



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของสภาวะออสโมติกดีไฮเดรชันและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

Effect of Osmotic Dehydration Conditions and Types of Sugar on the Quality of
Dried Osmotic Dehydrated Papaya

นามผู้วิจัย นางสาวนุชนาฏ ไชยวงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสภาวะออสโมติกดีไฮเดรชันและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

Effect of Osmotic Dehydration Conditions and Types of Sugar on the Quality of Dried
Osmotic Dehydrated Papaya

โดย

นางสาวนุชนาฏ ไชยวงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นุชนาฏ ไชยวงศ์ 2558: ผลของสภาวะออสโมติกดีไฮเดรชันและชนิดของน้ำตาล
ต่อคุณภาพมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนา
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร
ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์
รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, D.Agr. 113 หน้า

ออสโมติกดีไฮเดรชันมักใช้ในการกำจัดน้ำออกจากผลไม้ด้วยการถ่ายเทมวลของน้ำและ
น้ำตาลระหว่างสารละลายไฮเปอร์โทนิกกับผลไม้ อย่างไรก็ตาม จากการที่ผู้บริโภคได้มีความ
ตระหนักเพิ่มขึ้นที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดความต้องการสูงสำหรับการ
ปรับให้มีการดูดซึมตัวถูกละลายให้ต่ำลง โดยในการศึกษานี้ใช้มะละกอ ($0.8 \times 0.8 \times 0.8$ ซม.) และ
K-carrageenan (K-cgn) เป็นโมเดลผลไม้และเป็นสารเคลือบตามลำดับ ดังนั้น วัตถุประสงค์ใน
ขั้นตอนแรกคือ การศึกษาผลของอัตราส่วนของมะละกอกับสารละลายออสโมติก (1:1, 1:1.5, 1:2 และ
1:4) และความเข้มข้นของซูโครส (35, 45, 55 และ 65°Brix) ต่อคุณภาพของมะละกอแช่อิ่ม ผลที่ได้
แสดงให้เห็นว่า solid gain (SG) และ water loss (WL) ของมะละกอเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาของการแช่อิ่ม
ความเข้มข้นของซูโครส และอัตราส่วนของสารละลายเพิ่มขึ้น สมดุลของ SG และ WL เกิดเร็วขึ้นเมื่อ
ใช้อัตราส่วนของสารละลายต่ำลง แต่การใช้สัดส่วนของสารละลายต่อผลไม้ที่สูงขึ้นให้ค่า SG ที่สูงขึ้น
อัตราส่วนของมะละกอสู่สารละลายที่ 1:2 และ 1:4 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{eff}) ไม่มี
ความแตกต่าง ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนมะละกอสู่สารละลาย ออสโมติก (F:S) = 1:2 และ
ความเข้มข้นน้ำเชื่อมที่ 65 °Brix สำหรับการศึกษาขั้นต่อไป เมื่อศึกษาผลของการให้ pretreatment
ก่อนการแช่อิ่ม (การใช้สุญญากาศก่อนกระบวนการแช่อิ่มและการเคลือบด้วย K-cgn) ต่อคุณภาพ
ของมะละกอ พบว่า การใช้สุญญากาศก่อนการแช่อิ่มเพิ่มค่า SG และ WL ในช่วง 3 ชม. แรกของการ
แช่อิ่ม การเคลือบด้วย K-cgn (0, 0.5 และ 1.0%) ให้ค่า SG ต่ำกว่าในทุกอุณหภูมิของการแช่อิ่ม
ในขณะที่อุณหภูมิการแช่อิ่มที่สูงขึ้นมีผลให้ค่า SG ของมะละกอเพิ่มขึ้นทั้งที่เคลือบและไม่เคลือบ
K-cgn เมื่อศึกษาผลของชนิดสารละลายออสโมติกน้ำตาล (น้ำเชื่อมอินเวิร์ต และสารละลายซูโครส)
และการเคลือบ K-cgn ต่อคุณภาพของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลไม้แช่อิ่มลดลง
ในขณะที่ในมะละกอแช่อิ่มอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแช่อิ่มนานขึ้น การเคลือบด้วย K-cgn ให้ค่า a_w ต่ำ
กว่าของผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบทั้งในมะละกอแช่อิ่มและแช่อิ่มอบแห้งที่เตรียมจากน้ำเชื่อมอินเวิร์ต และ
สารละลายซูโครส การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บพบว่าพารามิเตอร์สี ($L^* a^* b^*$)
ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งลดลง ในขณะที่ปริมาณความชื้น, ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี, ΔE^* , ปริมาณ
น้ำตาลรีดิวซิง, pH มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการเก็บสูงขึ้น

Nudchanad Chaiwong 2015: Effect of Osmotic Dehydration Conditions and Types of Sugar on the Quality of Dried Osmotic Dehydrated Papaya. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Rungnaphar Pongsawatmanit, D.Agr. 113 pages.

Osmotic dehydration (OD) is widely used to remove the water content in fruit with mass transfer of water and sugars between the hypertonic solution and fruit. However, an increase in consumer awareness of high sugar content in the product has led to high demand for modifying a lower solute uptake. Papaya cube (0.8x 0.8x 0.8 cm) and K-carrageenan (K-cgn) were selected for the fruit model and coating material, respectively for the study. Therefore, the objective of the first stage was to study the effect of the ratio of fruit to osmotic solution (1:1, 1:1.5, 1:2 and 1:4) and sucrose concentration (35, 45, 55 and 65 °Brix) on quality of OD papaya. The result showed that the solid gain (SG) values and water loss (WL) of papaya increased with increasing OD time, sucrose concentration and osmotic solution to fruit ratio. The faster equilibrium of SG and WL was observed in lower ratio of osmotic solution. The higher ratio of osmotic solution to fruit yielded a higher SG value. The ratio of fruit to osmotic solution at 1:2 and 1:4 showed no significant difference in water diffusivity ($p>0.05$). Therefore, the ratio of fruit to osmotic solution (F:S) = 1:2 and syrup concentration at 65 °Brix were selected for further study. When the effect of osmotic dehydration pretreatment (vacuum application prior to OD process and K-cgn coating) on quality of OD papaya, the results showed that pretreatment with vacuum impregnation prior to OD process enhanced the SG and WL of papaya during the OD time <3 h. The K-cgn coating (0, 0.5 and 1.0%) revealed lower values of SG for all OD process temperatures whereas higher soaking temperatures enhanced SG of all OD samples with and without K-cgn coating. Effects of sugar types (invert syrup and sucrose solution) and K-cgn coating on qualities of dried OD papaya were determined. The water activity (a_w) of OD papaya decreased whereas those of dried OD fruit increased with increasing OD time. Coating with K-cgn showed lower a_w values than those without coating for both OD and dried OD papaya prepared from both invert syrup and sucrose solution. For storage stability, the color parameters (L^* a^* b^*) of dried OD papaya decreased whereas moisture content, a_w , ΔE^* , reducing sugar and pH increased with increasing storage temperature and time.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยตลอดทั้งการตรวจแก้ไข
ข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบอีกสอง
ท่าน คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลย์รัตน์ จันทรพานนท์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริญญา เพ็ญโรจน์
ที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณสถาบันและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) ที่ได้
สนับสนุนทุนสำหรับวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร นิสิตปริญญาตรี
นิสิตปริญญาโท นิสิตปริญญาเอก และทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือขณะทำการวิจัย และให้ความ
สะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้การ
สนับสนุน และช่วยเหลือ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา ข้าพเจ้าขอ
มอบประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แก่ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หาก
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยและขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

นุชนาฏ ไชยวงศ์
พฤษภาคม 2558

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	42
สรุปและข้อเสนอแนะ	102
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	103
ภาคผนวก	110
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	113

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของมะละกอ	4
2	ค่าสีของตัวอย่างแอปเปิ้ลก่อนการแช่อิ่ม, หลังการแช่อิ่ม และหลังการอบแห้ง	10
3	ความแตกต่างของค่าเนื้อสัมผัสของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่สภาวะต่างๆ	12
4	คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสในมะม่วงสดและมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง	13
5	ปริมาณความชื้น ณ จุดสมดุล (X_e) (g/g of dry solid) ของมะละกอแช่อิ่มที่แช่ ในซุโครส และอัตราส่วนระหว่างมะละกอต่ซุโครสต่างๆ, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C	44
6	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{ew}) ของมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซุโครส, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C	45
7	การเปรียบเทียบค่า SG และ WL เมื่อแช่อิ่มนาน 6 และ 24 ชั่วโมงที่ความเข้มข้นของซุโครสเท่ากับ 35, 45, 55 และ 65 °Brix อัตราส่วนระหว่างมะละกอต่สารละลายเท่ากับ 1:2, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C	52
8	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน	55
9	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น(SG) ของมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ในซุโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30, 40, 50 °C อัตราส่วนมะละกอ:ซุโครสเท่ากับ 1:2, เวลาในการแช่อิ่มเท่ากับ 6 ชั่วโมง	62
10	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ในซุโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30, 40, 50 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซุโครส เท่ากับ 1:2, เวลาในการแช่อิ่มเท่ากับ 6 ชั่วโมง	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{ew}) ของมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ในสารละลาย ซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30, 40, 50 °C อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	64
12	ค่าวอเตอร์เอกทิวิตีของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ในสารละลาย ซูโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	70
13	ปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ในซูโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	72
14	ค่า TSS ของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ในซูโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	74
15	ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ใน ซูโครส และน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	76
16	คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน 3 และ 6 ชั่วโมงและแช่อิ่มในน้ำเชื่อมอินเวิร์ต และซูโครส ที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบ K-cgn ความเข้มข้น 0.5% (BIB: (t=8, k=4, r=7, b=14, $\lambda=3$, E=0.86, Type I))	79
17	ค่าการทดสอบ Binomial ของ JAR scale ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	81
18	ความหมายของค่า mean drop เมื่อใช้ 9 point hedonic scale	82
19	ปริมาณจุลินทรีย์ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (ตัวอย่างเริ่มต้น)	99

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การถ่ายภาพพลในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน	7
2	การถ่ายภาพพลระหว่างน้ำและน้ำตาลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน	8
3	กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันที่ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	9
4	ค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างกีวี ก่อน (F) และหลัง (O) กระบวนการแช่อิ่มอบแห้ง	11
5	ค่าการสูญเสียน้ำ (WL)(a) และค่าการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล (SG)(b) และระหว่าง กระบวนการแช่อิ่มในซุโครส (S) และกลูโคส (G) ที่ระดับความเข้มข้น 30% และ 40%, อุณหภูมิในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C	15
6	ผลของอุณหภูมิต่อการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล	16
7	ค่าการสูญเสียน้ำ (a) และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล (b) ของแอปเปิ้ลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ที่อุณหภูมิ 60 °C	18
8	ผลของอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายต่อค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และการ สูญเสียน้ำโดยแช่อิ่มในสารละลายกลูโคส ($\diamond$ 1/4, $\square$ 1/8, $\triangle$ 1/12, $\circ$ 1/16, $\times$ 1/20, $-$ 1/25)	20
9	ลักษณะโครงสร้างของแคปสูลคาราจีแนน (K-cgn)	22
10	ปริมาณความชื้น (%) ของมะละกอแช่อิ่มในซุโครสที่ 35, 45, 55 และ 65 °Brix เปรียบเทียบกับระยะเวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชัน, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C	43
11	ปริมาณความชื้น (g/g dry solid) ของมะละกอแช่อิ่มในซุโครสที่ 35, 45, 55 และ 65 °Brix เปรียบเทียบกับระยะเวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชัน, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C	44
12	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซุโครสความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C	47
13	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น(SG) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซุโครสความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครสความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C	49
15	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG) ($g\ db$) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครสความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C	50
16	ค่า SG (a) and WL (b) ในมะละกอเมื่อแช่ในซูโครส ความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix อัตราส่วนระหว่างมะละกอต่ซูโครสเท่ากับ 1:1, 1:1.5, 1:2 และ 1:4, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C, ระยะเวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 6 ชั่วโมง	51
17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าข้อมูลจริงและข้อมูลจากการทดลองในค่า SG , WL และ TSS	53
18	ปริมาณความชื้น (%) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) (b) ของ มะละกอที่ผ่าน (vacuum) และไม่ผ่าน (w/o vacuum) การลดความดันสุญญากาศก่อนกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	58
19	ค่า SG (a) และ WL (b) ของมะละกอที่ผ่าน (vacuum) และไม่ผ่าน (w/o vacuum) การลดความดันสุญญากาศก่อนกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครส ความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครส = 1:2	59
20	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ในมะละกอที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30 (a), 40 (b) และ 50 (c) °C	60
21	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ในมะละกอที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30 (a), 40 (b) และ 50 (c) °C	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ในมะละกอที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30 (a), 40 (b) และ 50 (c) °C	61
23	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า $\ln D_{ew}$ และค่า $1/T$ (1/K) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันของมะละกอ	64
24	การวิเคราะห์ส่วนประกอบสำคัญ (PCA) (a) PCA พล็อตสำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (b) loading plots สำหรับตัวอย่างต่างๆ บน PC1 และ PC2	66
25	Bi-plot ระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่วัดและตัวอย่างต่างๆ ในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน	68
26	การแบ่งกลุ่มตัวอย่างในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน	68
27	ค่าวอเตอร์แอ็กทิวิตีของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ใน ซูโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	71
28	ปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ในซูโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	73
29	ค่า TSS ของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ในซูโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	75
30	ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ในซูโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
31	การกระจายตัวของสเกล JAR สำหรับรสหวานที่ทดสอบในมะละกอ แช่อิ่มอบแห้ง	80
32	การทดสอบ mean drop สำหรับระดับคะแนน “too much” และ “too little” (การทดสอบระดับคะแนนความชอบเมื่อผู้ทดสอบตอบ JAR ลงกับ คะแนนความชอบรวมของผู้ที่ตอบ “too much” หรือ “too little”)	83
33	Penalty mean drop ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง	84
34	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn and (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●)	86
35	ค่าปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●)	87
36	ค่า maximum shear force (N) ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่าง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●).	88
37	ค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●).	89
38	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●).	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
39	ค่า pH (-) ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●)	91
40	ค่าปริมาณกรดซิตริกของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●)	92
41	ค่า L^* ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●)	93
42	ค่า a^* ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●)	94
43	ค่า b^* ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●)	95
44	ค่า C^* ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●)	96
45	ค่า ΔE^* ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40°C (●)	97
46	ค่า ΔE^* ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 250 วัน	98
47	ผลการทดสอบการยอมรับผู้บริโภคมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง ในตัวอย่างเริ่มต้น (a) และ ตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 1 ปี (b)	100
48	ผลการทดสอบการตัดสินใจซื้อมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง ในตัวอย่างเริ่มต้น (a) และตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 1 ปี (b)	101

ผลของสภาวะออสโมติกดีไฮเดรชันและชนิดของน้ำตาลต่อ คุณภาพมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

Effect of Osmotic Dehydration Conditions and Types of Sugar on the Quality of Dried Osmotic Dehydrated Papaya

คำนำ

การทำแห้งเป็นวิธีการที่นิยมใช้เพื่อถนอมรักษาผลไม้วิธีหนึ่ง เนื่องจากการกำจัดน้ำออกจากผลไม้ทำให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำลง นำไปสู่ความเสี่ยงต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกำจัดน้ำออกไปบางส่วนด้วยการแช่ในสารละลายที่มีความดันออสโมติก เช่น น้ำเชื่อม เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีการแปรรูปหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสและรสชาติต่างไป และยังลดพลังงานที่ใช้ในการทำแห้ง อย่างไรก็ตาม ข้อดีของกระบวนการออสโมติกจากการที่มีปริมาณน้ำตาลเข้าสู่ผลไม่มากขึ้น ลดวอเตอร์แอคทิวิตีของผลไม้ลง แต่ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคเนื่องจากการบริโภคน้ำตาลที่มากเกินไปได้ ประเทศไทยมีการส่งออกผลไม้แช่อิ่มอบแห้งไปจำหน่ายในต่างประเทศเป็นจำนวนมาก การส่งออกผลไม้แช่อิ่มอบแห้งหรือถนอมรักษาด้วยน้ำตาลมีมูลค่าเพิ่มขึ้น โดยมีมูลค่า 2,807, 3,270 และ 4,527 ล้านบาทในปี 2548, 2549 และ 2550 ตามลำดับ (กระทรวงพาณิชย์, 2551)

