



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง

Process Development of Osmotically Dehydrated Mandarin cv. (Sai-Namphaung)

นามผู้วิจัย นางสาวคณิดา พัฒนาภา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตา จันทราพรชัย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มตาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนากระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง

Process Development of Osmotically Dehydrated Mandarin cv. (Sai-Namphaung)

โดย

นางสาวกณิตตา พัฒนาภา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณิตดา พัฒนาภา 2553: การพัฒนากระบวนการผลิตสัสมายน้ำฝั้งแ่มอบแ่ม่ง ปริญญาวิตยา
ศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร
ภาควิตาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปริญญาวิตยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย,
Ph.D. 137 หน้า

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการพัฒนากระบวนการผลิตสัสมายน้ำฝั้งแ่มอบแ่ม่ง โดยนำสัสมายน้ำฝั้งที่
ลอกเปลือกแล้วมาผ่านกระบวนการแ่ม่งในสารละลายออสโมซิสที่ผสมระหว่างสารละลายซูโครสและ
สารละลายกลีเซอรอลในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ที่อุณหภูมิ 57±3 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ
40 รอบต่อนาที อัตราส่วนของน้ำหนักสัสมายต่อสารละลายออสโมซิสเป็น 1:5 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของ
สารละลายกลีเซอรอลทำให้อัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแ่ม่งมีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นอบแ่ม่ง
ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที แบบจำลองของเพจ (Page's model) สามารถอธิบาย
การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแ่ม่งได้ดีกว่าแบบจำลองของลิวอิส (Lewis's
model) โดยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายมีค่าสูงกว่า 0.9 และมีค่ารากที่สองของ
ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) อยู่ระหว่าง 0.0205 ถึง 0.0372 เมื่อประเมินคุณภาพของ
สัสมายน้ำฝั้งแ่มอบแ่ม่ง พบว่าการใช้สารละลายซูโครสและกลีเซอรอลในอัตราส่วน 9:1 ให้ค่า L* สูงสุด
เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลส่งผลให้ค่า a* ค่าออเตอร์แอคทิวิตี้ ค่าความแ่ม่ง ปริมาณความชื้น และปริมาณ
น้ำตาลรีดิวซ์มีค่าลดลง (p≤0.05) จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าสัสมายน้ำฝั้งแ่มอบแ่ม่ง
ที่ใช้สารละลายซูโครสและกลีเซอรอลในอัตราส่วน 7:3 มีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี
ความหวาน รสชาติโดยรวมและความชอบรวมมากที่สุด ดังนั้นจึงคัดเลือกอัตราส่วนดังกล่าวเป็นสูตรพื้นฐาน
ในการศึกษาการอบแ่ม่งสัสมายน้ำฝั้งแ่ม่งด้วยกระบวนการอบแ่ม่งด้วยลมร้อน ไมโครเวฟสุญญากาศและ
ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าการอบแ่ม่งไมโครเวฟสุญญากาศสามารถลดเวลาในการอบแ่ม่ง
นอกจากนี้การใช้กำลังไมโครเวฟ 1,280 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 960 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์
มีค่า L*, a* และ b* สูงสุด (p≤0.05) ขณะที่การอบแ่ม่งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศทำให
ผลิตภัณฑ์มีค่าออเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำที่สุด นอกจากนี้การอบแ่ม่งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแ่ม่งแบบ
ผสมทำให้ค่าความแ่ม่งของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรอบแ่ม่งด้วยลมร้อน เมื่อทำการประเมิน
คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการอบแ่ม่งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบ
ด้านสีสูงกว่าแต่มีคะแนนความชอบรวมต่ำกว่าการอบแ่ม่งด้วยลมร้อน จากการทดสอบผู้บริโภคพบว่าผู้บริโภค
ให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง และ
ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 87.33 จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง
ลามิเนตชนิด OPP30/Adhesive/LLDPE65 พบว่าค่า L*, a* และ b* มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษา
เพิ่มขึ้น จากการทำนายโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษา 68, 24 และ 8 วัน
สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Kanitta Pattanapa 2010: Process Development of Osmotically Dehydrated Mandarin cv. *(Sai-Namphaung)*. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Assistant Professor Nantawan Thredthai, Ph.D. 137 pages.

The research aimed to develop the process of osmotically dehydrated mandarin cv. *(Sai-Namphaung)*. Mandarin was peeled and osmotically dehydrated in osmotic solutions including various mixtures of sucrose and glycerol (9:1, 8:2, 7:3, 6:4 and 5:5 w/w) at $57\pm 3^{\circ}\text{C}$ with the agitation of 40 rpm. The ratio of mandarin to osmotic solutions was 1:5. Increasing glycerol ratio in the mixture significantly increased rate of water loss and solid gain during osmotic dehydration. After that, osmotically dehydrated mandarin was dried using hot air drying at 70°C for 360 min. During drying process, the Page model had higher capacity than the Lewis model for moisture ratio. Correlation coefficients (rs) between actual and simulated values were higher than 0.9 and root mean square error (RMSEs) were in the range of 0.0205 to 0.0372. For quality of dried mandarin, samples immersed in 9:1 (sucrose: glycerol ratio) solution contained the highest L^* value ($p\leq 0.05$). Increasing glycerol ratio could decrease a^* value, water activity, hardness, moisture content and reducing sugar of dried mandarin ($p\leq 0.05$). From sensory evaluation, the use of 7:3 (sucrose: glycerol ratio) solution produced the dried mandarin with the highest liking score on appearance, color, sweetness, overall taste and overall liking. Therefore, this solution ratio was selected to prepare dried mandarin under hot air drying, microwave vacuum drying and combination of hot air and microwave vacuum drying. Microwave vacuum system could reduce drying time. The highest values of L^* , a^* and b^* were observed when mandarin was dried by microwave vacuum drying either at 1,280 W for 5 min or 960 W for 7 min. The combination of hot air and microwave vacuum drying produced the lowest water activity. Moreover, both microwave vacuum drying and combined drying reduced product hardness, compared with hot air drying. From sensory evaluation, the microwave vacuum dried mandarin had higher liking score on color but less overall liking score than the hot air dried samples. For consumer testing, liking scores of appearance, texture and overall liking were moderately liking. In addition, 87.33% of consumers accepted the product. During storage in OPP30/Adhesive/LLDPE65 bags, L^* , a^* and b^* values were decreased as storage time was increased. Based on mathematical models, the estimated shelf life of osmotically dehydrated mandarin storage at 25, 35 and 45°C were 68, 24 and 8 days, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์นันท์วัน เทอดไทย อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร จันทราพรชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
ที่กรุณาให้คำแนะนำในระหว่างการศึกษา ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์สำเร็จ
ลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ช่วยแนะนำและแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความ
สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัย และ
บริษัท Huhtamaki (Thailand) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์บรรจุภัณฑ์เพื่อใช้ในการศึกษาอายุการ
เก็บรักษา รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและ
ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโทและนิสิต
ปริญญาเอกทุกท่านที่ช่วยเหลือตลอดจนเป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
สำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณอา และขอขอบคุณน้องสาว ที่ให้การสนับสนุน
ความหวังใจ ความช่วยเหลือ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา สุดท้ายนี้
ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แก่ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน
หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยและขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

คณิตตา พัฒนาภา

มีนาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุป	100
ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	102
ภาคผนวก	114
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	115
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	117
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์	124
ภาคผนวก ง แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	127
ภาคผนวก จ แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค	130
ภาคผนวก ฉ แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	
ระหว่างการเก็บรักษา	135
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	137

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของส้มสดต่อน้ำหนัก 100 กรัม	5
2	คุณภาพทางกายภาพของส้มสายน้ำผึ้ง	40
3	คุณภาพทางเคมีของส้มสายน้ำผึ้ง	41
4	ค่าคงที่อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อน	50
5	คุณภาพทางกายภาพของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิม	53
6	คุณภาพทางเคมีของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิม	54
7	ปริมาณสารอาหารในส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิม	55
8	คะแนนความชอบเฉลี่ยของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิม	56
9	ค่าคงที่อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่ออบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ	60
10	พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง	63
11	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้ได้ส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง 100 กรัม	64
12	การเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง	67
13	การเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง	69
14	คะแนนความชอบเฉลี่ยของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง	72
15	คุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งตามประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มผช.138/2550)	73
16	คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคที่มีต่อส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง	74
17	การยอมรับและความสนใจซื้อของผู้บริโภคและราคาส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง	75
18	ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค	76
19	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	80
20	การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	82
22	การเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	83
23	การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการแอคทีวิตี ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	88
24	การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (นิวตัน) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	91
25	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	94
26	ค่าคงที่อัตรา (k) ค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส (k_0) ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	96
27	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของสัสมายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	97
28	คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อสัสมายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	98

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส	7
2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและตัวถูกละลายภายในเซลล์ผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส	8
3	โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล	16
4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียและเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส สัมผัสน้ำผึ้งในสารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลีเซอรอล	42
5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส สัมผัสน้ำผึ้งในสารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลีเซอรอล	43
6	อัตราการอบแห้งสัมผัสน้ำผึ้งแช่เย็นที่ทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด	45
7	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน	46
8	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนเมื่อ อธิบายด้วยแบบจำลอง Lewis's model	47
9	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนเมื่อ อธิบายด้วยแบบจำลอง Page's model	48
10	อัตราการอบแห้งสัมผัสน้ำผึ้งแช่เย็นที่ทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ	57
11	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ สุญญากาศ	58
12	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ สุญญากาศเมื่ออธิบายด้วยแบบจำลอง Lewis's model	59
13	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ สุญญากาศเมื่ออธิบายด้วยแบบจำลอง Page's model	59
14	สัมผัสน้ำผึ้งแช่เย็นอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน	70
15	สัมผัสน้ำผึ้งแช่เย็นอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศด้วยกำลัง ไมโครเวฟ (a) 960 วัตต์ และ (b) 1,280 วัตต์	70
16	สัมผัสน้ำผึ้งแช่เย็นอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ สุญญากาศด้วยกำลังไมโครเวฟ (a) 960 วัตต์ และ (b) 1,280 วัตต์	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของส้อมสายน้ำผึ้งแฉ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	84
18	การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของส้อมสายน้ำผึ้งแฉ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	85
19	การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของส้อมสายน้ำผึ้งแฉ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	86
20	การเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* ของส้อมสายน้ำผึ้งแฉ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	87
21	การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคทีวิตี ของส้อมสายน้ำผึ้งแฉ่มอบแห้งระหว่าง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	89
22	การเปลี่ยนแปลงความแข็งของส้อมสายน้ำผึ้งแฉ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	92
23	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของส้อมสายน้ำผึ้งแฉ่มอบแห้งระหว่างการเก็บ รักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส	95

การพัฒนากระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง

Process Development of Osmotically Dehydrated Mandarin cv. (Sai-Namphaung)

คำนำ

ส้มจัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยเป็นผลไม้ที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงประมาณ 2,428 กิโลกรัมต่อไร่ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2550) และเป็นที่ยอมรับบริโภคเพราะเป็นผลไม้ที่มีผลผลิตตลอดปี ราคาไม่แพงและรสชาติดี ส้มจัดเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเนื่องจากมีสารอาหารที่สำคัญเช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินซีและวิตามินเอ นอกจากนี้ส้มยังมีสารไลโมนอยด์ (Limonoids) ที่จัดเป็นสารประกอบในกลุ่มไตรเทอปีนอยด์ (Triterpenoids) ซึ่งเป็นสารชีวภาพที่มีปริมาณมากในผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งมีความสามารถในการเป็นสารต่อต้านมะเร็ง เช่น มะเร็งในช่องปาก มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งลำไส้ (กฤติดา, 2546)

ส้มสายน้ำผึ้งเป็นพันธุ์ส้มในกลุ่มเดียวกับส้มเขียวหวานที่กำลังได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักกันมากขึ้นในปัจจุบันซึ่งมีพื้นที่การเพาะปลูกส่วนมากอยู่ทางภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ส้มสายน้ำผึ้งเป็นส้มที่มีรสชาติดหวานแหลมอมเปรี้ยวเล็กน้อย เนื้อแน่น ปอกเปลือกง่าย ชานนิ่มให้น้ำส้มในปริมาณมากและมีกลิ่นหอมกว่าส้มเขียวหวาน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2541) โดยทั่วไปส้มสายน้ำผึ้งนิยมรับประทานในรูปผลสด แต่ในปัจจุบันได้มีการนำมาแปรรูปในรูปน้ำผลไม้

การออสโมซิสเป็นการแปรรูปอาหารชนิดหนึ่งที่ยอมรับใช้กับผลไม้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดปริมาณน้ำภายในวัตถุดิบเพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในระดับครัวเรือนเพราะเป็นวิธีการอบแห้งที่ง่ายและไม่ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพง นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมระดับท้องถิ่นและระดับประเทศเพื่อการส่งออกผลไม้แปรรูปในรูปผลไม้แช่อิ่มหรือผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง แต่ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่แปรรูปด้วยวิธีการออสโมซิสคือผลิตภัณฑ์มีรสหวานเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อันเนื่องมาจากการใช้น้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงในการออสโมซิสและปัญหาในด้านลักษณะปรากฏที่เหี่ยวแห้ง เนื่องจากผลไม้มีการสูญเสียน้ำมากเมื่อมีการใช้สารละลายในความเข้มข้นสูงปัญหาดังกล่าวอาจแก้ไขได้โดยการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับน้ำตาลซูโครสในการออสโมซิส เนื่องจาก

สารดูดความชื้นมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นและลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ของอาหารลงได้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นอาหารกึ่งแห้ง นอกจากนี้สารดูดความชื้นยังมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และยังสามารถแก้ปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้เกิดจากเอนไซม์ (ไพโรจน์, 2539)

เนื่องจากผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสสามารถลดปริมาณน้ำลงได้เพียงร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้นหรือมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีประมาณ 0.65 ซึ่งจุลินทรีย์ยังสามารถเจริญได้ (จุฑามาศ, 2542) ดังนั้นจึงนิยมนำผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสมาผ่านขั้นตอนการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนเพื่อลดปริมาณน้ำให้ต่ำลงจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ โดยการใช้อุณหภูมิในช่วง 55 ถึง 70 องศาเซลเซียส แต่ข้อเสียของการอบแห้งแบบลมร้อนคือในช่วงท้ายของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งจะเกิดช้าลงทำให้ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานซึ่งส่งผลให้องค์ประกอบและโครงสร้างในอาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการแปรรูปอาหาร เนื่องจากการใช้คลื่นไมโครเวฟสามารถลดปริมาณน้ำได้โดยการทำให้อิโมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นๆต่อไป จนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้กลายเป็นพลังงานความร้อนจึงทำให้น้ำสามารถระเหยได้รวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับ การให้ความร้อนด้วยวิธีอื่นๆ (วิไล, 2547) ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์นำระบบสุญญากาศมาใช้ร่วมกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ เพื่อเพิ่มอัตราการอบแห้ง ทำให้สามารถรักษาโครงสร้างและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ได้ (เหมการ, 2545)

การวิจัยนี้มีเป้าหมายในการศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง โดยใช้กลีเซอรอลเข้ามาช่วยในกระบวนการออสโมซิส เพื่อลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์ สำหรับกระบวนการอบแห้ง ใช้การอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับกระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศเข้ามาปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ส้มแช่อิ่มอบแห้ง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส้อมสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้สารละลายซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการถายเทมวลสารระหว่างการอบสโมซิท
3. เพื่อศึกษากระบวนการอบแห้งส้อมสายน้ำผึ้งเชื่อม ด้วยกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน กระบวนการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ และกระบวนการอบแห้งลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ
4. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ส้อมสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง
5. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้อมสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

1. ส้มสายน้ำผึ้ง

ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง (mandarin cv. (Sai-Namphaung)) จัดอยู่ในกลุ่มส้มเปลือกอ่อน เช่นเดียวกับส้มเขียวหวาน โดยอยู่ในกลุ่ม Common mandarins (*C. reticulata*) มีชื่อสามัญว่า mandarin หรือ tangerine อยู่ในวงศ์ Rutaceae (รวิ, 2523) มีลักษณะคล้ายส้มเขียวหวานเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง ผลมีลักษณะเป็นทรงกลมแป้นเล็กน้อย ด้านปลายผลราบเป็นแอ่งตื้นๆ ฐานผลมีจุดขนาดเล็กผิวเรียบมีคูนน้ำมันเกิดใต้เต็มผิวผล ผงักกลีบบาง ชานน้ม (เปรมปรี, 2544) มีรสชาติหวานแหลมอมเปรี้ยวเล็กน้อย เนื้อแน่น ปอกเปลือกง่าย ให้น้ำส้มในปริมาณมากและมีกลิ่นหอม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2541)

สำหรับการปลูกส้มในประเทศไทยนั้นนิยมปลูกส้มในกลุ่มส้มเขียวหวาน ได้แก่ ส้มบางมด ส้มรังสิต และส้มสายน้ำผึ้งซึ่งเป็นส้มที่นิยมบริโภคในปัจจุบัน (พรชัย, 2551) แหล่งเพาะปลูกส้มสายน้ำผึ้งส่วนใหญ่อยู่บริเวณภาคเหนือในจังหวัด เชียงใหม่ กำแพงเพชร เชียงราย สุโขทัย และแพร่ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2550) สำหรับการเก็บเกี่ยวใช้ดัชนีการนับอายุจากระยะออกดอกถึงดอกบานประมาณ 1 เดือน และจากระยะดอกบานถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 10 ถึง 11 เดือน ซึ่งต้นส้มจะเริ่มออกดอกในเดือนกุมภาพันธ์และทำการเก็บเกี่ยวผลส้มในเดือนธันวาคม (มงคล, 2535) ซึ่งทำการเก็บเกี่ยวโดยใช้การปลิดขั้วผลหรือใช้กรรไกรตัดขั้วผลแล้วบรรจุลงในถุงย่ำผ้าใบจากนั้นจึงลำเลียงใส่ตะกร้าส่งไปยังโรงคัดบรรจุเพื่อทำการคัดเลือกคุณภาพ เช่น สี ขนาด รูปร่าง คำหนิและทำการคัดแยกผลที่แตกหรือเน่าเสียออก ทำความสะอาด (เปรมปรี, 2544) แล้วส่งไปทำการคัดขนาดและเคลือบผิว ทำการบรรจุในกล่องกระดาษซึ่งมีน้ำหนักบรรจุ 11 กิโลกรัม หรือตะกร้าพลาสติกซึ่งมีน้ำหนักบรรจุ 25 กิโลกรัม (ชัยนันท์, 2549) ในด้านการจัดจำหน่ายเกษตรกรจะจัดส่งผลผลิตให้กับพ่อค้าคนกลางหรือตัวแทนจำหน่ายเพื่อทำการรวบรวมและทำการขนส่งมายังตลาดกลางสินค้าการเกษตรแห่งประเทศไทย (วาสนา, 2544) สำหรับปริมาณผลผลิตส้มจัดเป็นผลไม้ที่มีผลผลิตตลอดทั้งปีแต่จะมีปริมาณมากในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ในปี พ.ศ. 2550 ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตส้มสูงถึง 757,328 ตัน โดยผลผลิตส่วนใหญ่จะใช้บริโภคภายในประเทศประมาณ 746,000 ตัน ส่วนการส่งออกนั้นทำการส่งออกในรูปผลสด น้ำส้มแช่แข็ง และน้ำส้ม โดยมีคู่ค้าที่สำคัญ ได้แก่ พม่า ลาว จีน และอินโดนีเซีย (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2550)

ส้มสายน้ำผึ้งที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดจะมีการคัดขนาดเพื่อกำหนดราคาขาย โดยการกำหนดขนาดของส้มมีทั้งหมด 6 เบอร์ (จริงแท้, 2541) ได้แก่

เบอร์ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร เป็นส้มขนาดเล็กที่สุดและมีราคาต่ำสุด

เบอร์ 2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.5 เซนติเมตร

เบอร์ 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 เซนติเมตร เป็นส้มที่มีขนาดกลาง ผู้บริโภคนิยมซื้อไปรับประทานสด

เบอร์ 0 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6.5 เซนติเมตร เป็นขนาดที่ผู้บริโภคนิยมมากที่สุด

เบอร์ 00 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 เซนติเมตร เป็นส้มที่มีขนาดใหญ่มาก จึงไม่นิยมบริโภค เพราะมีเปลือกค่อนข้างหนา เนื้อฟาม รสชาติจืด แต่นิยมใช้สำหรับไหว้เจ้า

เบอร์ 000 ส้มที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 00 ขึ้นไป เป็นส้มที่มีขนาดใหญ่มากเป็นพิเศษ ผู้บริโภคไม่นิยมและมีไม่มากนัก

2. คุณค่าทางโภชนาการ

ส้มเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จากการวิเคราะห์ของฝ่ายข้อมูลการวิเคราะห์กองโภชนาการ กรมอนามัย พบว่าจากส่วนของผลส้มที่รับประทานได้จำนวน 100 กรัม จะมีปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของส้มสดต่อน้ำหนัก 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน	44.0 แคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	9.9 กรัม
โปรตีน	0.6 กรัม
ไขมัน	0.2 กรัม
เส้นใย	0.2 กรัม
แคลเซียม	31.0 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	18.0 มิลลิกรัม

ตารางที่ 1 (ต่อ)

องค์ประกอบ	ปริมาณ
เหล็ก	0.8 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	4,000 หน่วยสากล
วิตามินบี 1	0.04 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.05 มิลลิกรัม
วิตามินซี	18.0 มิลลิกรัม
ความชื้น	88.7 กรัม

ที่มา: ฝ่ายข้อมูลการวิเคราะห์กองโภชนาการ (2540)

3. การออสโมซิส

การออสโมซิส เป็นวิธีการดึงน้ำบางส่วนออกจากผลไม้ด้วยกระบวนการออสโมซิส โดยในระหว่างการออสโมซิสจะมีการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำในผลไม้และสารละลายออสโมซิส การออสโมซิสเป็นกระบวนการที่มีการทำลายคุณภาพและความสดของผลไม้ไม่น้อยที่สุดเนื่องจากผลไม้ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน (Lazarides, 2001) ดังนั้นการออสโมซิสจึงเหมาะสมสำหรับผลไม้ที่ไวต่อความร้อนหรือผลไม้ประเภทที่มีเนื้อนุ่ม (Soft fruit) เพราะเนื้อผลไม้จะไม่ถูกทำลายเนื่องจากความร้อน นอกจากนี้การออสโมซิสยังสามารถช่วยรักษาสี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินในผลไม้ไว้ได้ (นิราศ, 2546 อ้างถึง Ponting *et al.*, 1966)

3.1 หลักการของการออสโมซิส

การออสโมซิส คือการลดปริมาณน้ำภายในผลไม้โดยอาศัยการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างผลไม้กับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารเนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมซิสระหว่างน้ำภายในเซลล์ผลไม้กับสารละลายภายนอก ซึ่งการถ่ายเทมวลสารนี้เป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกันผ่านเยื่อเลือกผ่าน โดยน้ำที่อยู่ในผลไม้จะซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) และผนังเซลล์ (Cell wall) ออกมาสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงในขณะเดียวกันตัวถูกละลายในสารละลายจะซึมผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ภายในผลไม้ นอกจากนี้ตัวถูกละ

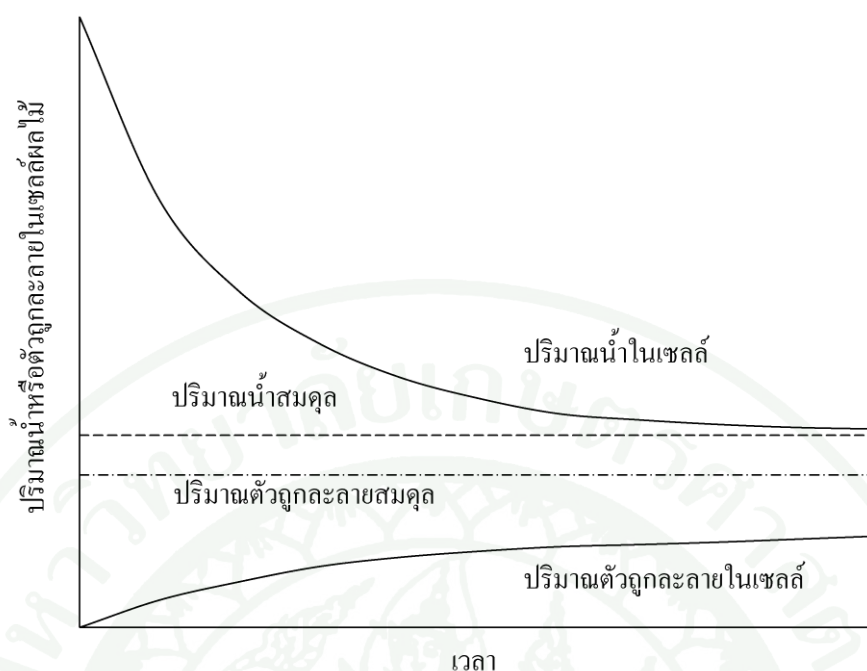
ละลายที่อยู่ในผลไม้ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือแร่ และวิตามิน จะแพร่ออกจากเซลล์ผลไม้ไปยังสารละลายภายนอก ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส

ที่มา: Agnelli (2005)

โดยกระบวนการออสโมซิสสามารถลดปริมาณน้ำภายในผลไม้ออกไปได้ประมาณร้อยละ 40 ถึง 70 ของน้ำหนักผลไม้สด และส่งผลให้มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นในผลไม้ประมาณร้อยละ 2 ถึง 25 (Raoult-Wack, 1994) ซึ่งในขณะที่น้ำภายในเซลล์แพร่ออกจากเนื้อผลไม้จะมีกรดบางส่วนถูกกำจัดออกไปด้วยส่งผลให้ปริมาณกรดในเนื้อผลไม้ลดลงเมื่อรวมตัวกับน้ำตาลที่แพร่เข้าไปในเนื้อผลไม้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานมากกว่าผลไม้อบแห้งธรรมดา โดยการถ่ายเทมวลระหว่างน้ำและตัวถูกละลายจะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุล (Equilibrium) ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งที่สภาวะสมดุลนี้อัตราการถ่ายเทมวลระหว่างน้ำและตัวถูกละลายจะมีค่าคงที่ทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผลไม้และในสารละลายออสโมซิสมีค่าคงที่ (ไพบูลย์, 2532)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและตัวถูกละลายภายในเซลล์ผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส

ที่มา: ไพนุลย์ (2532)

3.2 ประเภทของการออสโมซิส

การออสโมซิสแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ การออสโมซิสในระบบแห้งและการออสโมซิสในระบบสารละลาย (รพีพร, 2551 อ้างถึง Ponting *et al.*, 1966)

3.2.1 การออสโมซิสในระบบแห้ง

เป็นการออสโมซิสใน osmotic medium ที่มีลักษณะแห้ง การออสโมซิสประเภทนี้นิยมใช้น้ำตาลทรายโรยสลับกับชิ้นผลไม้เป็นชั้นๆ ส่งผลให้มีค่าอัตราการถ่ายเทมวลต่ำกว่าการออสโมซิสในระบบสารละลาย การออสโมซิสประเภทนี้ไม่เป็นที่นิยมมากนักเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะผิวหยาบ

3.2.2 การออสโมซิสในระบบสารละลาย

เป็นการออสโมซิสโดยใช้สารละลายเป็น osmotic medium ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากมีความสะดวกและสามารถนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งการออสโมซิสในระบบสารละลายสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี ได้แก่ การออสโมซิสในสารละลายที่ไม่มีการเคลื่อนที่ และการออสโมซิสในสารละลายที่มีการเคลื่อนที่

3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส

การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสจะเกิดขึ้นช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้

3.3.1 ชนิดของสารละลายออสโมซิส

สารละลายออสโมซิสที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด คือ โซเดียมคลอไรด์และน้ำตาล (Ertekin and Cakaloz, 1996) เนื่องจากน้ำตาลจะมีผลในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning) และสามารถรวมตัวกับสารให้กลิ่นรสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยไประหว่างการอบแห้ง น้ำตาลที่ใช้เป็นสารละลายออสโมซิสมีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ น้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นสารที่มีค่าแอสทิวติตี้ต่ำ ให้แรงดันออสโมซิสให้รสหวานและมีราคาถูกกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ (สุธีรา, 2540) นอกจากนี้การใช้น้ำตาลซูโครสยังสามารถรักษาโครงสร้างของเซลล์ได้ดีกว่าการใช้น้ำตาลเด็คโตรอส (Khin *et al.*, 2007)

Eren and Ertekin (2007) ทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการออสโมซิส มันฝรั่งโดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมซิสต่อมันฝรั่งเป็น 1:5 และเคลื่อนที่สารละลายด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที พบว่าการใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 54.5 ร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 329 นาที เป็นสถานะที่เหมาะสม เนื่องจากส่งผลให้การสูญเสียน้ำมีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและค่าแอสทิวติตี้มีค่าต่ำสุด

Togrul and Ispir (2007) ทำการศึกษากิจกรรมของสารละลายซึ่งได้แก่ ฟรุคโตส กลูโคส มอลโตเต็กซ์ตริน ซูโครส และซอร์บิทอล ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ที่ส่งผลต่อปริมาณการสูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นโดยใช้อัตราส่วนระหว่าง แอปริคอตต่อสารละลายเป็น 1:25 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10,000 นาที พบว่าสารละลายฟรุคโตส กลูโคส มอลโตเต็กซ์ตริน และซูโครส ส่งผลต่อปริมาณการสูญเสียในปริมาณใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าการใช้สารละลายซอร์บิทอล นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารละลายซูโครสและฟรุคโตสมีความเหมาะสมในการออสโมซิส เนื่องจากสารละลายทั้งสองส่งผลให้อัตราการสูญเสียน้ำมีค่าสูงสุดนอกเหนือจากนี้ยังส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าต่ำกว่าการใช้สารละลายมอลโตเต็กซ์ตรินและกลูโคส

ในปัจจุบันได้มีการใช้สารเคมีชนิดอื่น เช่น กลีเซอรอล มอลโตเต็กซ์ตริน ซอร์บิทอลร่วมกับซูโครสในการเตรียมสารละลายออสโมซิส เพื่อการปรับปรุงคุณภาพในด้านรสหวานให้กับผลิตภัณฑ์ นีราศ (2546) ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพสับประรดแช่อบแห้งโดยใช้กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 10, 20 และ 30 ร่วมกับสารละลายซูโครส พบว่าค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของสับประรดจะมีค่าลดลงเมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าสีพบว่าการใช้กลีเซอรอลร่วมกับสารละลายซูโครสไม่ส่งผลต่อค่า L (ความสว่าง) และค่า a (ค่าสีแดง) แต่ส่งผลต่อค่า b (ค่าสีเหลือง) โดยการใช้กลีเซอรอลในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่า b มีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาถึงความชอบของผู้บริโภคพบว่า การใช้กลีเซอรอลในระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด และการใช้กลีเซอรอลในปริมาณสูงเกินไปทำให้เนื้อสับประรดมีลักษณะที่ชุ่มน้ำมากเกินไปจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ในการพัฒนากระบวนการผลิตผลไม้แช่อบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ปราศจากสารกลุ่มเมตาโบไลต์และไม่มีสารเคมีวัตถุกันเสีย โดยใช้สับประรด แอปเปิ้ล และมะละกอ แช่อบในสารละลายซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่าการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 สามารถลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของผลไม้แช่อบแห้งลงได้มากที่สุด แต่เมื่อทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อบแห้งที่มีความเข้มข้นของกลีเซอรอลร้อยละ 10 มากที่สุด (กานต์ฉิน และคณะ, 2548)

