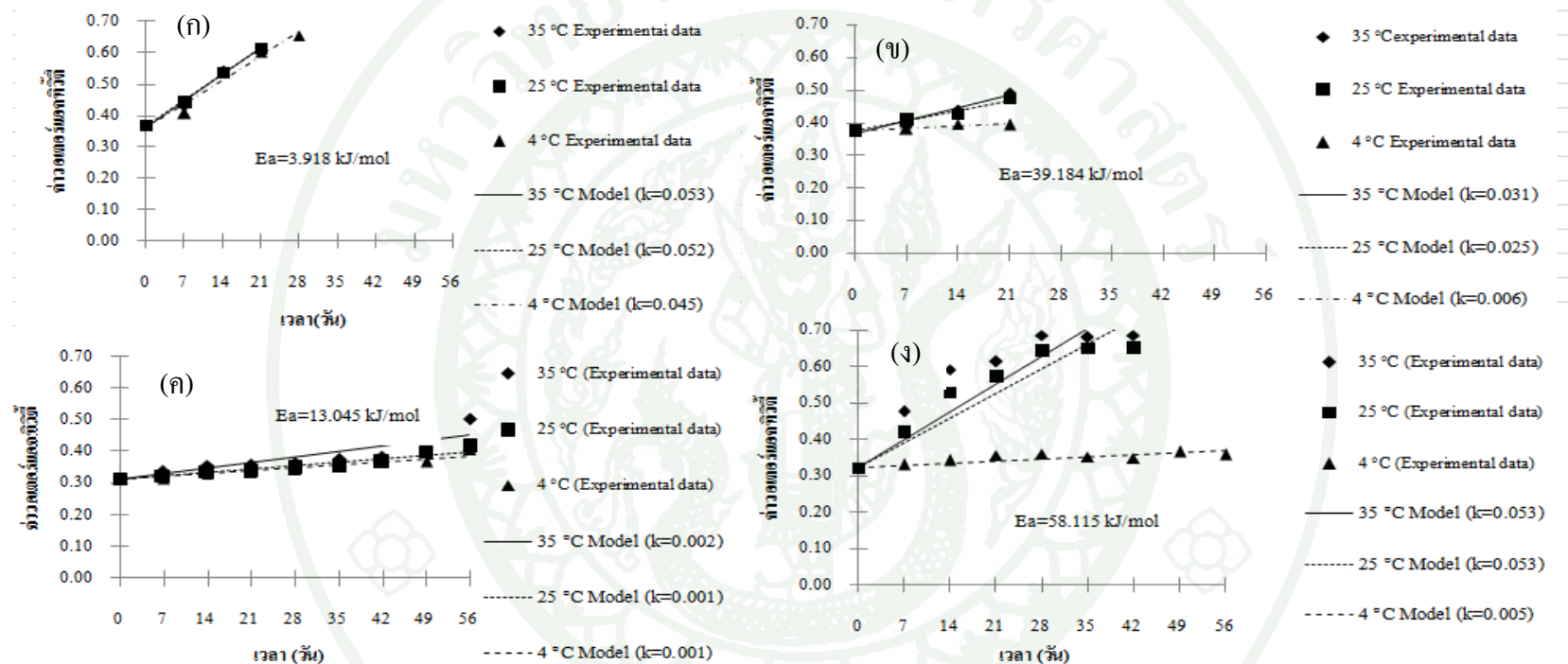
หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-g} ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงสิ่งทดลองในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ในแต่ละแถว หมายถึงสิ่งทดลองในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านมาตรฐาน

ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

เมื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าอเตอร์แอคทีวิตีระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ของมังกุดอบแห้งด้วยสมการจลนพลศาสตร์ (ภาพที่ 19) พบว่าค่าคงที่อัตรา (k) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น ค่าพลังงานกระตุ้นของมังกุดไม่มีเมล็ดทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันน้อยกว่าตัวอย่างที่มีเมล็ด แสดงให้เห็นว่ามังกุดไม่มีเมล็ดมีการเปลี่ยนแปลงค่าอเตอร์แอคทีวิตีได้ง่ายกว่าตัวอย่างมีเมล็ด นอกจากนี้ การออสโมติกดีไฮเดรชันก่อนการอบแห้ง ส่งผลให้พลังงานกระตุ้นเพิ่มขึ้นทั้งในมังกุดที่มีและไม่มีเมล็ด แสดงว่าการออสโมติกดีไฮเดรชันช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าอเตอร์แอคทีวิตี



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส; ค่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก), ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข), ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ค) และ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ของมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ง)

3.2 ค่าความแข็ง

ระหว่างการเก็บมั่งคุดอบแห้งในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่ามั่งคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านออสโมติกดีไฮเดรชัน มีค่าความแข็งลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น สำหรับมั่งคุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส มั่งคุดมีเมล็ดอบแห้งมีค่าความแข็งน้อยลง ($P \leq 0.05$) แต่การเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสสามารถรักษาค่าความแข็งไม่แตกต่างจากวันที่ 0 เนื่องจากค่า T_g ของมั่งคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีค่าอยู่ที่ 11.11 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 16) ซึ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะเหนียวนุ่ม ซึ่งเป็นลักษณะของ rubbery state เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำใน amorphous state มาก (Sa *et al.*, 1999) จึงส่งผลต่อค่าความแข็ง ส่วนที่ 4 องศาเซลเซียสนั้นยังอยู่ใน glassy state ทำให้อาหารมีความแข็งไม่แตกต่างจากวันที่ 0 ในกรณี มั่งคุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของค่าความแข็งในทุกอุณหภูมิการเก็บเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 21-22)

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง

วัน	ไม่ผ่านการอบสโมทิกดีไฮเดรชัน			ผ่านอบสโมทิกดีไฮเดรชัน		
	4 °C	25 °C	35 °C	4 °C ^{ns}	25 °C ^{ns}	35 °C ^{ns}
0	14.13 ^a ±2.81	14.13 ^a ±2.81	14.13 ^a ±2.81	39.05±2.97	39.05±2.97	39.05±2.97
7	11.32 ^b ±2.61	11.09 ^b ±1.01	11.32 ^b ±1.34	37.88±3.33	39.21±1.55	35.02±3.81
14	7.61 ^c ±1.89	7.13 ^c ±1.52	7.61 ^c ±1.33	37.60±1.44	38.17±2.34	34.96±3.27
21	4.84 ^d ±1.44	3.65 ^d ±1.02	4.58 ^d ±1.23	37.21±2.57	37.82±2.98	37.92±1.81
28	2.58 ^e ±0.14	ND	ND	37.51±1.85	39.70±2.10	35.66±2.60
35	ND	ND	ND	36.90±2.40	38.07±2.26	39.15±1.98
42	ND	ND	ND	38.31±0.96	38.16±3.24	38.86±3.90
49	ND	ND	ND	39.43±1.49	38.15±1.50	38.25±1.90
56	ND	ND	ND	38.36±1.84	36.35±3.42	39.39±2.51

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงสิ่งทดลองในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ในแต่ละแถว หมายถึงสิ่งทดลองในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านมาตรฐาน

ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของมังคุดมีเมล็ดอบแห้ง

วัน	ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน			ผ่านออสโมติกดีไฮเดรชัน		
	4 °C	25 °C	35 °C	4 °C ^{ns}	25 °C	35 °C
0	39.75 ^a ±2.11	39.75 ^a ±2.12	39.75 ^a ±2.13	73.28±2.10	73.28 ^a ±2.10	73.28 ^a ±2.10
7	29.54 ^b ±2.93	27.45 ^b ±2.76	25.39 ^b ±2.78	70.68±1.70	66.76 ^b ±2.58	68.35 ^b ±1.90
14	23.79 ^c ±2.14	19.34 ^c ±2.06	19.11 ^c ±2.41	68.87±2.39	62.86 ^{bc} ±2.85	62.56 ^c ±3.56
21	16.45 ^d ±2.49	15.38 ^d ±2.30	16.17 ^d ±3.64	70.31±1.08	60.91 ^c ±1.53	63.12 ^c ±2.26
28	ND	ND	ND	73.36±0.76	62.55 ^c ±1.62	58.23 ^d ±1.89
35	ND	ND	ND	70.30±3.78	60.13 ^c ±1.43	57.90 ^d ±1.91
42	ND	ND	ND	70.30±3.78	59.44 ^d ±1.25	57.24 ^d ±1.71
49	ND	ND	ND	69.08±1.10	ND*	ND*
56	ND	ND	ND	72.28±3.72	ND*	ND*

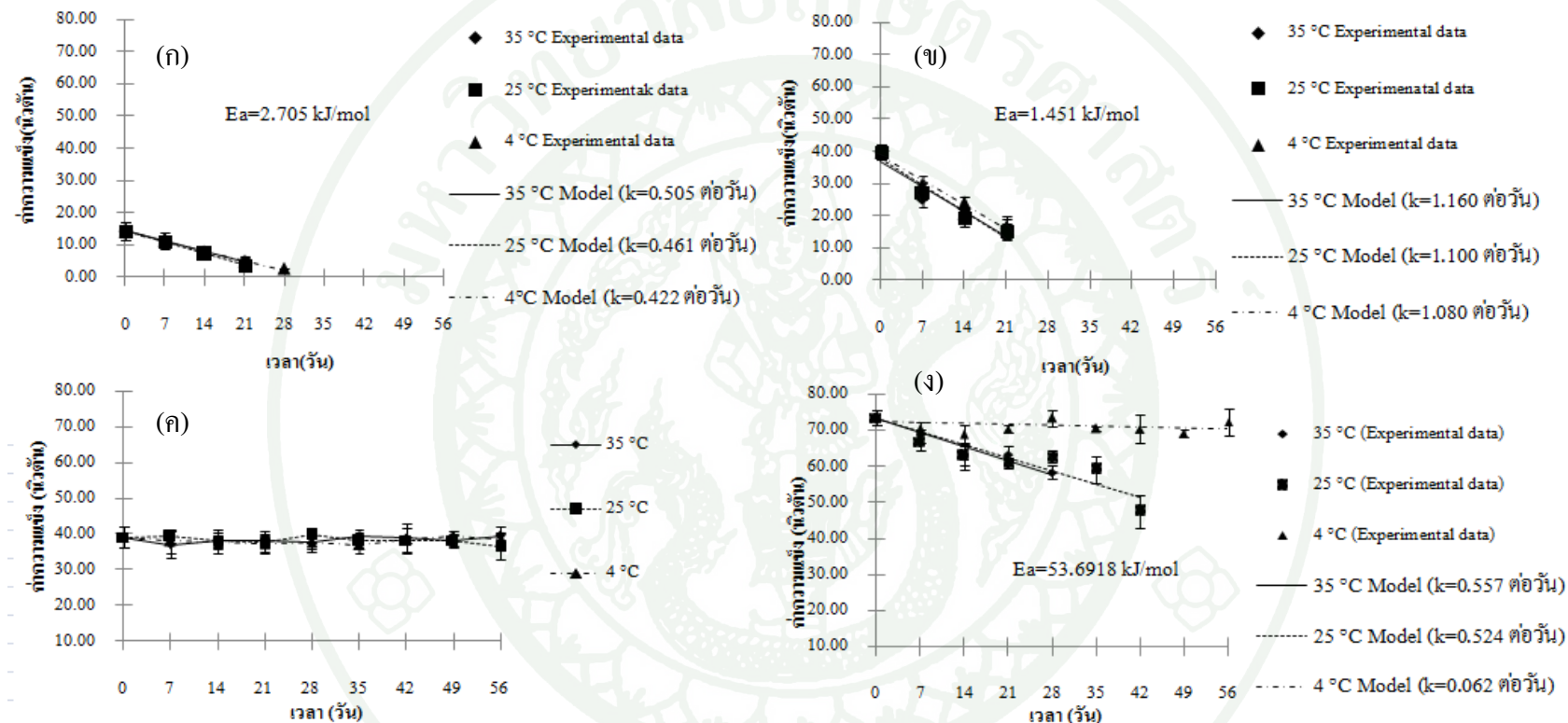
หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านมาตรฐาน

ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

เมื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียสของมังกุดอบแห้งด้วยสมการจลนพลศาสตร์ พบว่าที่ค่าคงที่อัตรา (k) ของมังกุดทั้งไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านออสโมติกดีไฮเดรชันมีแนวโน้มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการเก็บสูงขึ้น โดยมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีพลังงานกระตุ้นน้อยกว่าตัวอย่างที่มีเมล็ด แสดงให้เห็นว่ามังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงได้ง่ายกว่าตัวอย่างที่มีเมล็ด นอกจากนี้การออสโมติกดีไฮเดรชันส่งผลให้พลังงานกระตุ้นของการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงสูงขึ้น (ภาพที่ 20 ก และ ง) แสดงให้เห็นว่าการออสโมติกดีไฮเดรชันช่วยรักษาเนื้อสัมผัสของมังกุดอบแห้งได้



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงระหว่างการเก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส; ค่าความแข็งแรงของมังกูดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ก), ค่าความแข็งแรงของมังกูดมีเมล็ดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ข), ค่าความแข็งแรงของมังกูดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ค) และ ค่าความแข็งแรงของมังกูดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ง)

จากการเปลี่ยนแปลงที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปดังแสดงในตารางที่ 23 และ 24 พบว่าค่าความแข็งแรงมั่งคุดอบแห้งทั้งมีเมล็ดและไม่มีเมล็ดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีเนื่องจากมีค่า E_a ต่ำ ส่วนมั่งคุดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าอุณหภูมิในการเก็บตัวอย่างไม่มีเมล็ดมีการเปลี่ยนแปลงวอเตอร์แอกทิวิตีได้ง่ายกว่าตัวอย่างที่มีเมล็ด โดยอุณหภูมิในการเก็บไม่มีผลกับปริมาณความชื้นและค่าความแข็งแรงของตัวอย่างที่ไม่มีเมล็ด แต่อุณหภูมิในการเก็บมีผลกับปริมาณความชื้นและค่าความแข็งแรงของตัวอย่างที่มีเมล็ด

ตารางที่ 23 ค่าคงที่อัตรา พลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียสของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมั่งคุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ตัวอย่าง	ค่าคุณภาพ	k (ต่อวัน)			E_a (kJ/mol)	k_0 (ต่อวัน)
		4°C	25°C	35°C		
ไม่มีเมล็ด	ปริมาณความชื้น	0.028	0.041	0.045	11.141	3.564
	วอเตอร์แอกทิวิตี	0.045	0.052	0.053	3.918	4.031
	ค่าความแข็ง	0.422	0.461	0.505	2.705	1.397
มีเมล็ด	ปริมาณความชื้น	0.279	0.328	0.328	4.133	1.587
	วอเตอร์แอกทิวิตี	0.006	0.025	0.031	39.184	1.540×10^4
	ค่าความแข็ง	1.08	1.1	1.116	1.451	2.016

ตารางที่ 24 ค่าคงที่อัตรา พลังงานกระตุ้น และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียสของการเปลี่ยนแปลงมังกุด ที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ตัวอย่าง	ค่าคุณภาพ	k (ต่อวัน)			Ea (kJ/mol)	k ₀ (ต่อวัน)
		4°C	25°C	35°C		
ไม่มีเมล็ด	ปริมาณความชื้น	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**
	วอเตอร์แอคทีวิตี	0.001	0.001	0.002	13.045	3.796
	ค่าความแข็ง	ND**	ND**	ND**	ND**	ND**
มีเมล็ด	ปริมาณความชื้น	0.018	0.024	0.034	9.1	1.017
	วอเตอร์แอคทีวิตี	0.005	0.053	0.053	58.115	5.200×10 ⁷
	ค่าความแข็ง	0.062	0.524	0.557	53.692	9.200×10 ⁷

หมายเหตุ ND** หมายถึง อุณหภูมิที่เก็บรักษาไม่มีผลต่อค่าคุณภาพนั้นๆ

5.5 คุณภาพทางจุลินทรีย์

เมื่อทำการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่ามังกุดอบแห้งไม่มีเมล็ดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli* ปริมาณยีสต์และราอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยเป็นไปตามประกาศของมาตรฐานชุมชนผลไม้อบแห้ง (มพช. 136/2550) และประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มอก. 919-2532) ตลอดระยะเวลาและทุกอุณหภูมิในการเก็บรักษาดังแสดงในตารางที่ 25 ทั้งนี้เนื่องจากมังกุดอบแห้งมีค่าวอเตอร์แอคทีวิตีต่ำกว่า 0.60 (สุคนธ์ชื่น, 2543) ส่งผลให้สามารถชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

ตารางที่ 25 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของมังคุดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	เชื้อจุลินทรีย์				
	ออสโมติก ดีไฮเดชัน	อุณหภูมิใน การเก็บ	จำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมด (cfu/g)	<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	ยีสต์และรา (cfu/g)
ไม่มี เมล็ด	ไม่ผ่าน	4 °C (28 วัน)	50	<3	< 10*
		25 °C (21 วัน)	<10	<3	< 10*
		35 °C (21 วัน)	1×10 ²	<3	< 10*
	ผ่าน	4 °C (56 วัน)	1×10 ²	<3	< 10*
		25 °C (56 วัน)	1×10 ²	<3	< 10*
		35 °C (56 วัน)	<10	<3	< 10*
มีเมล็ด	ไม่ผ่าน	4 °C (21 วัน)	50	<3	< 10*
		25 °C (21 วัน)	1.2×10 ³	<3	55
		35 °C (21 วัน)	6.9×10 ²	<3	1.25×10
	ผ่าน	4 °C (56 วัน)	50	<3	< 10*
		25 °C (42 วัน)	2.8×10 ³	<3	15
		35 °C (42 วัน)	2.7×10 ³	<3	55

5.6 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พร้อมทั้งสอบถามการยอมรับ โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปที่เคยรับประทานผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจำนวน 30 คน ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซึ่งทำการเก็บที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

การทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการอบสโมทิกดีไฮเดรชัน เก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ($P > 0.05$) และการยอมรับของผู้บริโภค ผู้บริโภคยอมรับในระดับร้อยละ 77 - 97 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ (ตารางที่ 26-28)

สำหรับการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการอบสโมทิกดีไฮเดรชัน เก็บรักษาที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 4 องศาเซลเซียสสามารถรักษาสี และกลิ่นมังคุดตลอดอายุการเก็บ 8 สัปดาห์ ($P > 0.05$) การยอมรับของผู้บริโภคอยู่ในช่วงร้อยละ 67-93 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ไม่พบการเปลี่ยนแปลงความชอบด้านกลิ่นมังคุด ($P > 0.05$) แต่การเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชอบด้านความแข็ง รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวมลดลง และระดับการยอมรับของผู้บริโภคอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ร้อยละ 55 - 60) (ตารางที่ 29-31)

จากการทดสอบการยอมรับ พบว่าผู้บริโภคยอมรับมังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการอบสโมทิกดีไฮเดรชันทั้ง 3 สภาวะตลอดการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ สำหรับมังคุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการอบสโมทิกดีไฮเดรชัน ผู้บริโภคยอมรับมังคุดที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานที่สุด

ตารางที่ 26 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

จำนวนวันในการเก็บรักษา	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่นมังคุด ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	กลิ่นรสมังคุด ^{ns}	รสชาติโดยรวม ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}	ร้อยละการยอมรับ
0	7.4±0.61	7.1±0.71	6.1±0.71	6.3±0.84	6.1±0.90	6.4±0.76	6.9±0.71	96.7
14	6.6±0.92	6.8±0.75	5.9±0.54	6.3±0.90	5.2±0.75	6.1±0.83	6.6±0.92	90.0
28	6.4±0.81	6.5±1.04	6.1±0.70	6.6±1.03	5.3±0.79	6.1±0.70	6.8±0.79	83.3
42	6.3±0.79	6.7±0.79	5.5±0.93	6.1±0.70	5.3±0.79	6.3±0.79	6.3±1.01	76.7
56	6.9±0.94	6.6±0.82	5.5±0.69	6.1±0.70	5.3±0.79	6.1±0.70	6.1±0.70	76.7