ความเข้าใจในหลักการของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่ต้องการคือ ความปลอดภัย สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และด้านสุขภาพ ปัจจุบันการลดปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วยการใช้สารเคลือบในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เคลือบที่ผิวของผลไม้ระหว่างการแช่อิ่ม เพื่อเพิ่มชั้นพอลิเมอร์ต่อการแพร่ของน้ำตาลและน้ำ เนื่องจากความสามารถในการเกิดฟิล์มของไฮโดรคอลลอยด์ทำหน้าที่ขวางกั้นการถ่ายเทมวลระหว่างสารละลายที่มีความเข้มข้นน้ำตาลสูงกับผลไม้ มีผลให้ปริมาณของแข็ง (น้ำตาล) ในผลไม้ลดลง (Khin *et al.*, 2007) แม้ว่าจะมีรายงานการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ต่างๆ เช่น โซเดียมแอลจิเนต โลเมททอกซิเพกทิน เป็นต้น แต่การใช้ไฮโดรคอลลอยด์และชนิดของน้ำตาลต่างๆ ในผลไม้ไทยยังมีอยู่น้อย ซึ่งการใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน รวมทั้งผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการแพร่ จะทำให้เกิดความเข้าใจกระบวนการแช่อิ่มอบแห้งและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพตามที่ผู้บริโภคต้องการ รวมทั้งการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่เลือกศึกษาจากการเตรียมการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ สภาวะออสโมติกและชนิดของน้ำตาลที่เหมาะสม จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวิจัยขั้นต่อไปสำหรับอุตสาหกรรมผลไม้แช่อิ่มอบแห้งต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างมะละกอต่อบลูโครสต์ต่อคุณภาพของมะละกอแช่อิ่ม
2. ศึกษาผลของการลดความดันสุญญากาศก่อนการแช่อิ่มต่อคุณภาพมะละกอแช่อิ่ม
3. ศึกษาผลของการเคลือบด้วยแคปซูลคาร์บอเนต (K-cgn) และอุณหภูมิในการแช่อิ่มต่อกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน
4. ศึกษาผลของชนิดน้ำตาลและการเคลือบ K-cgn ต่อคุณภาพมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง
5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

1. มะละกอ

มะละกอเป็นพืชล้มลุกที่มีอายุสั้น มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya* จัดอยู่ในวงศ์ *Caricaceae* ซึ่งมีแหล่งกำเนิดในประเทศแถบร้อนของอเมริกา และอเมริกากลางในประเทศแมกซิโกตอนใต้ (สมศักดิ์ และคณะ, 2530) โดยมะละกอที่นิยมปลูกมากคือ พันธุ์แขกดำ เนื่องจากมะละกอพันธุ์นี้ให้ผลผลิตสูง คุณภาพของผลมีเนื้อหนาและแน่นละเอียด เมื่อผลสุกจะมีเนื้อสีแดงและมีรสหวานอร่อย เป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมแปรรูป นอกจากนี้ยังมีมะละกอพันธุ์อื่นๆ ที่เกษตรกรนิยมปลูกได้แก่ พันธุ์แขกนวล โกโก้ และสายน้ำผึ้ง โดยแหล่งปลูกมะละกอที่เป็นสวนขนาดใหญ่ในปัจจุบันมีอยู่หลายภาค เช่น ภาคกลางปลูกมากในจังหวัดราชบุรี, นครปฐม, สุพรรณบุรี, สมุทรสาคร, นนทบุรี, ปทุมธานีและสระบุรี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูกมากในจังหวัดนครราชสีมา, อุบลราชธานี, Mukdahan และศรีสะเกษ ในภาคใต้ได้แก่ จังหวัดชุมพรและสุราษฎร์ธานี (ศักดิ์สิทธิ์, 2545)

1.1 การเก็บเกี่ยวมะละกอ

ศักดิ์สิทธิ์ (2545) กล่าวว่าความแก่อ่อนของผลมะละกอที่จะเก็บเกี่ยวมีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพของมะละกอที่จะใช้ในการบริโภคและอายุการเก็บรักษา ระยะการสุกของมะละกอสามารถแบ่งออกเป็น 6 ระยะ

ระยะที่ 1 ระยะแก่จัดสีเขียว ผลมะละกอมีสีเขียวเข้ม เนื้อผลแน่นและแข็ง เนื้อบริเวณภายในที่ติดกับช่องว่างภายในผลและสันบริเวณปลายผลเริ่มเปลี่ยนสีออกชมพู แสดงให้เห็นว่าผลมะละกอเริ่มเข้าสู่ระยะสุก ในระยะนี้ไม่ควรเก็บเกี่ยวผลในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากมีผลเกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกงอมในภายหลัง

ระยะที่ 2 ระยะเริ่มเปลี่ยนสี มะละกอมีสีพื้นของผิวเป็นสีเขียวเข้ม แต่จะปรากฏแต้มสีเขียวอ่อนหรือมีสีเหลืองบริเวณเนินทางด้านปลายผล เนื้อในผลยังคงแข็งและแน่น โดยเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั้งผล ยกเว้นบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อกับผิวเปลือกจะยังคงเป็นสีเขียว ระยะนี้ถือเป็นระยะที่เหมาะสมที่จะส่งออกตลาดต่างประเทศ

ระยะที่ 3 ระยะสุกหนึ่งในสี่ ผิวมะละกอส่วนใหญ่ยังคงเป็นสีเขียวเข้มและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองถึงสีส้มเห็นชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณสันทางด้านปลายผลเนื้อผลภายในเฉพาะ

บริเวณที่ติดกับช่องว่างภายในเริ่มอ่อน เนื้อเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั้งผล ยกเว้นบริเวณด้านบนที่ติดกับก้านผลและบริเวณปลายผล การสุกของมะละกอในระยะนี้เหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อการบริโภคภายในประเทศและเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการขนส่งเพื่อการจำหน่ายปลีก

ระยะที่ 4 ระยะสุกหนึ่งในสอง ผิวผลมะละกอประมาณครึ่งหนึ่งของผลเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในขณะที่อีกครึ่งหนึ่งยังคงเป็นสีเขียว เนื้อผลแน่นหากกดด้วยนิ้วมือจะรู้สึกยุบตัวลงเล็กน้อย เนื้อภายในมีสีแดงแกมชมพูตลอดทั้งผล ยกเว้นบริเวณด้านบนที่ติดกับก้านผลและบริเวณปลายผลยังคงแน่นแข็งและเป็นสีชมพูอมเหลือง เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับใช้จัดวางเพื่อการขายปลีก และเป็นระยะที่เกือบจะรับประทานได้

ระยะที่ 5 ระยะสุกสามในสี่ มะละกามีผิวผลเป็นสีเหลืองมากกว่าสีเขียว เนื้อผลนุ่มเมื่อใช้นิ้วกดจะรู้สึกยุบตัว เนื้อบริเวณหัวผลเริ่มนุ่ม เนื้อผลมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผลเป็นระยะที่รับประทานได้

ระยะที่ 6 ระยะสุกเต็มที่ ผิวผลมะละกอมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียวเนื่องจากอยู่ในภูมิอากาศของเขตร้อนถึงแม้ว่าผลสุกเต็มที่แล้วก็ตาม แต่ผลก็มีสีเขียวปะปนอยู่ ยกเว้นกรณีที่ผลมะละกอนั้นถูกบ่มด้วยก๊าซเอทิลีน เนื้อภายในจะนุ่มและมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล ระยะนี้เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรับประทานเป็นผลไม้สุก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของมะละกอ

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย (%)
ความชื้น (น้ำหนักเปียก)	86.80
ถั่ว	0.57
โปรตีน	0.36
ไขมัน	0.06
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	9.29
เส้นใย	1.20
กรด (ในรูปกรดซิตริก)	0.10
ปริมาณแพกทิน	1.62

ที่มา: ดัดแปลงจาก Rodrigues *et al.* (2003)

1.2 การตลาดของมะละกอ

การตลาดมะละกอภายในประเทศ

มะละกอเป็นพืชที่สามารถบริโภคได้ทั้งผลดิบและผลสุก โดยเฉพาะมะละกอผลดิบ เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเพื่อใช้ทำส้มตำ นอกจากนี้ผลสุกยังใช้บริโภคสดและมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมแปรรูปหลายชนิด เช่น บรรจุกระป๋องทำฟรุ้ดสลัด และแช่อิ่มอบแห้ง เป็นต้น ผลผลิตส่วนใหญ่ 98 % ใช้บริโภคภายในประเทศ ส่วนที่เหลือ 2% เป็นวัตถุดิบส่งโรงงานแปรรูปเป็นมะละกอกะป๋อง และผลิตภัณฑ์อื่นๆ และจำหน่ายเป็นผลสดเพื่อส่งออก ผลผลิตมะละกอที่เกษตรกรผลิตได้เกือบทั้งหมดจะจำหน่ายให้พ่อค้าคนกลางที่เข้าไปรับซื้อในสวน หรือจำหน่ายที่ศูนย์กลางรับซื้อมะละกอประจำจังหวัด ผลผลิต 85% จะถูกส่งไปจำหน่ายยังตลาดกลางในกรุงเทพฯ เช่น ตลาดไท ตลาดปากคลองตลาด ตลาดมหานาค และตลาดสี่มุมเมือง หลังจากนั้นจะมีพ่อค้าขายปลีกหรือขายส่งมารับซื้อเพื่อจำหน่ายให้กับผู้บริโภคต่อไป ส่วนผลผลิตมะละกอที่เหลือ 15% ใช้บริโภคภายในจังหวัดหรือพื้นที่ใกล้เคียง ตลาดมะละกอดิบส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉยเหนือ ได้แก่ นครราชสีมา ขอนแก่น อุดรธานี และร้อยเอ็ด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553)

การตลาดมะละกอต่างประเทศ

สำหรับการส่งออกมะละกอ ในปี พ.ศ. 2551 ประเทศไทยส่งออกมะละกอและผลิตภัณฑ์ปริมาณ 3,458 ตัน มูลค่า 111,886 ล้านบาท แยกเป็นมะละกอสด 1,170 ตัน มูลค่า 15,204 ล้านบาท และมะละกอกะป๋อง 2,288 ตัน มูลค่า 96,682 ล้านบาท ประเทศที่นำเข้ามะละกอสดจากไทยมากที่สุด คือ ประเทศฮ่องกง ส่วนมะละกอกะป๋อง ประเทศที่นำเข้ามากที่สุด คือ สหรัฐอเมริกา, ฝรั่งเศส และสหราชอาณาจักร ในช่วง 9 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2551 ไทยมีสินค้าที่มีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป ได้แก่ มะละกอดากแห้ง ส่วนแบ่งตลาด 51.9% และมะละกอแปรรูป ส่วนแบ่งตลาด 68.18% (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2552)

ทั้งนี้ สินค้าที่ไทยขอสงวนสิทธิจีเอสพีกรณี De Minimis Waiver คือ สินค้าที่ส่งออกไปสหรัฐ โดยมีส่วนแบ่งตลาดเกิน 50% ของสินค้านิดดังกล่าวที่สหรัฐ นำเข้าจากทั่วโลก แต่มูลค่าการนำเข้ายังไม่ถึงเพดานที่กำหนดสำหรับปี 2555 เท่ากับ 21 ล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งมีสินค้าไทยที่อยู่ในเกณฑ์ดังกล่าว 7 รายการ ได้แก่ ดอกกล้วยไม้สด มีส่วนแบ่งตลาด 58% แต่มูลค่าอยู่ที่ 8.98 ล้านเหรียญสหรัฐ, ทุเรียนสด ส่วนแบ่ง 100% มูลค่า 2.98 ล้านเหรียญสหรัฐ มะละกอดากแห้ง ส่วนแบ่ง 97% มูลค่า 4.57 ล้านเหรียญสหรัฐ, มะขามตากแห้ง ส่วนแบ่ง 64%

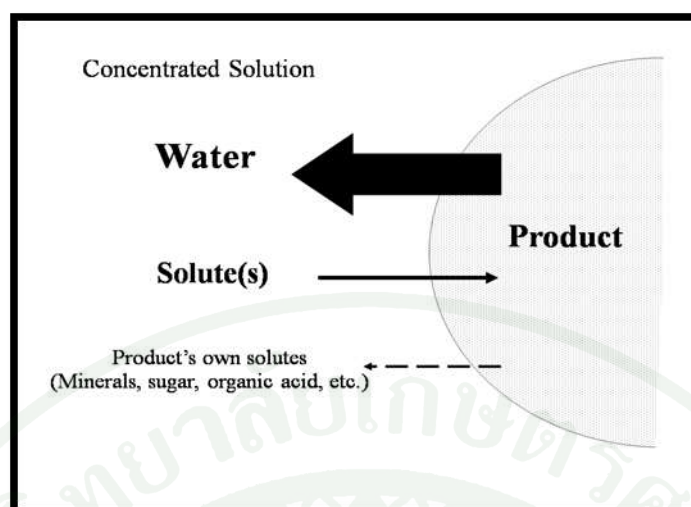
มูลค่า 2.88 ล้านบาทสหรัฐ, ข้าวโพดหวานปรุงแต่ง ส่วนแบ่ง 82% มูลค่า 8.22 ล้านบาทสหรัฐ มะละกอแปรรูป ส่วนแบ่ง 67% มูลค่า 4.25 ล้านบาทสหรัฐ และรูปปั้นเนื้อละเอียด ส่วนแบ่ง 55% มูลค่า 0.80 ล้านบาทสหรัฐ (ผู้จัดการออนไลน์, 2556)

2. กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน (osmotic dehydration)

2.1 ทฤษฎีการออสโมติกดีไฮเดรชัน

กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน คือการแช่ส่วนของผลิตภัณฑ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า เช่น น้ำตาลหรือเกลือ ซึ่งเป็นกระบวนการแยกน้ำออกจากเซลล์ของผักหรือผลไม้ จึงเป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผลไม้ก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน สามารถกำจัดน้ำออกไปได้ประมาณ 30-50% ของน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นผลไม้ ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันจะมีการถ่ายเทมวลเกิดขึ้น โดยปริมาณน้ำลดลงและปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น การแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลซึ่งมีค่าออสโมติกต่ำกว่า จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก โดยที่เซลล์เมมเบรนของผลไม้ทำหน้าที่เป็น semipermeable membrane ซึ่งการถ่ายเทมวลมี 3 ลักษณะแสดงดังภาพที่ 1

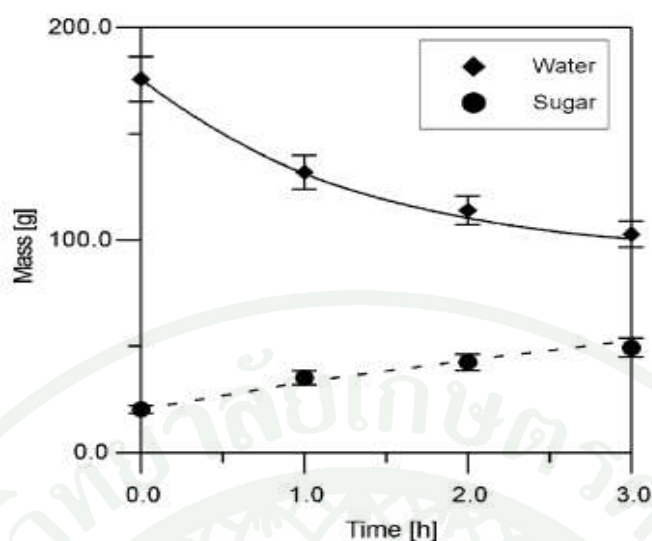
1. น้ำจากผลิตภัณฑ์แพร่ออกสู่สารละลายรอบๆ
2. สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าแพร่เข้าสู่ผลิตภัณฑ์ (ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์)
3. การสูญเสียสารละลายในตัวผลิตภัณฑ์เอง เช่น เกลือแร่ วิตามิน กรดอินทรีย์ แต่นับว่าเป็นการถ่ายเทมวลปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับการถ่ายเทมวลทั้ง 2 ชนิดที่กล่าวมา



ภาพที่ 1 การถ่ายเทมวลในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ที่มา: Raoult-wack (1994)

การแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิส ซึ่งมีการถ่ายเทมวลระหว่างผลไม้และสารละลายออสโมติก ทำให้ปริมาณน้ำในผลไม้ลดลงและมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น การแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลที่มีค่าออสโมติกต่ำกว่าจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น เนื่องจากความแตกต่างแรงดันออสโมซิส ระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก (Raoult *et al.*, 1989) กล่าวคือ น้ำแพร่ออกจากผลไม้ในขณะที่น้ำตาลก็แพร่เข้าไปในเนื้อของผลไม้ แต่การแพร่ของน้ำตาลเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นกระบวนการออสโมติกจึงอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ระหว่างน้ำตาลกับน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณของน้ำที่ต้องการดึงออกและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น การแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นจะดำเนินไปจนกว่าสารละลายมีออสโมติกสมมูล ดังแสดงในภาพที่ 2

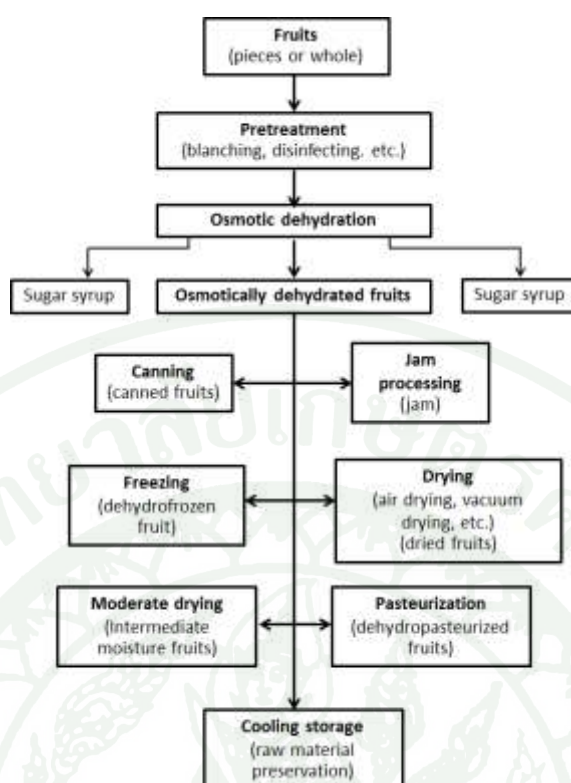


ภาพที่ 2 การถ่ายเทมวลระหว่างน้ำและน้ำตาลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ที่มา: Fernandes *et al.* (2006)