3.3.2 การเคลื่อนที่ของสารละลายออสโมซิส

เนื่องจากในระหว่างการออสโมซิสน้ำภายในเซลล์ผลไม้จะแพร่ออกจากเซลล์ ทำให้สารละลายบริเวณที่สัมผัสกับชั้นผลไม้มีความเข้มข้นลดลง ส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารมีค่าต่ำลง ดังนั้นการเคลื่อนที่ของสารละลายในกระบวนการออสโมซิส ซึ่งเป็นการกระจายสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำออกไป ส่งผลให้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าสามารถหมุนเวียนเข้ามาสัมผัสกับชั้นผลไม้ได้ ทำให้การถ่ายเทมวลสารในสารละลายออสโมซิสที่มีการเคลื่อนที่มีค่าสูงกว่าการออสโมซิสในสารละลายที่ไม่มีการเคลื่อนที่ (สุธีรา, 2540) การเคลื่อนที่ของสารละลายออสโมซิสทำได้ 2 วิธี คือการเคลื่อนที่แบบเป็นจังหวะและการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง โดยการเคลื่อนที่แบบจังหวะทำโดยการคนสารละลาย ส่วนการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องทำโดยการปล่อยให้สารละลายไหลผ่านชั้นผลไม้อย่างต่อเนื่อง

จากการศึกษาของ Panagiotou *et al.* (1998) ซึ่งทำการออสโมซิสแอปเปิ้ลรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร สูง 40 มิลลิเมตร และกิโลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร ในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยให้สารละลายเคลื่อนที่แบบจังหวะด้วยความเร็ว 0, 100 และ 170 รอบต่อนาทีเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที พบว่าการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของสารละลายที่ส่งผลให้ปริมาณการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงขึ้น โดยปริมาณการสูญเสียน้ำในแอปเปิ้ลมีค่าเท่ากับ 0.17, 0.22 และ 0.25 ในกิโลมีค่าเท่ากับ 0.12, 0.14 และ 0.17 กิโลกรัม น้ำที่สูญเสียต่อกิโลกรัมวัตถุดิบเริ่มต้น สำหรับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในแอปเปิ้ลมีค่าเท่ากับ 0.04, 0.06 และ 0.08 ในกิโลมีค่าเท่ากับ 0.03, 0.05 และ 0.07 กิโลกรัมของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่อกิโลกรัมวัตถุดิบเริ่มต้น ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tonon *et al.* (2007) ซึ่งแช่มะเขือเทศในสารละลายผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และซูโครสร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยให้สารละลายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0, 500 และ 1,000 รอบต่อนาที พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของสารละลายส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล โดยมีค่า overall mass transfer coefficients of water เท่ากับ 6.45×10^4 วินาที^{-0.5}, 8.01×10^4 วินาที^{-0.5} และ 8.52×10^4 วินาที^{-0.5} และมีค่า overall mass transfer coefficients of sucrose เท่ากับ 3.67×10^4 วินาที^{-0.5}, 4.24×10^4 วินาที^{-0.5} และ 4.54×10^4 วินาที^{-0.5} ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ จุฑามาศ (2542) ที่ได้ศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการเคลื่อนที่ของสารละลายแบบต่อเนื่องในการออสโมซิสสับปะรดในสารละลายซูโครสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 45 ถึง 55 โดยมีมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิห้องด้วยอัตราเร็ว 3.0, 6.0, 9.0 และ 12.0 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

พบว่าปริมาณการสูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่ทำการออสโมซิส สารละลายที่อยู่ภายนอกมีความเข้มข้นอยู่ในระดับสูงตลอดเวลาจึงทำให้การถ่ายเทมวลสารเกิดได้เต็มที่

3.3.3 ความเข้มข้นของสารละลายออสโมซิส

ความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อปริมาณการการถ่ายเทมวลสารในระหว่าง การออสโมซิส นอกจากนี้ยังมีส่งผลต่อค่าอัตราการแอคทีวิตี้ในผลิตภัณฑ์ โดยความเข้มข้นของ สารละลายออสโมซิสที่ใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ช่วงตั้งแต่ร้อยละ 30 ถึง 70 แตกต่างกันตามชนิดของ ผลไม้ โดยความเข้มข้นของสารละลายออสโมซิสที่สูงขึ้นทำให้อัตราการสูญเสียน้ำมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการออสโมซิสมีค่าลดลง ดังการทดลองของ Shi *et al.* (2009) ซึ่งทำการ ออสโมซิสบลูเบอร์รี่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 40, 60 และ 77 โดยน้ำหนัก ด้วย อัตราส่วนของบลูเบอร์รี่ต่อสารละลายซูโครส 1:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที พบว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.36, 0.47 และ 0.86 กรัมของแข็งต่อกรัมตัวอย่างตามลำดับ นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลายยังส่งผลให้ปริมาณการสูญเสียน้ำมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ การทดลองของ Patricia and Fernanda (2004) ที่ทำการออสโมซิสมะเขือเทศในสารละลายโซเดียม คลอไรด์ความเข้มข้น ร้อยละ 10 และ 25 โดยมวลต่อปริมาตร อัตราส่วนของมะเขือเทศต่อ สารละลายเป็น 1:10 ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำ ที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาการออสโมซิสของ แอปเปิ้ลในสารละลายแคร็กโตสและซูโครสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 45, 55 และ 65 โดยมวลต่อ ปริมาตร พบว่าประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำและสารละลายจะสูงขึ้นเมื่อใช้สารละลายที่มีความ เข้มข้นสูงขึ้น (Khin *et al.*, 2007) แต่ในการออสโมซิสผลไม้ไม่ควรใช้สารละลายที่มีความเข้มข้น มากกว่าร้อยละ 70 โดยมวลต่อปริมาตร เนื่องจากสารละลายจะมีความหนืดสูงเกินไปทำให้การ ถ่ายเทมวลสารลดลง

3.3.4 อุณหภูมิของสารละลายออสโมซิส

อุณหภูมิของสารละลายมีผลต่อการออสโมซิส โดยเมื่ออุณหภูมิของสารละลาย สูงขึ้นจะสามารถลดเวลาในการออสโมซิสจนถึงจุดสมดุล โดยอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการ เพิ่มขึ้นของของแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้โครงสร้างของ ผลไม้บางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป ทำให้เซลล์เมมเบรนอ่อนตัวลง คุณสมบัติการเป็น

เชื้อเลือกผ่านจึงเสียไป ทำให้มีอัตราการถ่ายเทมวลเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ Kolawole *et al.* (2007) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการออสโมซิส โดยการออสโมซิสแต่งโมขนาด 50 x 20 x 10 มิลลิเมตร ในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวลต่อปริมาตร ที่ระดับอุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุดเมื่อใช้อุณหภูมิในการออสโมซิสที่ 40 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับการศึกษาการออสโมซิสแอปเปิลในสารละลายเติร์กโตสและซูโครสที่อุณหภูมิ 25, 40 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำและประสิทธิภาพการแพร่ของตัวถูกละลายมีค่าสูงสุดเมื่อทำการออสโมซิสที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (Khin *et al.*, 2007)

3.3.5 รูปร่างและขนาดของผลไม้

รูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่อการถ่ายเทมวลของสาร เนื่องจากรูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงจะทำให้ น้ำในชิ้นผลไม้แพร่ออกมาสู่สารละลายน้ำตาลภายนอกได้เร็ว แต่ถ้าอัตราส่วนของพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรมีค่าน้อยจะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำเกิดได้น้อย Kolawole *et al.* (2007) ทำการศึกษาขนาดของผลไม้ในการออสโมซิสแต่งโม ด้วยความหนา 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 มิลลิเมตร พบว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุดเมื่อใช้แต่งโมหนา 10 มิลลิเมตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Sablani *et al.* (2003) ซึ่งทำการออสโมซิสมะม่วงรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 2 x 2 x 2 เซนติเมตร และแบบแผ่นขนาด 3.5 x 1.8 x 1.0 เซนติเมตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล พบว่ามะม่วงรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงแผ่นบาง ให้ค่า water equilibrium coefficients เท่ากับ 1.23 และ 1.14 ตามลำดับ

3.3.6 อัตราส่วนระหว่างสารละลายและผลไม้

การใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายและผลไม้เพิ่มขึ้น มีผลให้อัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งให้มียิ่งมากขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนระหว่างสารละลายและผลไม้เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่เคลื่อนที่ออกจากชิ้นผลไม้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายภายนอกเพียงเล็กน้อย ทำให้ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์ผลไม้และสารละลายภายนอกมีค่าสูงอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้อัตราการออสโมซิสเมื่อใช้ละลายปริมาณมากเกิดได้เร็วกว่าการใช้สารละลายปริมาณน้อย จูฑามาต (2542) ได้ทำการศึกษาการออสโมซิสสับปะรด

ด้วยวิธีออสโมซิสระบบต่อเนื่อง โดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 45, 50 และ 60 ในอัตราส่วนเนื้อสับประดต่อสารละลายเท่ากับ 1:3, 1:4 และ 1:5 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและอัตราส่วนระหว่างสับประดกับสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาของ Khoyi and Hesari (2008) ซึ่งทำการออสโมซิสแอปริคอตในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวลต่อปริมาตร โดยใช้อัตราส่วนแอปริคอตต่อสารละลายเท่ากับ 1:5, 1:10 และ 1:15 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อผลไม้จาก 1:5 เป็น 1:10 ส่งผลให้ปริมาณการสูญเสียน้ำมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่การใช้สารละลายในอัตราส่วน 1:15 ให้ปริมาณการสูญเสียน้ำมากกว่าการใช้สารละลายในอัตราส่วน 1:10 เพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.8377, 3.1098 และ 2.3054 เมื่อใช้สารละลายอัตราส่วน 1:5, 1:10 และ 1:15 ตามลำดับ ถึงแม้ว่าการใช้อัตราส่วนของสารละลายในปริมาณสูงจะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำมีค่ามากขึ้นแต่การใช้สารละลายในปริมาณสูงจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการกำจัดสารละลายน้ำตาลหลังการออสโมซิส นอกจากนี้ยังส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตมีค่าสูงขึ้น

3.3.7 การเตรียมวัตถุดิบก่อนการออสโมซิส

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการออสโมซิสโดยการลวก การนึ่งหรือการแช่ในสารเคมีทำให้โครงสร้างเนื้อเยื่อของผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการสูญเสียน้ำเกิดได้เร็วขึ้น (สุริรา, 2540. อ้างถึง Levi *et al.*, 1983) Shi *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษาการเตรียมมะเขือเทศก่อนการออสโมซิสโดยนำมะเขือเทศแช่ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 เปรียบเทียบกับการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 20 นาที พบว่าการแช่มะเขือเทศในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำมีค่ามากกว่าและปริมาณการสูญเสียน้ำจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ร่วมกับเอทิวโอลอีกความเข้มข้นร้อยละ 8

Moreno *et al.* (2000) ทำการศึกษาผลของการเตรียมสตรอเบอรี่ด้วยการลวก 2 วิธีคือ การลวกด้วยไอน้ำนาน 30 วินาที และการลวกด้วยไมโครเวฟโดยใช้ผลไม้ 400 กรัม อบด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ นาน 2.5 นาที แล้วลดอุณหภูมิในน้ำที่มีอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวลต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง พบว่าการลวกด้วยไอน้ำส่งผลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่าง

การออสโมซิส โดยสโตรเบอร์ที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำมีค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากกว่าสโตรเบอร์ที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อพบว่าสโตรเบอร์ที่ผ่านการเตรียมด้วยไมโครเวฟมีความแน่นเนื้อมากกว่าสโตรเบอร์ที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ

Escobar *et al.* (2007) ทำการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการลวก โดยทำการลวกแครอทด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20 และ 30 วินาที จากนั้นนำไปออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าเวลาที่ใช้ในการลวกมีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งที่เพิ่ม โดยการลวกเป็นเวลา 30 วินาที ส่งผลให้แครอทมีปริมาณความชื้นต่ำสุดและมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดทั้งนี้เนื่องจากการลวกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังเซลล์

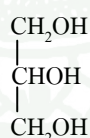
4. การใช้สารดูดความชื้นในการปรับปรุงคุณภาพผลไม้อบแห้ง

การนำสารดูดความชื้นมาใช้ในการพัฒนาการผลิตอาหารมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้ (Available water) ให้มีปริมาณเหมาะสมและเป็นที่ยอมรับ สารดูดความชื้นที่สำคัญในการนำมาใช้เพื่อผลิตอาหารแห้งก็คือ เกลือหรือน้ำตาล แต่เนื่องจากเกลือและน้ำตาลมีขีดจำกัดในการใช้ คือหากใช้ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเค็มหรือความหวานมากเกินไปจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ จึงได้มีการพัฒนาหาสารดูดความชื้นที่มีความเหมาะสมมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เช่น การใช้กลีเซอรอล (Glycerol), โพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol), ซอร์บิทอล (Sorbitol) และไดออล (Diol) ต่างๆ ร่วมกับเกลือและน้ำตาล เนื่องจากการใช้สารดังกล่าวสามารถลดปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้ดีกว่าการใช้เกลือหรือน้ำตาลอย่างเดียว และสามารถแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีบางอย่าง เช่น non-enzymatic browning reaction (ไพโรจน์, 2539) อย่างไรก็ตามการเลือกใช้สารดูดความชื้นในอาหารควรคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ได้แก่ กลิ่นรสและรสชาติของสารดูดความชื้น ความเป็นพิษ ระดับความเข้มข้นที่มีการอนุญาตให้ใช้ในอาหาร สำหรับซอร์บิทอล นิยมใช้ในอาหารหลายประเภท เช่น ขนมอบ ไอศกรีม ลูกอม และหมากฝรั่ง แต่การใช้ซอร์บิทอลในปริมาณมากทำให้ร่างกายไม่สามารถเมตาบอลิซึมได้หมด โดยปริมาณซอร์บิทอลที่เหมาะสมในการบริโภคคือ 30 ถึง 60 กรัมต่อวัน (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2550) สำหรับโพรพิลีนไกลคอล ประเทศไทยไม่อนุญาตให้ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2549) ส่วนกลีเซอรอลจัดเป็นสารดูดความชื้นที่นิยมใช้ในอาหาร เนื่องจากเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ละลายได้ดีในน้ำ มีความสามารถในการลดค่าออกซิเดชันได้ดีกว่าซอร์บิทอล และป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล (ปิยะนุช, 2545)

นิราศ (2546) ทำการปรับปรุงคุณภาพสับปะรดเชื่อมอบแห้งโดยใช้สารละลายกลีเซอรอลร่วมกับสารละลายซูโครส พบว่าค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของสับปะรดจะมีค่าลดลงเมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น และการใช้กลีเซอรอลในระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด กานต์นลิน และคณะ (2548) ทำการพัฒนาระบวนการผลิตผลไม้เชื่อมอบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ปราศจากสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์และไม่มีสารเติมวัตถุกันเสีย พบว่าการใช้สารละลายกลีเซอรอลร่วมกับสารละลายซูโครสสามารถลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของผลไม้เชื่อมอบแห้งลงได้มากกว่าการใช้สารละลายซูโครสเพียงชนิดเดียว

5. กลีเซอรอล

กลีเซอรอล ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1779 โดย K.W. Scheele นักเคมีชาวสวีเดน ซึ่งมีความหวานตามธรรมชาติแต่มีคุณสมบัติต่างจากน้ำตาลและน้ำผึ้ง สามารถสกัดได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ในรูปของเอสเทอร์ มีชื่อว่าทางเคมีว่า 1,2,3 propanetriol หรือ 1,2,3-trihydroxy propane มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 3 กลีเซอรอลเป็นสารประกอบที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสที่มีความข้นหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีจุดเดือดที่ 290 องศาเซลเซียส มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.261 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 92.09 กรัมต่อโมล (วิภา, 2546) กลีเซอรอลจัดเป็นสารประกอบประเภท Trihydric alcohol เนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้สามารถละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์แต่ไม่สามารถละลายได้ในสารไฮโดรคาร์บอน



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล

ที่มา: วิภา (2546)

เนื่องจากกลีเซอรอลจัดเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำกลีเซอรอลมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาอย่างแพร่หลาย ซึ่งกลีเซอรอลมีคุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ดังนี้ (วิภา, 2546)

5.1 คุณสมบัติที่สำคัญของกลีเซอรอล

5.1.1 มีความคงตัวสูง ไม่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรสเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน

5.1.2 มีรสชาติหวาน โดยมีความหวานประมาณ 0.6 ถึง 0.7 เท่าของซูโครส

5.1.3 สามารถนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวหรือความข้นหนืด (Thickening agent) และเพิ่มเนื้อสัมผัสสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจล

5.1.4 ไม่มีกลิ่นรุนแรง สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานได้โดยไม่ส่งผลต่อกลิ่นรส

5.1.5 มีความสามารถในการดูดความชื้น (Humectants) ส่งผลต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์ และมีคุณสมบัติเป็น plasticizer ช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงความนุ่ม มีความหยุ่นตัว

5.1.6 เป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ไม่มีพิษต่อระบบการย่อยอาหาร ผิวหนัง และเนื้อเยื่อ

5.2 การใช้ประโยชน์ของกลีเซอรอล

5.2.1 ผลิตภัณฑ์อาหาร

กลีเซอรอลถูกนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ใช้กลีเซอรอลเป็นตัวทำละลายและตัวดูดความชื้น โดยการเติมกลีเซอรอลในเค้ก คุกกี้และผลิตภัณฑ์ขนมอบจะช่วยคงความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและชุ่มชื้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งและลูกอม กลีเซอรอลจะทำหน้าที่ควบคุมการตกผลึกและช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลีเซอรอลจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์และลดจุดเยือกแข็ง นอกจากนี้กลีเซอรอลยังทำหน้าที่ป้องกันการแยกชั้นของไขมันผลิตภัณฑ์เนยถั่วและมาร์การีน

5.2.2 ผลิตกัณฑ์ดูแลรักษาช่องปาก

กลีเซอรอลถูกนำมาเป็นส่วนผสมในยาสีฟันและน้ำยาบ้วนปาก เนื่องจากกลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการรักษาความชื้นได้ดี มีการระเหยต่ำ ทำให้ยาสีฟันไม่แข็งตัวและเป็นตัวกลางสำหรับส่วนผสมอื่นๆ

5.2.3 ผลิตกัณฑ์ยา

กลีเซอรอลถูกนำมาเติมในยาผงเพื่อรักษาความชื้นและเติมลงในยาที่เป็นน้ำเชื่อมเพื่อเพิ่มเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวทำละลายสารที่เป็นส่วนผสมสำหรับยาเม็ดประเภทแคปซูล

5.2.4 ผลิตกัณฑ์เครื่องสำอาง

กลีเซอรอลนำมาใช้เป็นองค์ประกอบในเครื่องสำอาง เช่น ครีมบำรุงผิว ครีมโกนหนวด ยาระงับกลิ่นกาย เนื่องจากช่วยรักษาความชุ่มชื้นและช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีการเติมกลีเซอรอลเพื่อใช้ทดแทนจีฟี่งในลิปสติก

6. การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน

การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน หมายถึงการอบแห้งโดยการใช้อากาศร้อนหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าของอาหาร โดยการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวหน้าของอาหาร ส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในเนื้ออาหารเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวหน้าและระเหยออกด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ซึ่งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบจะขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด รูปร่างและปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร (วิไล, 2547) สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสมาแล้วจะอยู่ในช่วง 55 ถึง 70 องศาเซลเซียส (สุธีรา, 2540)

ความยากง่ายในการลดปริมาณน้ำในอาหารขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำที่อยู่ในอาหาร โดยน้ำในอาหารแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) น้ำที่มีโมเลกุลยึดกับไอออนิกกรุป คือ กลุ่มคาร์บอกซิลและอะมิโน ด้วยพันธะไอออนิก 2) น้ำที่มีโมเลกุลยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิลและอะไมด์ (Amide) ด้วยพันธะไฮโดรเจน และ 3) น้ำอิสระที่พบในช่องว่างอินเตอร์ทิเชียล (Interstitial pores) ซึ่งน้ำอิสระ

เป็นน้ำประเภทแรกที่ถูกกำจัดออก ตามด้วยน้ำที่ยึดด้วยพันธะไฮโดรเจนและน้ำที่ยึดด้วยพันธะไอออนิกตามลำดับ ดังนั้นพลังงานที่ต้องการในการกำจัดน้ำแต่ละประเภทจึงแตกต่างกันเมื่อพิจารณาถึงการไหลออกของน้ำพบว่าลักษณะการไหลมี 2 แบบ คือ การไหลออกแบบท่อเล็กๆ (Capillary flow mechanism) และการไหลออกแบบกระจายตัวซึมผ่าน (Diffusion mechanism) (สมบัติ, 2535)

6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน

6.1.1 ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างของอาหารมีผลต่อพื้นที่ผิว โดยอาหารที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีการถ่ายเทความร้อนและมวลได้รวดเร็วเนื่องจากอาหารที่มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับความร้อนมากขึ้น ทำให้มีพื้นที่ที่จะสูญเสียความชื้นมากขึ้น นอกจากนี้การที่อาหารมีพื้นที่ผิวมากยังเป็นการลดระยะทางที่ความร้อนจะซึมผ่านเข้าสู่บริเวณจุดกึ่งกลางของอาหารและเป็นการลดระยะทางที่ความชื้นบริเวณกึ่งกลางของอาหารเคลื่อนที่ออกไปยังผิวของอาหารเพื่อจะสัมผัสกับความร้อนแล้วระเหยออกไป (สุคนธ์ชื่น และคณะ, 2546)

6.1.2 ปริมาณอาหาร

ปริมาณอาหารที่ใส่ในการอบแห้งและการจัดเรียงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการอบแห้ง โดยการใส่อาหารปริมาณมากเกินไปจะทำให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพต่ำลงเนื่องจากบรรยากาศจะอึดตัวไปด้วยไอน้ำส่งผลอัตราการอบแห้งเกิดได้ช้าลง (สมบัติ, 2535)

6.1.3 อุณหภูมิ

ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารกับสื่อความร้อน (Heat medium) แปรผันตรงกับอัตราการส่งถ่ายความร้อนเข้าไปภายในอาหาร โดยถ้าผลต่างของอุณหภูมิมีค่าสูงจะทำให้อัตราการส่งถ่ายความร้อนเข้าไปภายในชิ้นอาหารเกิดได้เร็วขึ้นและช่วยให้เกิดแรงขับ (Driving force) ในการเคลื่อนที่ออกของน้ำ (รพีพร, 2551)

6.1.4 ความเร็วลม

อากาศร้อนที่มีการเคลื่อนที่จะสามารถดึงความชื้นออกจากอาหารได้มากกว่าอากาศร้อนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ เนื่องจากอากาศที่มีการเคลื่อนที่จะสามารถป้องกันไม่ให้เกิดบรรยากาศที่อึดตัวไปด้วยไอน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ใช้อุณหภูมิสูงอย่างเดียวทำให้อาหารแห้ง (สุคนธ์ชื่น และคณะ, 2546)

6.1.5 ความชื้นของอากาศ

ถ้าอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเป็นอากาศที่มีความชื้นต่ำอากาศนั้นก็จะอยู่ในสภาพแห้ง โดยความชื้นของอากาศแปรผกผันกับอัตราการอบแห้ง ความชื้นของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งสามารถบอกปริมาณความชื้นต่ำสุดของอาหารได้ โดยอาหารแต่ละชนิดจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุล (Equilibrium relative humidity) แตกต่างกัน ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุลหมายถึงปริมาณความชื้นของอาหารที่มีอยู่ ณ อุณหภูมิที่กำหนดโดยอาหารนั้นจะ ไม่มีการสูญเสียความชื้นหรือดูดความชื้นจากบรรยากาศ ดังนั้นถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุลในอาหารมีค่าต่ำกว่าความชื้นของอากาศจะไม่สามารถทำให้อาหารแห้งได้ แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุลในอาหารมีค่าสูงกว่าความชื้นของอากาศจะสามารถทำให้อาหารอยู่ในสภาพแห้งได้ (สมบัติ, 2535)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งส่งผลต่อระยะเวลาในการอบ Orikasa *et al.* (2007) ทำการอบผลกีวี่ที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลม 1.1 เมตรต่อวินาที จนความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนักแห้ง) พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบสูงขึ้นส่งผลให้เวลาในการอบแห้งลดลง โดยการอบที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเท่ากับ 9, 8, 4.5 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ สอดคล้องกับการวิจัยของ Ihsan *et al.* (2007) ที่ทำการอบแห้งแอปพริคอตด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที จนความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วงร้อยละ 23 ถึง 25 (โดยน้ำหนักเปียก) พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาในการอบนาน 33.75, 23.25, 17.75 และ 13.25 ชั่วโมง สำหรับแอปพริคอตที่ผ่านการรมกำมะถัน และ 55.0, 28.25, 20.0 และ 13.75 ชั่วโมง สำหรับแอปพริคอตที่ไม่ผ่านการรมกำมะถัน เมื่อพิจารณาในด้านสี พบว่าค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มสูงขึ้น ดวงกมล และคณะ (2548) ได้ทำการอบเห็ดหอมขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1.0$ เซนติเมตร

ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.8 เมตรต่อวินาที โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ทุกๆ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งถึง 51 องศาเซลเซียสจึงเพิ่มเป็น 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 35 และ 45 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบแห้งนาน 10 ชั่วโมงและ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้ง พบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง จากนั้นจึงมีค่าลดลงในช่วงท้ายของการอบแห้ง ธนัท (2546) ได้ทำการอบกล้วยน้ำว้าด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่ระดับอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส จนความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วงร้อยละ 17 ถึง 20 (โดยน้ำหนักเปียก) พบว่าที่การอบกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นได้เร็วกว่ากล้วยที่อบด้วยอุณหภูมิ 55 และ 60 องศาเซลเซียส โดยในการอบช่วงแรก (18 ชั่วโมง) อัตราการอบแห้งจะเกิดขึ้นรวดเร็วเนื่องจากความชื้นที่ผิวหน้าระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายเพราะสัมผัสกับความชื้นโดยตรง หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลงเนื่องจากความชื้นที่ผิวหน้าเหลืออยู่ในปริมาณน้อยแต่น้ำที่อยู่ภายในกล้วยจะเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวแต่เป็นการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ สอดคล้องกับการศึกษาของ กอบพัชรกุล (2550) ซึ่งทำการอบแห้งลำไยแผ่นด้วยเตาอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงเป็น 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 ชั่วโมง พบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าสูงในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงทำให้บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีค่าค่าออเตอร์แอคทิวิตีเพียงพอต่อการระเหยจึงเร่งให้อัตราการอบแห้งเกิดได้เร็วขึ้น หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์เกิดการเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้าไม่เพียงพอต่ออัตราการระเหยส่งผลให้อัตราการอบแห้งที่ค่าลดลง

เมื่อพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ จุฑามาศ (2542) ได้ทำการอบแห้งสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ถึง 16 ชั่วโมง พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีอิทธิพลต่อค่าออเตอร์แอคทิวิตีและปริมาณความชื้นของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง แต่ในด้านเนื้อสัมผัสพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีอิทธิพลต่อค่าแรงทะลุผ่านขึ้นสับปะรดที่ได้ โดยแรงทะลุผ่านจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏพบว่าสับปะรดอบแห้งจะมีลักษณะเหี่ยวยุบมากขึ้นเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ ธนัท (2546) ได้ทำการอบแห้งกล้วยน้ำว้า ที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส พบว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ทำให้กล้วยอบเกิดสีน้ำตาลและมีลักษณะปรากฏที่เหี่ยวยุบมากที่สุด สำหรับปริมาณวิตามินที่พบหลังการอบแห้ง

Ihsan *et al.* (2007) พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ในการอบแห้งแอปพริคอตส่งผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เหลือหลังการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แอปพริคอตอบแห้งมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 6.12 และ 6.48 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีปริมาณมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 1.05 และ 3.90 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำใช้เวลาในการอบนานกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เหลืออยู่หลังการอบแห้งมีปริมาณลดลง

7. การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในระบบสุญญากาศ

คลื่นไมโครเวฟเป็นรังสีของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง โดยมีความถี่ของช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง 300 เมกกะเฮิร์ต ถึง 300 กิกะเฮิร์ต มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร ซึ่งความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่นิยมนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และทางการแพทย์คือความถี่ในช่วง 915 ± 25 เมกกะเฮิร์ต และ 2450 ± 50 เมกกะเฮิร์ต (Pappas *et al.*, 1999)

การใช้คลื่นไมโครเวฟในการแปรรูปอาหารเป็นวิธีการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยอาศัยสมบัติการมีไดโพล 2 ขั้วคู่ของโมเลกุลของน้ำในอาหารทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดการชนกันของโมเลกุลจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์จะเกิดการกลายสภาพไปเป็นพลังงานความร้อนทำให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยได้รวดเร็วกว่าการแปรรูปอาหารด้วยวิธีอื่นๆ (วิไล, 2547)

7.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

เนื่องจากไมโครเวฟจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถแสดงคุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ 3 คุณสมบัติ (วิไล, 2547) ดังนี้

7.1.1 การสะท้อนกลับ

คลื่นไมโครเวฟจะเกิดการสะท้อนกลับเมื่อคลื่นไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือภาชนะที่มีส่วนผสมของโลหะ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้ ดังนั้นภาชนะที่เป็นโลหะจึงไม่เหมาะสมในการใช้งานร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ

7.1.2 การส่งผ่าน

คลื่นไมโครเวฟสามารถส่งผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระจก และพลาสติกได้ เนื่องจากภาชนะดังกล่าวยังไม่ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟไว้ ดังนั้นจึงเป็นภาชนะที่เหมาะสมในการใช้งานร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ

7.1.3 การดูดซับ

อาหารสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้เนื่องจากคุณสมบัติในการเป็นไดอิเล็กทริกของอาหาร ดังนั้นเมื่ออาหารดูดซับคลื่นไมโครเวฟโมเลกุลของน้ำจะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรวดเร็วทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทาน

7.2 การใช้ไมโครเวฟสุญญากาศในอาหาร

ในผลิตภัณฑ์อาหารและของเหลวประกอบไปด้วยโมเลกุลต่างๆ ที่มีอนุภาคทั้งที่เป็นบวกและลบจึงกระทำตัวคล้ายแม่เหล็กเล็กๆ ในขณะที่เครื่องจักรที่เป็นบวกของคลื่นไมโครเวฟแทรกซึมเข้าสู่อาหาร อนุภาคที่เป็นลบของโมเลกุลจะถูกดึงดูดและจัดเรียงตัวให้สอดคล้องกับสนามพลังงานที่เป็นบวกและเมื่อพลังงานไมโครเวฟเปลี่ยนเป็นครั้งที่กลายเป็นลบ อนุภาคที่เป็นลบจะถูกผลักออกไปและอนุภาคที่เป็นบวกจะถูกดึงดูดเข้ามาทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุนกลไกเหล่านี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคต่างๆ ภายในแต่ละโมเลกุล เมื่อให้คลื่นไมโครเวฟแก่อาหารไดโพลของน้ำในอาหารจะพยายามจัดเรียงตัวตามการเปลี่ยนแปลงทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละครั้งที่อนุภาคที่มีประจุถูกดึงดูดหรือผลักออกโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผลให้เกิดความร้อนในอาหาร การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกนี้จะเกิดขึ้นภายในวัตถุโดยตรงในขณะที่คลื่นไมโครเวฟเคลื่อนที่ผ่านอาหารทำให้อุณหภูมิภายในอาหารเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการให้ความร้อนวิธีการแปรรูปทั่วไป (ไพศาลและรุ่งนภา, 2549) แต่การใช้พลังงานความร้อนจากไมโครเวฟในการอบแห้งจะเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงมีการนำเทคนิคการแปรรูปในระบบสุญญากาศมาใช้ในการลดระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางอาหารสูง มีสีสวยงาม ไม่ไหม้หรือสีเข้ม มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ คงรสชาติหอมหวานตามธรรมชาติไว้ได้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณลักษณะและคุณภาพเหมือนของสด (สุวิษ, 2544)

7.3 ผลของการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศต่อการเปลี่ยนแปลงของอาหาร

การนำเทคโนโลยีไมโครเวฟสุญญากาศมาใช้ในการอบแห้งส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ลักษณะปรากฏ สี และคุณค่าทางโภชนาการ

7.3.1 ผลของการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

Giri *et al.* (2007) ได้ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าเมื่อการใช้ตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที จะใช้เวลาในการอบ 270 และ 180 นาที ตามลำดับ และเมื่อทำการอบด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 115 และ 285 วัตต์ ที่ระดับความดัน 15 กิโลปาสกาล จะใช้เวลาในการอบเพียง 45 และ 20 นาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศสามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ประมาณร้อยละ 90 และ 75 สำหรับการใช้ระดับกำลังไมโครเวฟ 285 และ 115 วัตต์ ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของระดับกำลังไมโครเวฟที่ 115, 200 และ 285 วัตต์ ที่ระดับความดัน 15 กิโลปาสกาล พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลงและอัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นเมื่อกำลังไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูงขึ้น สอดคล้องกับการวิจัยของ Durance and Wang (2002) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมะเขือเทศด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 16 กิโลวัตต์ ที่ระดับความดัน 6.65 กิโลปาสกาล ใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 0.8 ชั่วโมง ในขณะที่การใช้อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 14.75 ชั่วโมง

7.3.2 ผลของการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์

Liu *et al.* (2009) ทำการศึกษาลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวที่ทำจากมันฝรั่ง ข้าวเหนียวและแป้งข้าวโพด ซึ่งทำการอบจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 ด้วยการอบแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 2.68 กิโลวัตต์ ที่ระดับความดัน 82 กิโลปาสกาล พบว่าขนมขบเคี้ยวที่อบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศเกิดการพองตัวโดยมีโพรงอากาศอยู่ภายใน ส่วนผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยลมร้อนจะมีลักษณะปรากฏเป็นแผ่นเรียบ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศสามารถปรับปรุงคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ โดยความแข็งจะมีค่าลดลงในขณะที่ความกรอบจะมีค่า

เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรอบด้วยลมร้อน สอดคล้องกับการทดลองของ Tajner-Czopek *et al.* (2008) ที่ทำการศึกษาคุณภาพของมันฝรั่งทอดที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างโดยการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 480 วัตต์ ที่ระดับความดัน 4 ถึง 6 กิโลปาสกาล พบว่าการเตรียมตัวอย่างโดยการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวและเกิดรูพรุนภายใน เมื่อพิจารณาโครงสร้างด้วยถ่ายภาพอิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศทำให้โครงสร้างของเซลล์มีการหดตัวน้อยกว่า และมีความสม่ำเสมอมากกว่าการอบด้วยลมร้อน สำหรับผลิตภัณฑ์เห็ดแชมปิญองอบแห้ง Giri *et al.* (2006) ได้ทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 150 และ 250 วัตต์ ที่ระดับความดัน 10 กิโลปาสกาล และการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเห็ดมีความชื้นร้อยละ 5 พบว่าปริมาตรของเห็ดที่อบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีค่าสูงกว่าปริมาตรของเห็ดที่อบด้วยลมร้อน แสดงให้เห็นว่าการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้การหดตัวมีค่าน้อยกว่าการอบด้วยลมร้อน

7.3.3 ผลของการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์

Yousif *et al.* (2000) ทำการเปรียบเทียบการอบแห้งใบออริกานอด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11.5 ชั่วโมง กับการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ 3 ขั้นตอน ด้วยกำลังไมโครเวฟ 3.2 กิโลวัตต์ 12 นาที ต่อด้วยกำลังไมโครเวฟ 1 กิโลวัตต์ 6 นาที และกำลังไมโครเวฟ 0.5 กิโลวัตต์ 5 นาที ที่ระดับความดัน 91.39 กิโลปาสกาล พบว่าใบออริกานอที่อบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศให้ค่าความสว่างและค่าสีเขียวมากกว่าใบออริกานอที่การอบด้วยลมร้อน สำหรับการอบกระเทียมแผ่น Figiel (2009) ได้ทำการอบกระเทียมแผ่นซึ่งมีความหนา 4 มิลลิเมตรด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ ที่กำลังไมโครเวฟ 240, 480 และ 720 วัตต์ ที่ระดับสุญญากาศ 6 กิโลปาสกาล พบว่าการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าสูงกว่าการอบด้วยลมร้อนและมีค่ามากกว่าค่าความสว่างของกระเทียมสด นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อค่าสีเหลือง นอกจากนี้ วรพจน์ และคณะ (2547) ได้ทำการผลิตน้ำหญาปักกิ่งพร้อมดื่มเข้มข้นด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ โดยใช้ระดับความดันคงที่ 21 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 12 นาที ในการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ให้มีความเข้มข้นขึ้นเป็นสองเท่า จากนั้นนำน้ำหญาปักกิ่งเข้มข้นที่ได้ไปทำการเจือจางแล้วนำมาทดสอบการยอมรับเปรียบเทียบกับน้ำหญาปักกิ่งสดก่อนการอบแห้ง พบว่าน้ำหญาปักกิ่งที่ได้จากการเจือจางมีกลิ่น สีและรสชาติไม่แตกต่างจากน้ำหญาปักกิ่งสด ดังนั้น

การใช้เทคโนโลยีการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟในระบบสุญญากาศสามารถรักษาคูณลักษณะต่างของผลิตภัณฑ์ให้มีความใกล้เคียงกับของสดได้

7.3.4 ผลของการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศต่อคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

Hu *et al.* (2006) ทำการอบแห้งถั่วแระญี่ปุ่นด้วยวิธีการอบ 3 วิธี ได้แก่ 1) การอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 540 นาที 2) การอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ กำลังไมโครเวฟ 2.8 กิโลวัตต์ ที่ระดับความดัน 95 กิโลปาสกาล นาน 25 นาที และ 3) การอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ร่วมกับการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับ กำลังไมโครเวฟ 9.33 วัตต์ต่อกรัม นาน 12 นาที พบว่าปริมาณวิตามินซีของถั่วแระญี่ปุ่นที่อบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ และอบด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 44.39 และ 42.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าการอบด้วยลมร้อนที่มีปริมาณเท่ากับ 22.55 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และเมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์ของถั่วแระญี่ปุ่นอบแห้ง พบว่าการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ และการอบด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เหลือมีค่าสูงกว่าการอบด้วยลมร้อน สอดคล้องกับการศึกษาของ Erle and Schubert (2001) ซึ่งทำการอบแห้งสตอเบอรี่ที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 60 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ 2 สภาวะ คือที่กำลังไมโครเวฟ 390 วัตต์ เป็นเวลา 37 นาที ต่อด้วยกำลังไมโครเวฟ 195 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณวิตามินซีของสตอเบอรี่หลังการอบแห้ง พบว่ามีค่าสูงถึง ร้อยละ 60 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณวิตามินซีของสตอเบอรี่สด

7.3.5 ผลของการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

Zhang *et al.* (2007) ทำการอบแห้งเนื้อปลาแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 1 และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศด้วยกำลังไมโครเวฟ 686 วัตต์ ที่ระดับความดัน 60 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 20 วินาที เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์ในการทดสอบผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาจำนวน 9 คน พบว่าการอบแห้งด้วยวิธีดังกล่าว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและกลิ่นรส มีค่าสูงสุด

Lin *et al.* (1998) ทำการทดสอบความชอบของแครอทแผ่นที่อบแห้งด้วยวิธีการอบ 2 วิธี ได้แก่การอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง และการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ 3 ขั้นตอน ด้วยกำลังไมโครเวฟ 3 กิโลวัตต์ นาน 19 นาที ต่อด้วยกำลังไมโครเวฟ 1 กิโลวัตต์ นาน 4 นาที และกำลังไมโครเวฟ 0.5 กิโลวัตต์ นาน 10 นาที ที่ระดับความดัน 13.33 กิโลปาสกาล โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 12 คน พบว่าแครอทแผ่นที่อบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีคะแนนความชอบในด้าน สี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติโดยรวมสูงกว่าการอบด้วยลมร้อน เมื่อนำแครอทแผ่นไปทำการคั้นแล้วนำมาทดสอบความชอบ พบว่าการอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบในด้าน สี และลักษณะปรากฏสูงกว่าการอบด้วยลมร้อน

8. อายุการเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆ เกิดขึ้น ซึ่งลักษณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้อาจมีเพียงหนึ่งลักษณะหรือมากกว่าหนึ่งลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงจนเข้าสู่จุดที่ทำให้เกิดความไม่พึงปรารถนาทำให้ผู้บริโภคไม่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงจนไม่เหมาะต่อการบริโภค หรืออาจกล่าวได้ว่าอาหารนั้นหมดอายุนั่นเอง (Singh, 1994)

สิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณออกซิเจน และแสงจัดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอาหาร เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการทำงานของปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้นำไปสู่การเสื่อมเสียของอาหาร

การประเมินอายุการเก็บรักษาของอาหาร คือการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Singh, 1994) แต่เนื่องจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต้องใช้เวลาานาน จึงมีวิธีการศึกษาอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีการศึกษาอายุการเก็บรักษาแบบสภาวะเร่ง โดยอาศัยหลักการทางจลนพลศาสตร์ทางเคมีในการประมาณผลของปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และแสงที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย โดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่ถูกควบคุม และให้ปัจจัยภายนอกอย่างน้อยหนึ่งปัจจัยในระดับที่สูงกว่าปกติ ทำให้อัตราการเสื่อมเสียเกิดได้เร็วขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในช่วงเวลาที่สั้นลง

เมื่อทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยอาศัยหลักการทางจลนพลศาสตร์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงส่วนมากที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงทางจลนพลศาสตร์ในรูปสมการอันดับ 0 สมการอันดับ 1 หรือสมการอันดับ 2 ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเวลาในการเก็บรักษาดังสมการที่ 1 ถึง 3

$$\text{เมื่อ } n = 0; \quad C_A - C_{A0} = -kt \quad (1)$$

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

$$\text{เมื่อ } n = 2; \quad 1/C_A - 1/C_{A0} = -kt \quad (3)$$

C_A คือ ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่เวลาใดๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

C_{A0} คือ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

k คือ ค่าคงที่อัตรา (kinetic rate constant)

t คือ ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง (วัน)

และสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื่องจากอุณหภูมิโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 4 และ 5

$$k = k_0 \exp(-E_a/RT) \quad (4)$$

$$t = (C_0 - C_{\text{final}})/k_0 \exp(-E_a/RT) \quad (5)$$

k คือ ค่าคงที่อัตรา (หน่วยต่อวัน)

k_0 คือ ค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส (หน่วยต่อวัน)

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (kJ/mol)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol.K

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

C_0 คือ ปริมาณสารที่มี ณ จุดเริ่มต้น

C_{final} คือ ปริมาณสารสุดท้ายที่ทำให้ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ส้มสายน้ำผึ้ง (mandarin cv. (Sai-Namphaung))
- 1.2 กลิเซอรอล ผลิตโดยบริษัท สงฮวด จำกัด, ประเทศไทย
- 1.3 น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ ผลิตโดยบริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด, ประเทศไทย

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบและการผลิต

- 2.1 อุปกรณ์เครื่องครัว
- 2.2 เตาแก๊ส
- 2.3 หม้อกวนควบคุมอุณหภูมิ บริษัท มาร์ชกูล อินดัสทรี จำกัด, ประเทศไทย
- 2.4 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave Vacuum Dryer) บริษัท มาร์ชกูล อินดัสทรี จำกัด, ประเทศไทย
- 2.5 ตู้อบชนิดลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) บริษัท บีดับบลิว.เอส.เทรดดิ้ง รุ่น B.W.S., ประเทศไทย

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

- 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ
 - 3.1.1 เครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM – 3500d, ประเทศญี่ปุ่น
 - 3.1.2 เครื่องวัดค่า Water activity ยี่ห้อ AQUA Lab รุ่น CX3TE, ประเทศสหรัฐอเมริกา
 - 3.1.3 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd Instrument รุ่น TA500, ประเทศอังกฤษ
 - 3.1.4 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น PAL- α , ประเทศญี่ปุ่น

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.2.1 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon ตามวิธีการของ AOAC (2000)

3.2.2 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) ด้วยการไทเทรต ตามวิธีการของ AOAC (2000)

3.2.3 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH-meter) ยี่ห้อ EUTECH รุ่น Cyber Scan pH 510, ประเทศสิงคโปร์

3.2.4 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น DS 224S, ประเทศเยอรมนี

3.2.5 ตู้อบไฟฟ้าสุญญากาศ ยี่ห้อ BINDER รุ่น VD53, ประเทศเยอรมนี

3.2.6 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β -carotene) ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC รุ่น 1100) ตามวิธีการของ AOAC (1997)

3.2.7 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC รุ่น 1100) ตามวิธีการของ Department of Medical Sciences (2003)

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.3.1 เครื่องแก้วในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.3.2 เครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (Autoclave-steam sterilizer) ยี่ห้อ Tuttnauer รุ่น 3850M, ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.3 ตู้ฆ่าเชื้อลมร้อน ยี่ห้อ BINDER รุ่น FD-115, ประเทศเยอรมนี

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.4.1 อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.4.2 แบบสอบถาม

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

- 4.1 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Kottermann รุ่น 2771, ประเทศเยอรมนี
- 4.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Kottermann รุ่น 2736, ประเทศเยอรมนี
- 4.3 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 45 ± 2 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Memmert รุ่น INB-40, ประเทศเยอรมนี
- 4.4 ถูกลามิเนตชนิด OPP30/Adhesive/LLDPE65 จากบริษัท Huhtamaki (Thailand) จำกัด, ประเทศไทย

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล

โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 12.0

วิธีการ

1. การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง

ตรวจสอบคุณลักษณะทั่วไปของส้มสายน้ำผึ้งขนาดเบอร์ 0 ที่ซื้อมาจากตลาดยิ่งเจริญ โดยนำมาล้างทำความสะอาดและทำการศึกษาคูณภาพดังนี้

1.1 คุณภาพทางกายภาพ

1.1.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Mitutoyo ประเทศไทย

1.1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น PAL- α ดังแสดงในภาคผนวก ก

1.1.3 ค่าสีในระบบ CIE L*C*h ด้วยเครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM – 3500d ดังแสดงในภาคผนวก ก

1.2 คุณภาพทางเคมี

1.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข

1.2.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข

1.2.3 ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) ด้วยการไทเทรต ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข

1.2.4 ปริมาณความเป็นกรด-เบส (pH) ดังแสดงในภาคผนวก ข

1.2.5 ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β -carotene) ตามวิธีการของ AOAC (1997) ดังแสดงในภาคผนวก ข

1.2.6 ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ตามวิธีการของ Department of Medical Sciences (2003) ดังแสดงในภาคผนวก ข

2. การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารละลายซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

นำกลีบส้มที่ผ่านการลอกซังซึ่งมีขนาดกลีบยาว 3.98 ± 0.11 เซนติเมตร กว้าง 1.42 ± 0.10 เซนติเมตร มาศึกษาการกระบวนการออสโมซิส โดยนำกลีบส้มแช่ในสารละลายผสมระหว่างสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 60 และสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 60 ในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ตามลำดับ และเคลื่อนที่สารละลายด้วยความเร็ว 40 รอบต่อนาที โดยใช้อัตราส่วนกลีบส้มต่อสารละลายเป็น 1:5 (จุฬามาศ, 2542) ที่อุณหภูมิ 57 ± 3 องศาเซลเซียส (Khin *et al.*, 2007) ทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่อง Refractometer ทุกๆ 1 ชั่วโมง จนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อส้มมีค่าเท่ากับร้อยละ 45 และทำการศึกษาการถ่ายเทมวลสารในรูปของปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6 และ 7 ตามลำดับ (Kaymak-Ertekin and Sultanoglu, 2000)

$$\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสีย} = \frac{M_0 X_0^w - M_t X_t^w}{M_0} \times 100 \quad (\text{กรัม/100 กรัมตัวอย่าง}) \quad (6)$$

$$\text{ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น} = \frac{M_t X_t^{TS} - M_0 X_0^{TS}}{M_0} \times 100 \quad (\text{กรัม/100 กรัมตัวอย่าง}) \quad (7)$$

M_0 คือ น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น (กิโลกรัม)

M_t คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังการออสโมซิส (กิโลกรัม)

X_0^w คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

X_t^w คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างหลังการออสโมซิส (กิโกรัมน้ำ/กิโกรัมวัตถุดิบแห้ง)

X_0^s คือ ปริมาณของแข็งของตัวอย่างเริ่มต้น (กิโกรัมของแข็ง/กิโกรัมวัตถุดิบแห้ง)

X_t^s คือ ปริมาณของแข็งของตัวอย่างหลังการออสโมซิส (กิโกรัมของแข็ง/กิโกรัมวัตถุดิบแห้ง)

3. การศึกษากระบวนการอบแห้งสัสมายน้ำผึ้งแช่เย็น

ในการพัฒนากระบวนการผลิตสัสมายน้ำผึ้งแช่เย็นอบแห้งจะทำการผลิตสัสมายน้ำผึ้งแช่เย็นอบแห้งสองลักษณะ คือ สัสมายน้ำผึ้งแช่เย็นอบแห้งชนิดดั้งเดิมที่มีลักษณะเหมือนผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่เย็นอบแห้งทั่วไปที่มีในท้องตลาด ซึ่งได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดและสัสมายน้ำผึ้งแช่เย็นอบแห้งชนิดพองที่มีลักษณะเหมือนกลีบสัสมะ ซึ่งได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดร่วมกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

3.1 การศึกษากระบวนการอบแห้งสัสมายน้ำผึ้งแช่เย็นชนิดดั้งเดิม

3.1.1 การศึกษาอัตราการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด

นำสัสมายน้ำผึ้งแช่เย็นที่ทำการศึกษาจากข้อ 2 มาทำการอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (สุริรา, 2540) เป็นเวลา 360 นาที ทำการศึกษาอัตราการอบแห้ง โดยการวัดปริมาณความชื้นด้วยความถี่ 5 นาทีต่อครั้งในช่วง 0 ถึง 30 นาที ด้วยความถี่ 15 นาทีต่อครั้งในช่วง 30 ถึง 180 นาที และวัดด้วยความถี่ 30 นาทีต่อครั้งในช่วง 180 ถึง 360 นาที ทำการสุ่มตัวอย่างโดยแบ่งพื้นที่ถาดออกเป็น 9 ส่วน แล้วสุ่มตัวอย่าง 2 ชิ้นต่อพื้นที่ถาด 1 ส่วน

จากนั้นทำการคำนวณสัดส่วนของปริมาณความชื้น (Moisture ratio) ดังสมการที่ 8 (Kolawole *et al.*, 2007) แล้วแสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้ง

$$\text{สัดส่วนของปริมาณความชื้น (MR)} = (X_t - X_e) / (X_0 - X_e) \quad (8)$$

X_0 คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (กิโกรัมน้ำ/กิโกรัมวัตถุดิบแห้ง)

X_t คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลา t (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

X_e คือ ปริมาณความชื้นสมดุลของ (กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง)

ทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งโดยใช้แบบจำลอง Lewis's model และ Page's model ดังสมการที่ 9 และ 10 ตามลำดับ (Roberts *et al.*, 2008)

$$(X_t - X_e) / (X_0 - X_e) = \exp(-kt) \quad (9)$$

$$(X_t - X_e) / (X_0 - X_e) = \exp(-kt^n) \quad (10)$$

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

n คือ ค่า empirical constant (Page's model)

t คือ เวลาในการอบ (นาที)

จากนั้นทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error, RMSE) ดังสมการที่ 11 และ 12 ตามลำดับ

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}\right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}\right)}} \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \sum (X - Y)^2} \quad (12)$$

X คือ ค่าจริงที่ได้จากการทดลอง

Y คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง

N คือ จำนวนหน่วยการทดลอง

3.1.2 การศึกษาคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิม

นำส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งที่ผ่านการศึกษาจากข้อ 3.1.1 มาทำการศึกษาคูณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีดังนี้

ก. คุณภาพทางกายภาพ

- 1) ค่าสีในระบบ CIE L*a*b ด้วยเครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM – 3500d ดังแสดงในภาคผนวก ก
- 2) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ด้วยเครื่องวัดค่า Water activity ยี่ห้อ AQUA Lab รุ่น CX3TE ดังแสดงในภาคผนวก ก
- 3) ค่าความแข็ง ด้วยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd Instrument รุ่น TA500 ดังแสดงในภาคผนวก ก

ข. คุณภาพทางเคมี

- 1) ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข
- 2) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข
- 3) ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) ด้วยการไทเทรต ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข
- 4) ปริมาณความเป็นกรด-เบส (pH) ดังแสดงในภาคผนวก ข
- 5) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β -carotene) ตามวิธีการของ AOAC (1997) ดังแสดงในภาคผนวก ข
- 6) ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ตามวิธีการของ Department of Medical Sciences (2003) ดังแสดงในภาคผนวก ข

3.1.3 การคัดเลือกอัตราส่วนของสารละลายซูโครสและสารละลายกลีเซอรอล

ทำการคัดเลือกอัตราส่วนระหว่างสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 60 และสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 60 ที่ใช้ในการออสโมซิส โดยนำสัณสายน้ำฝิ่งแช่เย็น ที่ทำการศึกษาจากข้อ 2 มาทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 360 นาที จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ด้วยแบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ง

3.2 การศึกษากระบวนการอบแห้งสัณสายน้ำฝิ่งแช่เย็นชนิดพอง

3.2.1 การศึกษากระบวนการอบแห้งสัณสายน้ำฝิ่งแช่เย็นด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

นำสัณสายน้ำฝิ่งแช่เย็นที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.1.3 มาทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับความดัน 18.67 กิโลปาสกาล โดยทำการอบแห้ง 2 สภาวะ ได้แก่ การอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์ 7 นาที และ 1,280 วัตต์ 5 นาที ทำการศึกษาอัตราการอบแห้ง โดยการวัดปริมาณความชื้นทุก 1 นาที และคำนวณสัดส่วนของปริมาณความชื้น (MR) ดังสมการที่ 8 จากนั้นทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาในการอบแห้ง โดยใช้แบบจำลอง Lewis's model และ Page's model ดังสมการที่ 9 และ 10 และทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) ดังสมการที่ 11 และ 12 ตามลำดับ

3.2.2 การศึกษากระบวนการอบแห้งสัณสายน้ำฝิ่งแช่เย็น ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดร่วมกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

นำสัณสายน้ำฝิ่งแช่เย็นที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.1.3 มาทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที จากนั้นทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับความดัน 18.67 กิโลปาสกาล ใน 2 สภาวะ ได้แก่ การอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์ 2 นาที และ 1,280 วัตต์ 1 นาที

3.3 การเปรียบเทียบคุณภาพของส้อมสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง

นำส้อมสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการศึกษามาจากข้อ 3.2.1 และข้อ 3.2.2 มาศึกษาคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี ด้วยวิธีเดียวกับการศึกษาในข้อ 3.1.2 จากนั้นทำการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของส้อมสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง ด้วยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง โดยวิธี Duncan's Multiple Range ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.4 การคัดเลือกกระบวนการอบแห้งส้อมสายน้ำผึ้งแช่อิ่มชนิดพอง

เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดร่วมกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ส่งผลให้ส้อมสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งมีลักษณะปรากฏเหมือนกัน ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อทำการคัดเลือกกระบวนการอบแห้งที่มีต้นทุนการผลิตต่ำสุด

3.5 การคัดเลือกลักษณะส้อมสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง

ทำการคัดเลือกลักษณะส้อมสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง โดยนำส้อมสายน้ำผึ้งที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.1.3 และข้อ 3.4 มาทำการเปรียบเทียบความชอบ ด้วยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ทำการทดสอบภายในห้องทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยมีขนาดการเสนอตัวอย่างเท่ากับ 2 ชิ้นต่อตัวอย่าง ด้วยแบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ง ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยวิธี Paired Samples t Test

4. การศึกษาคุณภาพของส้อมสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งเพื่อให้เป็นไปตามประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มผช.138/2550)

นำส้อมสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกมาทำการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

4.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี

4.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น

4.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

4.3.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ BAM (2001) ดังแสดงในภาคผนวก ค

4.3.2 *Escherichia coli* โดยวิธี Most Probable Number (MPN) ตามวิธีของ BAM (2001) ดังแสดงในภาคผนวก ค

4.3.3 ยีสต์และรา ตามวิธีของ BAM (2001) ดังแสดงในภาคผนวก ค

โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้งกำหนดให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1.0×10^6 cfu/g สำหรับ *Escherichia coli* ต้องน้อยกว่า 3 MPN/g ยีสต์ต้องไม่เกิน 1.0×10^4 cfu/g และราต้องไม่เกิน 5.0×10^2 cfu/g

5. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์สายนํ้าฝิ่งเชื่อมอบแห้ง

นำสํ้านํ้าฝิ่งเชื่อมอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.5 มาทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธี Central Location Test (CLT) ด้วยการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale รวมทั้งสอบถามการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคดังแสดงในภาคผนวก จ กับผู้บริโภคทั่วไปที่เคยรับประทานผลไม้เชื่อมอบแห้ง จำนวน 150 คน บริเวณโรงอาหารกลาง 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสํ้านํ้าฝิ่งเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

นำสํ้านํ้าฝิ่งเชื่อมอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.5 มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยนำตัวอย่างบรรจุในถุงลามิเนตชนิด OPP30/Adhesive/LLDPE65 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท Huhtamaki (Thailand) จำกัด เก็บตัวอย่างในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาคุณภาพทุก 4 วัน สำหรับการเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส และทุก 2 วัน สำหรับการเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส โดยทำการตรวจสอบคุณภาพต่างๆ ดังนี้

6.1 คุณภาพทางกายภาพ

ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ค่าความแตกต่างของค่าสีทั้งหมด (ΔE^*)
ค่าอเวอร์แอคทีวิตี และค่าความแข็ง ดังแสดงในภาคผนวก ก

6.2 คุณภาพทางเคมี

ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข

6.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli* ยีสต์และรา ดังแสดงในภาคผนวก ค

6.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พร้อมทั้งสอบถามการยอมรับ ด้วย
แบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ง โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปที่เคยรับประทานผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง
จำนวน 30 คน

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและหากสิ่งทดลอง
มีความแตกต่าง ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New
Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

8. สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9. ระยะเวลาการวิจัย

เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2553

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสีย้อมสายนํ้าฝึ้งเชื่อมอบแห้ง

การผลิตสีย้อมสายนํ้าฝึ้งเชื่อมอบแห้ง เลือกใช้สีย้อมสายนํ้าฝึ้งขนาดเบอร์ 0 จากตลาดยิ่งเจริญ โดยมีการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบดังนี้

1.1 คุณภาพทางกายภาพ

การคัดเลือกสีย้อมสายนํ้าฝึ้งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ พิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยคัดเลือกสีย้อมสายนํ้าฝึ้งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 6.27 ถึง 6.97 เซนติเมตร และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 9 ถึง 11 องศาบริกซ์ จากนั้นทำการวัดค่าสีในระบบ CIE L*a*b* พบว่ามีค่า L* เท่ากับ 48.05 ± 3.57 ค่า a* เท่ากับ 4.19 ± 1.19 ค่า b* เท่ากับ 13.77 ± 2.92 ค่า C* เท่ากับ 14.41 ± 3.07 และค่า h เท่ากับ 73.18 ± 2.97 องศา ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงว่าสีย้อมมีสีส้มเหลือง

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของสีย้อมสายนํ้าฝึ้ง

คุณภาพทางกายภาพ	ปริมาณ
เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	6.51 ± 0.32
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	10.32 ± 0.59
ค่าสีของสีย้อมสายนํ้าฝึ้ง	
L*	48.05 ± 3.57
a*	4.19 ± 1.19
b*	13.77 ± 2.92
C*	14.41 ± 3.07
h (องศา)	73.18 ± 2.97

1.2 คุณภาพทางเคมี

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมีสัสมายน้ำผึ้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ พบว่ามีความชื้นร้อยละ 88.89 ± 0.90 โดยน้ำหนักเปียก ความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 3.78 ± 0.24 และมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้แก่ เบต้าแคโรทีน และวิตามินซีในปริมาณ 213.27 ± 17.83 ไมโครกรัม และ 24.04 ± 1.72 มิลลิกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

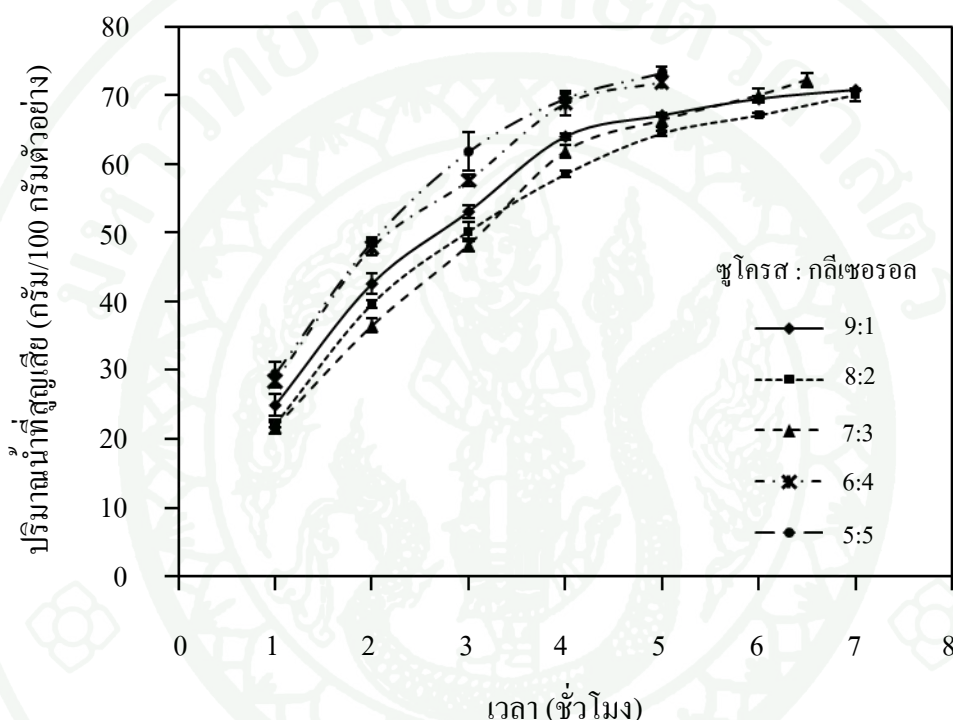
ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมีของสัสมายน้ำผึ้ง

คุณภาพทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	88.89 ± 0.90
น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	8.00 ± 0.90
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	3.75 ± 0.33
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	0.80 ± 0.18
ความเป็นกรด-เบส	3.78 ± 0.24
เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)	213.27 ± 17.83
วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)	24.04 ± 1.72

2. การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารละลายชูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

เมื่อนำกลีบสัสมายแช่ในสารละลายผสมระหว่างสารละลายชูโครสความเข้มข้นร้อยละ 60 และสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 60 ในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 โดยใช้ อัตราส่วนกลีบสัสมายต่อสารละลายเป็น 1:5 ที่อุณหภูมิ 57 ± 3 องศาเซลเซียส จนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อสัสมายเท่ากับร้อยละ 45 พบว่าการใช้สารละลายในอัตราส่วน 9:1 และ 8:2 ใช้เวลาในการออสโมซิส 7 ชั่วโมง การใช้สารละลายในอัตราส่วน 7:3 ใช้เวลาในการออสโมซิส 6.5 ชั่วโมง สำหรับการใช้สารละลายในอัตราส่วน 6:4 และ 5:5 ใช้เวลาในการออสโมซิส 5 ชั่วโมง โดยทำการศึกษาการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสในรูปของปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่สูญเสียในระหว่างการออสโมซิส ในสารละลายที่มีอัตราส่วนของ ซูโครสต่อกลีเซอรอลที่ต่างกัน พบว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องใน ระหว่างการออสโมซิส เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่สูญเสียในชั่วโมงที่ 1 และชั่วโมงที่ 2 พบว่าการใช้ สารละลายในอัตราส่วน 6:4 และ 5:5 ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าสูงสุด สำหรับการออสโมซิส ในชั่วโมงที่ 2 ถึงชั่วโมงที่ 5 ปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าสูงสุดเมื่อใช้สารละลายในอัตราส่วน 5:5 ดังแสดงในภาพที่ 4

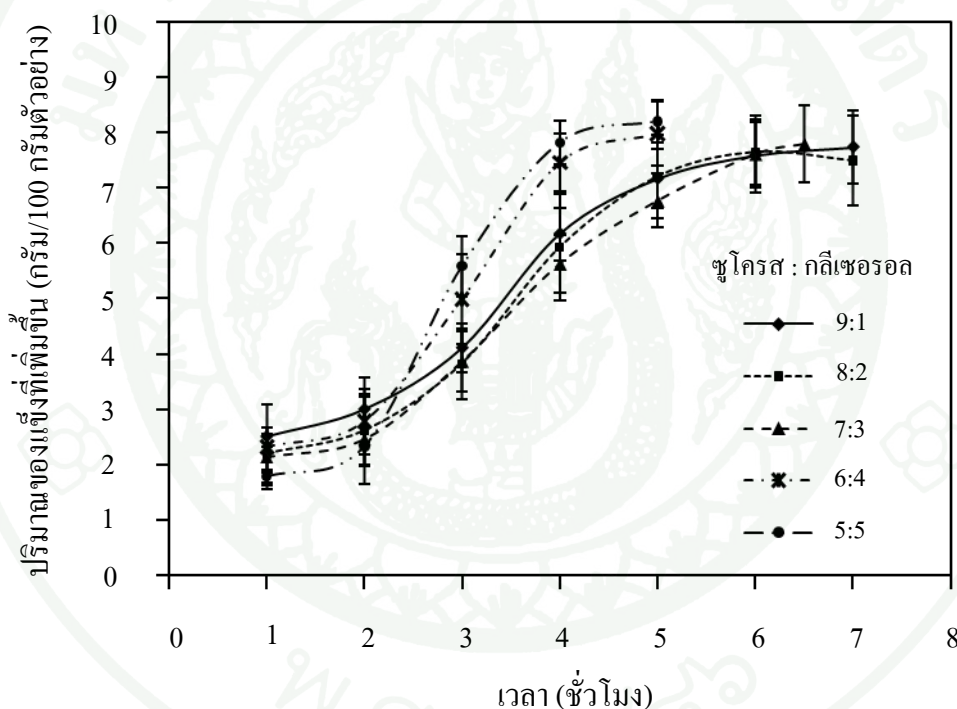


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียและเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสสัมผัสน้ำฝิ่งใน สารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลีเซอรอล

เมื่อพิจารณาอัตราการสูญเสียน้ำในระหว่างการออสโมซิส พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำมีค่า สูงใน 3 ชั่วโมงแรก จากนั้นจึงมีค่าลดลงและมีค่าค่อนข้างคงที่ในชั่วโมงสุดท้าย ทั้งนี้เนื่องจากใน ช่วงแรกของการออสโมซิสความแตกต่างของแรงดันออสโมซิสระหว่างน้ำภายในเซลล์ผลไม้กับ สารละลายภายนอกมีค่าสูง ส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในเซลล์แพร่ออกมาสู่สารละลายภายนอกได้อย่าง รวดเร็ว นอกจากนี้ น้ำที่แพร่ออกมายังส่งผลให้สารละลายภายนอกมีความเข้มข้นลดลงทำให้ความ ต่างของแรงดันออสโมซิสมีค่าลดลงจนใกล้จุดสมดุลของการถ่ายเทมวล ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ สูญเสียมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงท้ายของการออสโมซิส (Moreira *et al.*, 2007) สอดคล้องกับการ

ทดลองของ Singh *et al.* (2008) ที่ทำการศึกษาการออสโมซิสแครอทในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 ถึง 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำมีค่าสูงในช่วงแรก จากนั้นจึงมีค่าคงที่หลังจากการออสโมซิสนาน 90 นาที

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการออสโมซิส พบว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วง 2 ชั่วโมงแรก จากนั้นจึงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ถึงชั่วโมงที่ 4 สำหรับการใส่สารละลายในอัตราส่วน 6:4 และ 5:5 และในช่วง 2 ถึงชั่วโมงที่ 5 สำหรับการใส่สารละลายในอัตราส่วน 9:1, 8:2 และ 7:3 จากนั้นจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงสุดท้ายของการออสโมซิสดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส สัมสายน้ำผึ้งในสารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลีเซอรอล

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการใส่สารละลายซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลในช่วง 1 และ ชั่วโมงที่ 2 พบว่าอัตราส่วนของสารละลายที่ใช้ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ของแข็ง สำหรับการแช่ในชั่วโมงที่ 3 ถึงชั่วโมงที่ 5 การใส่สารละลายในอัตราส่วน 5:5 ส่งผลให้ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุด แสดงให้เห็นว่าการถ่ายเทมวลสารในรูปของตัวถูกละลายมี

ความสัมพันธ์กับขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมซิส โดยมวลโมเลกุลของกลีเซอรอลและซูโครสมีค่าเท่ากับ 92 และ 342 กรัมต่อโมล ตามลำดับแสดงว่ากลีเซอรอลมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าซูโครส ดังนั้นสารละลายกลีเซอรอลจึงสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเนื้อส้มได้ดีกว่าสารละลายซูโครส การเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารละลายออสโมซิสจาก 6:4 เป็น 5:5 จึงทำให้อัตราการการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งสูงกว่าการใช้อัตราส่วน 9:1, 8:2 และ 7:3 สอดคล้องกับการศึกษาของ Tonon *et al.* (2007) ซึ่งทำการศึกษากการออสโมซิสมะเขือเทศ พบว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 55 และโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของน้ำมีค่าสูงกว่าการใช้สารละลายสารละลายซูโครสเพียงชนิดเดียวที่ความเข้มข้นร้อยละ 65 ทั้งนี้เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าขนาดโมเลกุลของซูโครส

3. การศึกษากระบวนการอบแห้งสัสมายน้ำผึ้งเข้มข้น

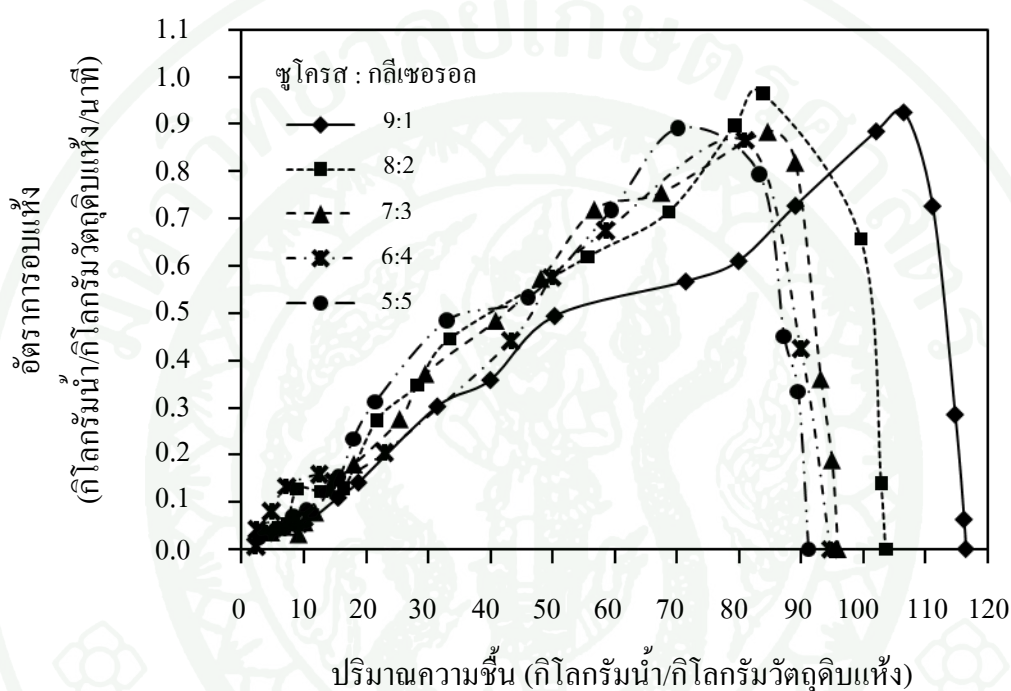
ในการศึกษากระบวนการอบแห้งสัสมายน้ำผึ้งเข้มข้น ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดสำหรับการผลิตสัสมายน้ำผึ้งเข้มข้นอบแห้งชนิดดั้งเดิม จากนั้นทำการศึกษากกระบวนการอบแห้งด้วยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดร่วมกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศสำหรับการผลิตสัสมายน้ำผึ้งเข้มข้นอบแห้งชนิดพอง

3.1 การศึกษากระบวนการอบแห้งสัสมายน้ำผึ้งเข้มข้นชนิดดั้งเดิม

3.1.1 การศึกษาอัตราการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด

นำสัสมายน้ำผึ้งเข้มข้นที่ทำการศึกษาจากข้อ 2 มาทำการอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที และทำการศึกษากอัตราการอบแห้งพบว่าอัตราการอบแห้งของสัสมายน้ำผึ้งเข้มข้นที่ผ่านการใช้สารละลายซูโครสต่อกลีเซอรอลในแต่ละอัตราส่วนมีลักษณะเดียวกัน โดยในช่วงแรกของการอบแห้งจะเป็นช่วงอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นจนถึงระดับอัตราการอบแห้งสูงสุด จากนั้นจึงเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงดังแสดงในภาพที่ 6 โดยอัตราการอบแห้งจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.93, 0.97, 0.88, 0.87 และ 0.89 กิโลกรัม น้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง/นาที่ สำหรับสัสมายน้ำผึ้งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลีเซอรอลในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ตามลำดับ สำหรับช่วงอัตราการ

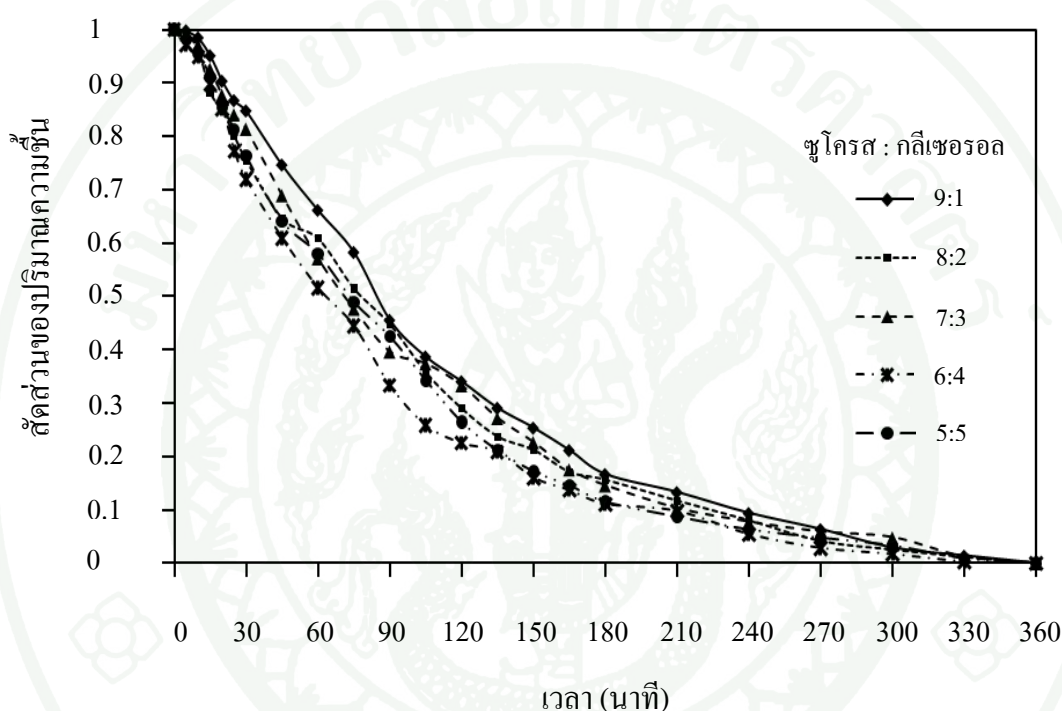
อบแห้งลดลง อัตราการอบแห้งในช่วงนี้มีค่าเท่ากับ 0.89 ถึง 0.05, 0.90 ถึง 0.04, 0.75 ถึง 0.04, 0.67 ถึง 0.01 และ 0.72 ถึง 0.02 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง/นาที่ สำหรับสั้มน้ำฝั้่งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ตามลำดับ ซึ่งอัตราการอบแห้งในลักษณะนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Chong *et al.* (2008) ที่ทำการศึกษ้อัตราการอบแห้งของจำปาตะซึ่งทำการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 อัตราการอบแห้งสั้มน้ำฝั้่งแช่้อมที่ทำการอบแห้งด้วยคู้อบลมร้อนแบบถาด

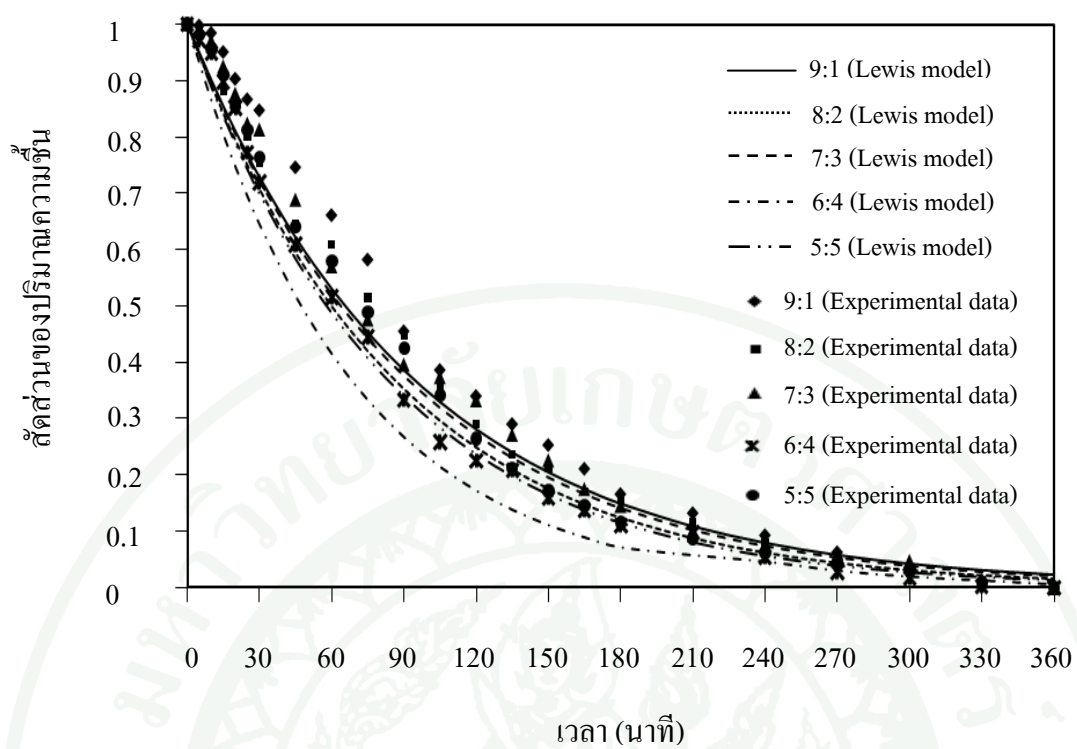
เมื่อทำการศึกษาคัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งสั้มน้ำฝั้่งแช่้อมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที พบว่าสัดส่วนของปริมาณความชื้นมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการอบที่นานขึ้น เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราส่วนของสารละลายซูโครสต่อกลีเซอรอล พบว่าสั้มน้ำฝั้่งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายทุกอัตราส่วน มีความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของปริมาณความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาในการอบแห้งในลักษณะที่คล้ายคลึงกันดังแสดงในภาพที่ 7 โดยในช่วง 15 นาทีแรกสัดส่วนของปริมาณความชื้นมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยโดยมีค่ามากกว่า 0.88 ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกของการอบแห้งความร้อนส่วนมากจะถูกใช้เพื่อทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารมีค่าสูงขึ้น จากนั้นสัดส่วนของปริมาณความชื้นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วโดยน้ำภายในอาหารจะเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้าด้วยอัตราเร็วเท่ากับการเคลื่อนที่

ของน้ำที่ผิวหน้าไปยังอากาศร้อน และในช่วงท้ายของการอบแห้งสัดส่วนของปริมาณความชื้นจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารมายังผิวหน้ามีค่าต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ (วิไล, 2547) สอดคล้องกับการศึกษาของ Aghbashlo *et al.* (2009) ที่ทำการอบแห้งมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าสัดส่วนของปริมาณความชื้นจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง และจะมีค่าลดลงในช่วงท้ายของการอบแห้ง

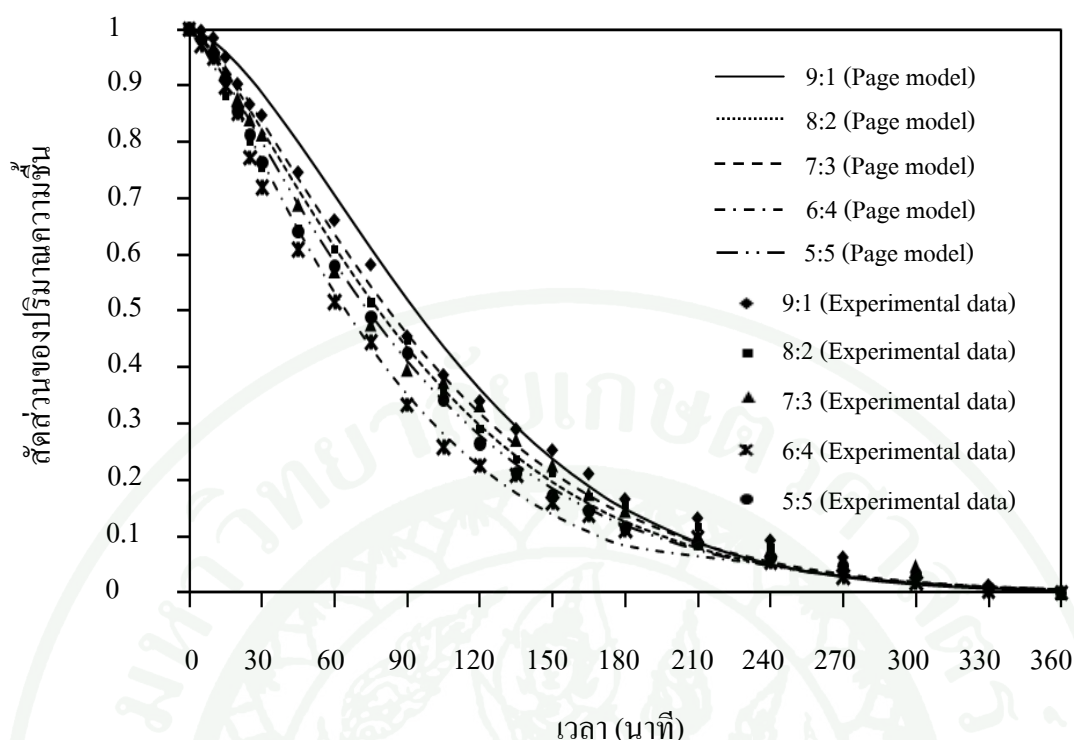


ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน

เมื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งโดยใช้แบบจำลอง Lewis's model พบว่าค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าต่ำกว่าค่าจริงที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 8 ดังนั้นจึงทำการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้แบบจำลอง Page's model พบว่าค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนเมื่ออธิบายด้วยแบบจำลอง Lewis's model



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความขึ้นระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนเมื่ออธิบายด้วยแบบจำลอง Page's model

เมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตราการอบแห้ง (k) ของแบบจำลอง Lewis's model พบว่าอัตราส่วนของซูโครสต่อกลีเซอรอลที่ใช้ในการออสโมซิสไม่มีอิทธิพลต่อค่าคงที่อัตราการอบแห้ง ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตราการอบแห้งและค่า empirical constant (n) ของแบบจำลอง Page's model พบว่าอัตราส่วนของซูโครสต่อกลีเซอรอลที่ใช้ในการออสโมซิส มีอิทธิพลต่อค่าคงที่อัตราการอบแห้ง ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อค่า n อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยการเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารละลายออสโมซิสจาก 9:1 เป็น 6:4 มีแนวโน้มทำให้ค่าคงที่อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น

ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) โดยค่า r จะแสดงถึงความสัมพันธ์และทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง สำหรับแบบจำลองที่ดีควรมีค่า r เป็นบวกและเข้าใกล้ 1 เพราะแสดงให้เห็นว่าค่าจากการทำนายมีทิศทางเดียวกันกับค่าจริงจากการทดลองและมีความสัมพันธ์กันสูง สำหรับค่า RMSE นั้นแบบจำลองที่ดีควรมีค่า RMSE ต่ำ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (ตารางที่ 4) พบว่าค่า r ของแบบจำลองทั้งสองมีค่าสูงกว่า 0.99 แสดงว่าแบบจำลองสามารถให้ค่าทำนายได้มีทิศทางเดียวกันกับค่าจริงและมีความสัมพันธ์กันสูง สำหรับค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.0538 ถึง 0.0780 และ 0.0205 ถึง 0.0372 สำหรับแบบจำลอง Lewis's model และ Page's model ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Page's model มีค่าน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Lewis's model ดังนั้นเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า r ร่วมกับค่า RMSE พบว่าแบบจำลอง Page's model มีประสิทธิภาพในการทำนายสัดส่วนของปริมาณความชื้นสูงกว่าแบบจำลอง Lewis's model เนื่องจากการทำนายด้วยแบบจำลอง Page's model ให้ค่า r สูงกว่า ในขณะที่ให้ค่า RMSE ต่ำกว่าการทำนายด้วยแบบจำลอง Lewis's model สอดคล้องกับการศึกษาของ Doymaz (2005) ที่พบว่าการใช้แบบจำลอง Page's model มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงกว่าการใช้แบบจำลอง Lewis's model และแบบจำลอง Handerson and Pabis's model ในการทำนายสัดส่วนของปริมาณความชื้นสำหรับการอบถั่วเขียว เช่นเดียวกับการทำนายสัดส่วนของปริมาณความชื้นในการอบมันฝรั่ง (Aghbashlo *et al.*, 2009) และแอปเปิ้ล (Sacilik and Elicin, 2006) ที่พบว่าแบบจำลอง Page's model มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงกว่าการใช้แบบจำลอง Lewis's model

ตารางที่ 4 ค่าคงที่อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อน

อัตราส่วนของซูโครสต่อกลีเซอรอล	Lewis's model			Page's model			
	k (min ⁻¹)	r	RMSE	k (min ⁻¹)	n	r	RMSE
9:1	0.0107 ^a ± 0.0006	0.9925	0.0780	0.0005 ^d ± 0.0001	1.5520 ^a ± 0.0589	0.9965	0.0362
8:2	0.0117 ^a ± 0.0001	0.9953	0.0544	0.0017 ^c ± 0.0012	1.3486 ^a ± 0.1327	0.9961	0.0372
7:3	0.0111 ^a ± 0.0014	0.9961	0.0554	0.0016 ^c ± 0.0009	1.3562 ^a ± 0.0771	0.9963	0.0362
6:4	0.0140 ^a ± 0.0011	0.9937	0.0616	0.0035 ^a ± 0.0025	1.2554 ^a ± 0.1414	0.9968	0.0314
5:5	0.0122 ^a ± 0.0002	0.9961	0.0538	0.0028 ^b ± 0.0001	1.2721 ^a ± 0.0103	0.9986	0.0205

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

3.1.2 การศึกษาคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิม

นำส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายผสมระหว่างสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 60 และสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 60 ในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 มาทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 360 นาที จากนั้นทำการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี

ก. คุณภาพทางกายภาพ

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราส่วนของสารละลายซูโครสต่อกลีเซอรอลที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าสีของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง (ตารางที่ 5) พบว่าอัตราส่วนของสารละลายซูโครสต่อกลีเซอรอลมีอิทธิพลต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่ามูมของสี (b^*) ($p \leq 0.05$) โดยการใช้สารละลายในอัตราส่วน 9:1 ส่งผลให้ค่า L^* มีค่าสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 47.46 ในขณะที่การใช้สารละลายในอัตราส่วน 6:4 และ 5:5 ส่งผลให้ค่า L^* มีค่าต่ำสุด สำหรับค่า a^* จะมีค่าลดลงเมื่อใช้สารละลายที่มีอัตราส่วนของกลีเซอรอลสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Osorio *et al.* (2007) ที่พบว่าการออสโมซิสดีซเบอรี่ (Andes berries) ด้วยสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 70 ส่งผลให้ค่า L^* และค่า a^* มีค่าสูงกว่าดีซเบอรี่ที่ออสโมซิสด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 70 และสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 65 ในอัตราส่วน 1:1 สำหรับค่าสีเหลือง (b^*) และค่าความเข้มของสี (C^*) พบว่าอัตราส่วนของสารละลายซูโครสต่อกลีเซอรอลไม่ส่งผลต่อค่า b^* และ C^* ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาค่า h พบว่าส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งมีค่า h อยู่ในช่วง 56.58 ถึง 60.29 องศา แสดงว่าส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งมีสีส้มอมเหลือง

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอคติวิตี พบว่าส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีอยู่ในช่วง 0.33 ถึง 0.41 ซึ่งมีค่าอยู่ในกว่ามาตรฐานผลไม้แห้งที่กำหนดให้ผลไม้แห้งต้องมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีไม่เกิน 0.75 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของสารละลายออสโมซิสพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตีมีค่าลดลง โดยการใช้สารละลายในอัตราส่วน 9:1 และ 8:2 ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตีมีค่าสูงสุดและค่ามีค่าต่ำสุดเมื่อใช้สารละลายในอัตราส่วน 5:5 สำหรับค่าความแข็ง พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลส่งผลให้ความแข็งมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารประเภทไฮดรอกซีจึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำในผลิตภัณฑ์ได้ สอดคล้องกับ

การศึกษาของ Clubbs *et al.* (2005) ที่พบว่าแรงที่ทำให้เกิดการเสียรูปของแผ่น tortillas มีค่าลดลงเมื่อเติมกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 4 ลงในส่วนผสม



ตารางที่ 5 คุณภาพทางกายภาพของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิม

อัตราส่วนของซูโครสต่อกลี เชอร์อล	L*	a*	b*	C*	h (องศา)	วอเตอร์แอคติวิตี (a _w)	ความแข็ง (N)
9:1	47.46 ^a ± 1.33	24.60 ^a ± 0.84	37.85 ^a ± 3.66	45.19 ^a ± 3.11	56.83 ^c ± 2.61	0.40 ^{ab} ± 0.02	0.22 ^a ± 0.04
8:2	44.97 ^c ± 1.44	24.65 ^a ± 1.24	37.39 ^a ± 2.31	44.79 ^a ± 2.52	56.58 ^c ± 0.94	0.41 ^a ± 0.01	0.16 ^b ± 0.04
7:3	46.50 ^b ± 1.11	21.92 ^c ± 1.84	38.50 ^a ± 4.04	44.31 ^a ± 4.37	60.29 ^a ± 1.02	0.39 ^b ± 0.01	0.11 ^c ± 0.03
6:4	44.13 ^d ± 0.99	24.37 ^{ab} ± 1.19	37.79 ^a ± 2.72	44.97 ^a ± 2.86	57.14 ^{bc} ± 1.03	0.35 ^c ± 0.02	0.10 ^c ± 0.02
5:5	44.08 ^d ± 1.14	24.16 ^b ± 1.09	38.14 ^a ± 2.72	45.16 ^a ± 2.69	57.59 ^b ± 1.47	0.33 ^d ± 0.01	0.08 ^d ± 0.03

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ข. คุณภาพทางเคมี

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น พบว่าสัสมสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.23 ถึง 8.63 โดยการเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Moreira *et al.* (2007) ซึ่งทำการอบสโมซิกสเกล็ดในสารละลายกลีเซอรอล พบว่าสารละลายกลีเซอรอลสามารถลดปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากการอบสโมซิกเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 57 ± 3 องศาเซลเซียส ส่งผลให้น้ำตาลซูโครสถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นน้ำตาลรีดิซ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิซ พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิซมีค่าลดลง เนื่องจากการละลายที่มีอัตราส่วนของกลีเซอรอลสูงขึ้นจะมีอัตราส่วนของซูโครสลดลงทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิซในตัวอย่างมีค่าลดลง ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิซจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของสัสมสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม้อาซียเอนไซม์ Mahayothee *et al.* (2009) ได้ทำการแช่ดำในสารละลายผสมระหว่างสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 25 กับกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 5 จากนั้นทำการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 เดือน พบว่าตัวอย่างมีความแตกต่างของค่าความสว่างต่ำสุด ในขณะที่การใช้สารละลายซูโครสต่อกลีเซอรอลในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณกรดทั้งหมดและความเป็นกรด-เบส ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพทางเคมีของสัสมสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิม

อัตราส่วนของซูโครสต่อ กลีเซอรอล	ความชื้น (ร้อยละโดย น้ำหนักแห้ง)	น้ำตาลรีดิซ (ร้อยละโดย น้ำหนักเปียก)	กรดทั้งหมด (ร้อยละโดย น้ำหนักเปียก)	ความเป็นกรด-เบส (pH)
9:1	$8.63^a \pm 0.44$	$16.63^a \pm 1.12$	$1.72^a \pm 0.58$	$4.02^a \pm 0.15$
8:2	$4.87^b \pm 1.33$	$15.57^{ab} \pm 0.46$	$2.05^a \pm 0.21$	$3.93^a \pm 0.15$
7:3	$4.78^b \pm 1.49$	$15.20^{bc} \pm 1.07$	$2.17^a \pm 0.16$	$3.87^a \pm 0.08$
6:4	$2.23^b \pm 0.30$	$14.36^{bc} \pm 1.54$	$2.00^a \pm 0.33$	$3.82^a \pm 0.12$
5:5	$2.75^b \pm 0.97$	$14.10^c \pm 0.31$	$2.44^a \pm 0.70$	$3.97^a \pm 0.03$

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-c} ที่แตกต่างกันในแนวดังหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารที่พบในส้มสายน้ำผึ้งเข้มข้น
อบแห้ง พบว่าการใช้สารละลายที่มีอัตราส่วนของกลีเซอรอลสูงส่งผลให้ปริมาณเบต้าแคโรทีน
มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณวิตามินซีดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณสารอาหารในส้มสายน้ำผึ้งเข้มข้นอบแห้งชนิดดั้งเดิม

อัตราส่วนของซูโครสต่อกลีเซอรอล	เบต้าแคโรทีน (β -carotene) ($\mu\text{g}/100\text{g dry basis}$)	วิตามินซี (Ascorbic acid) ($\text{mg}/100\text{g dry basis}$)
9:1	$612.38^a \pm 4.64$	$47.26^a \pm 2.92$
8:2	$382.44^c \pm 2.40$	$44.88^a \pm 3.60$
7:3	$531.23^b \pm 7.89$	$38.50^a \pm 4.94$
6:4	$122.84^d \pm 17.77$	$53.12^a \pm 15.55$
5:5	$82.24^e \pm 2.78$	$52.47^a \pm 8.84$

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-e} ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.1.3 การคัดเลือกอัตราส่วนของสารละลายซูโครสและสารละลายกลีเซอรอล

เมื่อนำส้มสายน้ำผึ้งเข้มข้นอบแห้งชนิดดั้งเดิมที่ผ่านการออสโมซิสด้วย
สารละลายผสมระหว่างสารละลายซูโครสและกลีเซอรอล 5 อัตราส่วนมาทำการคัดเลือกโดยการ
ทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน
50 คน พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลส่งผลให้คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านลักษณะ
ปรากฏ เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และรสหวานมีค่าเพิ่มขึ้น ในด้านรสชาติโดยรวมและความชอบรวม
ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุดเมื่อใช้สารละลายในอัตราส่วน 7:3 และ 6:4 แต่เมื่อพิจารณา
คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านสีพบว่ามีค่าสูงสุดเมื่อใช้สารละลายในอัตราส่วน 7:3 และมีค่าต่ำสุด
เมื่อใช้สารละลายในอัตราส่วน 6:4 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาต้นทุนของสารละลายออสโมซิส พบว่า
การใช้สารละลายออสโมซิสอัตราส่วน 7:3 มีต้นทุนต่ำกว่าการใช้สารละลายในอัตราส่วน 6:4
ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายในอัตราส่วน 7:3 ในการออสโมซิสส้มสายน้ำผึ้งก่อนการอบแห้ง
เนื่องจากสารละลายดังกล่าวส่งผลให้คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านลักษณะปรากฏ สี และรสหวาน
มีค่าสูงสุดดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คะแนนความชอบเฉลี่ยของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิม

คุณลักษณะ	อัตราส่วนของซูโครสต่อกลีเซอรอล				
	9:1	8:2	7:3	6:4	5:5
ลักษณะปรากฏ	6.18 ^b ± 1.57	6.06 ^b ± 1.65	6.67 ^a ± 1.35	7.10 ^a ± 0.89	6.68 ^a ± 1.22
สี	6.54 ^{bc} ± 1.30	6.82 ^b ± 1.40	7.30 ^a ± 0.86	6.24 ^c ± 1.57	6.56 ^{bc} ± 1.21
เนื้อสัมผัส	5.22 ^c ± 1.79	6.08 ^b ± 1.45	6.24 ^b ± 1.66	7.02 ^a ± 1.17	6.52 ^{ab} ± 1.74
รสหวาน	5.64 ^b ± 1.65	6.22 ^{ab} ± 1.56	6.12 ^{ab} ± 1.27	6.32 ^a ± 1.65	5.74 ^{ab} ± 1.48
รสชาติโดยรวม	5.72 ^b ± 1.59	6.30 ^a ± 1.40	6.44 ^a ± 1.30	6.48 ^a ± 1.67	5.96 ^{ab} ± 1.63
ความชอบรวม	5.82 ^c ± 1.47	6.26 ^{bc} ± 1.37	6.42 ^{ab} ± 1.40	6.84 ^a ± 1.57	6.18 ^{bc} ± 1.52

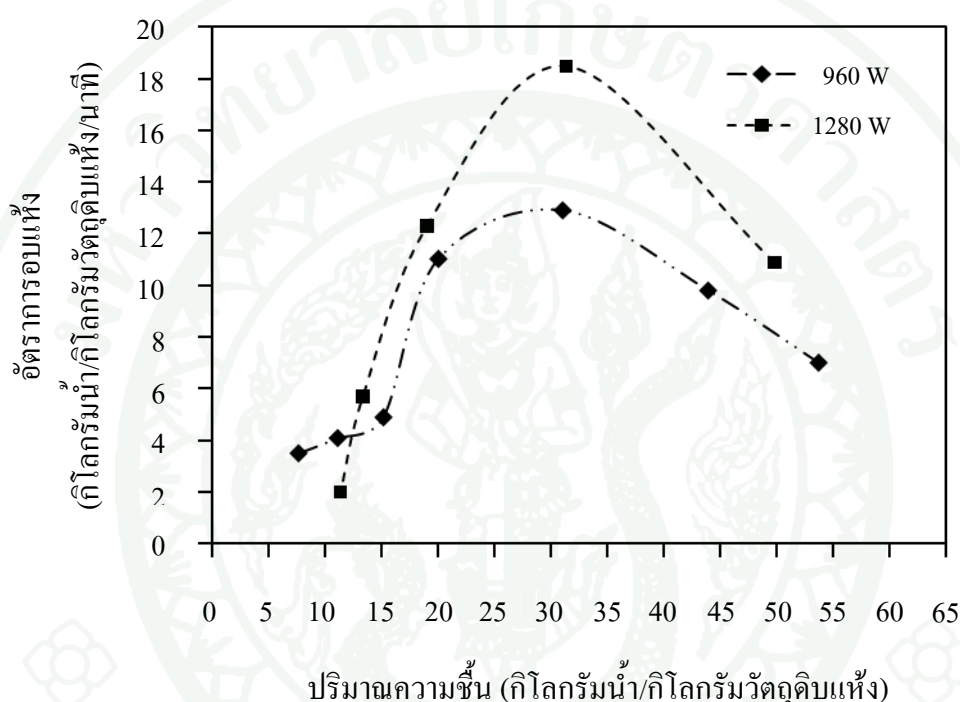
หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-c} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 การศึกษากระบวนการอบแห้งส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มชนิดพอง

3.2.1 การศึกษากระบวนการอบแห้งส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

นำส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.1.3 มาทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับความดัน 18.67 กิโลปาสกาล โดยทำการอบแห้ง 2 สภาวะได้แก่ การอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์ 7 นาที และ 1,280 วัตต์ 5 นาที และทำการศึกษาอัตราการอบแห้ง พบว่าในช่วงแรกของการอบแห้งจะเป็นช่วงอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นจนถึงระดับอัตราการอบแห้งสูงสุด จากนั้นจึงเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงดังแสดงในภาพที่ 10 โดยอัตราการอบแห้งจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.90 และ 18.47 กิโลกรัม น้ำ/กิโลกรัม วัตถุดิบแห้ง/นาทิจำลองการอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์และ 1,280 วัตต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการดูดซับกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นทำให้การถ่ายเทมวลภายในตัวอย่างเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งส่งผลเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลง (Al-Harabsheh *et al.*, 2009) สำหรับช่วงอัตราการอบแห้งลดลง อัตราการอบแห้งในช่วงนี้มีค่าเท่ากับ 11.02 ถึง 3.47 และ 12.31 ถึง 1.99 กิโลกรัม น้ำ/กิโลกรัม วัตถุดิบแห้ง/นาทิจำลองการอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์และ 1,280 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งอัตราการอบแห้งในลักษณะนี้

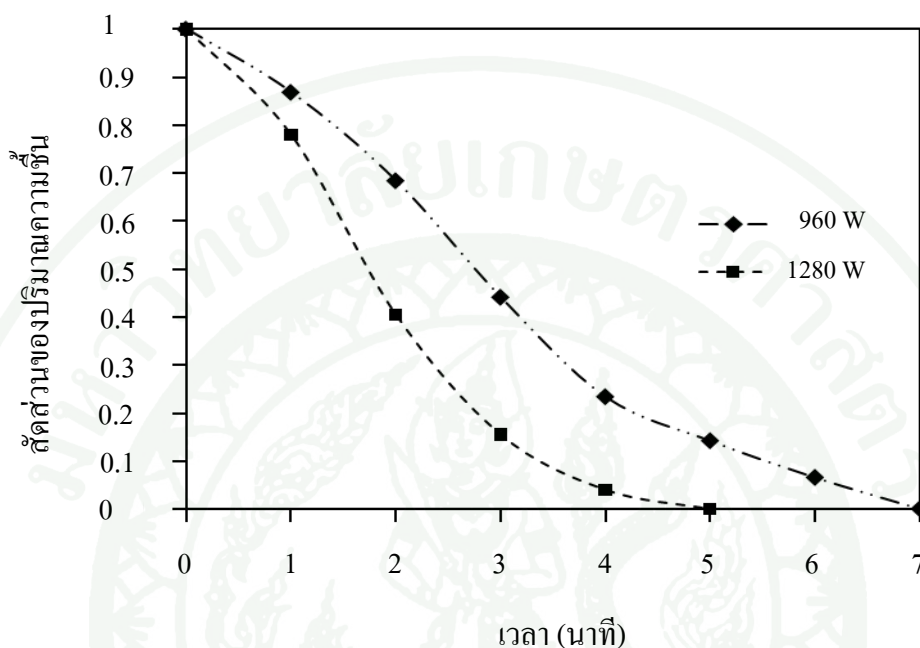
สอดคล้องกับการศึกษาของ Figiel (2009) ซึ่งทำการอบกระเทียมด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 240, 480 และ 720 วัตต์ ระดับความดัน 2 ถึง 4 กิโลปาสกาล ซึ่งพบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 8, 4 และ 2.5 นาทีของแรกการอบแห้ง จากนั้นอัตราการอบแห้งจะมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการอบแห้งสูงสุดจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 720, 480 และ 240 วัตต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 10 อัตราการอบแห้งสัมผัสน้ำผึ้งเชื่อมที่ทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

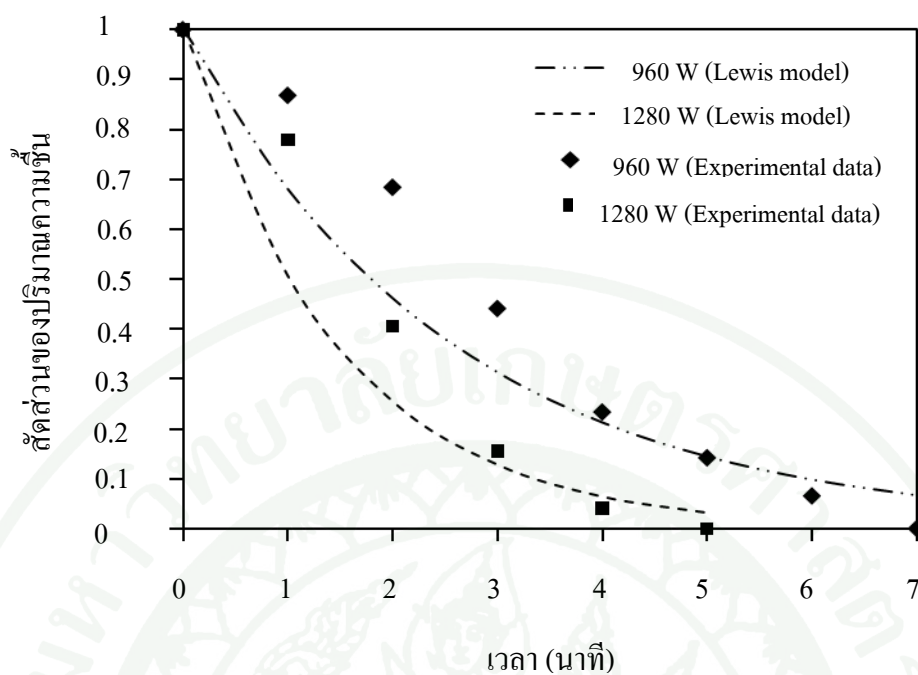
เมื่อทำการศึกษาสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้ง พบว่า สัดส่วนของปริมาณความชื้นมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการอบที่นานขึ้น โดยการเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้สัดส่วนของปริมาณความชื้นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลงดังแสดงในภาพที่ 11 โดยการอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์ ใช้เวลาในการอบ 7 นาที ในขณะที่การอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 1,280 วัตต์ ใช้เวลาในการอบ 5 นาที เนื่องจากในการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ อัตราการอบแห้งไม่ได้ขึ้นอยู่กับกลไกการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวหนังของตัวอย่างแต่เกิดจากการดูดซับพลังงาน ดังนั้นการเพิ่มกำลังไมโครเวฟจึงทำให้ตัวอย่างดูดซับพลังงานได้สูงขึ้นส่งผลให้เวลาในการอบแห้งมีค่าลดลง (Heredia *et al.*, 2007) สอดคล้องกับการศึกษาของ Maskan (2000) ที่ทำการอบกล้วยแผ่นด้วยกำลังไมโครเวฟ 350, 490

และ 700 วัตต์ พบว่าอัตราการลดลงของสัดส่วนของปริมาณความชื้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้กำลังไมโครเวฟในระดับที่สูงขึ้น และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะมีค่าลดลงโดยเวลาที่ใช้ในการอบมีค่าเท่ากับ 24, 21 และ 17.5 นาที สำหรับการอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 350, 490 และ 700 วัตต์ ตามลำดับ

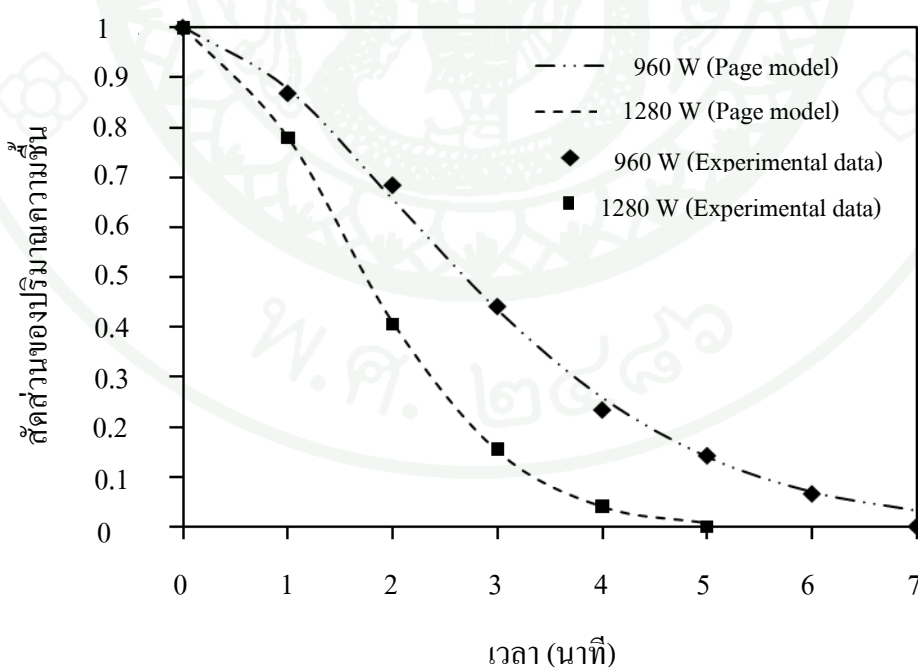


ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ
สุญญากาศ

เมื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งโดยใช้แบบจำลอง Lewis's model สำหรับการอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์และ 1,280 วัตต์พบว่าค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าต่ำกว่าค่าจริงที่ได้จากการทดลองในช่วง 3 นาทีแรกของการอบแห้ง จากนั้นค่าที่ได้จากการทำนายจะมีค่าสูงกว่าค่าจริงที่ได้จากการทดลองในช่วง 2 นาทีสุดท้ายของการอบแห้งดังแสดงในภาพที่ 12 แสดงว่าแบบจำลอง Lewis's model ไม่มีความเหมาะสมในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากการทำนายด้วยแบบจำลอง Lewis's model เป็นการกำหนดให้ค่า empirical constant มีค่าคงที่เท่ากับ 1 เสมอซึ่งอาจเป็นค่าที่ไม่มีความเหมาะสมในการทำนายสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้ง ดังนั้นจึงทำการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้แบบจำลอง Page's model พบว่าค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 13 แสดงว่าแบบจำลอง Page's model มีความเหมาะสมในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาในการอบแห้ง



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ
สุญญากาศเมื่ออธิบายด้วยแบบจำลอง Lewis's model



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ
สุญญากาศเมื่ออธิบายด้วยแบบจำลอง Page's model

เมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตราการอบแห้ง (k) ของแบบจำลอง Lewis's model พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.3890 เป็น 0.6895 นาที⁻¹ สำหรับค่าคงที่อัตราการอบแห้งของแบบจำลอง Page's model มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.1230 เป็น 0.2482 นาที⁻¹ เมื่อใช้กำลังไมโครเวฟเพิ่มจาก 960 วัตต์ เป็น 1,280 วัตต์ ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นส่งผลให้อัตราการลดลงของสัดส่วนของปริมาณความชื้นมีค่าสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Giri and Prasad (2007) ซึ่งทำการอบแห้งเห็ดด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ที่ระดับความดัน 10 กิโลปาสกาล พบว่าการเพิ่มกำลังไมโครเวฟจาก 150 วัตต์เป็น 250 วัตต์ส่งผลให้ค่า k ของแบบจำลอง Lewis's model และ Page's model มีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 9 ค่าคงที่อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่ออบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

แบบจำลอง	ค่าคงที่อัตราการอบแห้งและ ประสิทธิภาพของแบบจำลอง	กำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์	กำลังไมโครเวฟ 1,280 วัตต์
Lewis's model	k (min ⁻¹)	0.3890 ^b ± 0.0425	0.6895 ^a ± 0.0938
	r	0.9650	0.9565
	RMSE	0.1175	0.1307
Page's model	k (min ⁻¹)	0.1230 ^b ± 0.0014	0.2482 ^a ± 0.0333
	n	1.6904 ^a ± 0.0738	1.8527 ^a ± 0.0632
	r	0.9990	0.9997
	RMSE	0.0181	0.0086

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-b} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลอง (ตารางที่ 9) พบว่าแบบจำลอง Page's model ให้ค่า r สูงกว่าแบบจำลอง Lewis's model โดยค่า r ของแบบจำลอง Page's model มีค่าสูงกว่า 0.99 แสดงว่าแบบจำลอง Page's model สามารถให้ค่าทำนายได้มีทิศทางเดียวกันกับค่าจริงและมีความสัมพันธ์กันสูง สำหรับค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.1175 ถึง 0.1307 และ 0.0181 ถึง 0.0086 สำหรับแบบจำลอง Lewis's model และ Page's model ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการทำนายด้วยแบบจำลอง Page's model มีความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้

จากการทำนายน้อยกว่าการทำนายด้วยแบบจำลอง Lewis's model ดังนั้นเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า r ร่วมกับค่า RMSE พบว่าแบบจำลอง Page's model มีประสิทธิภาพในการทำนายสัดส่วนของปริมาณความชื้นสูงกว่าแบบจำลอง Lewis's model เนื่องจากการทำนายด้วยแบบจำลอง Page's model ให้ค่า r สูงกว่า ในขณะที่ให้ค่า RMSE ต่ำกว่าการทำนายด้วยแบบจำลอง Lewis's model สอดคล้องกับการศึกษาของ Changrue *et al.* (2008) ซึ่งพบว่าแบบจำลอง Page's model มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบจำลอง Lewis's model และ Handerson and Pabis's model ในการทำนายสัดส่วนของปริมาณความชื้นสำหรับการอบสตรอเบอร์รี่ด้วยกำลังไมโครเวฟ 750 วัตต์ ที่ระดับความดัน 8 กิโลปาสกาล เช่นเดียวกับการศึกษาของ McMinn (2006) ซึ่งทำการอบเปลือกโคสผงบด้วยกำลังไมโครเวฟ 90 วัตต์ ที่ระดับความดัน 80 กิโลปาสกาล

3.2.2 การศึกษากระบวนการอบแห้งสับสายน้ำผึ้งแช่เย็น ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดร่วมกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

การนำไมโครเวฟมาใช้ในการผลิตจำเป็นต้องมีการคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้น โดยต้นทุนพลังงานที่ใช้จะแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้งทำให้ไม่นิยมอบแห้งอาหารที่มีความชื้นสูงด้วยไมโครเวฟ ดังนั้นจึงได้มีการประยุกต์การอบแห้งโดยนำอาหารที่มีความชื้นสูงมาอบแห้งด้วยลมร้อนก่อนจากนั้นจึงนำไปอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ โดยการอบแห้งด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือสามารถลดต้นทุนพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวและยังสามารถลดเวลาในการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน (Durance and Wang, 2002) นอกจากนี้ยังลดปัญหาการเกิดการไหม้ก่อนการอบแห้งอย่างสมบูรณ์

ในการศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดร่วมกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ทำโดยนำสับสายน้ำผึ้งแช่เย็นที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.1.3 มาทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที จากนั้นทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับความดัน 18.67 กิโลปาสกาล ใน 2 สภาวะ ได้แก่ การอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์ 2 นาที และ 1,280 วัตต์ 1 นาที เมื่อคำนวณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งสับสายน้ำผึ้งแช่เย็นด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนมีค่าสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.12 หน่วย ดังแสดงในตารางที่ 10 แต่เนื่องจากกระบวนการอบแห้งแต่ละวิธีให้ปริมาณสับแช่เย็นอบแห้งที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจึงต้องทำการคิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตเพื่อให้ได้สับสายน้ำผึ้งแช่เย็นอบแห้งในปริมาณที่

เท่ากัน ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่ม
อบแห้ง 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 11



ตารางที่ 10 พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งสัณฐานน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง

ประเภทการอบแห้ง	อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)	พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
การอบแห้งด้วยลมร้อน 70 °C 360 นาที	ฮีตเตอร์	3.15	6	18.90	37.23
	มอเตอร์	0.37	6	2.22	4.37
	รวม			21.12	41.61
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ สุญญากาศ 960 วัตต์ 7 นาที	ชุดถังสุญญากาศ	3.30	0.12	0.40	0.79
	ไมโครเวฟ	1.28	0.12	0.15	0.30
	ระบบปั๊มสุญญากาศ	2.09	0.12	0.25	0.49
	ระบบทำความเย็น	7.60	0.12	0.91	1.79
	รวม			1.71	3.37
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ สุญญากาศ 1,280 วัตต์ 5 นาที	ชุดถังสุญญากาศ	3.30	0.08	0.26	0.51
	ไมโครเวฟ	1.28	0.08	0.10	0.20
	ระบบปั๊มสุญญากาศ	2.09	0.08	0.17	0.33
	ระบบทำความเย็น	7.60	0.08	0.61	1.20
	รวม			1.14	2.24
การอบแห้งด้วยลมร้อน 70 °C 180 นาที ร่วมกับไมโครเวฟ สุญญากาศ 960 วัตต์ 2 นาที	ฮีตเตอร์	3.15	3	9.45	18.62
	มอเตอร์	0.37	3	1.11	2.19
	รวม			10.56	20.81
	ชุดถังสุญญากาศ	3.30	0.03	0.10	0.20
	ไมโครเวฟ	1.28	0.03	0.04	0.08
	ระบบปั๊มสุญญากาศ	2.09	0.03	0.06	0.12
	ระบบทำความเย็น	7.60	0.03	0.23	0.45
	รวม			0.43	0.85
การอบแห้งด้วยลมร้อน 70 °C 180 นาที ร่วมกับไมโครเวฟ สุญญากาศ 1,280 วัตต์ 1 นาที	ฮีตเตอร์	3.15	3	9.45	18.62
	มอเตอร์	0.37	3	1.11	2.19
	รวม			10.56	20.81
	ชุดถังสุญญากาศ	3.30	0.02	0.06	0.11
	ไมโครเวฟ	1.28	0.02	0.02	0.04
	ระบบปั๊มสุญญากาศ	2.09	0.02	0.04	0.07
	ระบบทำความเย็น	7.60	0.52	3.93	7.74
	รวม			0.28	0.56

หมายเหตุ ค่าไฟฟ้า 1 หน่วยมีค่าเท่ากับ 1.97 บาท (การไฟฟ้านครหลวง, 2549)

ตารางที่ 11 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้ได้สัสมายน้ำผึ้งแช่อบแห้ง 100 กรัม

ประเภทการอบแห้ง	น้ำหนักสัสมอบแห้ง (กรัม)	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ ต่อการอบแห้ง (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ใช้เพื่อให้ได้ ผลิตภัณฑ์ 100 กรัม (บาท)
การอบแห้งด้วยลมร้อน			
70 °C 360 นาที	850	41.61	4.90
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ			
สุญญากาศ 960 วัตต์ 7 นาที	1,200	67.40	5.62
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ			
สุญญากาศ 1,280 วัตต์ 5 นาที	1,140	44.80	3.93
การอบแห้งด้วยลมร้อน 70 °C			
180 นาที ร่วมกับไมโครเวฟ			
สุญญากาศ 960 วัตต์ 2 นาที	920	34.40	3.58
การอบแห้งด้วยลมร้อน 70 °C			
180 นาที ร่วมกับไมโครเวฟ			
สุญญากาศ 1,280 วัตต์ 1 นาที	880	29.76	3.10

หมายเหตุ การอบแห้งทุกสภาวะเริ่มต้นจากสัสมายน้ำผึ้งแช่อบ 2,000 กรัม

เมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งต่อผลิตภัณฑ์ 100 กรัม (ตารางที่ 11) พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีต้นทุนค่าไฟฟ้า 4.90 บาท/100 กรัม และต้นทุนค่าไฟฟ้ามีค่าสูงสุดเมื่อทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ ที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์ โดยมีค่าเท่ากับ 5.62 บาท/100 กรัม เมื่อทำการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศพบว่าสามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าลงได้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าไฟฟ้าของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ จากการเปรียบเทียบต้นทุนค่าไฟฟ้าสำหรับการผลิตสัสมายน้ำผึ้งแช่อบแห้งชนิดผง พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที ร่วมกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 1,280 วัตต์ 1 นาที มีต้นทุนค่าไฟฟ้าต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.10 บาท/100 กรัม สอดคล้องกับการทดลองของ Durance and Wang (2002) ซึ่งทำการเปรียบเทียบต้นทุนด้านพลังงานของการอบแห้งมะเจือเทศ

พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศสามารถลดต้นทุนลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศเพียงอย่างเดียว

3.3 การเปรียบเทียบคุณภาพของสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง

ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้ง โดยนำสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งที่ผ่านการศึกษาค้นคว้าจากข้อ 3.2.1 และข้อ 3.2.2 มาศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี และความแข็ง และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาล รีดิซ ปริมาณกรดทั้งหมด ความเป็นกรด-เบสและปริมาณเบต้าแคโรทีน จากนั้นทำการเปรียบเทียบคุณภาพของสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง

3.3.1 คุณภาพทางกายภาพ

เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 360 นาที กับสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าค่า L^* , a^* และ b^* มีสูงสุดเมื่ออบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและมีค่าต่ำสุดเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อน แสดงว่าสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีลักษณะปรากฏด้านสีในด้านความสว่างมากกว่าและมีสีส้มมากกว่าสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับค่า C^* ซึ่งพบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้สั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งมีความเข้มของสีสูงสุด เมื่อพิจารณาค่า h พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 60.29 ถึง 61.93 องศา แสดงว่าสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งมีสีส้มอมเหลือง สอดคล้องกับการศึกษาของ Wojdylo *et al.* (2009) ซึ่งพบว่าสตรอเบอรี่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 240, 360 และ 480 วัตต์ มีค่า L^* , a^* และ b^* สูงกว่าสตรอเบอรี่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศกับสั้มสาหร่ายน้ำฝิ่งแช่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าค่า L^* , a^* และ b^* ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Hu *et al.* (2006) ซึ่งได้ทำการอบแห้งถั่วแระญี่ปุ่น พบว่าการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นจึงนำตัวอย่างมาอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ความเข้มของกำลังไมโครเวฟ 9.33 วัตต์/กรัม ระดับความดัน 95 กิโลปาสกาล นาน 12 นาที ส่งผลให้ถั่วแระญี่ปุ่นมีค่า L^* , a^* และ b^* ใกล้เคียงกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศด้วยกำลังไมโครเวฟ 2,800 วัตต์

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอกทวิตี้ พบว่าสัณสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งมีค่าวอเตอร์แอกทวิตี้ในช่วง 0.36 ถึง 0.45 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลไม้แห้งที่กำหนดให้ผลไม้แห้งต้องมีค่าวอเตอร์แอกทวิตี้ไม่เกิน 0.75 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) โดยค่าวอเตอร์แอกทวิตี้มีค่าสูงสุดเมื่อทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 1,280 วัตต์ เนื่องจากการอบแห้งในสภาวะดังกล่าวใช้เวลาน้อยที่สุด สำหรับค่าความแข็งพบว่า สัณสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยลมร้อนมีค่าความแข็งสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1101 นิวตัน และค่าความแข็งจะมีค่าลดลงเมื่อทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศซึ่งการอบแห้งด้วยวิธีทั้งสองให้ค่าความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.0154 ถึง 0.0177 นิวตัน ดังแสดงในตารางที่ 12 เนื่องจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศทำให้เกิดการพองตัวและเกิดโพรงอากาศภายในตัวอย่าง ส่งผลให้ค่าความแข็งมีค่าลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Liu *et al.* (2009) ซึ่งพบว่าขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 2,680 วัตต์ มีค่าความแข็งต่ำกว่าขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง

ประเภทการอบแห้ง	L*	a*	b*	C*	h (องศา)	วอเตอร์แอกทิวิตี (a _w)	ความแข็ง (N)
การอบแห้งด้วยลมร้อน							
70 °C 360 นาที	46.50 ^c ± 1.11	21.92 ^b ± 1.84	38.50 ^c ± 4.04	44.31 ^d ± 4.37	60.29 ^c ± 1.02	0.39 ^b ± 0.01	0.1101 ^a ± 0.026
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ							
สุญญากาศ 960 วัตต์ 7 นาที	50.79 ^a ± 1.68	23.05 ^a ± 1.04	43.21 ^a ± 1.11	48.98 ^{ab} ± 1.34	61.93 ^a ± 0.85	0.38 ^b ± 0.02	0.0173 ^b ± 0.004
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ							
สุญญากาศ 1,280 วัตต์ 5 นาที	50.35 ^a ± 1.47	23.37 ^a ± 0.80	43.36 ^a ± 1.44	49.26 ^a ± 1.48	61.68 ^{ab} ± 0.83	0.45 ^a ± 0.03	0.0156 ^b ± 0.003
การอบแห้งด้วยลมร้อน 70 °C							
180 นาที ร่วมกับไมโครเวฟ							
สุญญากาศ 960 วัตต์ 2 นาที	49.75 ^b ± 1.10	22.21 ^b ± 1.79	40.68 ^b ± 3.02	46.35 ^c ± 3.46	61.37 ^b ± 0.67	0.36 ^c ± 0.01	0.0177 ^b ± 0.002
การอบแห้งด้วยลมร้อน 70 °C							
180 นาที ร่วมกับไมโครเวฟ							
สุญญากาศ 1,280 วัตต์ 1 นาที	49.42 ^b ± 0.94	22.94 ^a ± 1.39	41.81 ^b ± 3.07	47.70 ^b ± 3.19	61.21 ^b ± 1.30	0.36 ^c ± 0.01	0.0154 ^b ± 0.004

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

3.3.2 คุณภาพทางเคมี

จากการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี (ตารางที่ 13) พบว่าสัสมายน้ำผึ้งแช่อบแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.78 ถึง 11.38 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนส่งผลให้สัสมายน้ำผึ้งแช่อบแห้งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด รองลงมาคือการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าต่ำสุดเมื่อทำการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ เนื่องจากการอบแห้งด้วยลมร้อนตัวอย่างต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้น้ำตาลซูโครสถูกไฮโดรไลซิสส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณเบต้าแคโรทีน พบว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยมีค่าอยู่ในช่วง 251.92 ถึง 281.35 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง สอดคล้องกับการศึกษาของ Lin *et al.* (1998) ที่พบว่า การอบแห้งแครอทด้วยลมร้อนส่งผลให้ปริมาณแอลฟาและเบต้าแคโรทีนมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง

ประเภทการอบแห้ง	ความชื้น (ร้อยละ โดย น้ำหนักแห้ง)	น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ โดย น้ำหนักเปียก)	กรดทั้งหมด (ร้อยละ โดย น้ำหนักเปียก)	ความเป็น กรด-เบส (pH)	เบต้าแคโรทีน (β -carotene) ($\mu\text{g}/100\text{g dry basis}$)
การอบแห้งด้วยลมร้อน					
70 °C 360 นาที	4.78 ^b $\pm$ 1.49	15.20 ^a $\pm$ 1.07	2.17 ^a $\pm$ 0.16	3.87 ^c $\pm$ 0.08	206.53 ^b $\pm$ 7.18
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ					
สุญญากาศ 960 วัตต์ 7 นาที	7.64 ^{ab} $\pm$ 2.82	9.87 ^{cd} $\pm$ 0.73	1.90 ^{ab} $\pm$ 0.07	4.16 ^b $\pm$ 0.05	268.41 ^a $\pm$ 18.84
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ					
สุญญากาศ 1,280 วัตต์ 5 นาที	11.38 ^a $\pm$ 0.98	9.42 ^d $\pm$ 0.29	1.97 ^a $\pm$ 0.06	4.22 ^{ab} $\pm$ 0.06	281.35 ^a $\pm$ 18.86
การอบแห้งด้วยลมร้อน 70 °C					
180 นาที ร่วมกับไมโครเวฟ					
สุญญากาศ 960 วัตต์ 2 นาที	6.88 ^{ab} $\pm$ 1.16	10.46 ^{bc} $\pm$ 0.66	1.66 ^{bc} $\pm$ 0.35	4.27 ^a $\pm$ 0.05	251.92 ^a $\pm$ 3.57
การอบแห้งด้วยลมร้อน 70 °C					
180 นาที ร่วมกับไมโครเวฟ					
สุญญากาศ 1,280 วัตต์ 1 นาที	6.17 ^b $\pm$ 1.11	10.95 ^b $\pm$ 0.10	1.59 ^c $\pm$ 0.30	4.23 ^{ab} $\pm$ 0.05	254.12 ^a $\pm$ 27.30

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-d} ที่แตกต่างกันในแนวดังหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.4 การคัดเลือกกระบวนการอบแห้งสัสมายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งชนิดพอง

ผลิตภัณฑ์สัสมายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน สัสมายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศมีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 14 ถึง ภาพที่ 16 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏพบว่าสัสมายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนมีลักษณะเป็นชิ้นแบบแผ่นเรียบ ในขณะที่การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่พองตัวเนื่องจากความแตกต่างของความดันภายในตัวอย่างกับความดันของอากาศภายนอกและการระเหยของน้ำเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในตัวอย่าง (Ressing *et al.*, 2007)



ภาพที่ 14 สัสมายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน



(a)



(b)

ภาพที่ 15 สัสมายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศด้วยกำลังไมโครเวฟ (a) 960 วัตต์ และ (b) 1,280 วัตต์



ภาพที่ 16 ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ ด้วยกำลังไมโครเวฟ (a) 960 วัตต์ และ (b) 1,280 วัตต์

เนื่องจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ ส่งผลให้ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งมีลักษณะปรากฏที่พองตัวเหมือนกันดังแสดงในภาพที่ 15 และ 16 ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกกระบวนการอบแห้งส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดพองโดยพิจารณาจากต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ จากตารางที่ 11 พบว่าการอบแห้งส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที ร่วมกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 1,280 วัตต์ 1 นาที มีต้นทุนค่าไฟฟ้าน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเลือกกระบวนการอบแห้งดังกล่าวเป็นกระบวนการในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดพอง

3.5 การคัดเลือกลักษณะส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง

ทำการคัดเลือกลักษณะส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง โดยการเปรียบเทียบความชอบระหว่างส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิมกับส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดพอง ด้วยการทดสอบทางคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทำการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยวิธี Paired Samples t Test พบว่าส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิมมีคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติโดยรวมและความชอบรวมสูงกว่าส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดพอง ในขณะที่ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดพองมีคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านสีสูงกว่าส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิม สำหรับคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านรสหวานพบว่ามีความชอบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 14 คะแนนความชอบเฉลี่ยของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง

คุณลักษณะ	ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิม ¹	ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดพอง ²
ลักษณะปรากฏ	7.18 ^a ± 1.19	6.58 ^b ± 0.84
สี	7.04 ^b ± 0.72	7.42 ^a ± 0.81
เนื้อสัมผัส	7.04 ^a ± 0.88	6.10 ^b ± 1.04
รสหวาน	6.84 ^a ± 1.17	6.48 ^a ± 1.05
รสชาติโดยรวม	6.90 ^a ± 0.84	6.54 ^b ± 0.89
ความชอบรวม	7.06 ^a ± 0.94	6.38 ^b ± 0.90

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{a-b} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ หมายถึงการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 360 นาที

² หมายถึงการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที ร่วมกับการอบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศด้วยกำลังไมโครเวฟ 1,280 วัตต์ นาน 1 นาที

เมื่อพิจารณาระดับความชอบของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิม พบว่าได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติโดยรวม และความชอบรวม ในระดับชอบปานกลาง สำหรับความชอบเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสพบว่าส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดพองได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยต่ำกว่าส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิม โดยมีความชอบในระดับชอบเล็กน้อย ซึ่งผู้ทดสอบให้เหตุผลว่าเนื้อสัมผัสมีความนุ่มมากเกินไปทำให้ไม่สามารถคงรูปได้เมื่อออกแรงกดตัวอย่าง และเมื่อทำการทดสอบตัวอย่างพบว่าความรู้สึกภายในปากขณะเคี้ยวมีค่าน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างที่มีการพองตัวทำให้ภายในตัวอย่างเป็นโพรงอากาศ ดังนั้นจึงทำการเลือกส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิมเพื่อใช้ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค

4. การศึกษาคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งเพื่อให้เป็นไปตามประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มผช.138/2550)

นำส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 360 นาที มาทำการการศึกษาคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง ได้ผลการศึกษา ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 คุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งตามประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มผช.138/2550)

คุณภาพ	ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง	มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง
คุณภาพทางกายภาพ		
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	0.39	ต้องไม่เกิน 0.75
คุณภาพทางเคมี		
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก)	4.56	น้อยกว่าร้อยละ 18
คุณภาพทางจุลินทรีย์		
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	$1.5 \times 10^*$	$\leq 1.0 \times 10^6$
<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	< 3	< 3
ยีสต์ (cfu/g)	< 10^*	$\leq 1.0 \times 10^4$
รา (cfu/g)	< 10^*	$\leq 5.0 \times 10^2$

หมายเหตุ * หมายถึง Estimated Standard Plate Count (ESPC)

จากการศึกษาคุณภาพส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง สำหรับคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีพบว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตี เท่ากับ 0.39 ปริมาณความชื้นเท่ากับ 4.56 (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก) ในด้านคุณภาพทางจุลินทรีย์พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.5×10 cfu/g (ESPC), *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 MPN/g, ยีสต์น้อยกว่า 10 cfu/g (ESPC) และรำน้อยกว่า 10 cfu/g (ESPC) ดังแสดงในตารางที่ 16 เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งกับ

ประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง พบว่า ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งมีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง

5. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคกับผู้บริโภคทั่วไปที่เคยรับประทานผลไม้เชื่อมอบแห้ง จำนวน 150 คน บริเวณโรงอาหารกลาง 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยวิธี Central Location Test (CLT) โดยการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติโดยรวม และความชอบรวมของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมในระดับชอบปานกลาง ขณะที่รสชาติโดยรวมได้คะแนนความชอบเฉลี่ยในระดับชอบเล็กน้อยดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคที่มีต่อส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบเฉลี่ย
ลักษณะปรากฏ	7.23 $\pm$ 1.04
เนื้อสัมผัส	6.73 $\pm$ 1.07
รสชาติโดยรวม	6.30 $\pm$ 0.87
ความชอบรวม	6.63 $\pm$ 0.81

เมื่อสอบถามด้านการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง ร้อยละ 87.33 และไม่ยอมรับ ร้อยละ 12.67 ซึ่งเหตุผลที่ไม่ยอมรับคือ รสชาติของผลิตภัณฑ์หวานเกินไปและต้องการให้มีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้น สำหรับความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์พบว่าผู้บริโภคมีความสนใจซื้อ ร้อยละ 78.67 และไม่สนใจซื้อ ร้อยละ 21.33 ตามลำดับ เมื่อสอบถามเรื่องราคาที่เหมาะสมโดยให้ผู้บริโภคทำการเปรียบเทียบราคากับผลิตภัณฑ์ทางการค้า ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ซึ่งจำหน่ายในราคา 40 บาทต่อ 100 กรัม พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ร้อยละ 78.67 มีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งควรมีราคาเท่ากับผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน (40 บาทต่อ 100 กรัม) รองลงมาคือร้อยละ 22 ซึ่งมีความเห็นว่าควรมีราคาสูงกว่า และผู้บริโภคร้อยละ 6 มีความเห็นว่าควรมีราคาต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 การยอมรับและความสนใจซื้อของผู้บริโภคและราคาสัมผัสน้ำผึ้งแท้หมอบแห้ง

การยอมรับและความสนใจซื้อ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
การยอมรับ		
ยอมรับ	131	87.33
ไม่ยอมรับ	19	12.67
ความสนใจซื้อ		
ซื้อ	118	78.67
ไม่ซื้อ	32	21.33
ราคา		
ต่ำกว่า (40 บาทต่อ 100 กรัม)	9	6.00
เท่ากับ (40 บาทต่อ 100 กรัม)	108	72.00
สูงกว่า (40 บาทต่อ 100 กรัม)	33	22.00

จากการสอบถามข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค พบว่าเป็นเพศชาย ร้อยละ 24.67 เพศหญิง ร้อยละ 75.33 อายุต่ำกว่า 15 ปี ร้อยละ 3.33 อายุ 15-25 ปี ร้อยละ 56 อายุ 26-35 ปี ร้อยละ 31.33 อายุ 37-45 ปี ร้อยละ 6.67 และอายุ 46-55 ปี ร้อยละ 2.67 ระดับการศึกษาสูงสุดคือปริญญาตรี ร้อยละ 69.33 รองลงมาคือสูงกว่าปริญญาตรี ร้อยละ 20.67 มัธยมศึกษา ร้อยละ 5.33 และอนุปริญญา ร้อยละ 4.67 ประกอบอาชีพนักเรียน/นิสิต/นักศึกษามากที่สุด ร้อยละ 62.00 รองลงมาคือข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ ร้อยละ 22.67 พนักงานบริษัทเอกชน ร้อยละ 8 ธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย ร้อยละ 6.67 และแม่บ้าน ร้อยละ 0.67 ซึ่งมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน น้อยกว่า 5,000 บาท ร้อยละ 16.67 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 5,000-10,000 บาท ร้อยละ 52.00 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001-15,000 บาท ร้อยละ 20.67 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 15,001-20,000 บาท ร้อยละ 5.33 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 20,001-25,000 บาท ร้อยละ 2.67 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 25,001-30,000 บาท และมากกว่า 35,000 บาท มีจำนวนเท่ากันคือร้อยละ 1.33 (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค

ข้อมูล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	37	24.67
หญิง	113	75.33
อายุ		
ต่ำกว่า 15 ปี	5	3.33
15-25 ปี	84	56.00
26-36 ปี	47	31.33
37-45 ปี	10	6.67
46-55 ปี	4	2.67
การศึกษาสูงสุด		
มัธยมศึกษา	8	5.33
อนุปริญญา	7	4.67
ปริญญาตรี	104	69.33
สูงกว่าปริญญาตรี	31	20.67
อาชีพ		
นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	93	62.00
พนักงานบริษัทเอกชน	12	8.00
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	34	22.67
ธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย	10	6.67
แม่บ้าน	1	0.70
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน		
น้อยกว่า 5,000 บาท	25	16.67
5,000-10,000 บาท	78	52.00
10,001-15,000 บาท	31	20.67
15,001-20,000 บาท	8	5.33
20,001-25,000 บาท	4	2.67
25,001-30,000 บาท	2	1.33
มากกว่า 35,000 บาท	2	1.33

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค ซึ่งได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือน กับการยอมรับและความสนใจซื้อที่มีต่อสัสน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง ด้วยการวิเคราะห์ค่าไคสแควร์ (chi-square) พบว่าเพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือนไม่มีอิทธิพลต่อการยอมรับและความสนใจซื้อสัสน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง

6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสัสน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสัสน้ำผึ้ง ซึ่งบรรจุในถุงลามิเนตชนิด OPP30/Adhesive/LLDPE65 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาคุณภาพทุก 4 วัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส และทุก 2 วัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

6.1 คุณภาพทางกายภาพ

6.1.1 ค่าสี

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* , a^* และ b^* ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าสี L^* , a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลงในทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษาดังแสดงในตารางที่ 19 ถึง 21 เมื่อพิจารณาค่า L^* ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่า L^* มีค่าสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 43.76 และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่า L^* มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันพบว่าเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 8 เป็นต้นไป พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 45 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L^* อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่า a^* ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่ามีความใกล้เคียงกันในทุกอุณหภูมิ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 17.28 ถึง 17.67 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันพบว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a^* อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาในวันที่ 4 และ 8 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่า a^* มีค่าต่ำสุด รองลงมาคือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และการเก็บรักษาในช่วงวันที่ 12 ถึงวันที่ 36 พบว่า

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่า a^* มีค่าต่ำสุด สำหรับค่า b^* ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีค่าอยู่ในช่วง 20.07 ถึง 22.13 ซึ่งมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่า b^* ของวันแรกในการเก็บรักษา (b^* เท่ากับ 40.11) โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อัตราการลดลงของค่า b^* มีค่าสูงสุด เมื่อทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* ในระหว่างการเก็บรักษาด้วยสมการ Zero order kinetic model (สมการที่ 1) จากการพิจารณาค่าคงที่อัตรา (ตารางที่ 26) พบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราการลดลงของค่า L^* มีค่าเร็วขึ้น

เมื่อคำนวณความแตกต่างของค่าสีทั้งหมด (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับค่าสีของผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มต้น ดังสมการที่ 13 พบว่าค่า ΔE^* ของผลิตภัณฑ์ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 20.07 ถึง 20.82 (ตารางที่ 22) เมื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* ระหว่างการเก็บรักษา ด้วยสมการ Zero order kinetic model (สมการที่ 1) พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* เมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตรา (ตารางที่ 26) พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* มีค่าน้อยสุด ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* สูงสุด

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0^* - L_t^*)^2 + (a_0^* - a_t^*)^2 + (b_0^* - b_t^*)^2} \quad (13)$$

L_0^* คือ ค่าความสว่างของตัวอย่างเริ่มต้น

L_t^* คือ ค่าความสว่างของตัวอย่างที่เวลา t

a_0^* คือ ค่าสีแดงของตัวอย่างเริ่มต้น

a_t^* คือ ค่าสีแดงของตัวอย่างที่เวลา t

b_0^* คือ ค่าสีเหลืองของตัวอย่างเริ่มต้น

b_t^* คือ ค่าสีเหลืองของตัวอย่างที่เวลา t

เมื่อพิจารณาค่าสีที่มีการเปลี่ยนแปลงของสัณฐานสีผงหม้อมอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่า L^* , a^* และ b^* ลดลงแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความสว่างและมีสีส้มลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาและเมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาพบว่าการลดลงของค่า L^* , a^* และ b^* มีค่าสูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส รองลงมาคือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจาก

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิสูงเป็นปัจจัยเร่งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล นอกจากนี้ ค่าวอเตอร์แอกทวิตี้ยังเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยค่าวอเตอร์แอกทวิตี้ ในช่วง 0.20 ถึง 0.60 เป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามค่าวอเตอร์แอกทวิตี้ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะมีค่าสูงสุดในช่วงค่าวอเตอร์แอกทวิตี้ มีค่าเท่ากับ 0.60 (นิธิยา, 2545) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอกทวิตี้ของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง (ตารางที่ 23) พบว่ามีค่า อยู่ในช่วง 0.419 ถึง 0.492 จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาได้ดี



ตารางที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	49.15 ^a ± 0.41	49.15 ^a ± 0.41	49.15 ^a ± 0.41
2	ND*	ND*	47.62 ^b ± 0.45
4	48.59 ^{bA} ± 0.70	48.65 ^{aA} ± 0.68	46.65 ^{cB} ± 0.41
6	ND*	ND*	46.05 ^d ± 0.79
8	47.88 ^{cA} ± 0.15	47.55 ^{bB} ± 0.68	43.70 ^{eC} ± 0.41
10	ND*	ND*	41.64 ^f ± 0.71
12	47.83 ^{cA} ± 0.22	47.08 ^{bB} ± 0.61	ND
16	47.66 ^{cA} ± 0.32	46.03 ^{cB} ± 0.75	ND
20	47.56 ^{cA} ± 0.82	44.46 ^{dB} ± 0.59	ND
24	47.00 ^{dA} ± 0.55	44.26 ^{dB} ± 0.16	ND
28	46.86 ^{deA} ± 0.82	43.57 ^{eB} ± 0.61	ND
32	46.36 ^{fA} ± 0.44	42.93 ^{fB} ± 0.74	ND
36	46.51 ^{efA} ± 0.60	41.76 ^{gB} ± 1.22	ND
40	46.07 ^f ± 0.58	ND	ND
44	45.26 ^{gh} ± 0.58	ND	ND
48	45.58 ^g ± 0.69	ND	ND
52	44.95 ^{hi} ± 0.92	ND	ND
56	44.90 ^{hi} ± 0.24	ND	ND
60	44.89 ^{hi} ± 0.47	ND	ND
64	44.55 ^{ij} ± 0.82	ND	ND
68	44.15 ^{jk} ± 0.72	ND	ND
72	43.87 ^k ± 0.58	ND	ND
76	43.76 ^k ± 0.40	ND	ND

หมายเหตุ ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากไม่อยู่ในช่วงความถี่ของการสุ่มตรวจ

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

ตัวอักษร ^{a-k} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-C} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่า a* ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	24.90 ^a ± 0.87	24.90 ^a ± 0.87	24.90 ^a ± 0.87
2	ND*	ND*	23.72 ^b ± 0.65
4	24.77 ^{ba} ± 0.30	23.73 ^{ab} ± 0.80	21.51 ^c ± 0.92
6	ND*	ND*	20.20 ^d ± 0.20
8	24.46 ^{abA} ± 0.14	23.65 ^{bb} ± 0.40	19.91 ^{dc} ± 0.47
10	ND*	ND*	17.67 ^e ± 0.72
12	24.20 ^{ba} ± 0.95	22.16 ^{cb} ± 0.32	ND
16	24.16 ^{ba} ± 0.44	21.47 ^{db} ± 0.39	ND
20	23.55 ^{ca} ± 0.46	21.31 ^{db} ± 0.40	ND
24	23.36 ^{ca} ± 0.26	20.00 ^{eb} ± 0.51	ND
28	22.70 ^{da} ± 0.31	18.23 ^{fb} ± 0.81	ND
32	21.77 ^{ca} ± 0.39	17.33 ^{gb} ± 0.23	ND
36	21.43 ^{ca} ± 0.16	17.28 ^{gb} ± 0.90	ND
40	20.16 ^g ± 0.22	ND	ND
44	20.64 ^g ± 0.69	ND	ND
48	20.73 ^f ± 0.66	ND	ND
52	19.85 ^{gh} ± 0.44	ND	ND
56	19.64 ^h ± 0.92	ND	ND
60	18.97 ⁱ ± 0.20	ND	ND
64	18.81 ⁱ ± 0.74	ND	ND
68	18.15 ^j ± 0.79	ND	ND
72	17.93 ^j ± 0.85	ND	ND
76	17.48 ^k ± 0.61	ND	ND

หมายเหตุ ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากไม่อยู่ในช่วงความถี่ของการสุ่มตรวจ

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

ตัวอักษร ^{a-k} ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-C} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่า b* ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	40.11 ^a ± 1.01	40.11 ^a ± 1.01	40.11 ^a ± 1.01
2	ND*	ND*	35.70 ^b ± 0.56
4	38.84 ^{bA} ± 0.86	38.87 ^{bA} ± 1.93	32.94 ^{cB} ± 1.10
6	ND*	ND*	28.37 ^d ± 0.88
8	38.38 ^{bA} ± 1.07	36.38 ^{cB} ± 0.93	26.41 ^{cC} ± 0.56
10	ND*	ND*	22.13 ^f ± 1.70
12	35.98 ^{cA} ± 0.29	35.27 ^{dB} ± 0.59	ND
16	35.81 ^{cdA} ± 0.73	31.18 ^{cB} ± 1.08	ND
20	35.31 ^{dA} ± 0.44	29.25 ^{dB} ± 0.33	ND
24	34.07 ^{eA} ± 0.96	25.68 ^{dB} ± 0.83	ND
28	32.59 ^{fA} ± 0.60	22.10 ^{hB} ± 0.40	ND
32	29.82 ^{gA} ± 0.36	22.31 ^{hB} ± 1.28	ND
36	28.11 ^{hA} ± 1.30	20.81 ^{iB} ± 1.71	ND
40	27.97 ^h ± 0.66	ND	ND
44	27.64 ^h ± 1.09	ND	ND
48	25.45 ⁱ ± 0.76	ND	ND
52	24.16 ^j ± 0.93	ND	ND
56	23.25 ^k ± 0.87	ND	ND
60	22.70 ^l ± 1.05	ND	ND
64	20.22 ^m ± 0.44	ND	ND
68	20.02 ^m ± 0.51	ND	ND
72	20.11 ^m ± 0.70	ND	ND
76	20.07 ^m ± 0.43	ND	ND

หมายเหตุ ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากไม่อยู่ในช่วงความถี่ของการสุ่มตรวจ

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

ตัวอักษร ^{a-m} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-C} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	0.00	0.00	0.00
2	ND*	ND*	$5.01^c \pm 0.82$
4	$1.96^{oC} \pm 0.87$	$2.84^{bB} \pm 0.65$	$8.53^{dA} \pm 0.76$
6	ND*	ND*	$13.09^c \pm 0.97$
8	$2.68^{nC} \pm 0.61$	$4.36^{gB} \pm 0.68$	$15.58^{bA} \pm 1.17$
10	ND*	ND*	$20.82^a \pm 1.38$
12	$4.72^{mB} \pm 0.78$	$6.04^{fA} \pm 0.93$	ND
16	$4.74^{mB} \pm 0.63$	$10.12^{eA} \pm 1.27$	ND
20	$5.53^{iB} \pm 0.75$	$12.44^{dA} \pm 0.91$	ND
24	$6.68^{kB} \pm 0.86$	$16.06^{cA} \pm 1.18$	ND
28	$8.27^{jB} \pm 0.87$	$20.06^{bA} \pm 0.92$	ND
32	$11.16^{iB} \pm 0.90$	$20.37^{bA} \pm 1.79$	ND
36	$12.80^{hB} \pm 1.41$	$22.08^{aA} \pm 2.00$	ND
40	$13.43^g \pm 0.82$	ND	ND
44	$13.72^g \pm 1.15$	ND	ND
48	$15.77^f \pm 0.97$	ND	ND
52	$17.30^e \pm 1.12$	ND	ND
56	$18.24^d \pm 0.70$	ND	ND
60	$18.91^c \pm 1.27$	ND	ND
64	$21.38^b \pm 0.94$	ND	ND
68	$21.85^{ab} \pm 1.04$	ND	ND
72	$21.86^{ab} \pm 1.15$	ND	ND
76	$22.07^a \pm 1.03$	ND	ND

หมายเหตุ ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากไม่อยู่ในช่วงความถี่ของการสุ่มตรวจ

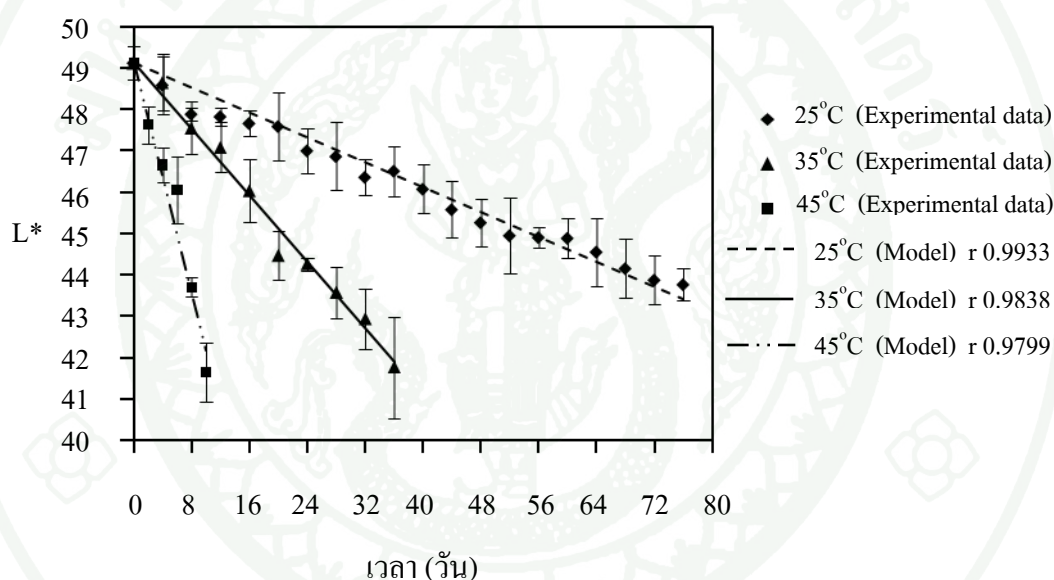
ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

ตัวอักษร ^{a-o} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-C} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ΔE^* คำนวณโดยเปรียบเทียบกับค่าสีของผลิตภัณฑ์ตั้งต้นในวันแรกของการเก็บรักษา

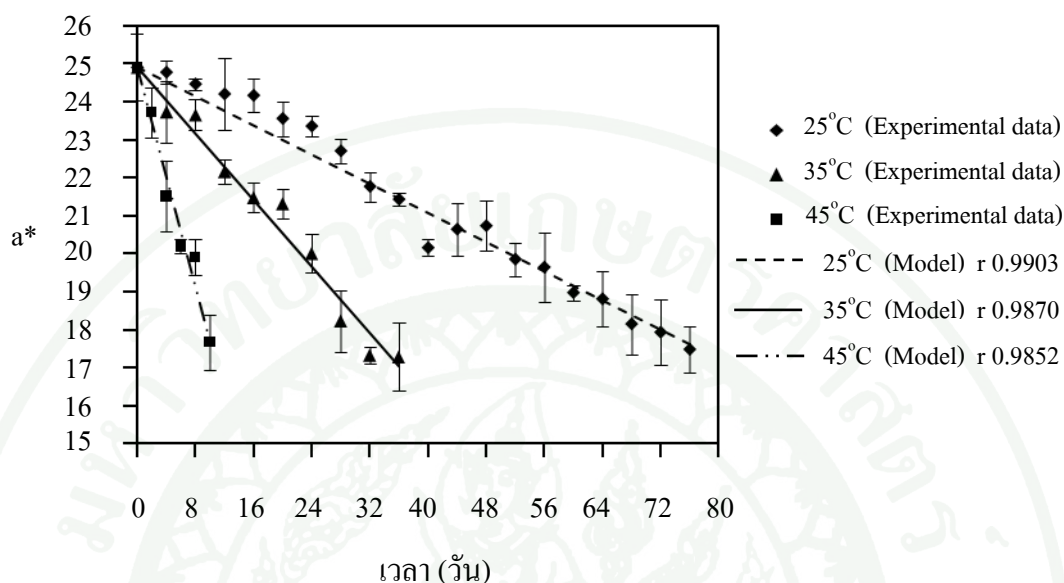
จากการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ด้วยสมการ Zero order kinetic model พบว่าค่าคงที่อัตรา (k) มีค่าแตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) โดยค่า k มีค่าเท่ากับ 0.0750, 0.2010 และ 0.6794 ต่อวัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า L^* เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 4 พบว่ามีค่า E_a เท่ากับ 86.68 kJ/mol และมี k_0 เท่ากับ 1.12×10^{14} ต่อวัน เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าสมการ Zero order kinetic model มีความสามารถในการทำนายการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ในระหว่างการเก็บรักษาได้ดี โดยพิจารณาจากภาพที่ 17 และค่า r ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.90



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของส้มสายน้ำผึ้งแอ้มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