หมายเหตุ ตัวอักษร^{ns} ที่เหมือนกันในแนวตั้ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 27 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จำนวนวันในการเก็บรักษา	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่นมังคุด ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	กลิ่นรสมังคุด ^{ns}	รสชาติโดยรวม ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}	ร้อยละการยอมรับ
0	7.4±0.61	7.1±0.71	6.1±0.71	6.3±0.84	6.1±0.90	6.4±0.76	6.9±0.71	96.7
14	6.7±0.79	6.9±0.70	6.2±0.75	6.1±0.70	5.9±0.94	6.3±0.50	6.9±0.70	90.0
28	6.3±0.78	6.9±0.79	5.8±0.58	6.1±0.67	5.4±0.67	6.3±0.65	6.3±0.62	83.3
42	6.7±0.92	6.6±0.93	5.3±0.90	6.0±0.77	5.6±0.81	6.2±0.60	6.5±0.93	76.7
56	6.7±0.63	6.4±0.92	5.4±0.67	5.9±0.94	5.1±0.83	6.0±0.77	6.6±0.67	76.7

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{ns} ที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 28 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

จำนวนวันในการเก็บ รักษา	ลักษณะ				กลิ่นรส			
	ปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่นมังคุด ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	มังคุด ^{ns}	รสชาติโดยรวม ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}	ร้อยละการ ยอมรับ
0	7.4±0.61	7.1±0.71	6.1±0.71	6.3±0.84	6.1±0.90	6.4±0.76	6.9±0.71	96.7
14	7.0±0.77	7.1±0.83	6.0±0.63	6.3±0.65	6.6±0.67	6.8±0.60	7.0±0.63	90.0
28	6.7±0.79	6.4±0.81	6.1±0.70	6.4±0.81	6.6±0.92	7.0±0.63	6.9±0.70	90.0
42	7.0±0.77	6.5±0.69	5.7±1.10	6.5±0.69	6.2±0.87	6.3±0.79	6.6±0.82	93.3
56	6.9±0.70	6.6±0.82	5.6±0.69	6.1±0.70	6.6±0.81	6.5±0.82	6.3±0.90	86.7

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{ns} ที่เหมือนกันในแนวตั้ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 29 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดมีเมล็ดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

จำนวนวันในการเก็บ รักษา	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น				ความชอบ โดยรวม	ร้อยละการ ยอมรับ
			มังคุด ^{ns}	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรสมังคุด	รสชาติโดยรวม		
0	7.0 ^a ±0.95	6.7 ^a ±1.02	6.2±0.85	6.7 ^a ±0.75	6.6 ^a ±0.89	6.6 ^a ±0.81	6.7 ^a ±0.88	93.3
14	5.8 ^b ±0.75	6.6 ^a ±0.81	5.8±0.60	5.8 ^b ±0.75	5.6 ^b ±0.81	6.3 ^b ±0.90	6.6 ^b ±0.69	73.3
28	5.6 ^b ±0.82	5.6 ^b ±0.67	5.2±0.60	5.2 ^b ±0.75	5.2 ^b ±0.60	5.8 ^b ±0.60	5.6 ^c ±0.67	56.6
42	5.1 ^b ±0.70	5.6 ^b ±1.04	5.1±1.14	3.3 ^c ±0.79	4.9 ^b ±0.70	4.4 ^c ±0.92	3.8 ^d ±0.74	36.7

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 30 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดมีเมล็ดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จำนวนวันในการเก็บรักษา	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น มังคุด ^{ns}	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรสมังคุด	รสชาติโดยรวม	ความชอบ โดยรวม	ร้อยละการยอมรับ
0	7.0 ^a ±0.95	6.7 ^a ±1.02	6.2±0.85	6.7 ^a ±0.75	6.6 ^a ±0.89	6.6 ^a ±0.81	6.7 ^a ±0.88	93.3
14	5.7 ^b ±0.90	5.6 ^b ±0.81	5.6±0.67	5.5 ^b ±0.82	5.4 ^b ±0.50	5.5 ^b ±0.82	6.6 ^a ±0.82	76.7
28	5.9 ^b ±0.70	6.0 ^b ±0.63	5.3±0.65	5.6 ^b ±0.93	5.1 ^b ±0.70	5.6 ^b ±0.50	5.6 ^b ±0.82	60.0
42	5.2 ^b ±0.75	5.5 ^b ±0.82	5.1±0.70	3.3 ^c ±1.01	4.8 ^b ±0.75	3.4 ^c ±0.92	3.6 ^c ±0.82	40.0

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 31 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดมีเมล็ดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

จำนวนวันในการเก็บ รักษา	ลักษณะ ปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่นมังคุด ^{ns}	เนื้อ สัมผัส	กลิ่นรส มังคุด	รสชาติ โดยรวม	ความชอบ โดยรวม	ร้อยละการ ยอมรับ
0	7.0 ^a ±0.95	6.7±1.02	6.2±0.85	6.7 ^a ±0.75	6.6 ^a ±0.89	6.6 ^a ±0.81	6.7 ^a ±0.88	93.3
14	6.0 ^b ±0.77	6.1±0.70	6.3±0.65	5.3 ^b ±0.47	5.1 ^b ±0.94	5.4 ^b ±0.81	6.0 ^b ±0.77	86.7
28	6.6 ^a ±0.67	6.4±0.81	6.4±0.81	5.2 ^b ±0.60	5.8 ^b ±0.75	6.0 ^b ±0.63	6.1 ^b ±0.70	73.3
42	6.1 ^b ±0.83	6.2±0.75	6.6±0.81	5.3 ^b ±0.50	5.9 ^b ±0.54	5.7 ^b ±0.47	5.9 ^b ±0.70	66.7
56	6.2 ^b ±0.60	6.5±0.82	6.4±0.67	5.2 ^b ±0.75	5.9 ^b ±0.70	5.7 ^b ±0.65	6.1 ^b ±0.70	66.7

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-b} ที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{ns} ที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

6. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง

จากการสอบถามข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคทั่วไปที่รับประทานมังคุดและผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง บริเวณร้านอาหารกลาง 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จำนวน 88 คน เป็นเพศชาย จำนวน 37 คน เพศหญิง จำนวน 51 คน ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 21-30 ปี การศึกษาปริญญาตรี อาชีพนักเรียน/นิสิต/นักศึกษา รายได้ต่อเดือนน้อยกว่า 5,000 บาท (ตารางที่ 32) ซึ่งทดสอบความชอบโดยใช้ Central Location Test (CLT) ด้วยวิธี 9 Point Hedonic Scale ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความแข็ง กลิ่นรส รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีตัวอย่างในการทดสอบ 2 ตัวอย่าง ได้แก่ แบบมีเมล็ดและไม่มีเมล็ด พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรสมังคุด และความชอบโดยรวมของมังคุดอบแห้งไม่มีเมล็ดมากกว่าแบบมีเมล็ด ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 32 ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค

	ข้อมูล	จำนวนคน	ร้อยละ
เพศ	ชาย	37	42.05
	หญิง	51	57.95
อายุ	น้อยกว่า 20 ปี	14	15.91
	21-30 ปี	61	69.32
	31-40 ปี	9	10.23
	41-50 ปี	2	2.27
	50 ปีขึ้นไป	2	2.27
การศึกษา	ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย	2	2.27
	มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	1	1.14
	อนุปริญญา (ปวส.)	1	1.14
	ปริญญาตรี	72	81.82
	สูงกว่าปริญญาตรี	12	13.64
อาชีพ	นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	77	87.5
	พนักงานบริษัทเอกชน	6	6.82
	ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	5	5.68
รายได้ต่อเดือน	น้อยกว่า 5,000 บาท	39	44.32
	5,000-10,000 บาท	29	32.96
	10,001-15,000 บาท	4	4.55
	15,001-20,000 บาท	10	11.36
	25,001-30,000 บาท	4	4.55
	30,001-35,000 บาท	1	1.14
	มากกว่า 35,000 บาท	1	1.14

ตารางที่ 33 คะแนนความชอบเฉลี่ยต่อผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดอบแห้ง

ตัวอย่าง	ลักษณะ		กลิ่น		กลิ่นรส		รสชาติ		ความชอบ	
	ปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	มังคุด ^{ns}	เนื้อสัมผัส	มังคุด		โดยรวม ^{ns}		โดยรวม	
ไม่มี										
เมล็ด	6.4±1.18	6.4±1.58	6.0±1.29	6.8 ^a ±0.42	6.3 ^a ±1.27		6.4±0.46		6.8 ^a ±0.61	
มีเมล็ด	6.2±1.09	6.3±1.25	6.0±1.07	6.3 ^b ±0.98	5.9 ^b ±1.48		6.2±0.79		6.4 ^b ±0.78	

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-b} ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงสิ่งทดลองในแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 ตัวอักษร ^{ns} ที่เหมือนกันในแต่ละแถว หมายถึงสิ่งทดลองในแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

เมื่อสอบถามด้านการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งแบบไม่มีเมล็ดร้อยละ 88.64 ไม่ยอมรับร้อยละ 11.37 เนื่องจากไม่ค่อยมีกลิ่นของมังคุด และรสชาติไม่เหมือนมังคุด ส่วนการยอมรับผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งแบบมีเมล็ด เท่ากับร้อยละ 80.68 และไม่ยอมรับร้อยละ 19.32 ซึ่งสาเหตุของการไม่ยอมรับ คือ มังคุดมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง รูปร่างไม่สวยงาม และมีเมล็ดทำให้รับประทานลำบาก ดังแสดงในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มังคุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดอบแห้ง

การยอมรับ	ไม่มีเมล็ด		ร้อยละ	
	จำนวน (คน)		จำนวน (คน)	
ยอมรับ	78		88.64	
ไม่ยอมรับ	10		11.37	

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยคือ ตรวจสอบคุณภาพ มังคุดสด ศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อสมบัติไดอิเล็กทริกของมังคุดก่อนการอบแห้ง ศึกษา กระบวนการอบแห้งมังคุดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ ตรวจสอบคุณภาพมังคุดอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ศึกษาการเปลี่ยนแปลง คุณภาพของมังคุดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ มังคุดอบแห้ง