2.2 การประยุกต์กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในอุตสาหกรรมอาหาร

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อปรับปรุงคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเป็นการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ด้วยการนำผลไม้ไปแช่ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงเพื่อให้เกิดการถ่ายเทมวลระหว่างสารละลายและผลไม้ การแช่อิ่มผลไม้ก่อนนำไปอบแห้งจะช่วยลดพลังงานในการอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Fernandes *et al.*, 2006) และเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้ง ผลไม้ที่ไวต่อความร้อนหรือผลไม้ที่มีเนื้ออ่อนนุ่ม เนื่องจากวิธีนี้ผลไม้ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานแบบวิธีอบแห้งธรรมดา จึงลดความเสียหายของเนื้อสัมผัสจากความร้อน รวมทั้งกลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินในผลไม้ นอกจากนี้สารละลายน้ำตาลที่ใช้มีความเข้มข้นสูงทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาน้ำตาลทำงานได้น้อยลง ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี จึงไม่จำเป็นต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือใช้เพียงเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้การทำแห้งโดยวิธีนี้ยังคงรักษากลิ่นรสและสีตามธรรมชาติไว้ได้ (Ponting *et al.*, 1996)



ภาพที่ 3 กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันที่ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ที่มา: Shi and Xue (2009)

3. คุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

คุณภาพที่ดีของผลไม้อบแห้งทั่วไปนั้น ต้องคงลักษณะเนื้อและสีที่ดีตามธรรมชาติของผลไม้ ผิวหน้าไม่แห้ง ไม่เกาะติดกัน เนื้อไม่แข็งกระด้าง และต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของผลไม้และส่วนประกอบที่ใช้ โดยปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [มผช.], 2550)

3.1 คุณภาพด้านความปลอดภัย

คุณลักษณะที่ดีของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์เช่น แมลง หนู นก จำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^8 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม, *Eschericia coli* ด้วยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม, ยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (มผช., 2550) และปริมาณ SO_2 ที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Codex, 2006)

3.2 คุณภาพด้านสี

สีเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยมีการศึกษาว่า สีมีผลต่อการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยคิดเป็นสัดส่วน 40% ของเกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับ (Baardseth *et al.*, 1988) สีที่ดีต้องเป็นสีตามธรรมชาติของผลไม้และส่วนประกอบที่สม่ำเสมอ (มผช., 2550)

จากการศึกษาผลของกระบวนการออสโมติกก่อนการอบแห้งแอปเปิล และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง (Madala, 2005) พบว่าการแช่ตัวอย่างแอปเปิลในสารละลายกลูโคสและซูโครสความเข้มข้น 30 และ 45% (w/w) และวัดค่าสีของตัวอย่างเริ่มต้นก่อนการแช่อิ่ม, หลังการแช่อิ่ม และหลังการอบแห้ง (8 ชั่วโมง) ผลการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ค่าความสว่าง (L value) ในตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแล้วพบว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการออสโมติกมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการออสโมติก ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการออสโมติกแอปเปิลก่อนการอบแห้งสามารถช่วยพัฒนาคุณภาพด้านค่าสีไม่ให้เกิดค่า และยังคงสีเหมือนเดิมกับวัตถุดิบเริ่มต้นได้ เช่นเดียวกับค่าความเป็นสีแดง (+a value) พบว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการออสโมติก มีค่าความเป็นสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมติก ซึ่งมีค่า -a แสดงถึงการคงอยู่ซึ่งสีเขียวของผลิตภัณฑ์ (แสดงดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าสีของตัวอย่างแอปเปิลก่อนการแช่อิ่ม, หลังการแช่อิ่ม และหลังการอบแห้ง

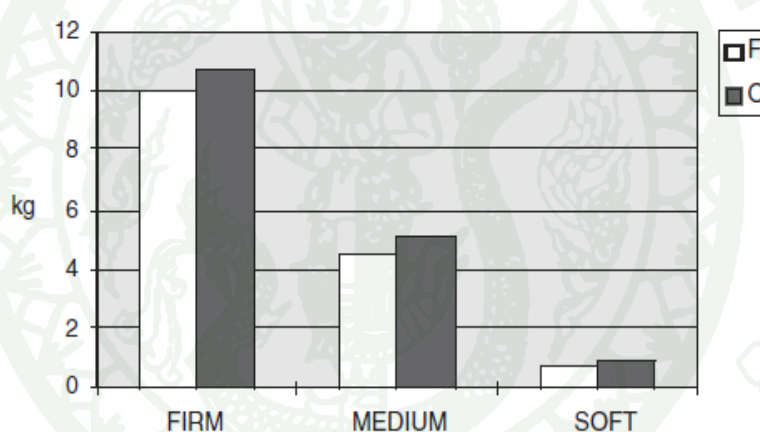
สิ่งทดลอง	L	a	b
ตัวอย่างควบคุม (วัตถุดิบ)	81.93 (0.88) ^{ab}	- 4.73 (0.95) ^a	22.65 (1.43) ^a
ตัวอย่างควบคุม (อบแห้ง 8 ชม.)	68.99 (2.99) ^e	5.68 (1.75) ^d	27.20 (1.50) ^b
ตัวอย่างแช่อิ่ม			
กลูโคส 30%	75.58 (0.68) ^d	- 4.75 (0.19) ^a	22.80 (0.76) ^a
กลูโคส 45%	79.65 (2.32) ^c	- 4.94 (1.33) ^a	26.65 (2.74) ^b
ซูโครส 30%	74.80 (1.17) ^d	- 5.04 (0.50) ^a	23.98 (1.57) ^a
ซูโครส 45%	79.22 (1.44) ^c	- 4.29 (0.48) ^{ab}	24.19 (1.21) ^a
ตัวอย่างแช่อิ่มอบแห้ง			
กลูโคส 30%	79.59 (2.06) ^c	- 2.21 (1.41) ^c	33.79 (2.61) ^c
กลูโคส 45%	80.38 (1.80) ^{bc}	- 2.20 (0.96) ^c	34.84 (2.76) ^c
ซูโครส 30%	79.31 (0.60) ^c	- 1.82 (0.68) ^c	38.10 (1.87) ^d
ซูโครส 45%	82.16 (0.94) ^a	- 3.41 (0.59) ^b	34.62 (1.34) ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%

ที่มา: Madala (2005)

3.3. คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันมีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งแสดงค่าเนื้อสัมผัสของผลกีวีก่อนและหลังกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน โดยผลการทดลองของ Torreggiani *et al.* (1998) ซึ่งศึกษาความแน่นเนื้อของตัวอย่าง โดยการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มซึ่งมีการเก็บรักษาที่แตกต่างกันเพื่อบ่งบอกระดับความแน่นเนื้อของตัวอย่างเป็น (1) กลุ่มที่มีความแน่นเนื้อมาก (firm) (2) กลุ่มที่มีความแน่นเนื้อปานกลาง (medium) (3) กลุ่มที่นุ่ม (soft) เมื่อนำตัวอย่างกีวี่ทั้ง 3 กลุ่มมาผ่านการออสโมติก พบว่าตัวอย่างหลังการออสโมติกมีความแน่นเนื้อสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมติกในทั้ง 3 กลุ่มทดลอง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลระหว่างกระบวนการออสโมติก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าเนื้อสัมผัสในกลุ่ม firm, medium และ soft เท่ากับ 6, 13 และ 17% ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างกีวี่ ก่อน (F) และหลัง (O) กระบวนการแช่อิ่มอบแห้ง

ที่มา: Torreggiani *et al.* (1998)

Varanyanond *et al.* (2001) ได้ศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลต่างๆ คือทรีฮาโลส (trehalose) และซูโครส (sucrose) ต่อคุณภาพของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง การศึกษาพบว่าปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกันของ trehalose และซูโครสมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยมะม่วงที่ใช้ trehalose เข้มข้น 40% เป็นสารละลายออสโมติกที่มีผลทำให้มีค่าความแข็ง (hardness) และค่า gumminess สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่แช่ด้วยสารละลายน้ำตาล trehalose เข้มข้น 40% และสารละลายประกอบระหว่างน้ำตาล trehalose เข้มข้น 40% และน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 40% ให้ค่าความเหนียวที่สูงกว่าตัวอย่างอื่น ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความแตกต่างของพารามิเตอร์เนื้อสัมผัสของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งด้วยน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำตาลในน้ำเชื่อม	Hardness (10^6 N/m ²)	Cohesiveness	Adhesiveness (10^3 N/m ²)	Gumminess (10^6 N/m ²)
trehalos 0%+ซูโครส 60%	2.80 b	0.40	7.86 c	1.09b
trehalos 10%+ซูโครส 50%	4.72 a	0.42	4.89 c	1.34b
trehalos 20%+ซูโครส 40%	2.37 b	0.65	9.39 bc	1.54b
trehalos 30%+ซูโครส 30%	2.98 b	0.60	15.43 abc	1.78b
trehalos 40%+ซูโครส 20%	1.93 b	0.69	19.23 abc	1.33b
trehalos 50%+ซูโครส 10%	2.85 b	0.60	38.22 a	1.73b
trehalos 40%	3.13 a	0.64	32.85 b	3.00a
Control (ไม่ผ่านการแช่น้ำเชื่อม)	2.74 b	0.55	5.26 c	1.48b
F-test	**	ns	**	*

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT

* ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 99%

ที่มา: Varanyanond *et al.* (2001)

3.4 คุณภาพด้านกลิ่นรส

กลิ่นรสเป็นอีกหนึ่งปัจจัยด้านคุณภาพที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้เทคนิคต่าง ๆ เข้ามาช่วยเพื่อลดกระบวนการแปรรูปอาหารให้น้อยที่สุด เพื่อที่จะยังคงซึ่งกลิ่นรส กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน และการใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยรักษากลิ่นรสและสีของผลไม้ตามธรรมชาติ (Heng *et al.*, 1990) สอดคล้องกับการศึกษาคุณภาพและคุณลักษณะของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งด้วยสารละลายซูโครสและน้ำตาลอินเวิร์ต ที่พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของมะม่วงที่ผ่านการแช่อิ่มก่อนการอบแห้งด้วยซูโครส และน้ำเชื่อมอินเวิร์ต ความเข้มข้น 55.3% นั้นกลิ่นรสไม่มีความแตกต่างกับมะม่วงสด (ดังตารางที่ 4) ดังนั้นกระบวนการแช่อิ่มนั้นจึงมีผลต่อการคงไว้ซึ่งกลิ่นรสของผลไม้ให้เหมือนกันของสด

ตารางที่ 4 คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสในมะม่วงสดและมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง

ทรีตเมนต์	Aroma	Flavor	Texture	Overall acceptance
Control	6.87a	6.09a	6.91a	6.47a
T1	6.13a	5.49ab	4.76b	5.38b
T2	6.16a	5.91ab	5.16b	5.59ab
T3	4.56b	4.91b	5.20b	5.27b

หมายเหตุ a,b ที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดย control คือมะม่วงสด, T1 คือสารละลายน้ำตาลซูโครส, T2 คือสารละลายน้ำตาลอินเวิร์ต (53% inversion rate), T3 คือสารละลายน้ำตาลอินเวิร์ต (92.3% inversion rate) โดยให้คะแนนแบบ 1-9 โดย 1 คือไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือชอบมากที่สุด

ที่มา: Torres *et al.* (2007)

3.5 การตระหนักถึงปัญหาสุขภาพของผู้บริโภค

ปัจจุบันผู้บริโภคได้ตระหนักถึงปัญหาสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะปัญหาโรคอ้วนกับคนไทยมีระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้นทุกปี จากข้อมูลล่าสุดของ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) พบจำนวนคนไทยเป็นโรคอ้วนถึงปีละ 4 ล้านคน ติดอันดับ 5 ของภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก ไม่เพียงเท่านั้นผู้เป็นโรคอ้วนยัง เสี่ยงต่อการเสียชีวิตอันเนื่องมาจากโรคที่ตามมา ไม่ว่าจะเป็นโรคเบาหวาน โรคความดันสูง ที่มีตัวเลขของการเสียชีวิตสูงถึงปีละ 2 หมื่นคนอีกด้วย (ฐานเศรษฐกิจ, 2556)

มีรายงานจากองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ หรือ FAO ในปี ค.ศ. 2004 พบว่าการนำเข้าและการบริโภคขนมขบเคี้ยวในทวีปยุโรปส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของผลไม้และซีเรียลในรูปแบบผลไม้อบแห้งผสม อย่างไรก็ตามพบว่าการให้ความตระหนักในด้านการดูแลสุขภาพมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากประชากรในปัจจุบันมีวิถีการดำรงชีวิตในการใส่ใจสุขภาพมากขึ้นนั่นเอง (FAO, 2004)

มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงการลดปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง โดยการเคลือบไฮโดรคอลลอยด์เพื่อขวางกั้นการถ่ายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์มีสมบัติการไม่ละลายในน้ำและยังคงมีความคงตัวดีในสภาวะต่าง ๆ (Carmirand *et al.*, 1992) ไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้เป็นตัวเคลือบ ได้แก่ โซเดียมอัลจิเนต มัลโตเดรกทิน โลเมทท็อกซิลเป็กทิน (LMP) ไคโตซาน คาราจีแนน เอทิลเซลลูโลส เป็นต้น (Khin *et al.*, 2007)

Singh and Sarkar (2010) ได้ศึกษาผลของการเคลือบสับปะรดด้วย Sodium alginate ระหว่างกระบวนการแช่อิ่ม พบว่า การเคลือบสับปะรดด้วย Sodium alginate ความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5% มีผลทำให้การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลลดลง และมีการสูญเสียน้ำระหว่างกระบวนการออสโมติกเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการเคลือบที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมเพียง 0.5-2%

4. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

4.1 ชนิดของสารละลายออสโมติก

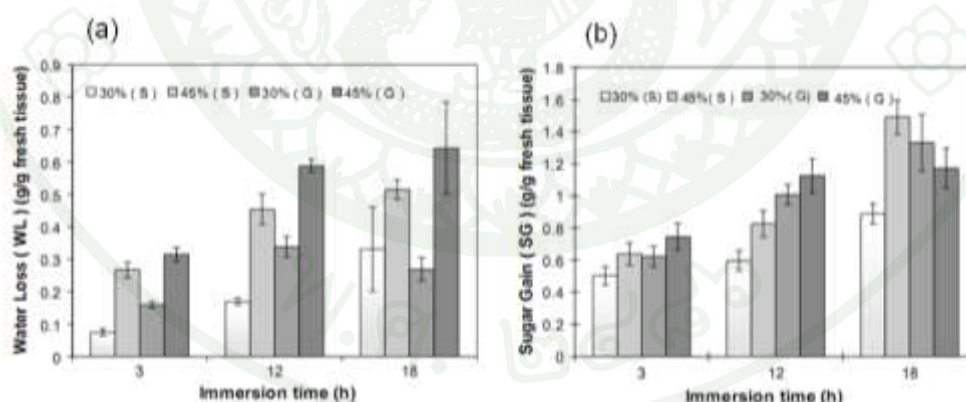
การคัดเลือกสารออสโมติกเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เนื่องจากเป็นตัวทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนออสโมติก ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติ คือ มีวอเตอร์แอคทีวิตีต่ำ รสชาติดี ให้กลิ่นรสดีต่อผลิตภัณฑ์สุดท้าย และไม่เป็นพิษ (Ponting *et al.*, 1996, Lerici *et al.*, 1985) โดยทั่วไปนิยมใช้สารละลายซูโครส ที่ความเข้มข้น 50-70 °Brix เป็นสารออสโมติก นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำตาลเมิด น้ำเชื่อมข้าวโพด น้ำเชื่อมข้าวโพดที่มีน้ำตาลฟรุคโตสสูง (HFCS) กลูโคส และฟรุคโตส การใช้สารออสโมติก แต่ละชนิดมีผลต่อกระบวนการออสโมซิสที่แตกต่างกัน โดยพบว่าการใช้น้ำตาลเมิดจะมีอัตราการออสโมซิสเร็วในช่วงแรก และใช้เวลาน้อยในการทำ ให้ผลไม้แห้ง แต่ไม่นิยมใช้ เนื่องจากมี ปัญหาเกี่ยวกับเมิดของน้ำตาลที่เหลือหลังจากการออสโมซิส และลักษณะเมิดของน้ำตาลอาจมี ผลทำให้ผลไม้ช้ำด้วย (Ponting *et al.*, 1996)