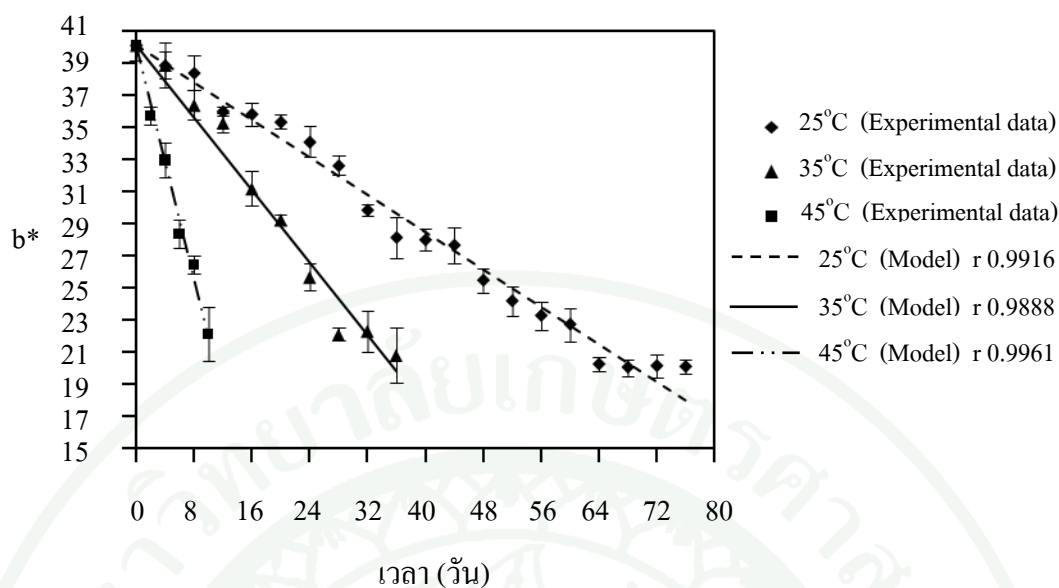
จากการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ด้วยสมการ Zero order kinetic model พบว่าค่าคงที่อัตรา (k) มีค่าแตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) โดยค่า k มีค่าเท่ากับ 0.0957, 0.2182 และ 0.7106 ต่อวัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า a^* เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 4 พบว่ามีค่า E_a เท่ากับ 78.00 kJ/mol และมี k_0 เท่ากับ 5.81×10^{12} ต่อวัน เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าสมการ Zero order kinetic model มีความสามารถในการทำนายการ

เปลี่ยนแปลงค่า a^* ในระหว่างการเก็บรักษาได้ดี โดยพิจารณาจากภาพที่ 18 และค่า r ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.90



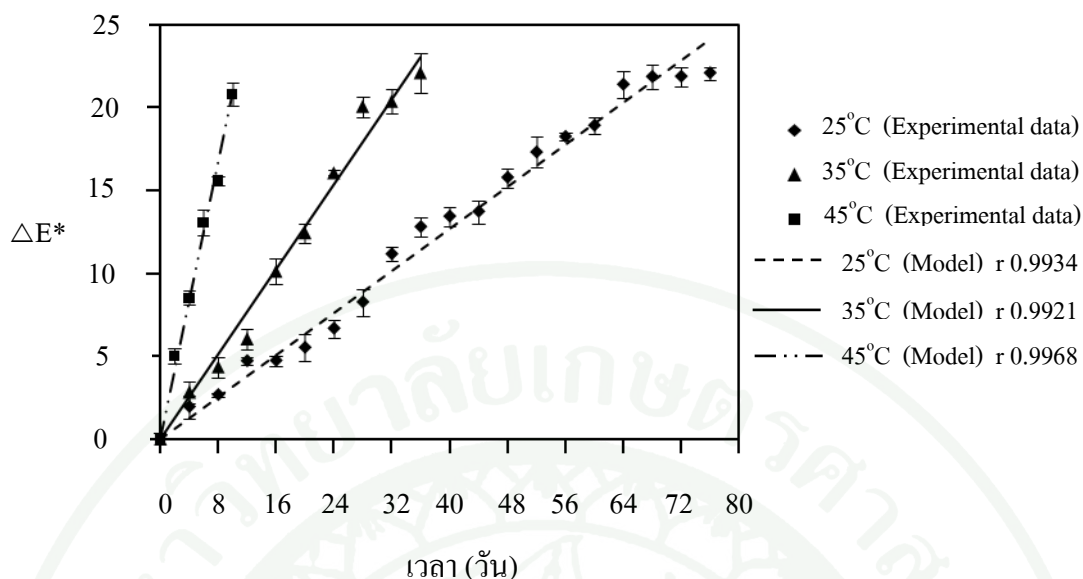
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของส้มสายน้ำผึ้งแช่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

จากการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ด้วยสมการ Zero order kinetic model พบว่าค่าคงที่อัตรา (k) มีค่าแตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) โดยค่า k มีค่าเท่ากับ 0.2912, 0.5310 และ 1.8065 ต่อวัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นทำนายการเปลี่ยนแปลงค่า b^* เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 4 พบว่ามีค่า E_a เท่ากับ 71.61 kJ/mol และมี k_0 เท่ากับ 9.30×10^{11} ต่อวัน เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าสมการ Zero order kinetic model มีความสามารถในการทำนายการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ในระหว่างการเก็บรักษาได้ดี โดยพิจารณาจากภาพที่ 19 และค่า r ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.90



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

จากการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ด้วยสมการ Zero order kinetic model พบว่าค่าคงที่อัตรา (k) มีค่าแตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) โดยค่า k มีค่าเท่ากับ 0.3173, 0.6411 และ 2.0706 ต่อวัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 4 พบว่ามีค่า E_a เท่ากับ 73.67 kJ/mol และมี k_0 เท่ากับ 2.38×10^{12} ต่อวัน เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าสมการ Zero order kinetic model มีความสามารถในการทำนายการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* ในระหว่างการเก็บรักษาได้ดี โดยพิจารณาจากภาพที่ 20 และค่า r ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.90



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* ของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

6.1.2 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี

จากการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจะมีค่าคงที่ในช่วงท้ายของการเก็บรักษาในทุกลอุณหภูมิที่เก็บรักษาดังแสดงในตารางที่ 23 โดยส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในช่วงวันที่ 64 ถึงวันที่ 76 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.488 ถึง 0.492 เช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ที่พบว่าการเก็บรักษาในช่วงวันที่ 6 ถึงวันที่ 10 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น เพราะภายในชั้นอาหารมีความดันไอลดต่ำกว่าอากาศภายนอกเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าสูงกว่า ดังนั้นอาหารจึงดูดความชื้นในอากาศ ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันพบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาในวันที่ 4 พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีค่าสูงสุด รองลงมาคือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และการเก็บรักษาในช่วงวันที่ 28 ถึงวันที่ 36 พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีค่าสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทिवิตี้ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	0.419 ^j ± 0.002	0.419 ^c ± 0.002	0.419 ^c ± 0.002
2	ND*	ND*	0.422 ^c ± 0.004
4	0.427 ^{iA} ± 0.002	0.420 ^{cB} ± 0.005	0.432 ^{bA} ± 0.007
6	ND*	ND*	0.438 ^{ad} ± 0.007
8	0.432 ^{hiB} ± 0.003	0.423 ^{cC} ± 0.003	0.444 ^{aA} ± 0.004
10	ND*	ND*	0.444 ^a ± 0.001
12	0.434 ^{ghA} ± 0.002	0.432 ^{dA} ± 0.001	ND
16	0.436 ^{ghA} ± 0.003	0.432 ^{dA} ± 0.006	ND
20	0.437 ^{ghB} ± 0.005	0.443 ^{cA} ± 0.001	ND
24	0.439 ^{fgA} ± 0.006	0.445 ^{bcA} ± 0.002	ND
28	0.439 ^{fgB} ± 0.002	0.446 ^{bcA} ± 0.001	ND
32	0.444 ^{efB} ± 0.002	0.448 ^{bA} ± 0.003	ND
36	0.446 ^{ebB} ± 0.003	0.453 ^{aA} ± 0.003	ND
40	0.455 ^d ± 0.005	ND	ND
44	0.456 ^d ± 0.001	ND	ND
48	0.458 ^d ± 0.003	ND	ND
52	0.469 ^c ± 0.001	ND	ND
56	0.473 ^c ± 0.003	ND	ND
60	0.485 ^b ± 0.002	ND	ND
64	0.488 ^{ab} ± 0.003	ND	ND
68	0.490 ^{ab} ± 0.007	ND	ND
72	0.491 ^a ± 0.001	ND	ND
76	0.492 ^a ± 0.013	ND	ND

หมายเหตุ ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากไม่อยู่ในช่วงความถี่ของการสุ่มตรวจ

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

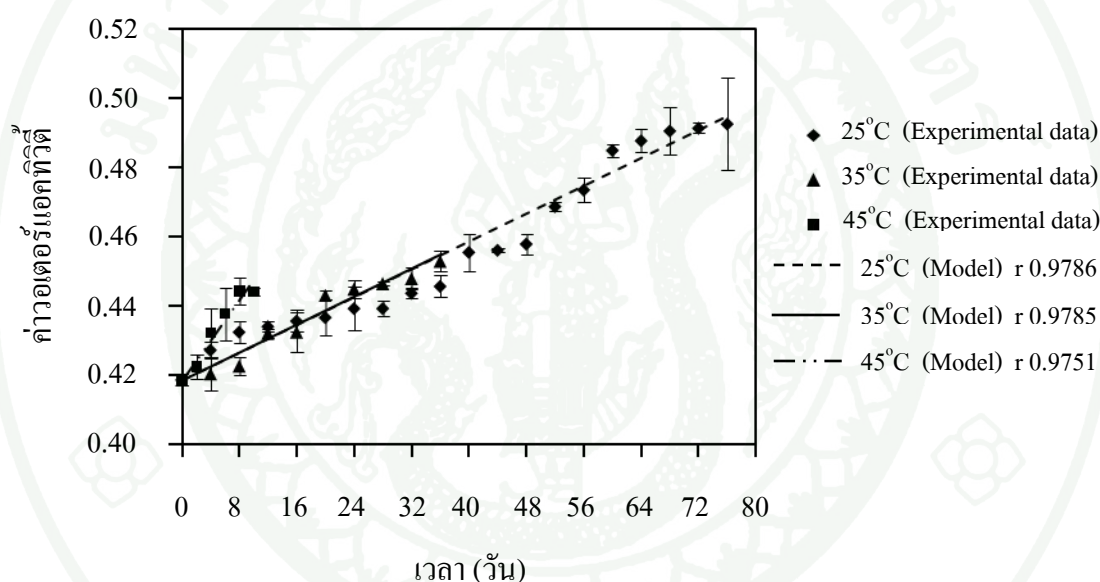
ตัวอักษร ^{a-j} ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-C} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ด้วยสมการ Zero order kinetic model พบว่าค่าคงที่อัตรา (k) มีค่าแตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) โดยค่า k มีค่าเท่ากับ 0.0010, 0.0010 และ 0.0029 ต่อวัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 4 พบว่ามีค่า E_a เท่ากับ 41.47 kJ/mol และมี k_0 เท่ากับ 1.56×10^4 ต่อวัน เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าสมการ Zero order kinetic model มีความสามารถในการทำนายการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ในระหว่างการเก็บรักษาได้ดี โดยพิจารณาจากภาพที่ 21 และค่า r ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.90

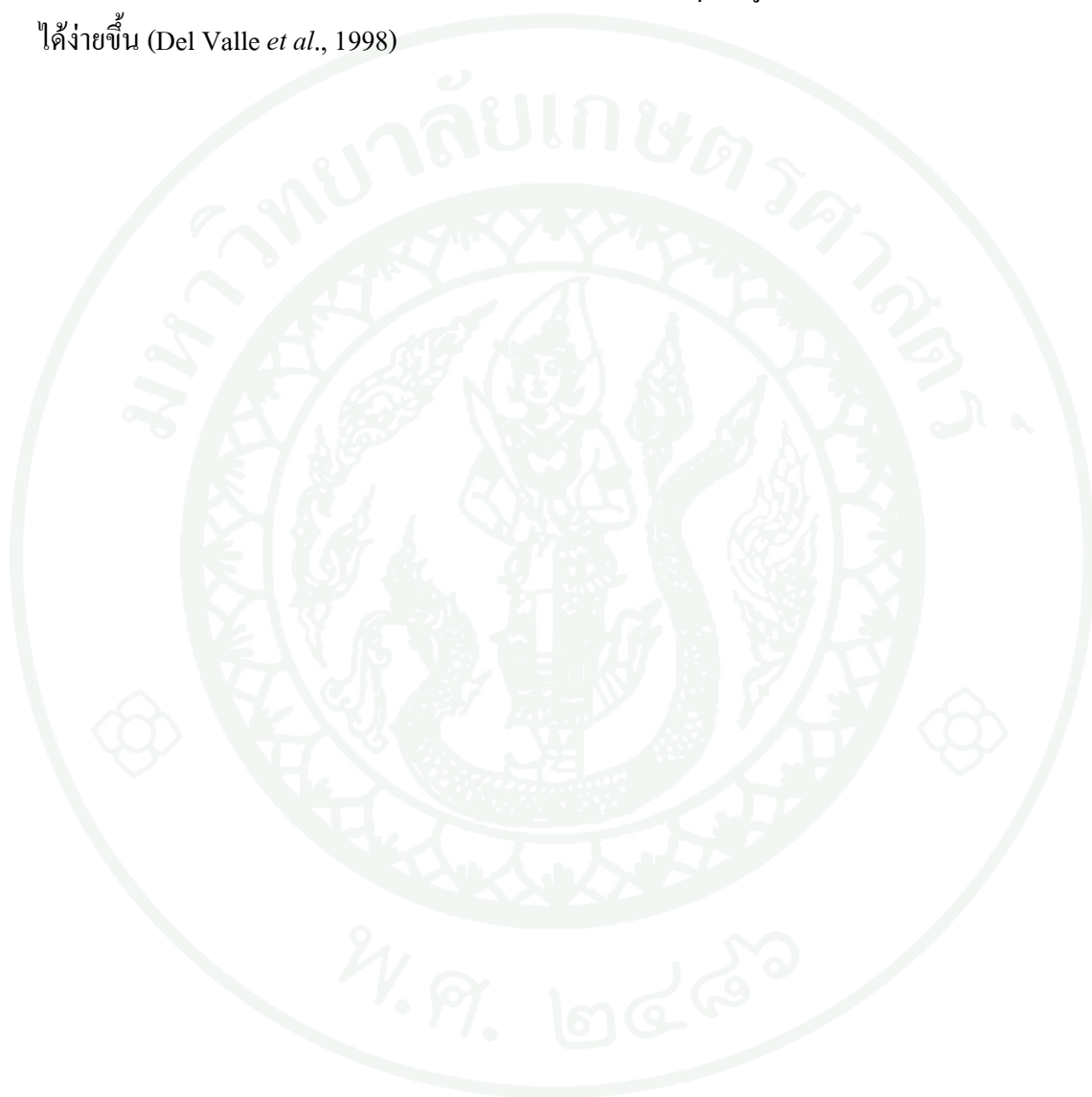


ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

6.1.3 ค่าความแข็ง

จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งระหว่างการเก็บรักษา พบว่าความแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจากนั้นจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยค่าความแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 20 วันแรก 8 วันแรก และ 4 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 24 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาพบว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจัดเป็น

อาหารที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ มีสถานะเป็น glassy state การเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำจึงช่วยชะลอความหืน และการแข็งตัวของผลิตภัณฑ์ ช่วยรักษาโครงสร้างทำให้การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสเกิดได้ช้าลง แต่เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงขึ้น เนื่องจากการดูดความชื้นจากอากาศ ส่งผลให้ค่า glass transition temperature (T_g) มีแนวโน้มลดลง ทำให้การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาเกิดได้ง่ายขึ้น (Del Valle *et al.*, 1998)



ตารางที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (นิวตัน) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	$0.084^c \pm 0.02$	$0.084^c \pm 0.02$	$0.084^c \pm 0.02$
2	ND*	ND*	$0.166^b \pm 0.06$
4	$0.111^{deB} \pm 0.02$	$0.170^{bA} \pm 0.03$	ND*
6	ND*	ND*	$0.258^a \pm 0.03$
8	$0.147^{cdB} \pm 0.03$	ND*	$0.271^{aA} \pm 0.05$
10	ND*	ND*	$0.247^a \pm 0.05$
12	$0.188^{cB} \pm 0.06$	ND*	ND
16	ND*	$0.280^a \pm 0.03$	ND
20	ND*	$0.290^a \pm 0.04$	ND
24	ND*	$0.311^a \pm 0.07$	ND
28	$0.285^{aA} \pm 0.04$	$0.302^{aA} \pm 0.06$	ND
32	ND*	$0.310^a \pm 0.07$	ND
36	$0.301^{aA} \pm 0.06$	$0.294^{aA} \pm 0.05$	ND
40	$0.299^a \pm 0.58$	ND	ND
44	ND*	ND	ND
48	ND*	ND	ND
52	$0.300^a \pm 0.92$	ND	ND
56	$0.310^a \pm 0.24$	ND	ND
60	$0.297^a \pm 0.47$	ND	ND
64	$0.298^a \pm 0.82$	ND	ND
68	$0.292^a \pm 0.72$	ND	ND
72	$0.287^{ab} \pm 0.58$	ND	ND
76	$0.279^{ab} \pm 0.40$	ND	ND

หมายเหตุ ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากไม่อยู่ในช่วงความถี่ของการสุ่มตรวจ

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

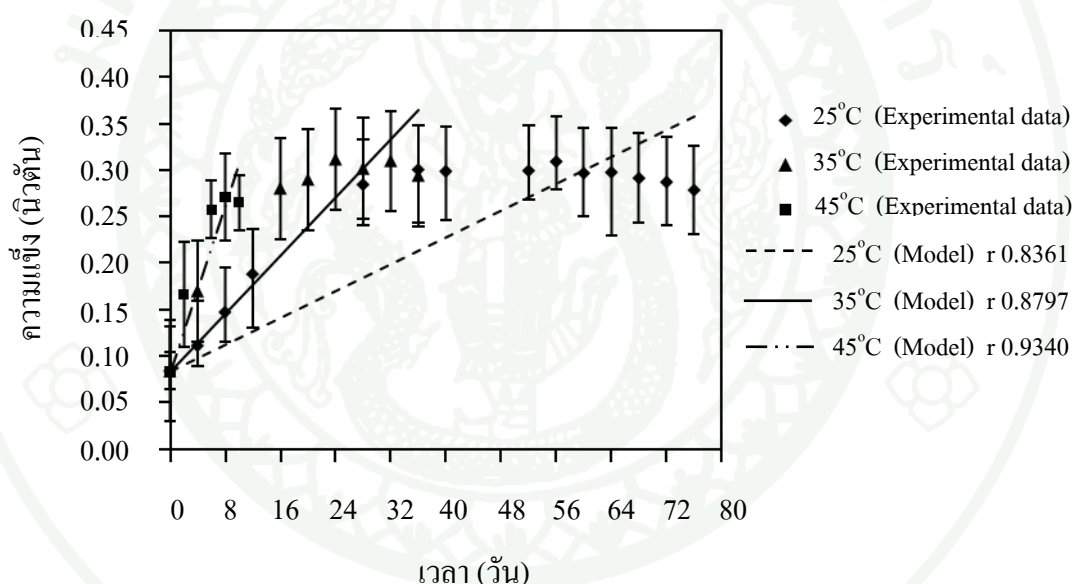
ตัวอักษร ^{a-c} ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-C} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ด้วยสมการ Zero order kinetic model พบว่าค่าคงที่อัตรา (k) มีค่าแตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) โดยค่า k มีค่าเท่ากับ 0.0036, 0.0078 และ 0.0221 นิวตันต่อวัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรง เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส(Arrhenius) ดังสมการที่ 4 พบว่ามีค่า E_a เท่ากับ 71.34 kJ/mol และมี k_0 เท่ากับ 1.10×10^{10} นิวตันต่อวัน เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าสมการ Zero order kinetic model มีความสามารถในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงในระหว่างการเก็บรักษาได้สูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และความสามารถในการทำนายมีค่าลดลงเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของสัณฐานน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

6.2 คุณภาพทางเคมี

6.2.1 ปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น พบว่าในช่วงแรกของการเก็บรักษาปริมาณความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นจึงมีค่าคงที่ในช่วงท้ายของการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่ามีค่าเท่ากับ 12.46, 11.68 และ 10.91 (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับซึ่งมีค่าอยู่ในข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน พบว่าการเก็บรักษาในช่วงวันที่ 12 ถึงวันที่ 36 อุณหภูมิไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
0	9.16 ^k ± 0.30	9.16 ^f ± 0.30	9.16 ^c ± 0.30
2	ND*	ND*	10.04 ^d ± 0.06
4	10.10 ^{ib} ± 0.13	10.16 ^{eb} ± 0.15	10.41 ^{ca} ± 0.08
6	ND*	ND*	10.64 ^b ± 0.10
8	10.73 ^{ia} ± 0.14	10.43 ^{db} ± 0.13	10.83 ^{abA} ± 0.06
10	ND*	ND*	10.91 ^a ± 0.16
12	10.89 ^{hiA} ± 0.08	10.82 ^{ca} ± 0.10	ND
16	11.18 ^{ghA} ± 0.50	10.88 ^{ca} ± 0.07	ND
20	11.26 ^{fgNS} ± 0.03	11.13 ^{ba} ± 0.16	ND
24	11.28 ^{fgA} ± 0.30	11.46 ^{aA} ± 0.05	ND
28	11.49 ^{efgA} ± 0.14	11.54 ^{aA} ± 0.07	ND
32	11.51 ^{efgA} ± 0.10	11.60 ^{aA} ± 0.06	ND
36	11.52 ^{efgA} ± 0.11	11.68 ^{aA} ± 0.19	ND
40	11.56 ^{efg} ± 0.11	ND	ND
44	11.60 ^{ef} ± 0.57	ND	ND
48	11.70 ^{de} ± 0.09	ND	ND
52	11.83 ^{cde} ± 0.21	ND	ND
56	12.03 ^{cd} ± 0.37	ND	ND
60	12.05 ^{bcd} ± 0.08	ND	ND
64	12.18 ^{abc} ± 0.15	ND	ND
68	12.20 ^{abc} ± 0.12	ND	ND
72	12.43 ^{ab} ± 0.02	ND	ND
76	12.46 ^a ± 0.10	ND	ND

หมายเหตุ ND* หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากไม่อยู่ในช่วงความถี่ของการสุ่มตรวจ

ND หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

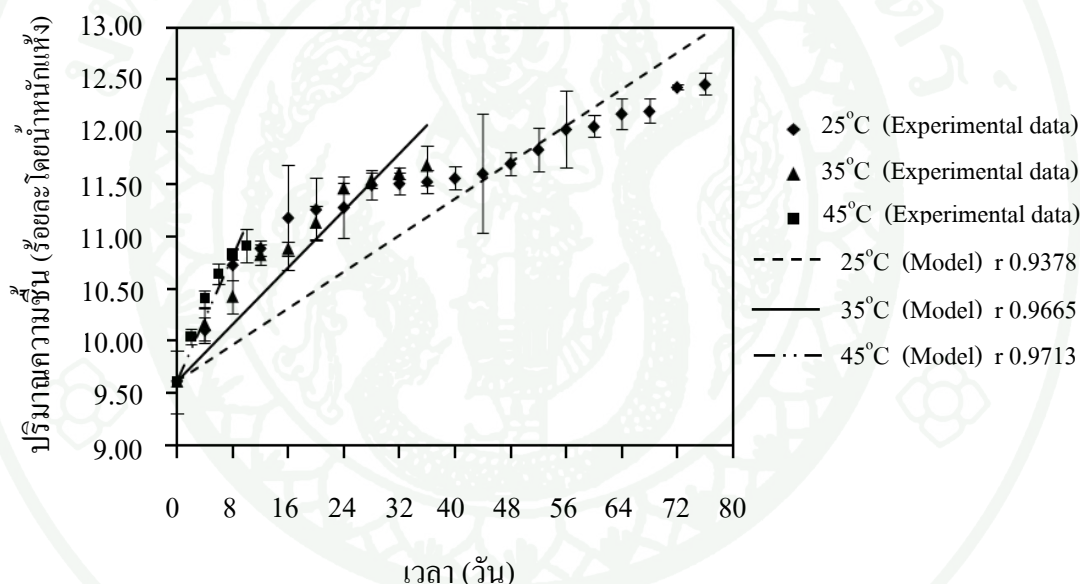
ตัวอักษร ^{a-k} ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-B} ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงสิ่งทดลองในแนวนอนมีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ด้วยสมการ Zero order kinetic model พบว่าค่าคงที่อัตรา (k) มีค่าแตกต่างกันตามอุณหภูมิในการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) โดยค่า k มีค่าเท่ากับ 0.0437, 0.0681 และ 0.1496 ร้อยละต่อวัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นเนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาโดยใช้สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังสมการที่ 4 พบว่ามีค่า E_a เท่ากับ 48.32 kJ/mol และมี k_0 เท่ากับ ร้อยละ 1.21×10^7 ต่อวัน เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าสมการ Zero order kinetic model มีความสามารถในการทำนายการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียสได้ดี แต่ความสามารถในการทำนายจะมีค่าลดลงสำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของสัสน้ำผึ้งแอ้มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตรา (k) ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านค่าสี ความแตกต่างของค่าสีทั้งหมด (ΔE^*) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ค่าความแข็งและปริมาณความชื้น (ตารางที่ 26) พบว่าค่าคงที่อัตราที่มีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น แสดงว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเร่งให้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อพิจารณาค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) พบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านค่าวอเตอร์แอคทิวิตีและปริมาณความชื้นมีค่า E_a ต่ำกว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านค่าสีและความแข็ง แสดงว่าค่าวอเตอร์แอคทิวิตี

และปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยที่ถูกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยอุณหภูมิในการเก็บรักษาได้ง่ายที่สุด

ตารางที่ 26 ค่าคงที่อัตรา (k) ค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส (k_0) ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

คุณภาพ	k (หน่วยต่อวัน)			E_a (kJ/mol)	k_0 (หน่วยต่อวัน)
	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส		
ค่า L^*	0.0750	0.2010	0.6794	86.68	1.12×10^{14}
ค่า a^*	0.0957	0.2182	0.7106	78.00	5.81×10^{12}
ค่า b^*	0.2912	0.5310	1.8065	71.61	9.30×10^{11}
ค่า ΔE^*	0.3173	0.6411	2.0706	73.67	2.38×10^{12}
ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี	0.0010	0.0010	0.0029	41.47	1.56×10^4
ความแข็ง (N)	0.0036	0.0078	0.0221	71.34	1.10×10^{10}
ความชื้น	0.0437	0.0681	0.1496	48.32	1.21×10^7

สำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา ด้านค่าวอเตอร์แอคทิวิตีพบว่ามีความอยู่ในช่วง 0.419 ถึง 0.492 และมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 9.16 ถึง 12.46 (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพดังกล่าวกับประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง พบว่าสัมผัสสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งยังคงคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าว

6.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

เมื่อทำการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่าสัมผัสสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli* ปริมาณยีสต์และราอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยเป็นไปตามประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง ตลอดระยะเวลาและทุกอุณหภูมิในการเก็บรักษาดังแสดงในตารางที่ 27 ทั้งนี้เนื่องจากสัมผัสสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่า 0.75 ส่งผลให้สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

ตารางที่ 27 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

เชื้อจุลินทรีย์	อุณหภูมิในการเก็บรักษา		
	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
	76 วัน	36 วัน	10 วัน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	2.5x10*	2.0x10*	1.0x10*
<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	< 3	< 3	< 3
ยีสต์ (cfu/g)	< 10*	< 10*	< 10*
รา (cfu/g)	< 10*	< 10*	< 10*

หมายเหตุ * หมายถึง Estimated Standard Plate Count (ESPC)

6.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พร้อมทั้งสอบถามการยอมรับ โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปที่เคยรับประทานผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจำนวน 30 คน ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซึ่งทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าวันแรกของการเก็บรักษาผู้บริโภคร้อยละ 99.33 ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์จะหมดอายุการเก็บรักษาเมื่อผู้บริโภคให้การยอมรับน้อยกว่าร้อยละ 50 จากตารางที่ 28 พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลาไม่เกิน 76, 36 และ 10 วัน ซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 43.33, 40.00 และ 36.67 ตามลำดับ

ตารางที่ 28 คะแนนความชอบเฉลี่ยและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อส้มสายน้ำผึ้งแช่แข็ง
อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ ในการเก็บรักษา	สี	เนื้อสัมผัส	รสชาติโดยรวม	ความชอบรวม	ร้อยละ การยอมรับ
25 องศาเซลเซียส					
0 วัน	7.73 ^A ± 0.39	6.90 ^A ± 0.84	7.07 ^A ± 1.05	7.13 ^A ± 1.04	99.33
64 วัน	5.23 ^B ± 1.01	6.03 ^B ± 0.81	6.13 ^B ± 1.01	5.63 ^B ± 1.13	63.33
76 วัน	4.40 ^C ± 1.52	5.87 ^B ± 1.04	6.10 ^B ± 1.09	5.47 ^B ± 1.20	43.33
35 องศาเซลเซียส					
0 วัน	7.73 ^a ± 0.39	6.90 ^a ± 0.84	7.07 ^a ± 1.05	7.13 ^a ± 1.04	99.33
24 วัน	4.77 ^b ± 1.65	6.10 ^b ± 0.16	6.17 ^b ± 1.02	5.63 ^b ± 1.27	76.67
36 วัน	4.07 ^c ± 1.31	5.83 ^b ± 0.99	5.83 ^b ± 1.32	4.80 ^c ± 1.06	40.00
45 องศาเซลเซียส					
0 วัน	7.73 ^A ± 0.39	6.90 ^A ± 0.84	7.07 ^A ± 1.05	7.13 ^A ± 1.04	99.33
8 วัน	4.70 ^B ± 1.78	6.03 ^B ± 1.19	6.37 ^B ± 1.27	5.80 ^B ± 1.32	66.67
10 วัน	3.67 ^C ± 1.40	5.53 ^B ± 1.55	5.33 ^C ± 1.56	4.87 ^C ± 1.50	36.67

หมายเหตุ ตัวอักษร ^{A-C} ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{a-c} ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร ^{A-C} ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งหมายถึงสิ่งทดลองในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดสอบความชอบ สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 64 และ 76 วัน พบว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ในขณะที่คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัส รสชาติโดยรวม และความชอบรวม มีค่าไม่แตกต่างกันสำหรับการเก็บรักษาเป็นเวลา 64 และ 76 วัน แต่มีค่าน้อยกว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยในวันแรกของการเก็บรักษา สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 24 และ 36 วัน พบว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี ความชอบรวม

และร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ในขณะที่คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติโดยรวมมีค่าไม่แตกต่างกันสำหรับการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 และ 36 วัน แต่มีค่าน้อยกว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยในวันแรกของการเก็บรักษา สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 8 และ 10 วัน พบว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี รสชาติโดยรวม ความชอบรวมและร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นดังแสดงในตารางที่ 28

เมื่อพิจารณาการทดสอบความชอบในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีมีค่าน้อยที่สุดในทุกอุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำและมีความเป็นสีส้มลดลง ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ต้องการส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่าค่าสีเป็นดัชนีบ่งชี้การเสื่อมเสียที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ส้มสายน้ำผึ้งหมักอบแห้ง ดังนั้นการทำนายอายุการเก็บรักษาควรทำนายจากการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากในการทดสอบอายุการเก็บรักษาพบว่าความชอบในด้านสีเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจยอมรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการทำนายอายุการเก็บรักษาจากการเสื่อมเสียคุณภาพในด้านสีจึงใช้ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 64, 24 และ 8 วัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเกณฑ์ในการทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์จะหมดอายุการเก็บรักษาเมื่อมีค่า L^* , a^* และ b^* ต่ำกว่า 43.70, 18.81 และ 20.22 ตามลำดับ เมื่อทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าสี ดังสมการที่ 5 ด้วยค่าค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) และค่าคงที่สมการอาร์เรเนียส (k_0) ดังแสดงในตารางที่ 26 พบว่าผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษา (โดยการทำนาย) ไม่เกิน 68, 24 และ 8 วัน สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยคือ การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบ ศึกษาอิทธิพลของสารละลายออสโมซิสที่ใช้ต่อการถ่ายเทมวลสาร ระหว่างการออสโมซิสส้มสายน้ำผึ้ง การพัฒนากระบวนการอบแห้ง การศึกษาคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งเพื่อให้เป็นไปตามประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคและการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา จากการดำเนินการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการศึกษาคุณภาพวัตถุดิบ พบว่าส้มสายน้ำผึ้งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 10.32 องศาบริกซ์ ค่าสี L^* , a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 48.05, 4.19 และ 13.77 ตามลำดับ มีความชื้นร้อยละ 88.89 เบต้าแคโรทีน 213.27 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และวิตามินซี 24.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

2. ในกระบวนการออสโมซิส การเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารละลายออสโมซิส มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น การอบแห้งส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่ม โดยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที สามารถทำการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งได้ด้วยแบบจำลอง Page's model เช่นเดียวกับการอบแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศด้วยกำลังไมโครเวฟ 960 วัตต์ และ 1,280 วัตต์ เป็นเวลา 7 และ 5 นาที ตามลำดับ โดยคุณภาพด้านสีของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งมีค่าสูงสุดเมื่อทำการอบแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศ นอกจากนี้ปริมาณเบต้าแคโรทีนของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งมีค่าสูงสุดเมื่อทำการอบแห้งโดยไมโครเวฟสุญญากาศ และการอบแห้งโดยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ

3. กระบวนการออสโมซิสส้มสายน้ำผึ้งที่เหมาะสม คือการออสโมซิสส้มสายน้ำผึ้งด้วยสารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลีเซอรอลในอัตราส่วน 7:3 เป็นเวลา 390 นาที สำหรับกระบวนการอบแห้งส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มชนิดดั้งเดิม คือการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที และกระบวนการอบแห้งส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มชนิดพอง คือการอบแห้งส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ร่วมกับการอบแห้ง

ด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 1,280 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที โดยสัณสายน้ำผึ้งแช่อบแห้งมีคุณภาพเป็นไปตามประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มผช.138/2550)

4. การศึกษาการยอมรับยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมในระดับชอบปานกลาง และผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์สัณสายน้ำผึ้งแช่อบแห้งร้อยละ 87.33 มีความสนใจซื้อร้อยละ 78.67 แต่ไม่พบข้อมูลทางประชากรศาสตร์ที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับและความสนใจซื้อของผลิตภัณฑ์

5. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา พบว่าค่าสีเป็นดัชนีบ่งชี้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยค่าสี L^* , a^* และ b^* มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น และสามารถอธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาได้ด้วยสมการอาร์เรเนียส

ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ได้รับข้อเสนอแนะว่าควรเพิ่มรสเปรี้ยวให้กับผลิตภัณฑ์เนื่องจากผลิตภัณฑ์สัณสายน้ำผึ้งแช่อบแห้งมีรสหวานเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงควรทำการกำหนดคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ให้มีปริมาณกรดทั้งหมดสูงขึ้นเพื่อปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์

2. เนื่องจากสัณสายน้ำผึ้งแช่อบแห้งเกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาสีน้ำตาล ดังนั้นจึงควรทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพที่บดแสงและปราศจากออกซิเจน เพื่อช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

3. ควรนำสัณสายน้ำผึ้งแช่อบแห้งมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น เค้กผลไม้หรือใช้เป็นส่วนผสมในแฮมสแลม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2541. ประวัติส้มโชกุน. แหล่งที่มา: <http://yala.doe.go.th/data/chokun01.doc>, 2 กรกฎาคม 2550.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2549. วัตถุดิบอาหารประเภทที่ใช้เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บของอาหาร. แหล่งที่มา: <http://library.dip.go.th/multim6/edoc/16730.pdf>, 28 เมษายน 2553.