1. จากการศึกษาคุณภาพวัตถุดิบ พบว่าเนื้อมังคุดทั้งไม่มีเมล็ดและมีเมล็ด มีค่า L^* เท่ากับ 74.76 ± 1.04 และ 76.94 ± 1.15 a^* เท่ากับ 1.27 ± 0.20 และ 1.49 ± 0.37 b^* เท่ากับ 11.46 ± 0.38 และ 8.89 ± 0.74 ปริมาณของแข็งทั้งหมด คือ 14.48 ± 0.34 และ 15.76 ± 0.65 องศาบริกซ์ ปริมาณความชื้น ร้อยละ 84.68 ± 1.36 และ 80.34 ± 1.44 (น้ำหนักเปียก) pH เท่ากับ 3.21 ± 0.32 และ 3.67 ± 0.24 ปริมาณกรดทั้งหมด ร้อยละ 0.25 ± 0.00 และ 0.26 ± 0.00 น้ำตาลรีดิวซ์ ร้อยละ 4.50 ± 0.03 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ร้อยละ 10.10 ± 0.16 ปริมาณแซนโทนเท่ากับ 4.78 และ 5.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2. เมื่อมังคุดผ่านกระบวนการเตรียมก่อนการอบแห้ง พบว่า ค่าสมบัติไดอิเล็กทริกของ มังคุดมีการเปลี่ยนแปลง โดยการเตรียมด้วยการออสโมติกดีไฮเดรชันของมังคุดแบบมีเมล็ดและไม่ มีเมล็ดทำให้ dielectric constant, loss factor และ loss tangent สูงกว่ามังคุดที่ไม่ผ่านการออสโมติก ดีไฮเดรชัน ($P \leq 0.05$) แสดงว่า ตัวอย่างมีความสามารถในการแพร่กระจายความร้อน และดูดซับ พลังงานที่ตกกระทบเข้าไป และสัดส่วนของความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงาน ความร้อนต่อความสามารถในการกักเก็บพลังงานดีกว่ามังคุดที่ไม่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ($P \leq 0.05$)

3. ในกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าการออสโมติกดีไฮเดรชัน มีผล ต่ออัตราการอบแห้ง และเมื่อเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น เวลาในการอบ

แหล่งลดลงร้อยละ 40 - 70 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลอง Page โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ อยู่ในช่วง 0.936 - 0.999 ค่า RMSE อยู่ในช่วง 0.015 - 0.097

4. การศึกษาผลของการเตรียมมังกุดก่อนการอบแห้งและกำลังไมโครเวฟต่อคุณภาพของมังกุดอบแห้ง พบว่ามังกุดอบแห้งที่ผ่านการอบสโมกดิไฮเดรชันมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ปริมาณความชื้น และปริมาณกรดทั้งหมดน้อยลง แต่ค่าสี ความแข็ง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับมังกุดอบแห้งที่ไม่ผ่านการอบสโมกดิไฮเดรชัน การเตรียมด้วยอบสโมกดิไฮเดรชันส่งผลให้โครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์ไม่ถูกทำลายด้วยความร้อน ความสามารถในการกักตัวเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส พบว่ากระบวนการมังกุดอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับมังกุดไม่มีเมล็ดคือการอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 1680 วัตต์ 14 นาที สำหรับมังกุดมีเมล็ดควรอบแห้งที่ 1440 วัตต์ 14 นาที มังกุดไม่มีเมล็ดที่ผ่านการอบสโมกดิไฮเดรชันควรอบที่ 1200 วัตต์ 12 นาที และ มังกุดมีเมล็ดอบแห้งที่ผ่านการอบสโมกดิไฮเดรชันควรอบที่ 1440 วัตต์ 10 นาที

5. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียส สำหรับมังกุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดที่ไม่ผ่านการอบสโมกดิไฮเดรชันเก็บได้ 21-28 วันเท่านั้น เนื่องจากปริมาณความชื้นเกินมาตรฐาน มอก.และ มพข. การอบสโมกดิไฮเดรชันก่อนการอบแห้งทำให้ค่าพลังงานกระตุ้นของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคทิวิตี และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ นอกจากนี้การลดอุณหภูมิการเก็บรักษาจาก 35 องศาเซลเซียส เป็น 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคทิวิตี และค่าความแข็งของมังกุดมีเมล็ดที่ผ่านการอบสโมกดิไฮเดรชันได้ แต่อุณหภูมิการเก็บที่ 4, 25 และ 35 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคทิวิตี และค่าความแข็งของมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้ง ดังนั้นมังกุดไม่มีเมล็ดอบแห้งจึงมีคะแนนความชอบไม่ต่ำกว่า 6 และการยอมรับมากกว่าร้อยละ 70 ตลอด 8 สัปดาห์

6. จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์มังกุดอบแห้งแบบไม่มีเมล็ดร้อยละ 88.64 ไม่ยอมรับร้อยละ 11.37 ส่วนการยอมรับผลิตภัณฑ์มังกุดอบแห้งแบบมีเมล็ด ผู้บริโภคให้การยอมรับที่ร้อยละ 80.68 และไม่ยอมรับร้อยละ 19.32

ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ได้รับข้อเสนอแนะว่าควรมีรสเปรี้ยวในลักษณะที่เป็นรสชาติของมังคุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันมีรสหวานเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงควรกำหนดคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ให้มีปริมาณกรดที่สูงขึ้นเพื่อปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์
2. เนื่องจากมังคุดอบแห้งยังมีบางส่วนที่ลักษณะปรากฏไม่เหมือนมังคุด ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นควรแช่เคลือบเคลือบเคลือบให้แน่นกว่านี้เพื่อปรับปรุงลักษณะปรากฏ
3. ควรนำมังคุดอบแห้งมาประยุกต์ในผลิตภัณฑ์อาหารเข้า หรือเบเกอรี่ เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมการค้าระหว่างประเทศ. 2553. **สถานการณ์การค้ามังคุด**. กรมการค้าระหว่างประเทศ สำนัก
การบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, กรุงเทพฯ.
- คณิตา พัฒนาภา. 2553. **การพัฒนากระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง**. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จุฑามาศ นิวัฒน์. 2542. **การทำแห้งสับประรดด้วยวิธีออสโมซิสระบบต่อเนื่อง**. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชมภู ยิ้มโต. 2550. **การถนอมอาหาร**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย. 2543. **การผลิตและการส่งออกมังคุด**.
แหล่งที่มา:
http://www.foodmarketexchange.com/datacenter/industry/article_th/3_fruit/, 5 มิถุนายน
2553.
- นิธิยา รัตนพานนท์. 2544. **หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- นิรนาม. 2541. **สุขภาพดีด้วยสมุนไพรใกล้ตัว**. โครงการสมุนไพรเพื่อการพึ่งตนเอง. สำนักพิมพ์
ประพันธ์สาส์น, กรุงเทพฯ.
- ไพศาล วุฒิจำนงค์ และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2549. **หลักการแปรรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค
ใหม่. ใน รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, บรรณาธิการ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม
เกษตร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.**
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. **วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1.
โอ เอส พรินติ้งเฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2549. อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์, น. 106-129. ใน รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, บรรณาธิการ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

วันดี กฤษณพันธ์. 2541. สมุนไพรน้ำรู้. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

วรรณรัตน์ ลิขสวัสดิ์. 2554. การพัฒนากระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์มังคุดเชื่อมอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2546. เทคโนโลยีน้ำตาล. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สวิตรา ใบจิว. 2553. การพัฒนากระบวนการผลิตทุเรียนแผ่นโดยใช้การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สันต์กฤต ดันแทน. 2551. การพัฒนากระบวนการผลิตพริกแห้งโดยการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2550. โภชนศาสตร์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2543. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร **Food Science and Technology**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- สุธีรา เลิศวุฒิชัยกุล. 2540. การลดเวลาในการผลิตสับปะรดเชื่อมอบแห้ง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุริยา อติวิทยาภรณ์. 2551. การพัฒนากล้วยตากโดยการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับการอบแห้ง
ด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง.
มอก. 919-2532.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง.
มพช. 136/2550.
- เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ. 2545. การศึกษาแบบจำลองการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ
กับพริกไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Anon. 2004. **Science, non-science and nonsense**. Available Source: www.mangosteen.com,
Jun 15, 2010.
- Aaron, R. G., A.M. Gordon and C.M Joseph. 2004. **Nutraceutical Mangosteen Composition**.
Patent No. US 6,730,333 B1.
- Al-Muhtaseb, A.H., M.A. Hararah, E.K. Megahey, W. AM. McMinn and T. R.A. Magee. 2010.
Dielectric properties of microwave-baked cake and its constituents over a frequency
range of 0.915-2.450 GHz. **Journal of Food Engineering**. 98(1); 84-92.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. 17th ed. The Association of Official Analytical
Chemists. Maryland, U.S.A.

- Azzouz, S., A. Guizani, W. Lomaa and A. Belgith. 2002. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food engineering**. 55: 323-330.
- Babalís, S. J., E. Papanicolaou, N. Kyriakis and V. G. Belessiotis. 2006. Evaluation of thin-layer drying model for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**. 75: 205 – 214.
- Bai-Ngew, S., N. Therdthai and P. Dhamuithee. 2011. Characterization of microwave vacuum-dried durian chips. **Journal of Food Engineering**. 104: 114-122.
- BAM. 2001. **Bacteriological Analytical Manual of Food**. FDA, Arlington, VA.
- Bondaruk, J., M. Markowski and W. Blaszcak. 2007. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. **Journal of Food Engineering**. 81: 306-312.
- Borguez, R.M., E.R. Canales and J.P. Redon. 2010. Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying. **Journal of Food Engineering**. 99: 121-127.
- Cui, Z-W., C.Y. Li, C.F. Song and Y. Song. 2008^a. Combined Microwave-Vacuum and Freeze Drying of Carrot and Apple Chips. **Drying Technology**. 26: 1517-1523.
- Cui, Z-W., L.J. Sun, W. Chen and D.W. Sun. 2008^b. Preparation of dry honey by microwave-vacuum drying. **Journal of Food Engineering**. 84: 582-590.
- Cui, Z-W., X. Shi Ying and D.W. Sun. 2004^c. Effect of Microwave-Vacuum Drying on the Carotenoids Retention of Carrot Slices and Chlorophyll Retention of Chinese Chive Leaves. **Drying Technology**. 22(3): 563-575.