ในงานวิจัยของ Shi and McHugh (2009) ได้ทำการศึกษาผลของชนิดของสารละลายต่าง ๆ ที่ใช้ในการแช่อิ่มบลูเบอร์รี่ มีชนิดของสารละลาย 3 จำพวก คือ มอโนแซ็กคาไรด์, ไดแซ็กคาไรด์ และ พอลิแซ็กคาไรด์ ในที่นี้จำพวกมอโนแซ็กคาไรด์ศึกษาสารละลายฟรุคโทสและเด็กซ์โตรส จำพวกไดแซ็กคาไรด์ ศึกษาซูโครส และพอลิแซ็กคาไรด์ ศึกษาพอลิเด็กซ์โตรส, น้ำเชื่อมข้าวโพด และมอลโทเดกซ์ทริน พบว่า สารละลายมอโนแซ็กคาไรด์ คือ ฟรุคโทสและเด็กซ์โตรสมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากัน และสารละลายมอโนแซ็กคาไรด์ มีปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมากกว่า

สารละลายไดแซ็กคาไรด์ และพอลิแซ็กคาไรด์ เนื่องจากขนาดโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่าจึงเกิดการเคลื่อนที่ของสารละลายเข้าสู่ผลไม้ได้ดีกว่า และพบว่าชนิดของสารละลายที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ที่ต่างกัน ซึ่งค่า a_w ของสารละลายจำพวกมอลโทแซ็กคาไรด์ น้อยกว่าสารละลายไดแซ็กคาไรด์ และพอลิแซ็กคาไรด์ เนื่องจากมีปริมาณน้ำในผลไม้น้อยกว่าน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้มีค่าน้อยกว่า

Mandala (2005) ได้ศึกษาอิทธิพลของสารละลายออสโมติก (ซูโครส และกลูโคส) ที่มีผลต่อการถ่วงเทมวระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในแอปเปิล ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลูโคสมีการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลมากกว่าตัวอย่างที่แช่ในซูโครส (ความเข้มข้น 30 และ 45%) เนื่องจากสารละลายกลูโคสมีมวลโมเลกุลที่เล็กกว่าซูโครส จึงเกิดการแพร่และแทรกผ่านในตัวอย่างได้ดีกว่า และอีกทั้งตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลูโคสยังให้ค่าการสูญเสียน้ำที่สูงกว่าซูโครสอีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 5

น้ำเชื่อมอินเวิร์ต เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ซูโครสด้วยกรดหรือเอนไซม์ ซึ่งน้ำตาลอินเวิร์ตเป็นสารประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสและฟรุกโตสในปริมาณที่เท่ากัน (Moreu *et al.*, 2002) ซึ่งสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลอินเวิร์ตคือ สีสน้ำตาลอ่อน สีโปร่งแสง ไม่มีสารแขวนลอยเจือปน และยังให้ความหวานมากกว่าน้ำตาล 1.2 เท่า และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ 97% (National results defense council [NRDC], 2003)

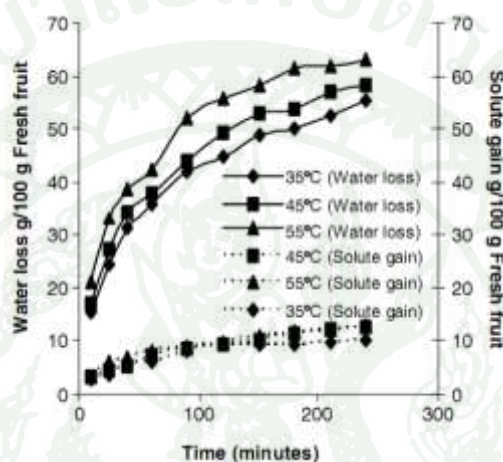


ภาพที่ 5 ค่าการสูญเสียน้ำ (WL)(a) และค่าการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล (SG)(b) และ ระหว่างกระบวนการแช่ในซูโครส (S) และกลูโคส (G) ที่ระดับความเข้มข้น 30% และ 40%, อุณหภูมิในการแช่เท่ากับ 40 °C

ที่มา: Mandala (2005)

4.2 อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

อัตราการแพร่ของสารละลายออสโมติกขึ้นกับอุณหภูมิ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในจลพลศาสตร์ของการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล (Singh *et al.*, 2007) (ภาพที่ 6) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้โครงสร้างของผลไม้เปลี่ยนสภาพเซลล์เมมเบรนอ่อนตัวลง การทำหน้าที่ semipermeable membrane เสียไปทำให้ผลไม้มีอัตราการแพร่ของน้ำและสารละลายน้ำตาลเร็วขึ้น



ภาพที่ 6 ผลของอุณหภูมิต่อการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล

ที่มา: Singh *et al.* (2007)

Khin *et al.* (2007) ได้ศึกษาการถ่ายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกของมันฝรั่งที่เคลือบด้วยสารละลายโซเดียมอัลจิเนต 1% และ โลว์เมทิลเพกทิน (Low methyl pectin) 2% โดยใช้ NaCl เป็นสารละลายออสโมติก ที่อุณหภูมิ 25, 40 และ 55 °C พบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นทั้งในมันฝรั่งที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยไฮโดรคอลลอยด์ โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อัตราการแพร่ของน้ำเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้การแพร่ของสารละลายออสโมติกสู่ผลไม้ต่ำลงเมื่อเคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเพกทิน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของสารเคลือบในการป้องกันสารเพิ่มขึ้นของของแข็งดีขึ้น

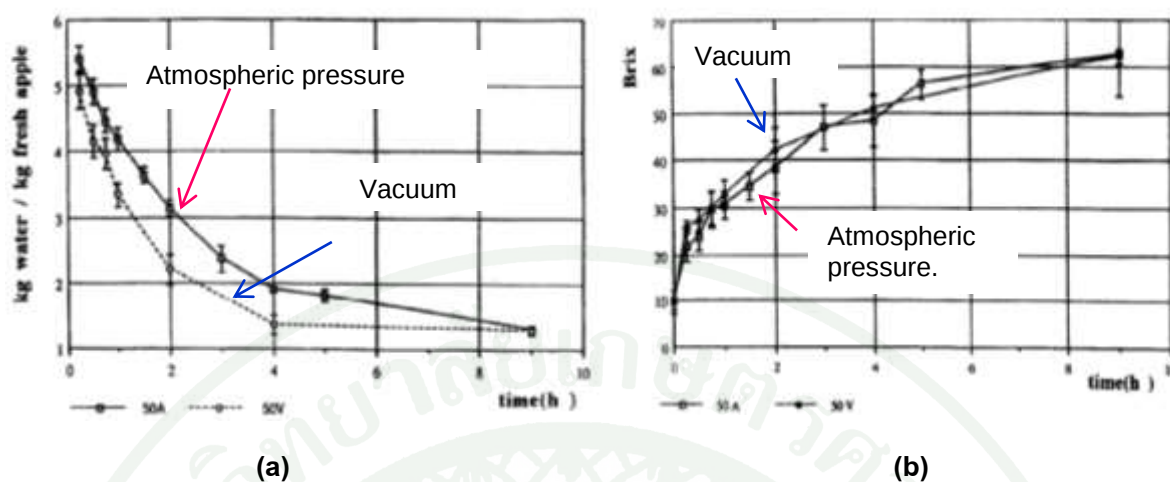
Rahman and Lamb (1991) ได้ทำการศึกษาการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมติก โดยแช่สับปะรดที่หั่นเป็นแว่นหนา 6.5 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 30 °Brix เป็น

เวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 ถึง 65 °C พบว่าการสูญเสียน้ำของสับปะรดเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 50 °C หลังจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 50 °C ทำให้เพกทินซึ่งพบตามผนังเซลล์ของสับปะรดเกิดการละลาย มีผลทำให้การแพร่ของน้ำตาลช้าลง จากการทดลองยังพบว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °C อัตราการแพร่ของซูโครสเกือบจะคงที่

4.3 การใช้ความดันสุญญากาศก่อนการแช่แข็ง

Shi *et al.* (1995) ได้ศึกษาอิทธิพลของความเป็นรูปพรุนของผลไม้ต่อการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมติกที่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำในผลไม้ 3 ชนิด คือ แอปริคอต, สับปะรด และสตรอว์เบอร์รี เมื่อค่าความเป็นรูปพรุนคือค่าสัดส่วนของปริมาณแก๊สที่อยู่ในเนื้อเยื่อเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาตรของเนื้อเยื่อผลไม้ทั้งหมด จากผลการทดลองพบว่าสภาวะสุญญากาศส่งผลให้เพิ่มการถ่ายเทมวลของน้ำ แต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล ซึ่งจะมีผลมากต่อสับปะรด เนื่องจากสับปะรดมีความเป็นรูปพรุนมากกว่านั่นเอง

Fito (1994) ได้ศึกษาการถ่ายเทมวลในแอปเปิ้ลที่ออสโมติกในสารละลาย saccharose ความเข้มข้น 65% ที่อุณหภูมิ 60 °C โดยเปรียบเทียบการออสโมติกในสภาวะสุญญากาศและสภาวะปกติ ผลการศึกษาพบว่า การลดความดันในสภาวะสุญญากาศทำให้เพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำ (WL) ในช่วงแรกของกระบวนการออสโมติก แต่ไม่มีผลต่อค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ค่าการสูญเสียน้ำ (a) และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล (b) ของแอปเปิลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ที่อุณหภูมิ 60 °C

ที่มา: Fito (1994)

4.4 ความเข้มข้นของน้ำตาล

ความเข้มข้นของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการออสโมติก มีผลต่อการสูญเสียน้ำของผลไม้ เมื่อความเข้มข้นสูงทำให้การสูญเสียน้ำ ออกจากผลไม้เร็วและมากขึ้น เวลาในการออสโมติกสั้นลง เวลาการอบแห้งน้อยลงด้วย

Berishtain *et al.* (1990) ได้ศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาลที่ระดับต่าง ๆ คือ 50, 60 และ 70 °Brix ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 °C พบว่าการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลและน้ำภายนอกและภายในเซลล์สับประรดสูง จึงทำให้แรงขับเคลื่อนออสโมติกสูงขึ้น

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lazarides (1995) พบว่า ในการแช่อบแห้ง แอปเปิลที่ความเข้มข้นของซูโครสสูงๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำเร็วขึ้น 30% และทำให้ซูโครสซึมเข้าสู่ตัวผลิตภัณฑ์มากขึ้นถึง 80% จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย ออสโมซิสจะมีผลทำให้การแช่อบแห้งใช้น้ำเวลาน้อยลง

Rahman and Lamb (1991) ได้ศึกษาการการแห้งสับประดด้วยวิธีออสโมติก โดย ทำ การออสโมซิสสับประดที่หั่นเป็นแว่น (หนา 6.5 มม.) แช่ในซุโครสเข้มข้น 40-70 °Brix อัตราส่วนสับประดต่อน้ำเชื่อม 1:10 ที่อุณหภูมิ 19-200 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าการ สูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในสับประดเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของน้ำ เชื่อมสูงขึ้น

4.5 การเคลือบด้วยไฮโดรคอลลอยด์

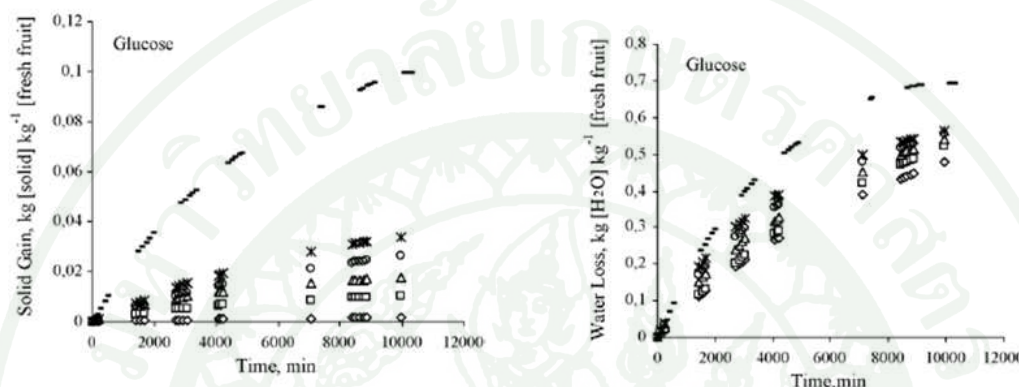
ไฮโดรคอลลอยด์สามารถใช้เคลือบผลไม้ เพื่อขวางกั้นการถ่ายเทมวลระหว่าง กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์มีสมบัติการไม่ละลายในน้ำและ ยังคงมีความคงตัวดีในสภาวะต่าง ๆ (Carmirand *et al.*, 1992) ไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้เป็น ตัวเคลือบ ได้แก่ โซเดียมอัลจิเนต มัลโตเดรกทิน โลเมทท็อกซิลเปกทิน (LMP) ไคโตซาน คาราจีแนน เอทิลเซลลูโลส เป็นต้น (Khin *et al.*, 2007)

จากการศึกษาการใช้ไฮโดรคอลลอยด์เคลือบผลไม้ในสภาวะออสโมติกดีไฮเดรชัน ของ Khin *et al.*, (2007) โดยการเคลือบแอปเปิลด้วยไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดคือ โซเดียมอัลจิเนต และ โลว์เมทท็อกซิลเปกทิน ที่ระดับอุณหภูมิ (25, 40 และ 55 °C) ในสารละลายซุโครสและเดกโตรส ผล การศึกษาพบว่าไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 2 ชนิดสามารถทำหน้าที่ขวางกั้นการเพิ่มขึ้นของของแข็งได้ดี ที่อุณหภูมิสูง (55 °C) และอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียน้ำต่อการเพิ่มขึ้นของของแข็งจะมีค่าสูง กว่าเมื่อซุโครสเป็นสารละลายออสโมติก เนื่องจากโมเลกุลของซุโครสมีขนาดใหญ่กว่าเดกโตรส ทำให้การสูญเสียน้ำที่สูงขึ้น และการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ สารละลายเดกโตรส ซึ่งงานวิจัยนี้อธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ว่า การเคลือบแอปเปิลด้วยไฮโดร คอลลอยด์นี้สามารถรักษาโครงสร้างของผนังเซลล์แอปเปิลได้ดีกว่าที่ไม่เคลือบ

4.6 สัดส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายออสโมติก

Lenart and Flink (1984) ได้ศึกษาการใช้สารละลายออสโมซิสปริมาณมาก จะทำ ให้อัตราการถ่ายเทมวลสูงกว่า การใช้สารละลายปริมาณน้อย ๆ เนื่องจากว่า น้ำที่แพร่ออกจาก เซลล์ผลไม้ในระหว่างออสโมซิสนั้น จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย น้อยมากถ้าใช้สารละลายปริมาณมาก ๆ ดังนั้นความแตกต่างของแรงดันออสโมติกของน้ำ ภายในเซลล์ผลไม้และสารละลายภายนอกจึงยังมีค่าสูงอยู่ตลอดเวลา อัตราการถ่ายเทมวลจึง เกิดได้มาก และ Ispir and Togrul (2009) ได้ศึกษาการออสโมติกดีไฮเดรชันของผลแอปปริคอต โดยศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายกลูโคสต่อค่า SG และ WL ผลการศึกษา

พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนระหว่างสารละลายกลูโคสต่อผลไม้ จาก 1:4 – 1:25 มีผลทำให้ค่า SG และ WL เพิ่มขึ้นด้วย (แสดงดังภาพที่ 8) แต่เนื่องจากการใช้สารละลายปริมาณมาก ๆ ทำให้เพิ่มค่าใช้จ่าย และยังมีปัญหาด้านการจัดการกับสารละลายหลังการออสโมซิสอีกด้วย (Bolin *et al.*, 1983, Raoult-Wack, 1994) จึงต้องใช้อัตราส่วนของผลไม้ต่อสารละลายให้เหมาะสม เพื่อที่จะดึงน้ำออกให้ได้มาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี รวมทั้งได้ความหวานตามต้องการด้วย



ภาพที่ 8 ผลของอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายต่อค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และการสูญเสียน้ำโดยแช่ผลไม้ในสารละลายกลูโคส ($\diamond$ 1/4, $\square$ 1/8, $\triangle$ 1/12, $\circ$ 1/16, $\times$ 1/20, $-$ 1/25)

ที่มา: Ispir and Togrul (2009)

5. แคปซูลคาราจีแนน (K-cgn)

การเคลือบไฮโดรคอลลอยด์บนผิวผลไม้ เพื่อขวางกั้นการถ่ายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้เคลือบมีสมบัติดังนี้

1. มีสมบัติในการสร้างฟิล์มที่แข็งแรง
2. ไม่มีรสชาติแปลกปลอม
3. มีสมบัติในการเกิดฟิล์มที่ง่ายและรวดเร็วเมื่อใช้เทคนิคในการเตรียมที่ถูกต้อง
4. สามารถการกระจายตัวในน้ำได้ดี
5. ฟิล์มมีความคงตัวในสภาวะต่างๆ และไม่รวมตัวกับสารละลายออสโมติก

ข้อดีของการเคลือบผลไม้ด้วยไฮโดรคอลลอยด์ (Camirand *et al.*, 1992)