การไฟฟ้านครหลวง. 2549. ค่าไฟฟ้า. แหล่งที่มา: <http://www.mea.or.th/internet/Elecvalue/tarifftype6.htm>, 8 กันยายน 2552.

_____. 2546. ผลไม้อบแห้งและผลไม้แช่อิ่ม. แหล่งที่มา: <http://doae.go.th>, 13 มิถุนายน 2550.

กานต์ณลิน คงศักดิ์, สริญญา บริบูรณ์างกูร และบุศราภรณ์ มหาโยธี. 2548. การพัฒนากระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ปราศจากสารกลุ่มเมตาโบไลต์ และไม่มีสารเคมีวัตถุกันเสีย. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

กอบพัชรกุล เป็นบุญ. 2550. การอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อนและเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟ. สุนทรียาภาส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

จริงแท้ สิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จุฑามาศ นิวัฒน์. 2542. การทำแห้งสับประรดด้วยวิธีออสโมซิสระบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดวงกลม แก้วพิมพา, นิสารัตน์ ตามสมัคร และสุรัตน์ สุขด้อย. 2548. การปฏิบัติการเบื้องต้นในการลดความชื้นของเห็ดหอมด้วยสารละลายเกลือแกง เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด. สาขาวิชาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ธนัท อ้วนอ่อน. 2546. การปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตกล้วยตาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธัญนันท์ ฤทธิมณี. 2549. การพยากรณ์คุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งหลังการขนส่งทางรถบรรทุกโดยใช้เครื่องถ่ายภาพระยะไกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นิรนาม. 2549. การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรด้วยเทคโนโลยีสุญญากาศ. แหล่งที่มา: <http://www.protradecommercial.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=194906&Ntype=1>, 6 ธันวาคม 2549.

นิราศ กิ่งวาที. 2546. การใช้สารดูดความชื้นในการปรับปรุงคุณภาพสับปะรดเชื่อมอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2546. การใช้สารดูดความชื้นในการปรับปรุงคุณภาพสับปะรดเชื่อมอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. อ้างถึง Ponting, J.D., G.G. Watters, R.R. Forrey, R. Jackson and W.L. Stanley. 1966. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**. 20: 125-128.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. โอเคเอ็นสโตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยะนุช คันโธ. 2545. การยืดอายุการเก็บรักษานมเปี้ยวโดยใช้สารลดค่าออกเตอรแอกติวิตีและบรรจุภัณฑ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เปรมปรี ฌ สงขลา. 2544. คู่มือการทำสวนส้มอย่างมืออาชีพ. เคหะการเกษตร ฐานการพิมพ์จำกัด, กรุงเทพฯ.

ฝ่ายข้อมูลการวิเคราะห์กองโภชนาการ. 2540. **องค์ประกอบทางอาหาร**. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2551. **ส้มเขียวใหม่หรือจะสู้ FTA**. เปิดโลกเกษตร กับ ดร.พรชัย. แหล่งที่มา: <http://www.kasetcity.com/index.asp>, 27 ธันวาคม 2552.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2532. **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร**. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ไพศาล วุฒิจำนงค์ และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2549. หลักการแปรรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคใหม่, น. 208-229. ใน รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, บรรณาธิการ. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร**. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพโรจน์ วิริยะจารี. 2539. **อาหารกึ่งแห้ง**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่

ภูริดา เกิดเดโช. 2546. **ประโยชน์จากส้ม**. แหล่งที่มา: <http://arcbs.bsru.ac.th>, 30 มิถุนายน 2550.

มงคล แซ่หลิม. 2535. **การผลิตส้ม**. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

รพีพร ตลับใหม่. 2551. **การพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดเชื่อมอบแห้งด้วยเทคนิคเครื่องข่ายประสาทเทียม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. **การพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดเชื่อมอบแห้งด้วยเทคนิคเครื่องข่ายประสาทเทียม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. อ้างถึง Ponting, J.D., G.G. Watters, R.R. Forrey, R. Jackson and W.L. Stanley. 1966. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**. 20: 125-128.

รวี เสฐภักดี. 2523. **บทปฏิบัติการวิชาหลักการผลไม้**. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรพจน์ สุนทรสุข, จิรวัดน์ กันต์เกรียงวงศ์, สุระกิต จิระสานต์ และ ปรรณนา วันพระแก้ว.

2547. การผลิตน้ำหมักป้องกันแมลงศัตรูพืชด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ.

สงขลานครินทร์. 26(3) : 393-401.

วาสนา สิทธิรังสรรค์. 2544. กลยุทธ์การตลาดของผู้ประกอบการส้มสายน้ำผึ้งในจังหวัดเชียงใหม่.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2546. คุณสมบัติและประโยชน์ของกลีเซอรอล. วารสารอาหาร.

33(2): 87-89.

วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจ

การเกษตร ปี 2550. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร. 2550. อาหารกับ

สุขภาพ. Sugar Substitutes : Low – Carbohydrate Sweetener. แหล่งที่มา: http://www.tistr-foodprocess.net/food_health/food_health13.htm, 28 เมษายน 2553.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2535. เทคโนโลยีการระเหยน้ำ. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง.

มผช.136/2550.

สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร. 2548. สัมพันธ์ที่ปลูกเป็นการค้าในบ้านเรา. แหล่งที่มา :

http://ndoe.doe.go.th/news/news_026.html, 2 กรกฎาคม 2550.

สุธีรา เลิศวุฒิชัยกุล. 2540. การลดเวลาในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง. วิทยานิพนธ์

ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- สุธีรา เลิศวุฒิชัยกุล. 2540. การลดเวลาในการผลิตสับประรดแช่อิ่มอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. อ้างถึง Levi, A., S. Gagel and B. Juven. 1983. Intermediate moisture tropical fruit product for developing countries : I. Technological data on papaya. **Food Technology**. 667-685.
- สุวิษ ศิริวัฒน์โยธิน. 2544. แบบจำลองการทำแห้งพริกไทยด้วยเครื่องอบแห้งถังหมุนระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ. แหล่งที่มา : <http://www.kmutt.ac.th/rippc/pepper.htm>, 13 มิถุนายน 2550.
- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม และคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2546. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ. 2545. การศึกษาแบบจำลองการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟกับพริกไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- Aghbashlo, M., M.H. Mohammad and A. Arabhosseini. 2009. Modeling of thin-layer drying of potato slices in length of continuous band dryer. **Energy Conversion and Management**. 50: 1348-1355.
- Agnelli, M.E., C.M. Marani and R.H. Mascheroni. 2005. Modelling of heat and mass transfer during (osmo) dehydrofreezing of fruits. **Journal of Food Engineering**. 69(4): 415-424.
- Al-Harashsheh, M., A.H. Al-Muhtaseb and T.R.A. Magee. 2009. Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration. **Chemical Engineering and Processing**. 48: 524-531.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th ed., The Association of Official Analytical Chemists, Maryland, U.S.A.

- AOAC. 1997. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 16th ed.,
The Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Azoubel, P.M. and F.E.X. Murr. 2004. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**. 61: 291-295.
- Changrue, V., V. Orsat and G.S.V. Raghavan. 2008. Osmotically dehydrated microwave-vacuum drying of strawberries. **Journal of Food Processing and Preservation**. 32: 798-816.
- Chong, C.H., C.L. Law, M. Cloke, C.L. Hii, L.C. Abdullah and W.R.W. Daud. 2008. Drying kinetics and product quality of dried Chempedak. **Journal of Food Engineering**. 88: 522-527.
- Clubbs, E.A., E. Vittadini, T.H. Shellhammer and Y. Vodovotza. 2005. Changes in the mechanical properties of corn tortillas due to the addition of glycerol and salt and selective high pressure treatments. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 6: 304-309.
- Del Valle, J.M., T.R.M. Cuadros and J.M. Aguilera. 1998. Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces. **Food Research International**. 31(3): 191-204.
- Department of medical sciences. 2003. **Compendium of methods for food analysis**.
Department of Medical Sciences and National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. Thailand.
- Doymaz, I. 2005. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**. 69: 161-165.

- Durance, T. D., and J.H. Wang. 2002. Energy consumption, density, and rehydration rate of vacuum microwave-and hot-air convection-dehydrated tomatoes. **Journal of Food Science**. 67: 2212-2216.
- Eren, I. and F.K. Ertekin. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**. 79: 433-352.
- Erle, U. and Schubert. 2001. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. **Journal of Food Engineering**. 49: 193-199.
- Ertekin, F.K. and T. Cakalo. 1996. Osmotic dehydration of peas : influence of process variables on mass transfer. **Journal of Food Processing and preservation**. 20: 87-104.
- Escobar, M.P., F.G. Galindo, L. Wadso, J.R. Najera and I. Sjöholm. 2007. Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots (*Daucus carota* L. cv. Nerac). **Journal of Food Engineering**. 81: 313-317.
- Figiel, A. 2009. Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices. **Journal of Food Engineering**. 94: 98-104.
- Food and Drug Administration. 2001. **Bacteriological Analytical Manual of food**. FDA, Arlington, VA.
- Giri, S.K. and S. Prasad. 2006. Modeling shrinkage and density changes during microwave-vacuum drying of button mushroom. **International Journal of Food Properties**. 9: 409-419.
- _____ and _____. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**. 78: 512-521.

- Heredia, A., C. Barrera and A. Andrés. 2007. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. **Journal of Food Engineering**. 80: 111-118.
- Hu, Q., M. Zhang, A.S. Mujumdar, G. Xiao and J. Sun. 2006. Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination. **Journal of Food Engineering**. 77: 977-982.
- Ihsan, K., T. Ali, D. Ayhan, T. Semra and O. Bulent. 2007. Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.) **LWT-Food Science and Technology**. 40: 753-758.
- Kaymak-Ertekin, F. and M. Sultanoglu, (2000). Modeling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**. 46: 243-250.
- Khin, M.M., W. Zhou and C.O. Perera. 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: 817-827.
- Khoyi, M.R. and J. Hesari. 2007. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. **Journal of Food Engineering**. 78: 1355-1360.
- Kolawole, O.F., C.I. Joseph and A.A. Funke. 2007. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. **Journal of Food Engineering**. 80: 979-985.
- Lazarides, H.N. 2001. Reason and Possibilities to Control Solid Uptake during Osmotic Treatment of Fruit and Vegetables, pp. 33-40. *In* P. Fito, A. Chiralt, J.M. Barat, W.E.L. Spiess and D. Behnlian., Eds. **Food Preservation Technology Series, Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation**. Technomic Publishing Company, Inc. USA.

- Lin, T.M., T.M. Durance and C.H. Scaman. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. **Food Research International**. 31(2): 111-117.
- Liu, C., X. Zheng, S. Jia, N. Ding and X. Gao. 2009. Comparative Experiment on Hot-Air and Microwave-Vacuum Drying and Puffing of Blue Honeysuckle Snack. **International Journal of Food Engineering**. 5(4): 1-9.
- Mahayothee, B., P. Udomkun, M. Nagle, M. Haewsungcharoen, S. Janjai and J. Mueller. 2009. Effects of pretreatments on colour alterations of litchi during drying and storage. **Europe Food Research Technology**. 229: 329-337.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. **Journal of Food Engineering**. 44: 71-78.
- McMinn, W.A.M. 2006. Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. **Journal of Food Engineering**. 72: 113-123.
- Moreira, R., F. Chenlo, M.D. Torres and G. Vazquez. 2007. Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. **LWT-Food Science and Technology**. 40: 1507-1514.
- Moreno, J., A. Chiralt, I. Escriche and J.A. Serra. 2000. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. **Food Research International**. 33: 609-616.
- Orikasa, T., L. Wu, T. Shiina and A. Tagawa. 2008. Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying. **Journal of Food Engineering**. 85: 303-308.

- Panagiotou, N.M., V.T. Karathanos and Z.M. Maroulis. 1998. Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. **International Journal of Food Science and Technology**. 33: 267-284.
- Pappas, C., E. Tsami and D. Marinos-Kouris. 1999. The effect of process conditions on the drying kinetics and rehydration characteristics of some mw-vacuum dehydrate fruits. **Drying Technology**. 17: 157-174.
- Raoult-Wack, A.L. 1994. Recent advance in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology**. 5: 255-260.
- Ressing, H., M. Rassing and T. Durance. 2007. Modeling the mechanisms of dough puffing during vacuum microwave drying using the finite element method. **Journal of Food Engineering**. 82: 498-508.
- Roberts, J.S., D.R. Kidd and O. Padilla-Zakour. 2008. Drying kinetics of grape seeds. **Journal of Food Engineering**. 89: 460-465.
- Sablani, S.S. and M.S. Rahman. 2003. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. **Food Research International**. 36: 65-71.
- Sacilik, K. and A.K. Elicin. 2006. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. **Journal of Food Engineering**. 73: 281-289.
- Shi, J. X., M. L. Magure, S. L. Wang and A. Liptay. 1997. Application of osmotic treatments in tomato processing-effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. **Food Research International**. 30: 669-674.
- _____, Z. Pan, T.H. McHugh and E. Hirschberg. 2009. Effect of Infusion Method and Parameters on Solid Gain in Blueberries. **Food Bioprocess Technol**. 2: 271-278.

- Singh, B., P.S. Panesar and V. Nanda. 2008. Osmotic dehydration kinetics of carrot cubes in sodium chloride solution. **International Journal of Food Science and Technology**. 43: 1361-1370.
- Singh, R. P. 1994. Scientific principles of shelf life evaluation, pp. 3-26. *In* C. M. D. Man and A. A. Jones., Eds. **Shelf life Evaluation of Foods**. Blackie Academic and Professional, London.
- Tajner-Czopek, A., A. Figiel and A.A. Carbonell-Barrachina. 2008. Effects of potato strip size and pre-drying method on french fries quality. **European Food Research and Technology**. 227: 757-766.
- Togrul, I.T. and A. Ispir. 2007. Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. **Energy Conversion and Management**. 48: 2611-2621.
- Tonon, R. V., A. F. Baroni and M. D. Hubinger. 2007. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**. 82: 509-517.
- Wojdylo, A., A. Figiel and J. Oszmianski. 2009. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 57: 1337-1343.
- Yousif, A.N., T.D. Durance, C.H. Scaman and B. Girard. 2000. Headspace Volatiles and Physical Characteristics of Vacuum-microwave, Air, and Freeze-dried Oregano (*Lippia berlandieri* Schauer). **Journal of Food Science**. 65: 926-930.

Zhang, J., M. Zhang, L. Shan and Z. Fang. 2007. Microwave-vacuum heating parameters for processing savory crisp bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) slices. **Journal of Food Engineering**, 79: 885-891.







1. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS)

นำตัวอย่างส้มสายน้ำผึ้งสดหรือส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งมาตัดเป็นชิ้นแล้วกรองตัวอย่างนำของเหลวที่กรองได้หยดลงในช่องวัดค่า จากนั้นกดปุ่ม START แล้วอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ปรากฏบนหน้าจอเครื่อง

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

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

3. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w)

นำตัวอย่างส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งมาตัดให้มีขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุลงในดิสก์พลาสติกสำหรับวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี โดยบรรจุตัวอย่างประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณบรรจุของดิสก์ นำดิสก์ใส่ใน chamber ของเครื่องวัดค่า แล้วอ่านค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่ปรากฏบนหน้าจอเครื่อง

4. การวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness)

ทำการวัดค่าความแข็ง ด้วยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Lloyd Instrument รุ่น TA500 ด้วยวิธีการวัดค่าแบบ Single Hardness โดยใช้หัวกดแบบหัวกลม (ball probe) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และฐานรองรับรูปทรงกระบอกกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร โดยกดลงบนตัวอย่างด้วยความเร็ว 0.8 มิลลิเมตรต่อวินาที



ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในจานอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 13.33 กิโลปาสกาล ประมาณ 24 ชั่วโมง รอให้จานอลูมิเนียมเย็นในเดสิคเคเตอร์ (desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักที่ได้ จากนั้นทำการอบซ้ำนานครั้งละ 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

เตรียมโดยละลายโพแตสเซียมโซเดียมคาร์เตรต (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 สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินความเข้มข้น 0.1% ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95%

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

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

3.2.2 ปิเปิดตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

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

3.2.4 บันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ไทเทรต แล้วคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูป กรดซิตริกจากสูตร

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

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

น้ำหนักสมมูลของกรดซิตริกเท่ากับ 70.05

4. การวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส (pH)

4.1 นำตัวอย่างมาป่นด้วยเครื่องป่น จากนั้นชั่งตัวอย่างปริมาณ 10 กรัม ลงใน บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

4.2 ทำการเทียบมาตรฐานเครื่อง pH meter โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 7

4.3 จุ่มหัววัดเครื่อง pH meter ลงในตัวอย่าง แล้วอ่านค่า pH ที่ปรากฏบนหน้าจอ

5. การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β -carotene)

5.1 สารเคมีและอุปกรณ์

- 5.1.1 สารละลายเบต้าแคโรทีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 2.0, 1.0, 0.5, 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 5.1.2 เฮกเซน, เอทิลอะซิเตท, อะซิโตนไนไตรล์, เมทานอล, ปิโตรเลียมอีเทอร์ และไอโซโพรพานอล
- 5.1.3 เครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) คอลัมน์ Hypersil ODS C18 (4x250 มิลลิเมตร, 5 ไมโครเมตร)
- 5.1.4 เครื่อง Electronic balance
- 5.1.5 เครื่อง Centrifuge
- 5.1.6 เครื่อง Spectrophotometer
- 5.1.7 เครื่อง Rotary evaporator
- 5.1.8 เครื่อง Vortex

5.2 การเตรียมตัวอย่าง

- 5.2.1 นำตัวอย่างมาปั่นละเอียดจนเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องบดแล้วเก็บตัวอย่างไว้ในอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส
- 5.2.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 10 ± 0.05 กรัม ลงใน Centrifuge tube ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 5.2.2 เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงใน Centrifuge tube นำไปเข้าเครื่อง Vortex นาน 2 นาที แล้วนำไป Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที
- 5.2.3 ดูดสารส่วนใสด้านบนลงใน Round bottom flask สีชา ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 5.2.4 เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงในภาควัสดุที่เหลือ ทำการสกัดอีก 3 ครั้ง
- 5.2.5 กรองด้วยเยื่อกรองละเอียดในลอนขนาด 0.45 ไมโครเมตร

5.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

5.3.1 นำสารละลายเบต้าแคโรทีนมาตรฐานปริมาตร 30 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง HPLC คอลัมน์ Hypersil ODS C18 (4x250 มิลลิเมตร, 5 ไมโครเมตร) ใช้สารตัวพา เอทิลอะซิเตท : อะซิโตนไนไตรล์ : เมทานอล ในอัตราส่วน 2:88:10 ด้วยอัตราการไหล 1.8 มิลลิิตรต่อนาที

5.3.2 ตรวจสอบปริมาณเบต้าแคโรทีน โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร แล้วนำข้อมูลมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน

5.3.3 นำสารละลายที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง มาทำการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน ด้วยวิธีการในข้อ 5.3.2 จากนั้นจึงคำนวณปริมาณเบต้าแคโรทีน โดยใช้กราฟมาตรฐานเบต้าแคโรทีน

6. การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid)

6.1 สารเคมีและอุปกรณ์

6.1.1 สารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน

ละลาย Ascorbic acid ปริมาณ 100 มิลลิกรัม ใน m-phosphoric acid ความเข้มข้น 3% ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

6.1.2 สารละลายมาตรฐานสำหรับ HPLC

เจือจางสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน (ข้อ 5.1.1) ปริมาณ 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย m-phosphoric acid ความเข้มข้น 3%

6.1.3 m-phosphoric acid (3% W/V)

ละลาย m-phosphoric acid ปริมาณ 30 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

6.1.4 o-Phosphoric acid (0.35% V/V)

6.1.5 เครื่อง Ultrasonic bath

6.1.6 เครื่อง UV detector

6.2 การเตรียมตัวอย่าง

6.2.1 นำตัวอย่างมาปั่นละเอียดจนเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องบดแล้วเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

6.2.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2.5 ± 0.05 กรัม ละลายใน m-phosphoric acid ความเข้มข้น 3% แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

6.2.3 แช่เป็นเวลา 2 นาที่ จากนั้นนำไปแช่ด้วยเครื่อง Ultrasonic bath เป็นเวลา 5 นาที่ แล้วปรับปริมาตรด้วย m-phosphoric acid ความเข้มข้น 3%

6.2.4 กรองด้วยเยื่อกรองละเอียดในลอนขนาด 0.45 ไมโครเมตร

6.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

6.3.1 นำสารละลายมาตรฐานสำหรับ HPLC ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง HPLC คอลัมน์ Lichrocard Lichrospher 100 RP C18 (4x125 มิลลิเมตร, 5 ไมโครเมตร) ใช้สารตัวพาซึ่งเตรียมจากการละลาย potassium dihydrogenphosphate ปริมาณ 0.408 กรัม ในสารละลาย o-Phosphoric acid ความเข้มข้น 0.35% ด้วยอัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที

6.3.2 ตรวจสอบปริมาณกรดแอสคอร์บิก โดยใช้เครื่อง UV detector ที่ความยาวคลื่น 248 นาโนเมตร แล้วนำข้อมูลมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน

6.3.3 นำสารละลายที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง มาทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ด้วยวิธีการในข้อ 5.3.2 จากนั้นจึงคำนวณปริมาณกรดแอสคอร์บิก โดยให้กราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก



1. การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 10 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 90 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 10 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 90 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 โดยทำความสะอาดเจือจางละ 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 โคโลนี ลงใน 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 10 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique ใส่ในถุงสำหรับเครื่องตีปั่น จากนั้นเติม Phosphate Buffer ปริมาตร 90 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

7. นำไปบ่มโดยคว่ำจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง



การการคัดเลือกอัตราส่วนของสารละลายซูโครสและสารละลายกลีเซอรอล

การทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale

วันที่ _____

ตัวอย่าง ส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง

คำแนะนำ กรุณาทำการทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่เสนอ แล้วให้คะแนนความชอบของแต่ละ
คุณลักษณะที่กำหนด

คะแนนความชอบ

9 = ชอบมากที่สุด

8 = ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง

2 = ไม่ชอบมาก

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส _____	รหัส _____	รหัส _____	รหัส _____	รหัส _____
ลักษณะปรากฏ					
สี					
เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม)					
รสหวาน					
รสชาติโดยรวม					
ความชอบรวม					

ขอบคุณค่ะ

การคัดเลือกลักษณะส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง

การทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale

วันที่ _____

ตัวอย่าง ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งชนิดดั้งเดิมและชนิดพอง

คำแนะนำ กรุณาทำการทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่เสนอ แล้วให้คะแนนความชอบของแต่ละ
คุณลักษณะที่กำหนด

คะแนนความชอบ

- | | | |
|-------------------|-------------------------------|---------------------|
| 9 = ชอบมากที่สุด | 8 = ชอบมาก | 7 = ชอบปานกลาง |
| 6 = ชอบเล็กน้อย | 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ | 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย |
| 3 = ไม่ชอบปานกลาง | 2 = ไม่ชอบมาก | 1 = ไม่ชอบมากที่สุด |

คุณลักษณะ	รหัส _____	รหัส _____
ลักษณะปรากฏ		
สี		
เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม)		
รสหวาน		
รสชาติโดยรวม		
ความชอบรวม		

ขอบคุณค่ะ



แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ เรื่องการพัฒนาระบบการผลิตส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง โดย นางสาวคณิตตา พัฒนาภา นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านกรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้และจะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อท่านทั้งสิ้น

คำอธิบาย ผลไม้เชื่อมอบแห้ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้สดมาเชื่อมด้วยน้ำเชื่อมจนอืดว จากนั้นนำมาลดความชื้นโดยใช้แสงแดดหรืออบจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือ

นางสาวคณิตตา พัฒนาภา
ผู้ทำการวิจัย

คำแนะนำ กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงตามความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลด้านความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ส้มสายน้ำผึ้ง
เชื่อมอบแห้ง

1. กรุณาทดสอบตัวอย่าง โดยสังเกตลักษณะปรากฏของส้มสายน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งแล้วทดสอบตัวอย่างและให้คะแนนความชอบในด้าน ลักษณะปรากฏ, เนื้อสัมผัส, รสชาติโดยรวม และ ความชอบรวม โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงตามความรู้สึของท่าน

คุณลักษณะ	ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ ชอบเล็กน้อย	บอก ไม่ได้ ว่าชอบ หรือไม่ ชอบ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปาน กลาง	ชอบ มาก	ชอบ มากที่สุด
ลักษณะปรากฏ									
เนื้อสัมผัส									
รสชาติโดยรวม									
ความชอบรวม									

2. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์สั้มน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้งนี้หรือไม่

() ยอมรับ

() ไม่ยอมรับ เพราะ

3. ถ้ามี “สั้มน้ำผึ้งเชื่อมอบแห้ง” นี้จำหน่าย ท่านจะตัดสินใจอย่างไร

() ซื้อ

() ไม่ซื้อ เพราะ

4. เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ซึ่งจำหน่ายในราคา 40 บาทต่อ 100 กรัม ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์นี้ควรมีราคาเท่าใด

() ต่ำกว่า

() เท่ากับ

() สูงกว่า

ข้อเสนอแนะ

.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

5. เพศ

() ชาย

() หญิง

6. อายุ

() น้อยกว่า 15 ปี

() 15 – 25 ปี

() 26 – 35 ปี

() 36 – 45 ปี

() 46 – 55 ปี

() สูงกว่า 55 ปี

7. การศึกษาสูงสุดที่ได้รับ

() ประถมศึกษา

() มัธยมศึกษา

() อนุปริญญา

() ปริญญาตรี

() สูงกว่าปริญญาตรี

8. อาชีพ

() นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา

() พนักงานบริษัทเอกชน

() ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ

() ธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย

() แม่บ้าน

() อื่น ๆ (โปรดระบุ)

9. 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

ขอขอบคุณในความร่วมมือ



ภาคผนวก จ

แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา

การทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale

วันที่ _____

ตัวอย่าง ส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง

1. กรุณาทำการทดสอบตัวอย่างแล้วให้คะแนนความชอบของแต่ละคุณลักษณะที่กำหนด

คุณลักษณะ	ไม่ชอบ มากที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ ชอบเล็กน้อย	บอก ไม่ได้ ว่าชอบ หรือไม่ ชอบ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปาน กลาง	ชอบ มาก	ชอบ มากที่สุด
สี									
เนื้อสัมผัส									
รสชาติโดยรวม									
ความชอบรวม									

2. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้งนี้หรือไม่

() ยอมรับ

() ไม่ยอมรับ เพราะ

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกณิดตา พัฒนาภา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	19 ตุลาคม 2527
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2550
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	กณิดตา พัฒนาภา และนันทวัน เทอดไทย. 2552. อิทธิพล ของสารออสโมซิสต่อคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้ง แช่อิ่มอบแห้ง. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 47 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร Kanitta Pattanapa, Nantawan Therdthai, Withida Chantrapornchai and Weibiao Zhou. 2009. Effect of osmotic solutions on qualities of osmotically dehydrated Mandarin cv. (Sai-Namphaung). Presentation in the 11 th Asean Food Conference 2009. October 21-23, Bandar Seri Begawan, Brunei Darussalam. Kanitta Pattanapa, Nantawan Therdthai, Withida Chantrapornchai and Weibiao Zhou. 2010. Effect of sucrose and glycerol mixtures as the osmotic solution on characteristics of osmotically dehydrated Mandarin cv. (Sai-Namphaung). International Journal of Food Science and Technology. (submitted)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2551)