- Decareau., R.V. 1992. Microwave Food: New Product Development. **Food & Nutrition**. Press, Inc., Connecticut.
- Deng, Y. and Y. Zhao. 2007. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). **Journal of Food Science and Technology**. 41: 1575-1585.
- Doymaz, I. 2005. Drying behavior of green beans. **Journal of Food Engineering**. 69: 161-165.
- Erle, U. and H. Schubert. 2001. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. **Journal of Food Engineering**. 49: 193-199.
- Fellows, P. 2000. **Food Processing Technology: Principle and Practice**. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge.
- Figiel, A. 2009. Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slice. **Journal of Food Engineering**. 94: 98-104.
- Gabriel, C., S. Gabriel, E. H. Grant, B. S. J. Halstead and D. M. P. Mingos. 1998. Dielectric parameters relevant to microwave dielectric heating. **Chemical Society Reviews**. 27: 213-223.
- Galeazzi, M.A.M. and V.C. Sgarbieri. 1981. Substrate specificity and inhibition of polyphenoloxidase (PPO) from a Dwarf variety of banana (*Musa cavendishii*, L.). **Journal of Food Science**. 46: 1404-1406.
- Giri, S.K. and S. Prasad. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**. 78: 512-521.

- Han, C., Y. Zhao, S.W. Leonard and M.G. Traber. 2004. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). **Postharvest Biology and Technology**. 33(1): 67-78.
- Hu, Q., M. Zhang, A.S. Mujumdar, D. Wei-hua and S. Jin-cai. 2006^a. Effect of different drying method on the quality changes of Granular Edamames. **Drying Technology**. 24: 1025-1032.
- Hu, Q., M. Zhang, A.S. Mujumdar, G. Xiao and J. Sun. 2006^b. Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination. **Journal of Food Engineering**. 77: 977-982.
- Ikediala, J. N., J. Tang, S. R. Drake and L. G. Neven. 2000. Dielectric properties of apple cultivars and codling moth larvae. **Transactions of the ASAE**. 43: 1175-1184.
- Jayaraman, K.S. and D.K. DAS GUPTA. 1995. Drying of fruit and Vegetables. **In Handbook of Industrial Drying**. (MUJUMDAR, A.S. ed.) 2nd ed., Vol.2, Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 643-690.
- Jindarat, W., P Rattanadecho, D. Cholaseuk, S. Vongpradubchai, Y. Pianroj. 2010. Analysis of Energy Consumption in Microwave and Convective Drying Process of Multi-Layered Porous Material Inside a Rectangular Wave Guide. **Experimental Thermal and Fluid Science**. 35: 728 – 737.
- Katherine M. P., M.T. Tarragó-Trani, S.E. Gebhardt, J. Exler, K.Y. Patterson, D.B. Haytowitz, P.R. Pehrsson and J.M. Holden. 2010. Stability of vitamin C in frozen raw fruit and vegetable homogenates. **Journal of Food Composition and Analysis**. 23(3): 253-259.
- Kessler., C.T., E. Tsami and Z.B. Maroulis. 1997. Micro vacuum drying kinetics of some fruit. **Drying Technology**. 15(10): 2421-2440.

- Khin, M. M., W. Zhou and O.P. Conrad. 2007. Impact of process conditions and coatings on the dehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**. 79: 817 – 837.
- Lazarides, H. N. 2001. Reason and Possibilities to Control Solid Uptake during Osmotic Treatment of Fruit and Vegetables, *In*: Barbosa-Canovas, V. G. (Eds). **Food Preservation Technology Series, Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation**. Technomic Publishing Company, Inc. USA.
- Limpisathian, P.P. 2008. **Research of Mangosteen**. Available Source: <http://researchers.in.th/blog/mangosteen>, Jun 10, 2010.
- Lin, T.W., T.D. Durance and C.H. Scaman. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slice. **Food Research International**. 31: 111-117.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. **Journal of Food Engineering**. 44: 71-78.
- Nimmanpipug, N. and N. Therdthai. 2012. Effect of osmotic dehydration time on hot air drying and microwave vacuum drying of papaya. **International conference of food and applied bioscience**. The 2nd joint symposium between accounting agro industry Chiang-Mai university and Gyeongju – Wonju national university, 6-7 Feb 2012.
- Pappas, C., E. Tsami and D. Marinos-Kouris. 1999. The effect of process condition on the drying kinetics and rehydration of some mv-vacuum dehydrate fruits. **Drying Technology**. 17: 157-174.
- Patricia, M. A. and E. X. M. Fernanda. 2004. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**. 61: 291-295.

Ponting, J. D., G. G. Watters, R. R. Forrey, R. Jackson and W. L. Stanley. 1966. Osmotic dehydration of fruit. **Food Technology**. 20: 125-128.

Rahman, M. S. 2007. Osmotic dehydration of food, pp. 433-446. *In* M. S., Rahman. **Handbook of Food Preservation**. 2nd ed. Taylor & Francis Group CRC Press, Great Britain.

Reyes, R. De los, A. Heredia, P. Fito, E. De los Reyes and A. Andres. 2007. Dielectric spectroscopy of osmotic solution and osmotically dehydrated tomato products. **Journal of Food Engineering**. 80: 1218-1225.

Roberts, J.S., D.R. Kidd and O. Padilla-Zakour. 2008. Drying kinetics of grape seeds. **Journal of Food Engineering**. 89: 460-465.

Sa, M.M., A.M. Figueiredo and A.M. Sereno. 1998. Glass transition and state diagrams for fresh and process apple. **Thermochimica Acta**. 329: 31-38.

Sosa-Morales, M.E., L. Valerio-Junco, A. López-Malo and H. S. GarCía. 2010. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st century and their potential applications. **LWT- Food Science and Technology**. 43: 1169-1179.

Sun, J., Y. You, E. G. Garcia, X. Long and J. Wang. 2010. Biochemical properties and potential endogenous substrates of polyphenoloxidase from chufa (*Eleocharis tuberosa*) corms. **Food Chemistry**. 118: 799-803.

Therdthai, N. and H. Northongkom. 2010. Characterization of hot air drying and microwave vacuum drying of fingerroot (*Boesenbergia pandurata*). **International Journal of Food Science & Technology**. 46: 601-607.

- Therdthai, N. and W. Zhou. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). **Journal of Food Engineering**. 91: 482-489.
- Therdthai, N., W. Zhou and K. Pattanapa. 2011. Microwave vacuum drying of osmotically dehydrated mandarin cv. (*Sai-Namphaung*). **International Journal of Food Science & Technology**. 46, 2401-2407.
- Trabelsi, S., A. W. Kraszewski and S. O. Nelson. 1998. A Microwave Method for On-line Determination of Bulk Density and Moisture Content of Particulate Materials. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. 47(1), 127-132.
- Vega-Glave, A., K. Ah-Hen, M. Chacana, J. Vergara, J. Martinez-Monzo, P. Garcia-Segovia, R. Lemus-Mondaca and K. Di Scala. 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. *Granny Smith*) slices. **Food Chemistry**. 32: 51-59.
- Videv, K., S. Tanchev., R. C. Sharma and V. K. Joshi. 1990. Effect of sugar syrup concentration and temperature on the rate of osmotic dehydration of apple. **Journal of Food Science Technology**. 27: 307-308.
- Visalrakkij, T. and N. Thredthai. 2012. Physical, chemical and sensorial quality of microwave vacuum dried mangosteen with and without osmotic dehydration. **The Proceeding of 50th Kasetsart University Annual Conference**. 5: 130-137.
- Wuyts, N., D. D. Waele and R. Swennen. 2006. Extraction and partial characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa acuminata* Grande naine) roots. **Plant Physiol**. 44: 308-314.

Yam, K. L. and C. C. Lai. 2004. Microwavable frozen food or meals. (pp. 581-593) *In* K. D.

Marrell, Y. H. Hui, W-K. Nip, M. H. Lim, I. G. Legarreta and P. Cornillon (eds.),

Handbook of Frozen Foods. CRC Press. USA.

Yongsawatdigul, J. and S. Gunasekaran. 1996. Microwave vacuum drying of cranberries: Part 2:

Quality evaluation. **Journal of Food Process.** 20: 145-156.

Zarena, A.S. and K.U. Sankar. 2009. Supercritical carbon dioxide extraction of xanthones with antioxidant activity from *Garcinia mangostana*: Characterization by HPLC/LC-ESI-MS.

Journal of Supercritical Fluids. 49: 330-337.





1. ระดับสีของมังคุด

ระยะการเก็บเกี่ยวมังคุดที่เหมาะสมจากการศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวมังคุดของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มีการแบ่งระดับของมังคุดเมื่อเริ่มเข้าระยะสุกแก่ไว้ 6 ระดับ (วรรณารัตน์, 2554) ดังนี้

1.1 ระดับสีที่ 0 ผลสีเขียวอมเหลือง อาจมีสีเขียว หรือจุดสีเทาเต็ม มียางสีเหลืองภายในเปลือกมาก เนื้อ และเปลือกไม่สามารถแยกออกจากกันได้ หากเก็บผลในระยะนี้ และรอจนสีเปลี่ยนไปในระดับสีที่ 6 ผลที่ได้จะมีรสชาติไม่ดี

1.2 ระดับสีที่ 1 ผลสีเหลืองอ่อนอมเขียว มีจุดสีชมพูกระจายอยู่บางส่วนประมาณร้อยละ 5 ถึง 50 ยังคงมียางสีเหลืองภายในเปลือกมาก ลักษณะผลภายใน และการเก็บเกี่ยวคล้ายกับลักษณะสีที่ 0

1.3 ระดับสีที่ 2 ผลสีเหลืองอ่อนอมชมพู มีประสีชมพูกระจายทั่วผลประมาณร้อยละ 51 ถึง 100 ยางภายในเปลือกอยู่ในระดับปานกลาง เป็นระยะอ่อนที่สุดสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลมีคุณภาพดี

1.4 ระดับสีที่ 3 ผลสีชมพูสม่ำเสมอ ยางภายในเปลือกมีเล็กน้อย การแยกตัวของเนื้อ และเปลือกปานกลาง

1.5 ระดับสีที่ 4 ผลสีแดง หรือน้ำตาลอมแดง อาจมีสีม่วงเต็มอยู่ เป็นระยะที่รับประทานได้

1.6 ระดับสีที่ 5 ผลสีม่วงอมแดง ภายในเปลือกไม่มียางเหลือ เนื้อ และเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่รับประทานได้

1.7 ระดับสีที่ 6 ผลสีม่วง หรือม่วงเข้มจนถึงม่วงดำ ภายในเปลือกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อ และเปลือกแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่เหมาะสมแก่การรับประทาน



1. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS)