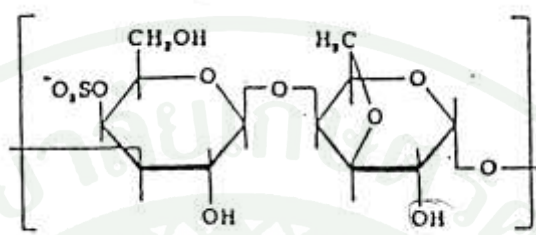
1. ส่งผลให้อัตราการออกสู่ออกซิเจนที่ไฮโดรคาร์บอนดีขึ้นเมื่อเทียบกับผลไม้ที่ไม่ผ่านการเคลือบ
2. ลดการสูญเสียขององค์ประกอบที่สำคัญระหว่างกระบวนการ เช่น สี กลิ่นรส และสารอาหารต่าง
3. สามารถใช้สารละลายออกซิเจนที่มีโมเลกุลต่ำ เช่น โซเดียมคลอไรด์ และลดการแทรกซึมของสารละลายไปสู่ผลไม้
4. ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากขึ้น
5. ช่วยลดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาออกซิเดชัน
6. ส่งผลต่อลักษณะปรากฏผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารเคลือบเป็นโพลิแซ็กคาไรด์

คาราจีแนน (Carrageenan) สกัดจากสาหร่ายสีแดง *Chondrus crispus* หรือเรียกว่า Irish moss มีอยู่ 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ แคลปาคาราจีแนนซึ่งให้เจลลักษณะแข็งคงตัว, ไอโอตาคาราจีแนนให้เจลที่ยืดหยุ่นและ แลมดาคาราจีแนน ไม่สามารถเกิดเจลได้แต่ใช้ทำหน้าที่เป็นสารให้เนื้อสัมผัส การที่คาราจีแนนทั้ง 3 ชนิดให้เจลที่แตกต่างกัน โดย แคลปาคาราจีแนนมีประจุน้อย ต้องการความร้อนในการละลาย โดยเอาพลังงานเข้าไปทำลายแต่ละโมเลกุล สามารถเกิดเจลที่คงตัว สายโซ่เกิดการผลัดกันในระดับต่ำและทำปฏิกิริยาในรูป 3 มิติ ไอโอตาคาราจีแนนมีประจุที่เป็นกลางต้องการความร้อนน้อยกว่าแคลปาคาราจีแนนในการละลาย ให้เจลที่นุ่มยืดหยุ่น แลมดาคาราจีแนนมีประจุสูงละลายน้ำเย็นได้ดี โดยเกิดการผลัดสายโซ่ให้ห่างกันได้ น้ำเย็น ไม่เกิดเจลเนื่องจากไม่ทำปฏิกิริยาสานกันเป็นร่างแห (Carr, 1993)

โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของคาราจีแนน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์สายตรงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วย D-galactose unit และ 3,6 –anhydrogalactose (3,6 –AG) ทั้งที่มีและไม่มีหมู่ซัลเฟต เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -(1,3) และ β -(1,4) ไกลโคซิดิก ชนิดของคาราจีแนนแบ่งตามจำนวนและตำแหน่งของหมู่ซัลเฟตและการเกิด 3,6 –anhydro bridge บน galactose unit ลักษณะโครงสร้างของคาราจีแนนแต่ละชนิดสามารถตรวจหาได้ โดยการเปรียบเทียบจากลักษณะ infrared spectrum

แคลปาคาราจีแนน (K-cgn) ประกอบด้วย 1,3 linked galactose-4-sulfated unit และ 1,4-linked 1,6-anhydro-D-galactose unit ดังแสดงในภาพที่ 9 และมี ester sulfated ประมาณ 25% การให้ความร้อนแก่แคลปาคาราจีแนนในภาวะที่เป็นต่าง จะเกิดการกำจัดหมู่ซัลเฟตและเกิด 3,6 anhydro unit เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ได้เจลที่แข็งแรงขึ้น ซึ่ง K-cgn ละลายได้ในน้ำร้อนเป็น

อย่างดี แต่ละลายได้เพียงเล็กน้อยในน้ำเย็น โดยทั่วไปแล้วใช้อุณหภูมิประมาณ 120 องศาฟาเรนไฮต์ คาราจีแนนมีเสถียรภาพที่ความเป็นกรดต่างมากกว่า 7 คาราจีแนนทุกชนิดละลายได้ที่อุณหภูมิสูง แคปปาและไอโอตาคาราจีแนนเกิดเจลที่แตกต่างกันไปในช่วงอุณหภูมิ 40-70 °C ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแคทไอออนที่ใช้



ภาพที่ 9 ลักษณะโครงสร้างของแคปปาคาราจีแนน (K-cgn)

ที่มา: Trius *et al.* (1994)

6. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model) หมายถึง การอนุมานทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายสมบัติและลักษณะของระบบทางกายภาพจริง โดยใช้ตัวแปรทางคณิตศาสตร์ ข้อดีของแบบจำลอง คือ การลดจำนวนของการทดลอง ส่งผลถึงการลดเวลาและค่าใช้จ่าย การอธิบายความสัมพันธ์ ภายในของกระบวนการ ซึ่งบางครั้งการทดลองไม่สามารถแสดงออกมาได้ การหาสภาวะของกระบวนการที่เหมาะสม ความสามารถในการทำนายเนื่องด้วยกรณีต่างๆ และช่วยในการทำระบบการควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ (นันทวัน, 2552)

Matusek *et al.* (2008) ได้ศึกษากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในตัวอย่างแอปเปิลที่แช่ในซุโครส และ ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง Regression แบบ linear regression เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น (อุณหภูมิในกระบวนการออสโมติก, ความเข้มข้นของสารละลาย และเวลาในการออสโมติก) และตัวแปรตาม (ปริมาณความชื้น การสูญเสีย น้ำ การเพิ่มขึ้นของของแข็ง และน้ำหนักที่ลดลง) พบว่าทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมติก, ความเข้มข้นของสารละลาย และเวลาในการออสโมติก มีผลต่อค่าปริมาณความชื้น การสูญเสีย น้ำ การเพิ่มขึ้นของของแข็งและน้ำหนักที่ลดลง โดยเมื่อสร้างแบบจำลอง linear regression พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการออสโมติกส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงในตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ มากกว่าซุโครสเป็น 2 เท่า

7. การศึกษาอายุการเก็บ

คุณภาพของอาหารมักจะลดลงเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้น เนื่องจากการเสื่อมเสียเกิดขึ้นตามธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นการเสื่อมเสียทางกายภาพ เคมีหรือจุลินทรีย์ รวมทั้งสภาวะที่เก็บและขนส่งล้วนมีผลทำให้อาหารมีคุณภาพที่ลดลงจนถึงระดับหนึ่งที่ผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคหรือไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดของกฎหมาย

ระหว่างการขนส่ง การกระจายสินค้าและการเก็บรักษาสภาพผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารมักสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน และแสง ซึ่งสามารถกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ทำให้เกิดการเสื่อมเสียขึ้นในอาหารและผลิตภัณฑ์ได้

การเสื่อมเสียของอาหาร หมายถึงการที่อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและคุณภาพรวมถึงสี กลิ่นรส รูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร และคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นจำเป็นต้องเข้าใจปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียก่อนที่จะพัฒนา วิธีการสำหรับการประเมินอายุการเก็บของอาหาร (รุ่งนภา, 2549)

จากการศึกษาอายุการเก็บของลูกพลับอบแห้ง พบว่าสีเป็นคุณลักษณะที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยศึกษาการแช่ลูกพลับในสารละลาย 4 สภาวะ คือสภาวะควบคุม, แช่ในสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) นาน 15 นาที, แช่สารละลายกรดซิตริกนาน 15 นาที และ 30 นาที และทำการศึกษาอายุการเก็บนาน 409 วันที่อุณหภูมิ 2, 10, 18 และ 28 °C และวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ในระบบ CIE-Lab และประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสี total color difference (ΔE^*) ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีเป็นไปตามปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์อันดับ 1 โดยผลการศึกษาพบว่าการแช่ลูกพลับด้วยกรดซิตริกเป็นทางเลือกหนึ่งในการรักษาคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 18 °C การเปลี่ยนแปลงค่าสีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อแช่ในกรดซิตริก 15 และ 30 นาที (Carrea *et al.*, 2010)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. มะละกอ พันธุ์แขกดำ (*Carica papaya* L.)
2. แคลปาคาราจีแนน (K-cgn) (บริษัทเอฟเอ็มซี เคมีคัล (ประเทศไทยจำกัด), ประเทศไทย)
3. น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ (บริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด, ประเทศไทย)
4. น้ำตาลอินเวิร์ต (บริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด, ประเทศไทย)
5. กรดซิตริก (AR grade, ยี่ห้อ UNIVAR บริษัท Ajax Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
6. แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) (Food grade, ประเทศไทย)
7. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) (Food grade, ประเทศไทย)
8. น้ำกลั่น

2. สารเคมีที่ใช้ในวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

1. คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (AR grade, ยี่ห้อ UNIVAR บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย)
2. Potassium sodium tartrate tetrahydrate ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (AR grade, บริษัท QReC ประเทศนิวซีแลนด์)
3. Sodium hydroxide (NaOH) (AR grade, บริษัท QReC ประเทศนิวซีแลนด์)
4. Methylene blue (AR grade, บริษัท Alpha Chemika ประเทศนิวซีแลนด์)
5. D-glucose (AR grade, ยี่ห้อ UNIVAR บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals Limited ประเทศออสเตรเลีย)
6. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 7
7. ฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้น 1% ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95%
8. สารละลายเกลืออิมิตัว $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (AR grade, ยี่ห้อ UNIVAR บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย)
9. สารละลายเกลืออิมิตัว NaCl (AR grade, ยี่ห้อ UNIVAR บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย)

10. มอนอโฟสเฟตไฮดรอกซีฟอสเฟต (KH_2PO_3)(AR grade, ยี่ห้อ UNIVAR บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย)

11. Plate Count Agar ((Standard methods agar), บริษัท HIMEDIA ประเทศอินเดีย)

12. Potato Dextrose agar (BIOMARK ประเทศอินเดีย)

13. กรดทาร์ทาริก (CHOH.COOH)₂ (AR grade, ยี่ห้อ UNIVAR บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย)

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบและการผลิต

1. อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น หม้อ เหยียง มีด ตะแกรง
2. เตาแก๊ส
3. กระปุกพลาสติก มีฝาปิด (ใช้สำหรับการหมัก) ขนาดบรรจุ 350 มิลลิตร
4. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (บริษัท J.P. Engineering ประเทศไทย)
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เทอร์โมคัปเปิ้ล
7. ถ้วยบลร่อนแบบถาด (Trey dry) ขนาดภายใน กว้าง 40 ซม. X ยาว 56 ซม. X สูง 50 ซม. (บริษัท Schwabach FRG ประเทศเยอรมนี)
8. โถดูดความชื้น (Desiccator) เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 มม. (ยี่ห้อ Kartell ประเทศอิตาลี)
9. ปัมสุญญากาศ (Aspirator pump) (ยี่ห้อ Eyela รุ่น A-3S ประเทศญี่ปุ่น)

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- เครื่องวัดค่า Water activity (ยี่ห้อ AQUA Lab รุ่น a_w CX3TE บริษัท Decagon Device ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- เครื่องวัดสี Spectrophotometer (ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d ประเทศญี่ปุ่น)
- เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Texture analyzer (TA.XT plus, Stable Micro Systems, ประเทศสหราชอาณาจักร)
- ใบมีดตัด Warner Bratzler Blade
- เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Refractometer) (ยี่ห้อ Atago ประเทศญี่ปุ่น)

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- เครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี
- กระดาษกรอง หมายเลข 4
- เครื่องปั่น (Moulinex, T71)
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง
- จานอลูมิเนียม สำหรับหาปริมาณความชื้น
- ตู้อบไฟฟ้าสุญญากาศ (BINDER, Model 1VD53 ประเทศเยอรมนี)

4.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- อุปกรณ์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่น ถาดเสิร์ฟตัวอย่าง แก้วน้ำ สติกเกอร์
- แบบสอบถาม

4.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

- เครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์
- เครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (Autoclave-stream sterilizer) (ยี่ห้อ Tuttnauer รุ่น 3850 M. ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- ตู้ฆ่าเชื้อลมร้อน (Hot air oven) (ยี่ห้อ Binder รุ่น FD-115, ประเทศเยอรมนี)
- เครื่องผสมอาหาร Stomacher (ยี่ห้อ Seward รุ่น Model 400, ประเทศสหราชอาณาจักร)

4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

- โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 12
- โปรแกรมสำเร็จรูป XL STAT เวอร์ชัน 2007

วิธีการ

1. การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างมะละกอต่อบลูโครสต่อดัชนีคุณภาพของมะละกอแช่อิ่ม

1.1 การเตรียมตัวอย่างมะละกอ

นำมะละกอพันธุ์แขกดำ (*Carica papaya* L.) มาล้างและปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นขนาด $0.8 \times 0.8 \times 0.8$ เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ivo ประมาณ 1 เดือน

1.2 กระบวนการแช่อิ่ม

นำชิ้นมะละกอที่เตรียมไว้ ประมาณ 6,400 กรัม มาล้าง แช่ในสารละลายผสมระหว่าง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ความเข้มข้น 0.1% และ CaCl_2 ความเข้มข้น 2% โดยใช้สัดส่วนระหว่างมะละกอต่อบลูโครสต่อดัชนีคุณภาพเท่ากับ 1:3 แช่ไว้นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างมะละกอ และนำไปลวกในน้ำเดือด นาน 5 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอต่อบลูโครสต่อดัชนีคุณภาพเท่ากับ 1:5 จากนั้นนำมะละกอขึ้นจากน้ำเดือดและใส่เต็ดน้ำบนตะแกรง นาน 3 นาที นำมะละกอทั้งหมดแยกออกเป็น 4 ส่วน เพื่อแช่อิ่มในการละลายชูโครสต่อดัชนีคุณภาพ 35, 45, 55 และ 65 °Brix โดยนำมะละกอประมาณ 50 กรัม ใส่ลงในกระปุกพลาสติก (ปริมาตร 350 มิลลิลิตร) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอต่อบลูโครสต่อดัชนีคุณภาพ (F:S) เป็น 1:1, 1:1.5, 1:2 และ 1:4 (w/w) โดยแช่อิ่มที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 °C สุ่มตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มเพื่อนำมาวัดค่าทางคุณภาพทุกช่วงเวลา 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง หลังจากการแช่อิ่มนั้นสะเด็ดน้ำเชื่อมนาน 1-2 นาที และซับผิวหน้ามะละกอแช่อิ่มด้วยกระดาษทิชชู เพื่อซับน้ำเชื่อมออกจากชิ้นมะละกอ และนำไปวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid), ปริมาณความชื้น (moisture content), ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (water loss), ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain), และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain)

1.3 การวัดค่าคุณภาพ

(1) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid)

ชั่งตัวอย่างมะละกอที่สุ่มออกมาแต่ละชั่วโมงประมาณ 15 กรัม ± 0.1 กรัม ปั่นกับน้ำ DI ปริมาณ 45 กรัม ปั่นตัวอย่างโดยเครื่องปั่น (Moulinex, T71) ประมาณ 1 นาที

จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวในตัวอย่างออกมาวัดค่า โดยใช้เครื่อง hand refractometer (Atago, Osaka, Japan) รายงานค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยคูณค่าค่าที่อ่านได้ ด้วย dilution factor ซึ่งเท่ากับ 4

(2) ปริมาณความชื้น (moisture content)

นำตัวอย่างมะละกอแช่อิ่ม หรือมะละกอสด หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ (หั่นในถุงพลาสติก เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นระหว่างการตัดตัวอย่าง) ชั่งตัวอย่างมะละกอที่หั่นแล้วประมาณ 5-6 กรัม ลงในจานอลูมิเนียมและนำไปอบที่ตู้อบไฟฟ้าสุญญากาศ (BINDER, Model 1VD53, ประเทศเยอรมนี) ที่อุณหภูมิ 70 °C ภายใต้ความดันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 มิลลิบาร์ ประมาณ 18 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ (Chenlo *et al.*, 2007; Prothon and Ahrne, 2004).

1.4 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

พารามิเตอร์ที่ใช้วัดค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในรูปของ solid gain (SG) และ water loss (WL) โดยการคำนวณจากค่าความชื้น และน้ำหนักมะละกอที่แช่อิ่ม เมื่อเวลาผ่านไป ดังสมการที่ (1) และ (2) และคำนวณค่า weight gain (WG) ดังสมการที่ (3)

$$WL(\%) = \left(\frac{W_i(x_{wi}) - W_t(x_{wt})}{W_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$SG(\%) = \left(\frac{W_t(x_{st}) - W_i(x_{si})}{W_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$WG(\%) = SG - WL \quad (3)$$

เมื่อ; SG(%) คือปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น, WL(%) คือปริมาณน้ำที่สูญเสีย, WG (g db) คือน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น, W_i คือน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม), W_t คือน้ำหนักของตัวอย่างหลังการออสโมติก ณ เวลา t (กรัม), x_{si} คือปริมาณของแข็งของตัวอย่างเริ่มต้น, x_{st} คือปริมาณของแข็งของตัวอย่างหลังการออสโมติก ณ เวลา t , x_{wi} คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น, x_{wt} คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างหลังการออสโมติก ณ เวลา t

1.5 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusivity) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusivity, D_{ew}) ระหว่างกระบวนการออสโมติก เพื่อบ่งบอกความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารซึ่งพิจารณาโดยอาศัยสมการแพร่ตามกฎข้อที่ 2 ของฟิคส์ (Fick's second law) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความชื้น (MR) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความชื้นเริ่มต้นและความชื้น ณ จุดสมดุล (คำนวณจากกราฟ) ดังแสดงในสมการ (4) – (6) (Crank, 1975);

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (4)$$

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \left(\frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{ew} t}{4L^2}\right) \right)^3 \quad (5)$$

สำหรับการแก้สมการที่ใช้ระยะเวลานานนั้น สามารถลดรูปสมการที่ (5) ให้เหลือแค่เทอมแรกของสมการดังสมการที่ (6) (ดัดแปลงจาก Pisulka *et al.*, 2011)

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{ew} t}{4L^2} \quad (6)$$

เมื่อ MR = สัดส่วนความชื้น, M = ความชื้นในตัวอย่างมะละกอเมื่อเวลาในการออสโมติก t , M_o = ความชื้นในตัวอย่างมะละกอเริ่มต้น (กรัมของน้ำ/กรัมของของแข็งเริ่มต้น), M_e = ความชื้นในตัวอย่างมะละกอ ณ จุดสมดุล (กรัมของน้ำ/กรัมของของแข็งเริ่มต้น) D_{ew} = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (เมตร² ต่อวินาที), L = ความหนาครึ่งหนึ่งของมะละกอ (เมตร), t = เวลาในการออสโมติก (วินาที), n = the positive integer.

1.6 การศึกษาแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) และการทวนสอบสมการ (validation)

สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) แบบเชิงเส้นตรง (linear regression) และไม่ใช่เส้นตรง (nonlinear regression) แบบสมการ quadratic ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 12 โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ถดถอย และส่วนที่ 2 ข้อมูล

จากการทดลองใหม่ เพื่อทดสอบความถูกต้องของสมการ ซึ่งเป็นข้อมูลคนละชุดกับที่ใช้สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ถดถอย ตัวแปรต้นในการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ถดถอย ได้แก่ ความเข้มข้นของซูโครสที่ใช้ (X1), เวลาที่ใช้ในกระบวนการออสโมติก (X2) และอัตราส่วนระหว่างมะละกอ ต่อ สารละลายซูโครสที่ใช้ (X3) ส่วนตัวแปรตามได้แก่ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG), ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS)

สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย ตามสมการที่ (7)

$$Y_k = \beta_{ko} + \sum_{i=1}^3 \beta_{ki} X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{kii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{kij} X_i X_j \quad (7)$$

เมื่อ β_{ko} , β_{ki} , β_{kii} และ β_{kij} คือค่าคงที่ของสมการ, X คือตัวแปรต้นที่ศึกษา

จากนั้นทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error, RMSE) ดังสมการที่ (8) – (9)

$$R^2 = \frac{(n \sum xy - \sum x \sum y)^2}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2) \times (n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum [x - y]^2}{n - 2}} \quad (9)$$

เมื่อ; x คือ ค่าจริงที่ได้จากการทดลอง , y คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง, n คือ จำนวนหน่วยของข้อมูล, residual คือ ความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของแบบจำลอง

2 การศึกษาผลของการลดความดันสุญญากาศก่อนการแช่แข็งต่อคุณภาพมะละกอแช่แข็ง

2.1 การเตรียมตัวอย่างมะละกอ

นำมะละกอพันธุ์แขกดำ (*Carica papaya* L.) มาล้างและปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นขนาด $0.8 \times 0.8 \times 0.8$ เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ใ้ประมาณ 1 เดือน

2.2 การลดความดันสุญญากาศและกระบวนการแช่แข็ง

นำชิ้นมะละกอที่เตรียมไว้ ประมาณ 800 กรัม แช่ในสารละลายผสมระหว่าง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ความเข้มข้น 0.1% และ CaCl_2 ความเข้มข้น 2% โดยใช้สัดส่วนระหว่าง มะละกอต่อสารละลาย เท่ากับ 1:3 แช่นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างมะละกอ และนำไปลวกในน้ำเดือด นาน 5 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอ ต่อ น้ำที่ใช้ลวก เท่ากับ 1:5 จากนั้นนำมะละกอขึ้นจากน้ำเดือดและสะเด็ดน้ำบนตะแกรง นาน 3 นาที จากนั้นแบ่งมะละกอที่ได้ออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความดันสุญญากาศก่อนการแช่แข็ง และส่วนที่ผ่านการลดความดันสุญญากาศก่อนการแช่แข็ง โดยนำมะละกอบรรจุในถุงพลาสติกและเปิดปากถุงให้กว้าง วางถุงมะละกอในเครื่องเดซิเคเตอร์ที่ต่อกับเครื่องปั๊ม (aspirator รุ่น Eyela A-3s, Tokyo) ซึ่งใช้ความดันเท่ากับ 2.66 kPa นาน 20 นาที หลังจากนั้นนำมะละกอ (ที่ผ่านและไม่ผ่านการลดความดันสุญญากาศ) บรรจุในกระปุกพลาสติก (ความจุ 350 มิลลิตร) ปริมาณ 50 กรัม และเติมซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอ ต่อ ซูโครส เท่ากับ 1:2 และอุณหภูมิในการแช่แข็งเท่ากับ 40 °C สุ่มตัวอย่างมะละกอแช่แข็งเพื่อนำมาวัดค่าทางคุณภาพทุกช่วง 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง หลังจากการนั้นสะเด็ดน้ำแช่เย็นนาน 1-2 นาที และซับผิวหน้ามะละกอแช่แข็งด้วยกระดาษทิชชู เพื่อซับน้ำเชื่อมออกจากชิ้นมะละกอ จากนั้นนำไปวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solid), ปริมาณความชื้น (moisture content) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (water loss), ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain)

2.3 การวัดค่าคุณภาพ

(1) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) ตามวิธีการวัดค่ามะละกอแช่แข็งในข้อ 1.3 (1)

(2) ปริมาณความชื้น (moisture content) ตามวิธีของ Chenlo *et al.*, 2007 และ Prothon and Ahrne, 2004 ในข้อ 1.3 (2)

2.4 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

พารามิเตอร์ที่ใช้วัดค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในรูปของ solid gain (SG) และ water loss (WL) โดยการคำนวณจากค่าความชื้น และน้ำหนักมะละกอกที่แช่จุ่ม เมื่อเวลาผ่านไป ดังสมการที่ (1) และ (2) และคำนวณค่า weight gain (WG) ดังสมการที่ (3)

2.5 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusivity) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusivity, D_{ew}) ระหว่างกระบวนการออสโมติก ตาม Crank, 1975 และ Pisulka *et al.*, 2011 ในแสดงสมการที่ (4)-(6)

3 ศึกษาผลของการเคลือบด้วยแคปซาคาราจีแนน (K-cgn) และอุณหภูมิต่อการแช่จุ่มกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

3.1 การเตรียมตัวอย่างมะละกอก และดิสเพอร์ชันของแคปซาคาราจีแนน

นำมะละกอกพันธุ์แขกดำ (*Carica papaya L.*) มาล้างและปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นขนาด $0.8 \times 0.8 \times 0.8$ เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) iva ประมาณ 1 เดือน และเตรียมดิสเพอร์ชันของแคปซาคาราจีแนน โดยค่อย ๆ ละลายแคปซาคาราจีแนนในน้ำ DI จนสารละลายใส จากนั้นให้ความร้อนแก่สารละลายจนถึง 95°C นาน 15 นาที

3.2 กระบวนการแช่จุ่ม

นำชิ้นมะละกอกที่เตรียมไว้ ประมาณ 3,600 กรัม แช่ในสารละลายผสมระหว่าง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ความเข้มข้น 0.1% และ CaCl_2 ความเข้มข้น 2% โดยใช้สัดส่วนระหว่าง มะละกอกต่อสารละลาย เท่ากับ 1:3 แช่นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างมะละกอก และนำไปลวกในน้ำเดือด นาน 5 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอก ต่อ น้ำที่ใช้ลวก เท่ากับ 1:5 จากนั้นนำมะละกอกขึ้นจากน้ำ

เดือดและสะเด็ดน้ำบนจะแกร่ง นาน 3 นาที นำมะละกอกที่ได้ออกไปเคลือบดิสเพอร์ชันของแคปปาคาราจีแนนที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.1 ที่ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% โดยใช้สัดส่วนระหว่าง มะละกอก ต่อสารละลาย K-cgn เท่ากับ 0.8:1 นาน 2 นาที และสะเด็ดน้ำ 15 นาที เปรียบเทียบกับ มะละกอกที่ไม่ผ่านการเคลือบ โดยบรรจุมะละกอกในขวดพลาสติก (ความจุ 350 มิลลิตร) ปริมาณ 50 กรัม และเติมซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอก ต่อ ซูโครส เท่ากับ 1:2 จากนั้นแบ่งมะละกอกที่ได้ออกเป็น 3 ส่วนคือ สำหรับแช่ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 °C สุ่มตัวอย่างมะละกอกแช่เพื่อ นำมาวัดค่าทางคุณภาพทุกช่วง 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง หลังจากการแช่ที่อุณหภูมิแช่ 1-2 นาที และซับผิวหน้ามะละกอกแช่ด้วยกระดาษทิชชู เพื่อซับน้ำเชื่อมออกจากชั้นมะละกอก และนำไปวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solid), ปริมาณความชื้น (moisture content) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (water loss), ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain) (ดังสมการที่ (1)-(2))

3.3 การวัดค่าคุณภาพ

(1) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) ตามวิธีการวัดค่า มะละกอกแช่ในข้อ 1.3(1)

(2) ปริมาณความชื้น (moisture content) ตามวิธีของ Chenlo *et al.*, 2007 และ Prothon and Ahrne, 2004 ในข้อ 1.3(2)

3.4 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

พารามิเตอร์ที่ใช้วัดค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในรูปของ solid gain (SG) และ water loss (WL) โดยการคำนวณจากค่าความชื้น และน้ำหนัก มะละกอกที่แช่ เมื่อเวลาผ่านไป ดังสมการที่ (1) และ (2) และคำนวณค่า weight gain (WG) ดังสมการที่ (3)

3.5 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusivity) ระหว่าง กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusivity, D_{ew}) ระหว่าง กระบวนการออสโมติก ตาม Crank, 1975 และ Pisulka *et al.*, 2011 ในแสดงสมการที่ (4)-(6)

4. ศึกษาผลของชนิดน้ำตาลและการเคลือบ K-cgn ต่อคุณภาพมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

4.1 การเตรียมตัวอย่างมะละกอ และดิสเพอร์ชันของแคปซูลคาราจีแนน

นำมะละกอพันธุ์แขกดำ (*Carica papaya L.*) มาล้างและปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นขนาด $0.8 \times 0.8 \times 0.8$ เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ไร่ประมาณ 1 เดือน และเตรียมดิสเพอร์ชันของแคปซูลคาราจีแนน โดยค่อย ๆ ละลายแคปซูลคาราจีแนนในน้ำ DI จนสารละลายใส จากนั้นให้ความร้อนแก่สารละลายจนถึง 95°C นาน 15 นาที

4.2 กระบวนการแช่อิ่มและอบแห้ง

นำชิ้นมะละกอที่เตรียมไว้ ประมาณ 2,400 กรัม แช่ในสารละลายผสมระหว่าง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ความเข้มข้น 0.1% และ CaCl_2 ความเข้มข้น 2% โดยใช้สัดส่วนระหว่าง มะละกอดต่อสารละลาย เท่ากับ 1:3 แช่นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างมะละกอ และนำไปลวกในน้ำเดือด นาน 5 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอ ต่อ น้ำที่ใช้ลวก เท่ากับ 1:5 จากนั้นนำมะละกอขึ้นจากน้ำเดือดและสะเด็ดน้ำบนตะแกรง นาน 3 นาที แบ่งมะละกอที่ได้ออกเป็น 2 ส่วนโดยแปรผันระดับการเคลือบแคปซูลคาราจีแนนในชิ้นมะละกอก่อนการแช่อิ่มที่ความเข้มข้น 0, 0.5 % โดยใช้สัดส่วนระหว่าง มะละกอดต่อสารละลาย K-cgn เท่ากับ 0.8 : 1 นาน 2 นาที และสะเด็ดน้ำ 15 นาที เปรียบเทียบกับมะละกอที่ไม่ผ่านการเคลือบ และบรรจุมะละกอในภาชนะพลาสติก (ความจุ 2 ลิตร) ปริมาณ 600 กรัม และเติมซูโครสและสารละลายน้ำตาลอินเวิร์ต ความเข้มข้น 65°Brix โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอ ต่อ ซูโครส เท่ากับ 1:2 แช่อิ่มที่อุณหภูมิ 40°C สุ่มตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มเพื่อนำมาวัดค่าทางคุณภาพทุกช่วง 1, 3 และ 6 ชั่วโมง สะเด็ดน้ำเชื่อม นาน 1-2 นาที จากนั้นแบ่งมะละกอที่สุ่มออกมาเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งนำไปวัดค่าคุณภาพ โดยชับผิวหน้ามะละกอแช่อิ่มด้วยกระดาษทิชชู เพื่อชับน้ำเชื่อมออกจากชิ้นมะละกอ จากนั้นนำไปวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solid), ปริมาณความชื้น (moisture content), ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity), ค่าแรงตัดสูงสุด (maximum shear force) และ ส่วนที่ 2 นำตัวอย่างไปลวกในน้ำเดือดประมาณ 3-5 วินาทีเพื่อล้างน้ำเชื่อมออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C นานประมาณ 20 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ก่อนนำไปวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solid) ปริมาณความชื้น (moisture content), ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity), ค่าแรงตัดสูงสุด (maximum shear force) และค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

4.4 การวัดค่าคุณภาพ

(1) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid)

ชั่งตัวอย่างมะละกอแช่อิ่ม 15 กรัม $\pm$ 0.1 กรัม ปั่นกับน้ำ DI ปริมาณ 45 กรัม และชั่งมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง 10 กรัม $\pm$ 0.1 กรัม ปั่นกับน้ำ DI ปริมาณ 50 กรัม โดยใช้เครื่องปั่น (Moulinex, T71) ประมาณ 1 นาที จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวในตัวอย่างออกมาวัดค่าโดยใช้เครื่อง hand refractometer (Atago, Osaka, Japan) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด รายงานโดยการนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องคูณด้วยค่า dilution factor ซึ่งเท่ากับ 4 และ 6 ตามลำดับ

(2) ปริมาณความชื้น (moisture content)

นำตัวอย่างมะละกอแช่อิ่ม / มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ (หั่นในถุงพลาสติก เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นระหว่างการตัดตัวอย่าง) ชั่งตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มที่หั่นแล้ว (ประมาณ 5-6 กรัม) / มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (ประมาณ 3-4 กรัม) ลงในจานอลูมิเนียม และนำไปอบที่ตู้อบไฟฟ้าสุญญากาศ (BINDER, Model 1VD53, ประเทศเยอรมนี) ที่อุณหภูมิ 70 °C ภายใต้อัตราความดันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 มิลลิบาร์ ประมาณ 18 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ (Chenlo *et al.*, 2007 และ Prothon and Ahrne 2004).