นำตัวอย่างมังคุดสดมาตัดเป็นชิ้นแล้วกรองตัวอย่าง นำของเหลวที่กรองได้หยดลงในช่องวัดค่า จากนั้นกดปุ่ม START แล้วอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ปรากฏบนหน้าจอเครื่อง

2. การวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* และ CIE L*C*h

ทำการเทียบมาตรฐานเครื่องวัดค่าสี Spectrophotometer โดยวัดค่าแสงสะท้อน (Reflectance) โดยตัดมังคุดอบแห้งให้มีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร บรรจุลงใน Petri dish ใช้แหล่งกำเนิดแสง D₆₅ มุมผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัด 5 ครั้ง

3. การวิเคราะห์ค่าออปติคัลแอคทิวิตี (a_w)

นำตัวอย่างมังคุดอบแห้งมาตัดให้มีขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุลงในถาดพลาสติกสำหรับวิเคราะห์ค่าออปติคัลแอคทิวิตี โดยบรรจุตัวอย่างปริมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณบรรจุของถาด นำถาดใส่ใน chamber ของเครื่องวัดค่า แล้วอ่านค่าออปติคัลแอคทิวิตีที่ปรากฏบนหน้าจอเครื่อง

4. การวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness)

ทำการวัดค่าความแข็ง ด้วยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd Instrument รุ่น TA500 ด้วยวิธีการวัดค่าแบบ Single Hardness โดยใช้หัวกดแบบหัวกลม (ball probe) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และฐานรองรับรูปทรงกระบอกกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร โดยกดลงบนตัวอย่างด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที



ภาคผนวก ค
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ชั่งตัวอย่างอบแห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในจานอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 8 ชั่วโมงในเดสิคเคเตอร์ (desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักที่ได้ จากนั้นทำการอบซ้ำจนกระทั่ง 30 นาที และชั่งน้ำหนักซ้ำเช่นเดิมจนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการออกซิไดส์และรีดิวซ์จนแห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในจานอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายใต้อากาศน้อยกว่าหรือเท่ากับ 13.33 กิโลปาสกาล ประมาณ 24 ชั่วโมง รอให้จานอลูมิเนียมเย็นในเดสิคเคเตอร์ (desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักที่ได้ จากนั้นทำการอบซ้ำจนกระทั่ง 30 นาที และชั่งน้ำหนักซ้ำเช่นเดิมจนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100$$

เมื่อ W_i คือน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_f คือน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon

2.1 การเตรียมสารเคมี

2.1.1 Fehling' A solution

เตรียมโดยละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 62.28 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บในขวดสีชา

2.1.2 Fehling' B solution

เตรียมโดยละลายโปแตสเซียมโซเดียมตาร์เตรต (Rochell salt; $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 346 กรัม และ NaOH 100 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บในขวดสีชา

2.1.3 Methylene blue 1%

เตรียมโดยละลาย Methylene blue 1 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.1.4 Neutral lead acetate solution 10% เตรียมโดยละลาย Neutral lead acetate 10 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.1.5 Potassium oxalate solution 10%

เตรียมโดยละลาย Potassium oxalate 10 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.1.6 Standard glucose solution

เตรียมโดยละลาย glucose ที่อบแห้งแล้ว 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.2.1 นำตัวอย่างมาปั่นด้วยเครื่องปั่น จากนั้นชั่งตัวอย่างในน้ำหนักที่แน่นอนผสมกับน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร แล้วกรองสารละลายที่ได้

2.2.2 นำสารละลายจากข้อ 2.2.1 ปริมาตร 100 มิลลิเมตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

2.2.3 เติมสารละลาย lead acetate ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 10 นาที

2.2.4 เติมสารละลาย Potassium oxalate ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร

2.2.5 กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำสารละลายที่ได้ใส่ในบิวเรต

2.2.6 ปิเปตสารละลาย Fehling'A และ Fehling'B อย่างละ 5 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปล่อยสารละลายในข้อ 2.2.5 ลงมา 15 มิลลิเมตร

2.2.7 ทิ้งให้เดือดนาน 2 นาที

2.2.8 เติมสารละลาย Methylene Blue ประมาณ 2-3 หยด แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ

2.2.9 บันทึกปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต แล้วคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จากสูตร

$$\text{Factor} = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม)} \times \text{ปริมาตรน้ำตาลกลูโคส (มิลลิลิตร)}}{100}$$

$$\% \text{ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์} = \frac{F \times 100 \times A}{\text{กรัมของตัวอย่างเริ่มต้น} \times \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต}}$$

เมื่อ A หมายถึงปริมาตรที่ใช้ในการเจือจางสารละลายตัวอย่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 250 มิลลิลิตร

3. การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) ด้วยการไทเทรต

3.1 การเตรียมสารเคมี

3.1.1 สารละลายมาตรฐาน NaOH ความเข้มข้น 0.1 N

3.1.2 สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ความเข้มข้น 0.1% ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95%

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.2.1 นำตัวอย่างมาปั่นด้วยเครื่องปั่น จากนั้นชั่งตัวอย่างปริมาณ 15 กรัม ลงใน บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ต้มนาน 1 ชั่วโมง กรองสารละลายที่ได้แล้ว ปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

3.2.2 ปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2.3 หยดฟีนอล์ฟทาไลน์ประมาณ 2-3 หยด แล้วนำมาไทเทรตกับ 0.1 NaOH จนกระทั่งถึงจุดยุติ (ตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนนาน 30 วินาที)

3.2.4 บันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ไทเทรต แล้วคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูป กรดซิทริกจากสูตร

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด (\%)} = \frac{V \times N \times \text{น้ำหนักสมมูลของกรด} \times 100}{W \times 1000}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

น้ำหนักสมมูลของกรดซิตริกเท่ากับ 70.05

4. การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดน้ำกลับ (Rehydration ability)

ต้มน้ำจนถึงอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นำมังคุดอบแห้งและมังคุดอบแห้งที่ผ่านการออกซิไดส์ไฮเดรชันมาจำนวน 5 กรัม ใช้อัตราส่วนในการวัดการดูดน้ำกลับของน้ำต่อเนื้อมังคุดเท่ากับ 100:5 (w/w) ใส่มังคุดลงไปในน้ำ จากนั้นจับเวลา 5 นาที นำเนื้อมังคุดที่ได้ไปวิเคราะห์ความชื้น นำผลที่ได้มาเข้าสู่สูตรคำนวณ

$$WAC = \frac{w_r (100 - s_r) - w_d (100 - s_d)}{w_0 (100 - s_0) - w_d (100 - s_d)}$$

โดยที่	w_0	คือ น้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างก่อนการอบแห้ง
	w_d	คือ น้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างก่อนการดูดน้ำกลับ
	w_r	คือ น้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างหลังการดูดน้ำกลับ
	s_0	คือ dried solid (%) ของตัวอย่างก่อนการอบแห้ง
	s_d	คือ dried solid (%) ของตัวอย่างก่อนการดูดน้ำกลับ
	s_r	คือ dried solid (%) ของตัวอย่างหลังการดูดน้ำกลับ

ความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็น indicator ที่บ่งบอกว่า ตัวอย่างอบแห้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มากน้อยเพียงไร

$$DHC = \frac{w_r \times s_r}{w_d \times s_d}$$

ความสามารถในการดูดน้ำกลับ

$$RA = WAC \times DHC$$

ผลของความสามารถในการดูดน้ำกลับ ควรอยู่ในช่วง 0 - 1

6. การตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

(วิธีดัดแปลงจาก Galeazzi *et al.* (1981) และ Wuyts *et al.* (2006) ดังนี้)

6.1 สารเคมี

6.1.1 สารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 M

เตรียมโดยผสมสาร A และสารละลาย B ให้เข้ากัน (pH 7)

(A) สารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1 M (27.6 กรัม ในปริมาตร 1 ลิตร)

(B) สารละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1 M (28.4 กรัม ในปริมาตร 1 ลิตร)

6.1.2 สารละลาย Y เตรียมโดยนำสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 M (pH 7.0) มาจำนวน 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารพอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (PVP) จำนวน 1 กรัม และสารไตรตรอน เอ็กซ์-100 (triton X-100) จำนวน 0.5 กรัม จากนั้นผสมให้เข้ากัน

6.1.3 สารละลายแคทเทคอล (catechol) เตรียมโดยละลายสารแคทเทคอล จำนวน 0.275 กรัม ในสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.05 M จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร

6.2 การสกัดเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจากมังคุด

นำเนื้อมังคุดจำนวน 25 กรัม มาปั่นผสมพร้อมกับสารละลาย Y จำนวน 50 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่องปั่นผสม (blender) ปั่นเป็นเวลา 25 วินาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกเอนไซม์ โดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว $7,000 \times g$ เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นนำส่วนที่เป็นน้ำใสด้านบน (supernatant) มาใช้เป็นเอนไซม์ตัวอย่างที่สกัดได้ (crude extract)

6.3 การตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์

นำสารละลายแคเทคคอล จำนวน 2 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ใส่ในเซลล์วัดค่าการดูดกลืนแสง เข้าด้วย vortex จากนั้นเปิดสารละลายเอนไซม์ที่สกัดได้ จำนวน 40 ไมโครลิตร (สำหรับตัวอย่างอ้างอิง (reference cuvette) หรือในการทำ blank ใช้เพียงสารละลายตั้งต้น (substrate) ผสมกับน้ำกลั่นเท่านั้น วัดค่าการดูดกลืนแสงทันทีโดยวัดค่าทุก 10 วินาที เป็นเวลา 1 นาที การตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์วัดอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

กิจกรรมของเอนไซม์ตรวจสอบจากความชันของกราฟค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในหนึ่งช่วงเวลา สำหรับหน่วยกิจกรรมของเอนไซม์ (unit enzyme) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงใน 1 หน่วยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ที่อัตรา 0.001 หน่วยต่อนาที (unit per minute) ภายใต้สภาวะที่ทดสอบ ดังสมการ

$$At = \frac{1000\Delta abs}{V \times \Delta t}$$

เมื่อ At คือ กิจกรรมของเอนไซม์ (Enzyme activity) (หน่วย/ นาที/ มิลลิลิตร)

V คือ ปริมาตรของสารสกัดเอนไซม์ที่วัดค่า (มิลลิลิตร)

Δt คือ ความแตกต่างของช่วงเวลาที่ใช้ตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์ (นาที)