(3) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity)

ตัดตัวอย่างมะละกอแช่อิ่ม / มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง เป็นชิ้นเล็ก ๆ (ตัดในถุงพลาสติก) เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นระหว่างการตัดตัวอย่าง นำตัวอย่างมะละกอที่ตัดแล้ว ประมาณ 2-3 กรัม ใส่ลงในถ้วยพลาสติกเพื่อวัดตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดวอเตอร์แอคทิวิตี (AQUA Lab รุ่น aw CX3TE บริษัท Decagon Device) ที่อุณหภูมิ 25 °C โดยก่อนทำการวัดค่า Calibrated เครื่องโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว $Mg(NO_3)_2 = 0.529$ และ $NaCl = 0.753$ ก่อนการวัดค่าตัวอย่าง บันทึกค่าที่ได้หลังจากถึงจุดอิ่มตัว โดยวัดค่า 2 ชั่วโมง

(4) ค่าแรงตึงสูงสุด (maximum shear force)

วัดค่าแรงตึงสูงสุด ด้วยเครื่อง texture analyzer (TA.XT plus, Stable Micro Systems, UK) เชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ Texture Exponent 32 (Version 2,0,4,0, Stable Micro

Systems, UK) วัดตัวอย่างมะละกอ 30 ชิ้นโดยใช้ใบมีดตัด Warner Brazler Blade โดยกำหนดความเร็วของหัววัดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วของหัววัดก่อน-หลังการวัดตัวอย่างเท่ากับ 1 และ 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ (Chauhan *et al.*, 2006)

(5) ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

การวัดค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบการยอมรับตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง จำนวน 8 ตัวอย่าง โดยแปรผันเวลาในการแช่อิ่ม (1,3 และ 6 ชั่วโมง) สารละลายออสโมติก (ซูโครส และ อินเวิร์ต) และการไม่เคลือบและเคลือบ 0.5% K-cgn จากการทดสอบใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 112 คน จากภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยผู้ทดสอบแต่ละคนจะต้องทดสอบตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งคนละ 4 ตัวอย่าง โดยการสุ่มที่ละตัวอย่าง โดยจะได้รับตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตัวอย่างละ 5-7 กรัม ซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกพร้อมเลขสุ่ม 3 หลัก ผู้ทดสอบจะต้องดื่มน้ำทุกครั้งเมื่อทดสอบผลิตภัณฑ์เสร็จ หรือก่อนจะทดสอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างถัดไป โดยการทดสอบการยอมรับโดยใช้ 9 point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉยๆ, 9=ชอบมากที่สุด) โดยผู้ทดสอบจะถูกถามเกี่ยวกับ ลักษณะปรากฏ, สี, เนื้อสัมผัส, รสหวาน และความชอบรวม และถาม JAR (1=หวานน้อยไป, 2=หวานพอดี และ 3=หวานเกินไป)

วางแผนการทดลองแบบ BIB (A balanced incomplete block design) ($t=8$, $k=4$, $r=7$, $b=14$, $\lambda=3$, $E=0.86$, Type I) จากแผนการทดลองนี้พบว่าทดสอบตัวอย่างทั้งหมด(t) 8 ตัวอย่าง โดยผู้ทดสอบแต่ละคนจะได้ทดสอบตัวอย่างจำนวน (k) 4 ตัวอย่าง จาก 8 ตัวอย่าง ใน 1 เซตทดลองแต่ละตัวอย่างจะถูกทดสอบ 7 ครั้ง ($r=7$) ใช้ผู้ทดสอบในเซตนี้จำนวน 14 คน ($b=14$) โดยแต่ละคู่ของตัวอย่างจะปรากฏพร้อมกัน 3 ครั้ง ประสิทธิภาพการทดลองในเซตนี้เท่ากับ 86% ดังนั้นเมื่อต้องการให้ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างถูกทดสอบอย่างน้อย 50 ครั้ง (ใน 1 เซตตัวอย่างถูกทดสอบ 7 ครั้งดังนั้นต้องทำการทดลองทั้งหมด 8 เซต ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจึงจะถูกทดสอบจำนวน $7 \times 8 = 56$ ครั้ง) จึงต้องใช้ผู้ทดสอบทั้งสิ้น $14 \times 8 = 112$ คน

5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

5.1 การเตรียมตัวอย่างมะละกอ และดิสเพอร์ชันของแคปซาคาราจีแนน

นำมะละกอพันธุ์แขกดำ (*Carica papaya L.*) มาล้างและปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นขนาด $0.8 \times 0.8 \times 0.8$ เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ไว้ประมาณ 1 เดือน และเตรียมดิสเพอร์ชันของแคปซาคาราจีแนน โดยค่อย ๆ ละลายแคปซาคาราจีแนนในน้ำ DI จนสารละลายใส จากนั้นให้ความร้อนแก่สารละลายจนถึง 95°C นาน 15 นาที

5.2 กระบวนการแช่อิ่มและอบแห้ง

นำชิ้นมะละกอที่เตรียมไว้ แช่ในสารละลายผสมระหว่าง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ความเข้มข้น 0.1% และ CaCl_2 ความเข้มข้น 2% โดยใช้สัดส่วนระหว่าง มะละกอต่ สารละลาย เท่ากับ 1:3 แช่นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างมะละกอ และนำไปลวกในน้ำเดือด นาน 5 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอ ต่ น้ำที่ใช้ลวก เท่ากับ 1:5 จากนั้นนำมะละกอขึ้นจากน้ำเดือดและสะเด็ดน้ำบนตะแกรง นาน 3 นาที โดยแปรผันระดับการเคลือบแคปซาคาราจีแนนในชิ้นมะละกอก่อนการแช่อิ่มที่ความเข้มข้น 0, 0.5 % โดยใช้สัดส่วนระหว่าง มะละกอต่สารละลาย K-cgn เท่ากับ 0.8:1 นาน 2 นาที และสะเด็ดน้ำ 15 นาที เปรียบเทียบกับมะละกอที่ไม่ผ่านการเคลือบ และบรรจุมะละกอในภาชนะพลาสติก และเติมซูโครสและสารละลายน้ำตาลอินเวิร์ต ความเข้มข้น 65°Brix โดยใช้อัตราส่วนระหว่างมะละกอ ต่ ซูโครส เท่ากับ 1:2 แช่อิ่มที่อุณหภูมิ 40°C นาน 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปลวกในน้ำเดือดประมาณ 3-5 วินาทีเพื่อนำน้ำเชื่อมออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C นานประมาณ 20 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ประมาณ 1-2 วัน

5.4 กระบวนการเก็บรักษา

นำมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ปริมาณ 55 กรัม บรรจุลงในถุง polypropylene (PP) ขนาดกว้าง 11.4 เซนติเมตร ยาว 17 เซนติเมตร หนา $78\ \mu\text{m}$ มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) เท่ากับ $3.41\ \text{g/m}^2$ และเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40°C และสุ่มตัวอย่างออกมาวัดค่าคุณภาพตลอดการเปลี่ยนแปลง โดยวัดค่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ปริมาณความชื้น, ค่าวอเตอร์แอกติวิตี, พารามิเตอร์สี, ค่าแรงตึงสูงสุด, ค่า pH และ ปริมาณกรด

โดยวิธีไทเทรต, การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์, การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ (ในตัวอย่างเริ่มต้น) ดังภาพที่ 14

5.5 การวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

(1) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid)

ชั่งตัวอย่างมะละกอแช่อิ่ม 15 กรัม $\pm$ 0.1 กรัม ปั่นกับน้ำ DI ปริมาณ 45 กรัม และชั่งมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง 10 กรัม $\pm$ 0.1 กรัม ปั่นกับน้ำ DI ปริมาณ 50 กรัม โดยใช้เครื่องปั่น (Moulinex, T71) ประมาณ 1 นาที จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวในตัวอย่างออกมาวัดค่าโดยใช้เครื่อง hand refractometer (Atago, Osaka, Japan) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด รายงานโดยการนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องคูณด้วยค่า dilution factor ซึ่งเท่ากับ 4 และ 6 ตามลำดับ

(2) ปริมาณความชื้น (moisture content)

ตามวิธีการวัดค่าปริมาณความชื้นในตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งตามวิธีของ Chenlo *et al.*, 2007; Prothon and Ahrne 2004 ในข้อ 4.4 (2)

(3) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity)

ตามวิธีการวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งในข้อ 4.4 (3)

(4) พารามิเตอร์สี (color parameters)

วัดค่าสีของชิ้นมะละกอแช่อิ่มอบแห้งจำนวน 10 ชิ้น โดยใช้เครื่องวัดค่าสี Spectrophotometer (Minalta รุ่น CM-3500d) ในระบบ CIE Lab (L^* , a^* , b^*) โดยใช้ค่าผู้สังเกตการณ์มาตรฐานที่ 10° และแหล่งกำเนิดแสง D65 แบบสะท้อน จากนั้นปรับเทียบเครื่อง (calibrate) ก่อนวัดค่าด้วย zero calibration box (black cylinder) ตามด้วย white calibration plate จากนั้นวัดค่าสีตัวอย่าง ดัดแปลงจาก Saxena *et al.*, 2009

(5) ค่าแรงตึงสูงสุด (maximum shear force)

ตามวิธีการวัดของ Chauhan *et al.*, 2006 ในข้อ 4.4 (4)

(6) ค่า pH และ ปริมาณกรดโดยวิธีไทเทรต (titratable acidity)

ซังมะละกอ 15 ± 0.1 กรัม ปั่นผสมกับน้ำ DI ปริมาตร 45 กรัมโดยใช้เครื่องปั่นผสม (Moulinex, T71) นาน 1 นาที กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง (Whatman filter paper) หมายเลข 4 ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) นำสารละลายที่กรองได้วัดค่า pH โดยใช้ pH meter (Cyber scan 510) โดย calibration ก่อนการวัดตัวอย่างด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 4 และ 7 (Anupama *et al.*, 2003) และนำตัวอย่างที่กรองได้ ไปวัดปริมาณกรดโดยวิธีไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 N และคำนวณปริมาณกรดซิตริก (Factor = 70.5) โดยใช้สมการที่ (10)

$$\text{ปริมาณกรด (\% citric acid)} = \frac{(\text{N NaOH}) \times (\text{mLs NaOH}) \times 70.05 \times 100}{(\text{g sample}) \times 1000} \quad (10)$$

(7) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ด้วยวิธี Lane and Eynon (AOAC, 2000)

(7.1) การเตรียมสารเคมี

(7.1.1) Fehling's A solution: เตรียมโดยละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 62.28 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บในขวดสีชา

(7.1.2) Fehling's B solution: เตรียมโดยละลายโปแตสเซียมโซเดียมคาร์เตรต (Rochell salt; $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 346 กรัม และ NaOH 100 กรัมในน้ำกลั่น ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บในขวดสีชา

(7.1.3) Methylene blue 1%: เตรียมโดยละลาย Methylene blue 1 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

(7.1.4) Standard glucose solution: เตรียมโดยละลาย glucose ที่อบแห้งแล้ว 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

(7.2) การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างสารละลาย glucose ที่อบแห้งแล้ว 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและเทสารละลายที่ได้ใส่ในบิวเรต จากนั้นปิเปตสารละลาย Fehling's A และ Fehling's B solution อย่างละ 5 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปล่อยสารละลายในบิวเรต ลงมา 15 มิลลิลิตร ทั้งให้เดือดนาน 2 นาที เติมสารละลาย Methylene Blue ประมาณ 2-3 หยด แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ บันทึกปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต แล้วคำนวณหา Factor (F) จากสมการที่ (11)

ชั่งตัวอย่างน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 10 กรัมปั่นผสมกับน้ำ DI ประมาณ 100 มิลลิลิตร ประมาณ 1 นาที หรือจนตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นปรับปริมาตรของผสมเป็นในขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) 250 มิลลิลิตร (A) แล้วกรองสารละลายที่ได้ ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำสารละลายที่ได้ใส่ในบิวเรต (เพื่อเตรียมไทเทรต) จากนั้นปิเปตสารละลาย Fehling's A และ Fehling's B อย่างละ 5 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปล่อยสารละลายในบิวเรต ลงมา 15 มิลลิลิตร ทั้งให้เดือดนาน 2 นาที เติมสารละลาย Methylene Blue ประมาณ 2-3 หยด แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ บันทึกปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต แล้วคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จากสมการที่ (12)

$$\text{Factor (F)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม)} \times \text{ปริมาตรน้ำตาลกลูโคส (มิลลิลิตร)}}{100} \quad (11)$$

$$\% \text{ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์} = \frac{F \times 100 \times A}{\text{กรัมของตัวอย่างเริ่มต้น} \times \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต}} \quad (12)$$

เมื่อ A หมายถึงปริมาตรที่ใช้ในการเจือจางสารละลายตัวอย่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 250 มิลลิลิตร

(8) การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ (ตัวอย่างเริ่มต้น)

(8.1) การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count)

ตัวตัวอย่างมะละกอแช่อบแห้งเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 10 กรัม ด้วยวิธี aseptic technique เติมสารละลาย Phosphate Buffer ปริมาตร 90 มิลลิลิตร (เตรียมโดย

monopotassium phosphate 17 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ปรับ pH เป็น 7.2 ด้วย NaOH 1 N และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่ 121 °C นาน 15 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ฆ่าเชื้อแล้วมา 1.25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น และแบ่งตามปริมาตรที่ต้องการโดยใส่ขวดหรือหลอดทดลอง และนำไปฆ่าเชื้อที่ 121 °C นาน 15 นาที) ใส่ในถุง LDPE stomacher bag สำหรับ เครื่องตีปั่น เป็นเวลา 60 วินาที (ตัวอย่างมีระดับความเจือจางที่ 10^{-1}) จากนั้นเปิดส่วนใสของตัวอย่างมะละกอแช่ในน้ำเย็น (ระดับความเจือจาง 10^{-1}) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลาย บัฟเฟอร์ 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างที่มีระดับความเจือจางที่ 10^{-2} จากนั้นทำการ เจือจางด้วยวิธี serial dilution 5 ระดับคือ 10^{-2} – 10^{-6} เพื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และ ยีสร์รา โดยการเปิดสารละลายแต่ละ dilution ลงในจานเพาะเชื้อ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร) และเทอาหารเลี้ยงเชื้อ Plat count agar (เตรียมโดย PCA 42.3 กรัม และน้ำกลั่น 1,800 มิลลิลิตร ละลายที่อุณหภูมิ 45 °C 15-20 นาที นำไปฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที และเก็บในวอเตอร์บาร์ 50 °C (เพื่อรักษาอุณหภูมิของตัวอย่างเลี้ยงเชื้อให้ได้ประมาณ 45-55 °C) จนกว่าจะเตรียมตัวอย่างแต่ละ dilution ลงจานเพาะเชื้อเรียบร้อยแล้ว) ลงในจานเพาะเชื้อ 22-25 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว และนำไปบ่มที่ 35-37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยหยายจานเพาะเชื้อเมื่อครบเวลา นับเชื้อและคำนวณจุลินทรีย์ทั้งหมด หน่วย cfu/g หรือ cfu/ml (ดัดแปลงจาก BAM, 2001)

(8.2) การวิเคราะห์ยีสต์และรา

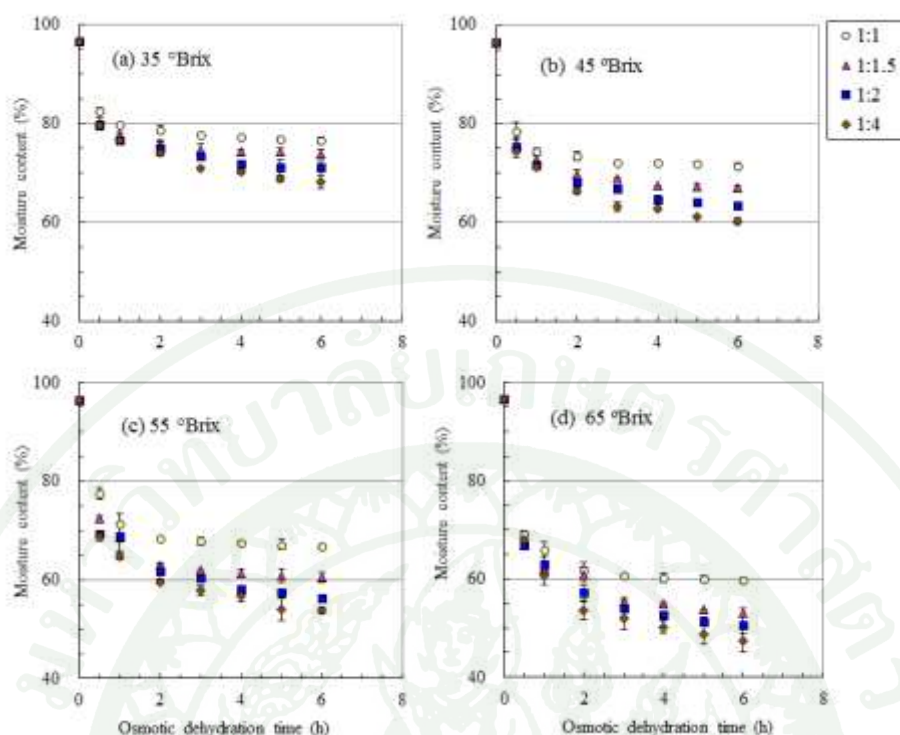
เปิดสารละลายตัวอย่างที่เจือจางที่ dilution 10^{-1} – 10^{-6} ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ และเทอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (เตรียมโดย PDA 28.08 กรัมและน้ำกลั่น 720 มิลลิลิตร ละลายที่อุณหภูมิ 45 °C 15-20 นาที และนำไปฆ่าเชื้อที่ 121 °C 15 นาที และเก็บในวอเตอร์บาร์ 50 °C จนกว่าจะเตรียมตัวอย่างแต่ละ dilution ลงจานเพาะเชื้อเรียบร้อยแล้ว) ทำการปรับ pH ให้เป็น 3.5 โดยกรดทาร์ทาริก (10%) เทลงในจานเพาะเชื้อ 22-25 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน โดยคว่ำจานเพาะเชื้อ เมื่อครบ เวลา นับเชื้อและคำนวณยีส รา เป็นหน่วย cfu/g หรือ cfu/ml (ดัดแปลงจาก BAM, 2001)

ผลและวิจารณ์

1 ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างมะละกอต่ชูโครสต่อคุณภาพมะละกอแช่อิ่ม