Δabs คือ ความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างในช่วงเวลาที่ใช้พิจารณา



1. การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 5 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 45 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างในข้อ 1. ไปตีปั่นด้วยเครื่อง Stomacher เป็นเวลา 60 วินาที
3. นำตัวอย่างในข้อ 2. มาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางเหมาะสม
4. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count agar แล้วนำไปการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
5. เตรียมจานเพาะเชื้อโดยฆ่าเชื้อด้วยการอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. ปิเปิดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อจากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอุณหภูมิ 45 ถึง 55 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว
7. นำไปบ่มโดยคว่ำจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2. การวิเคราะห์ *Escherichia coli*

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 5 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 45 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างในข้อ 1. ไปตีปั่นด้วยเครื่อง Stomacher เป็นเวลา 60 วินาที
3. นำตัวอย่างในข้อ 2. มาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางเหมาะสม
4. ปิเปิดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงใน Lauryl Sulphate Tryptose broth ซึ่งบรรจุ Durham tube โดยทำความสะอาดหลอด 3 หลอด นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (หลอดที่ไม่มีก๊าซให้บ่มต่ออีก 24 ชั่วโมง)
5. เลือกหลอดที่มีก๊าซไปทำ confirm test
6. ใช้ loop เขี่ยเชื้อจากหลอดที่มีก๊าซใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ EC broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุ Durham tube นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45.5 องศาเซลเซียส ใน water bath เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

7. เลือกหลอดที่มีก๊าซนำไป Streak บน EMB agar และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
8. เลือกโคโลนีที่มีสีดำ ซึ่งอาจมีหรือไม่มี Metallic sheen จากนั้นเขี่ยเชื้อจานละ 2 โคโลนีลงใน Plate Count Agar slant นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง
9. ทดสอบ Indole test โดยเขี่ยเชื้อจาก Plate Count Agar slant ลงบน Tryptophan broth นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติม 0.2 ถึง 0.3 มิลลิลิตร ของสารละลาย KOVAC ถ้าเป็นบวกจะให้ชั้นบนของของเหลวเปลี่ยนเป็นสีแดง
11. ทดสอบ MR-VP โดยเขี่ยเชื้อจาก Plate Count Agar slant ลงบน MR-VP broth นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการทดสอบ MR test โดยนำ MR-VP broth ที่เหลือไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วหยด methyl red 5 หยด ผลบวกจะให้สีแดง ทำการทดสอบ VP test โดยถ่ายเชื้อจาก MR-VP broth ปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดขนาด 13x100 มิลลิลิตร เติม 0.6 มิลลิลิตร ของ alpha-naphthol ในสารละลายอัลกอฮอล์ และเติม 0.2 มิลลิลิตร ของสารละลาย creatinine-KOH
12. Simmon citrate agar โดยเขี่ยเชื้อจาก Plate Count Agar slant ลงบน Simmon citrate agar นำไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ้าเป็นบวกจะให้สีน้ำเงิน

3. การวิเคราะห์ยีสต์และรา

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 5 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 45 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างในข้อ 1. ไปตีปั่นด้วยเครื่อง Stomacher เป็นเวลา 60 วินาที
3. นำตัวอย่างในข้อ 2. มาเจือจางครั้งละ 10 เท่า โดยใช้ Phosphate Buffer จนได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางเหมาะสม
4. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose agar แล้วนำไปการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
5. เตรียมจานเพาะเชื้อโดยฆ่าเชื้อด้วยการอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อจากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอุณหภูมิ 45 ถึง 55 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว



การทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale

วันที่ _____

ตัวอย่าง มังคุดอบแห้ง

คำแนะนำ กรุณาทำการทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่เสนอ แล้วให้คะแนนความชอบ

แต่ละคุณลักษณะที่กำหนด

คะแนนความชอบ

9 = ชอบมากที่สุด

8 = ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง

2 = ไม่ชอบมาก

1 = ไม่ชอบ

คุณลักษณะ	...	...	...
ลักษณะปรากฏ			
สี			
กลิ่นมังคุด			
ความกรอบ			
กลิ่นรสมังคุด			
รสชาติโดยรวม			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ.....

ขอบคุณค่ะ



แบบสอบถาม

ลำดับที่.....

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของ นางสาวธีรดา วิศาลรักษ์กิจ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่าน กรุณาทดสอบตัวอย่าง และตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมา จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้ และจะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือ
ผู้วิจัย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

() ชาย

() หญิง

2. อายุ

() น้อยกว่า 20 ปี

() 21 – 30 ปี

() 31 – 40 ปี

() 41 – 50 ปี

() 50 ปีขึ้นไป

3. การศึกษาที่ได้รับสูงสุด

() ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.

() มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.

() อนุปริญญา (ปวศ.)

() ปริญญาตรี

() สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

() นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา

() พนักงานบริษัทเอกชน

() ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ

() ธุรกิจส่วนตัว

() อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

5. รายได้ต่อเดือน

() น้อยกว่า 5,000 บาท

() 5,000 – 10,000 บาท

() 10,001 – 15,000 บาท

() 15,001 – 20,000 บาท

() 20,001 – 25,000 บาท

() 25,001 – 30,000 บาท

() 30,001 – 35,000 บาท

() มากกว่า 35,000 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับความชอบ และการยอมรับของผู้บริโภคต่อมังคุดอบแห้ง

6. กรุณาทดสอบตัวอย่าง โดยสังเกตลักษณะปรากฏของมังคุดอบแห้งแล้วทดสอบตัวอย่าง และให้คะแนนความชอบใน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นมังคุด ความแข็ง กลิ่นรสมังคุด รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงตามความรู้สึกของท่าน

รหัส 213

คุณลักษณะ	ชอบ มาก ที่สุด	ชอบ มาก	ชอบ ปาน กลาง	ชอบ เล็กน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบ เล็กน้อย	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ ชอบ มาก	ไม่ชอบ มากที่สุด
ลักษณะ ปรากฏ									
สี									
กลิ่นมังคุด									
ความแข็ง									
กลิ่นรส มังคุด									
รสชาติ โดยรวม									
ความชอบ โดยรวม									

7. ท่านรู้สึกอย่างไรต่อ “มังคุดอบแห้ง” ที่พัฒนาขึ้นมานี้

() ยอมรับเพราะ.....

() ไม่ยอมรับเพราะ.....

8. กรุณาทดสอบตัวอย่าง โดยสังเกตลักษณะปรากฏของมังคุดอบแห้งแล้วทดสอบตัวอย่าง และให้คะแนนความชอบใน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นมังคุด ความกรอบ กลิ่นรสมังคุด รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงตามความรู้สึกของท่าน

รหัส 457

คุณลักษณะ	ชอบ มาก ที่สุด	ชอบ มาก	ชอบ ปาน กลาง	ชอบ เล็กน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบ เล็กน้อย	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ชอบ มาก	ไม่ ชอบ มาก ที่สุด
ลักษณะ ปรากฏ									
สี									
กลิ่นมังคุด									
ความกรอบ									
กลิ่นรส มังคุด									
รสชาติ โดยรวม									
ความชอบ โดยรวม									

9. ท่านรู้สึกอย่างไรต่อ “มังคุดอบแห้ง” ที่พัฒนาขึ้นมานี้

() ยอมรับเพราะ.....

() ไม่ยอมรับเพราะ.....



การเตรียมตัวอย่าง

นำมั่งคุดไม่มีเมล็ดและมีเมล็ดที่ไม่ผ่านและผ่านออสโมติกดีไฮเดรชันมาปั่นหยาบ ใส่ถ้วยพลาสติกเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 - 10 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร จนเต็มถ้วย เข้า air blast จนเนื้อมั่งคุดมีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และนำเข้าตู้แช่แข็ง รอการวัดตัวอย่าง

1. การวัดค่า

นำมั่งคุดที่เตรียมในแต่ละวิธีด้วยเครื่อง Network Analyser โดยใช้หัววัดแบบ Open-ended coaxial probe ดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ ๑1 ทำการวัดโดยนำหัววัดแนบกับผิวของตัวอย่าง เครื่อง Network Analyser จะแสดงค่า Dielectric constant และค่า Dielectric loss factor ออกมา จากนั้นนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่า Loss tangent และค่าความลึกในการทะลุทะลวงของไมโครเวฟ (Penetration depth) ต่อไป การวัดค่านั้นจะทำการวัด 3 จุด ต่อ 1 ตัวอย่าง



ภาพผนวกที่ ๑1 เครื่อง Network Analyser พร้อมหัววัดแบบ Open-ended coaxial probe

ที่มา: สวิตรา (2553)



1. ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมผลไม้ทุกชนิดที่นำมาทำให้แห้ง โดยอาจผ่านกรรมวิธีการคอง หรือแช่แข็งก่อนการทำแห้งก็ได้ บรรจุในภาชนะบรรจุ ทั้งนี้รวมถึงผลไม้แห้งที่มีการปรุงแต่งกลิ่นหรือรสด้วย

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ผลไม้แห้ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ที่อยู่ในสภาพดี ไม่เน่าเสีย โดยอาจนำมาผ่านกรรมวิธีการหมักคอง หรือแช่แข็งก่อนหรือไม่ก็ได้ มาลดความชื้นตามต้องการโดยใช้แสงแดดหรือนำไปอบ ทั้งนี้อาจปรุงแต่งกลิ่น หรือรสด้วยส่วนประกอบอื่นที่เหมาะสม เช่น น้ำตาลเกลือ พริก ด้วยก็ได้

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องคงลักษณะที่ดีตามธรรมชาติของผลไม้ ผิวหน้าแห้ง ไม่เกาะติดกัน เนื้อไม่แข็งกระด้าง ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปร่าง และขนาดใกล้เคียงกัน

3.2 สี

ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของผลไม้ และส่วนประกอบที่ใช้อย่างสม่ำเสมอ

3.3 กลิ่นรส

ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของผลไม้ และส่วนประกอบที่ใช้ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์

3.4 สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด จินส่วนหรือสิ่งปนเปื้อนจากสัตว์ เช่น แมลง หนู นก

3.5 วัตถุเจือปนอาหาร

หากมีการใช้วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส และวัตถุกันเสีย ให้ใช้ได้ตามชนิด และปริมาณที่กฎหมายกำหนด

3.6 ความชื้น

ต้องไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก

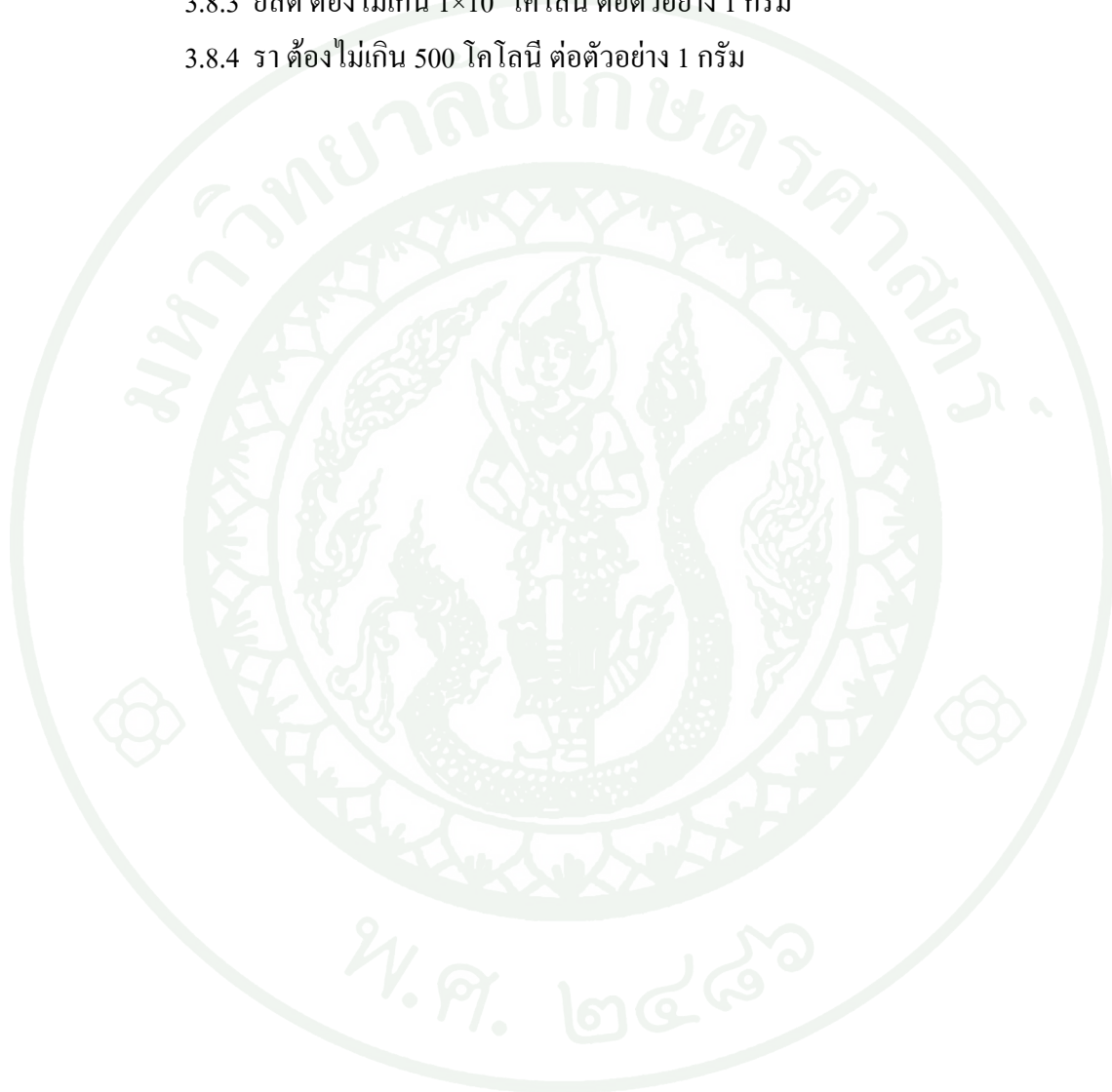
3.7 วอเตอร์แอคทีวี่

ต้องไม่เกิน 0.75

หมายเหตุ วอเตอร์แอคทีวี่เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บอาหาร และเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร โดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างพิษของจุลินทรีย์

3.8 จุลินทรีย์

- 3.8.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- 3.8.2 เอสเชอริเชีย โคไล ด้วยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- 3.8.3 ยีสต์ ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- 3.8.4 รา ต้องไม่เกิน 500 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม





ภาคผนวก ฅ
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง (มอก. 919-2532)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชนิด คุณลักษณะที่ต้องการ วัตถุประสงค์ สุนัขลักษณะ การบรรจุ เครื่องหมาย และฉลาก การชักตัวอย่าง เกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบผลไม้แห้ง

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไม่ครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งซึ่งมีประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไว้ต่างหากโดยเฉพาะ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มีดังต่อไปนี้

2.1 ผลไม้ หมายถึง ส่วนที่พัฒนาจากดอกของพืช และใช้รับประทานได้

2.2 ผลไม้แห้ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลไม้มาผ่านกรรมวิธีตามความเหมาะสม (ไม่รวมการหมักดอง) แล้วนำมาลดความชื้นตามความต้องการ โดยกรรมวิธีตามธรรมชาติ หรือใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม (ไม่รวมวิธีการทำแห้งโดยวิธีเยือกแข็ง (freeze dried)) โดยจะมีการปรุงแต่งรสหวานด้วยน้ำตาลหรือไม่ก็ได้

2.3 ผลไม้แห้งชนิดไม่ปรุงแต่งรสหวาน หมายถึง ผลไม้แห้งชนิดที่ไม่มีการเพิ่มความหวาน

2.4 ผลไม้แห้งชนิดปรุงแต่งรสหวาน หมายถึง ผลไม้แห้งที่มีการเพิ่มความหวานด้วยน้ำตาล

3. ชนิด

3.1 ผลไม้แห้ง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1.1 ผลไม้แห้งชนิดไม่ปรุงแต่งรสหวาน

3.1.2 ผลไม้แห้งชนิดปรุงแต่งรสหวาน

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1 ลักษณะทั่วไป

4.1.1 ผลไม้แห้งชนิดไม่ปรุงแต่งรสหวาน ต้องคงลักษณะเนื้อที่ดีตามชนิดของผลไม้ที่ใช้ทำ ผิวหน้าแห้งไม่เกาะตัวกัน มีรูปร่าง และขนาดสม่ำเสมอ

4.1.2 ผลไม้แห้งชนิดปรุงแต่งรสหวาน ต้องคงลักษณะเนื้อที่ดีตามผลไม้ที่ใช้ทำ ไม่จับตัวเป็นก้อน ลักษณะภายนอกไม่เปื่อยขึ้น เนื้อไม่แข็งกระด้าง มีรูปร่าง และขนาดสม่ำเสมอ

4.2 สี

ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธีการทำ

4.3 กลิ่นรส

ต้องมีกลิ่นรสเฉพาะของผลไม้ที่ใช้ทำ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นรสที่เกิดจากการหมัก กลิ่นอับ

4.4 สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปนมาในผลไม้แห้ง เช่น ดิน ทราย กรวด เศษโลหะ แมลง หรือชิ้นส่วนของแมลง ไข่แมลง ขนสัตว์ สิ่งปฏิภูลของแมลง หนู และนก

4.5 ความชื้น

ต้องไม่เกินร้อยละ 18

4.6 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (น้ำตาลอินเวิร์ต) (เฉพาะผลไม้แห้งชนิดปรุงแต่งรสหวาน)

ต้องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 65 ของน้ำหนักอบแห้ง

5. วัตถุเจือปนอาหาร

หากมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารให้ใช้ได้ตามชนิด และปริมาณที่กำหนดต่อไปนี้

5.1 สีธรรมชาติ

ในปริมาณที่เหมาะสม

5.2 สีสังเคราะห์ ดังต่อไปนี้

- 5.2.1 ปองโซ 4 อาร์ ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5.2.2 เอโซรูบิน ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5.2.3 เออร์โรทรซิน ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5.2.4 ทาร์ตราซีน ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5.2.5 ซันเซตเยลโลว์ เอฟซีเอฟ ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5.2.6 ฟาสต์กรีน เอฟซีเอฟ ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5.2.7 อินดิโกคาร์มีน หรืออินดิโกติน ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5.2.8 บริลเลียนบลู เอฟซีเอฟ ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

หมายเหตุ การใช้สีสังเคราะห์ข้างต้นรวมกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปต้องมีปริมาณรวมของสีทุกชนิดไม่เกินปริมาณของสีชนิดที่กำหนดปริมาณการใช้ที่น้อยที่สุด

3.3 วัตถุอันตราย

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ต้องไม่เกิน 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3.4 สารให้ความหวานแทนน้ำตาล

ห้ามใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลทุกชนิด

6. สารปนเปื้อน

6.1 ปริมาณสารปนเปื้อน จะมีได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด

6.1.1 สารหนู ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

6.1.2 ทองแดง ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

6.1.3 ตะกั่ว ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

7. สุขลักษณะ

7.1 สุขลักษณะ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดสุขลักษณะสำหรับผลไม้แห้ง มาตรฐานเลขที่ มอก. 62

7.2 จุลินทรีย์จะมีได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดต่อไปนี้

7.2.1 ราและยีสต์ ต้องไม่เกิน 1×10^2 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

7.2.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

7.2.3 เอสเชอริเชีย โคไล (Escherichia coli) โดยวิธีเอ็มพีเอ็น (MPN) ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

7.2.4 สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus) ต้องตรวจไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

7.2.5 ซาลโมเนลลา (Salmonella) ต้องตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม

7.2.6 คอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (Clostridium perfringens) ต้องตรวจไม่พบใน
ตัวอย่าง 0.1 กรัม



ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวธีรดา วิสาธรัญกิจ
วัน เดือน ปีเกิด	15 มิถุนายน 2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (คหกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	Teerada Visalrakkij and Nantawan Therdthai 2554. Physical Chemical and Sensorial Quality of Microwave Vacuum Dried Mangosteen with and without Osmotic Dehydration. The Proceeding of 50 th Kasetsart University Annual Conference
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนบัณฑิตศึกษาจากการสนับสนุนการวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) กลุ่มเรื่องการเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตรประจำปี การศึกษา 2553
ตำแหน่งหน้าที่	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-