1.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

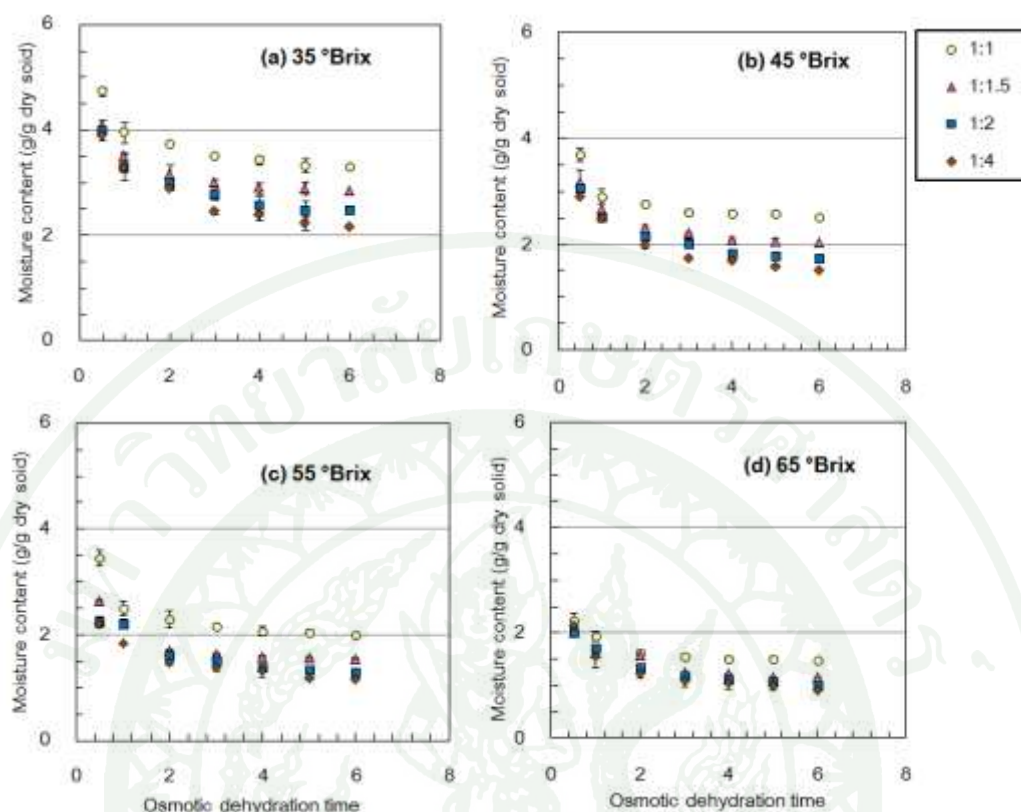
ในการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างมะละกอต่ชูโครส (1:1, 1:1.5, 1:2 และ 1:4) และความเข้มข้นของชูโครสที่ใช้ (35, 45, 55 และ 65 °Brix) พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของมะละกอก่อนแช่อิ่มมีค่าประมาณ 95% และเมื่อนำมะละกอไปแช่อิ่มพบว่าปริมาณความชื้นในตัวอย่างลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0.5-2 ชั่วโมงแรกของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน และค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งอัตราการลดลงคงที่ดังภาพที่ 10 ซึ่งแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (%) ในมะละกอ เปรียบเทียบกับระยะเวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างมะละกอต่ชูโครส (F:S) จาก 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:4 ส่งผลให้อัตราการลดลงของความชื้นในผลไม้ลดลงมากขึ้นตามลำดับ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเข้มข้นของชูโครสที่มีผลต่อปริมาณความชื้นพบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของชูโครส ส่งผลให้ค่าปริมาณความชื้นในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันลดลง



ภาพที่ 10 ปริมาณความชื้น (%) ของมะละกอแช่อิ่มในซุโครสที่ 35, 45, 55 และ 65 °Brix เปรียบเทียบกับระยะเวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชัน, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C

1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusivity; D_{ew}) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน และค่าปริมาณความชื้น ณ จุดสมดุล

เมื่อสร้างกราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (g/g dry solid) ของมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน (ดังแสดงในภาพที่ 11) พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของมะละกอต่อซุโครส (F:S) จาก 1:1 – 1:4 ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงตามลำดับ จากกราฟสามารถสร้างสมการเชิงเส้น เพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้น ณ จุดสมดุลได้ ความชื้นของมะละกอแช่อิ่ม ณ จุดสมดุลแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.48-2.89 (g/g dry solid) พบว่าเมื่อใช้ซุโครสที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น และใช้อัตราส่วนระหว่าง มะละกอ ต่อ ซุโครส (F:S) สูงขึ้นนั้นส่งผลให้ปริมาณความชื้น (g/g dry solid) ณ จุดสมดุลของมะละกอลดลง



ภาพที่ 11 ปริมาณความชื้น (g/g dry solid) ของมะละกอแช่อิ่มในซูโครสที่ 35, 45, 55 และ 65 °Brix เปรียบเทียบกับระยะเวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชัน, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C

ตารางที่ 5 ปริมาณความชื้น ณ จุดสมดุล (X_e) (g/g of dry solid) ของมะละกอแช่อิ่มที่แช่ในซูโครส และอัตราส่วนระหว่างมะละกอต่อซูโครสต่างๆ, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C

Sucrose concentration (°Brix)	Equilibrium moisture content with the ratio of fruit to solution (g/g dry solid)			
	1:1	1:1.5	1:2	1:4
35	2.89±0.18	2.45±0.07	2.10±0.31	1.51±0.08
45	2.19±0.19	1.69±0.13	1.63±0.35	1.06±0.10
55	1.58±0.03	1.19±0.07	0.97±0.00	0.72±0.01
65	1.21±0.02	0.90±0.04	0.64±0.05	0.48±0.09

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{ew}) คำนวณจากความชันของกราฟที่พล็อตระหว่างค่า $\ln MR$ และระยะเวลาในการออสโมติก โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่คำนวณได้ แสดงดังตารางที่ 6 จากตารางแสดงให้เห็นว่าค่า D_{ew} มีค่าอยู่ระหว่าง $0.98-1.22 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Azoubel and Murr (2004), Gely and santally (2007) และ Silva *et al.* (2012) ที่รายงานค่าการแพร่ของน้ำอยู่ในช่วง $10^{-12} - 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ จากตารางแสดงให้เห็นว่าการใช้ความเข้มข้นของซูโครส และอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อค่า D_{ew} ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อใช้ซูโครสที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลต่อค่า D_{ew} ที่เพิ่มขึ้น และใช้อัตราส่วนระหว่าง มะละกอต่อกับซูโครส (F:S) สูงขึ้นจาก 1:1, 1:1.5, 1:2 และ 1:4 ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำจากชั้นมะละกอสู่ซูโครสเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh *et al.* (2007) ที่ศึกษาการถ่ายเทมวลและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในแครอทระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนระหว่างสารละลายต่อผลไม้ ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน

จากตารางที่ 6 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ ในมะละกอกที่แช่ในซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix ที่แต่ละอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายมีค่าแตกต่างกัน โดยที่สัดส่วน 1:4 มีค่า D_{ew} สูงที่สุด (1.22 ± 0.03) ซึ่งไม่แตกต่างกับ 1:2 (1.20 ± 0.02) ที่ความเชื่อมั่น 95% แต่แตกต่างกับ 1:1.5 (1.17 ± 0.00) และ 1:1 (1.13 ± 0.04) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{ew}) ของมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครส, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C

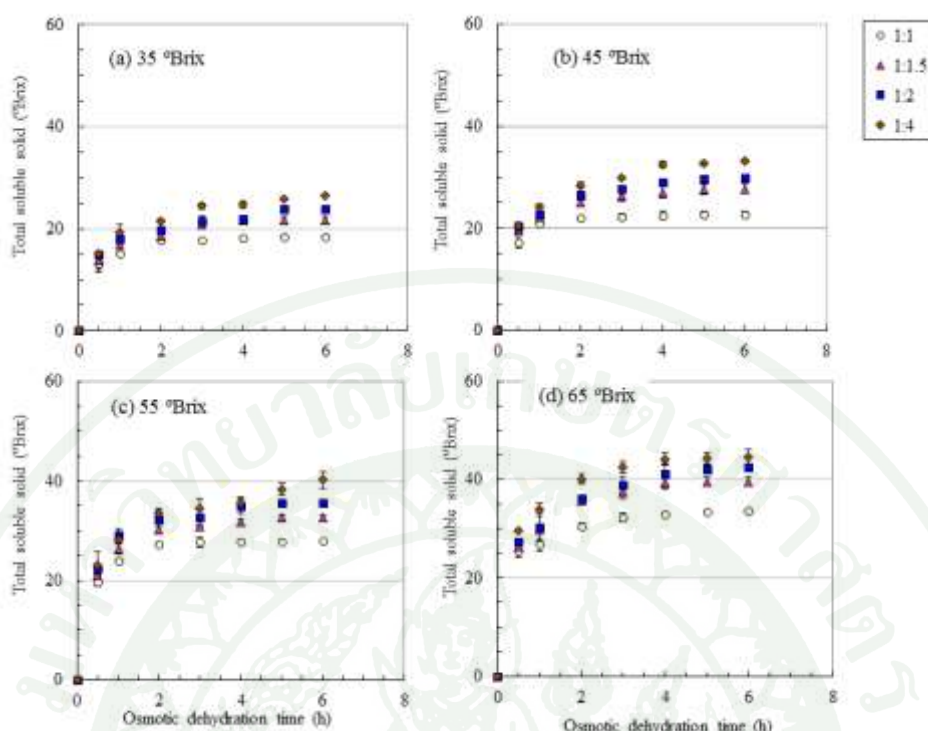
Sucrose concentration (°Brix)	Water diffusivity (D_{ew}) with the ratio of fruit to solution ($\times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$)			
	1:1	1:1.5	1:2	1:4
35	$0.98 \pm 0.16 \text{bA}$	$1.08 \pm 0.00 \text{bB}$	$1.10 \pm 0.02 \text{bB}$	$1.14 \pm 0.01 \text{bB}$
45	$1.10 \pm 0.08 \text{aA}$	$1.12 \pm 0.04 \text{bB}$	$1.13 \pm 0.01 \text{bB}$	$1.15 \pm 0.04 \text{bB}$
55	$1.11 \pm 0.02 \text{aB}$	$1.16 \pm 0.03 \text{aB}$	$1.17 \pm 0.01 \text{aA}$	$1.19 \pm 0.00 \text{bA}$
65	$1.13 \pm 0.04 \text{aB}$	$1.17 \pm 0.00 \text{aB}$	$1.20 \pm 0.02 \text{aA}$	$1.22 \pm 0.03 \text{aA}$

หมายเหตุ ค่าที่แสดงหมายถึงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และตัวพิมพ์ใหญ่ ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง (ความเข้มข้น ของซูโครส) และแนวนอน (อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลาย) ตามลำดับ หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.3 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS), การเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG), ค่าการสูญเสีย น้ำ (WL) และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ภาพที่ 12 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่างมะละกอ ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน โดยค่า TSS เริ่มต้นของมะละกอในแต่ละสิ่งการทดลองมีค่าเท่ากับ 0 °Brix เนื่องจากตัวอย่างมะละกอที่นำมาแช่ส้ม ได้มีการเตรียมโดยแช่ในสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ นานเป็นเวลา 1 เดือนทำให้ปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้นแพร่ออกไปสู่สารละลายภายนอก เมื่อเริ่มกระบวนการออสโมติกในซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix ค่า TSS ในตัวอย่างมะละกอเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากกระบวนการออสโมติกผ่านไปประมาณ 2-3 ชั่วโมง ระดับการเพิ่มขึ้นของค่า TSS เริ่มคงที่ เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนระหว่าง ผลไม้ต่อสารละลาย (F:S) พบว่า เมื่อเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายน้อยส่งผลให้ค่า TSS เริ่มคงที่เร็วกว่าการใช้อัตราส่วนที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อสังเกตที่อัตราส่วนของผลไม้ต่อสารละลายเดียวกัน พบว่าซูโครสที่ความเข้มข้นสูง จาก 35-65 °Brix ขึ้นส่งผลต่อค่า TSS ที่สูงขึ้นตามลำดับ

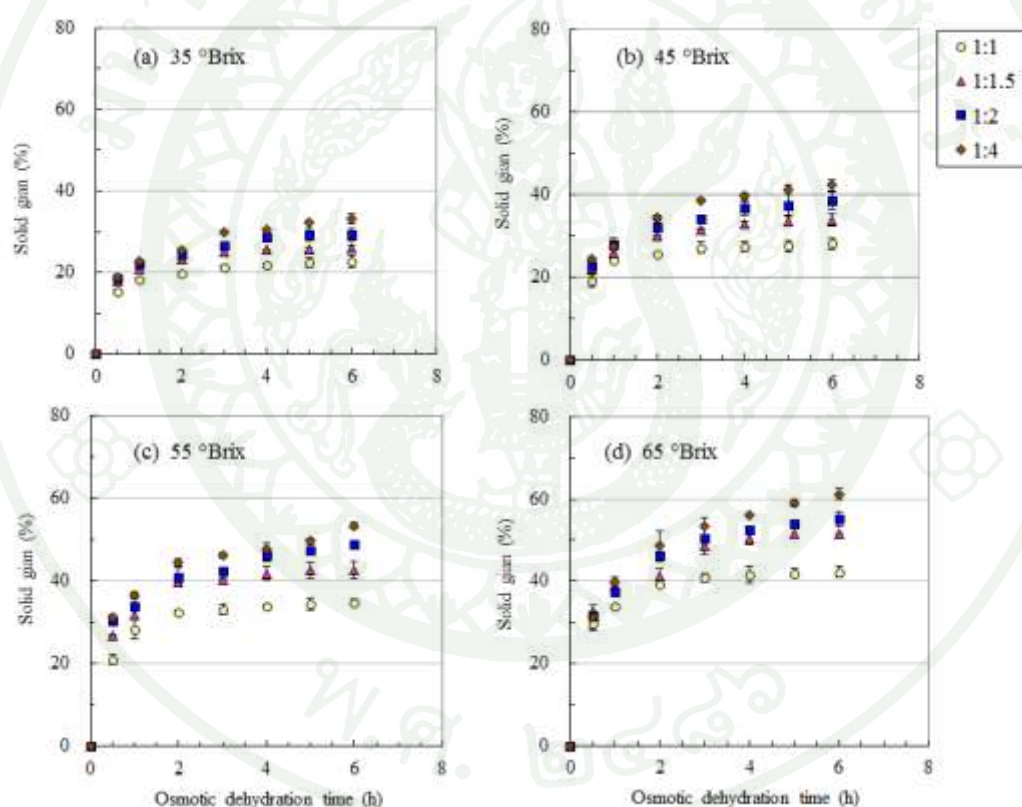


ภาพที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซุโครสความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C

ภาพที่ 13-15 แสดงค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) , การสูญเสียน้ำ (WL) และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ตามลำดับ จากตารางแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อซุโครส (F:S) มากขึ้น และซุโครสที่มีความเข้มข้นมากขึ้นส่งผลต่อค่า SG, WL และ WR เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Falade *et al.* (2007), Ispir and Togrul (2009), Rastogi and Ranhavarao (1997), Pongting *et al.* (1996) และ Flink (1975) ที่รายงานว่าเมื่อใช้สัดส่วนระหว่างสารละลายต่อผลไม้เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่า SG และ WL เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากที่สัดส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายสูงนั้น เมื่อน้ำแพร่จากตัวอย่างออกมาสู่สารละลายภายนอก ที่สัดส่วน F:S สูงสารละลายจะถูกเจือจางได้น้อยกว่า ส่งผลให้สารละลายออสโมติกยังคงมีความเข้มข้นสูง เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในมะละกอและสารละลายออสโมติกสูง และเกิดการถ่ายเทมวลได้มากกว่า ตัวอย่างที่ F:S ต่ำ

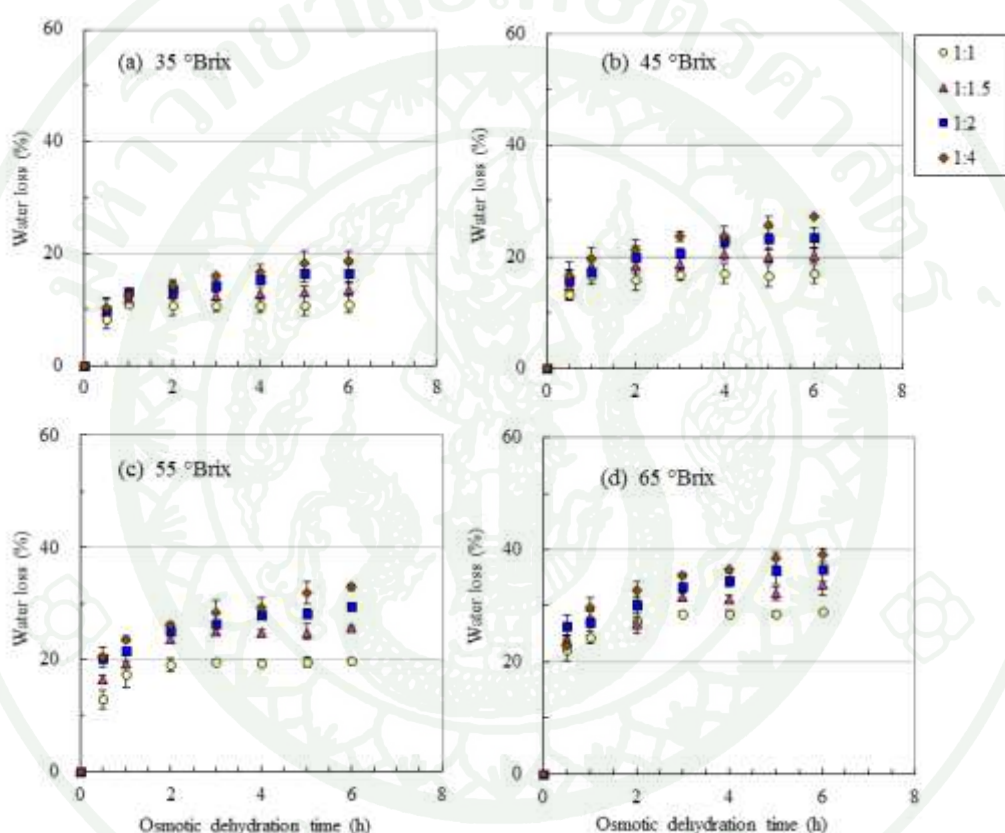
ภาพที่ 13 แสดงค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) เมื่อระยะเวลาการออสโมติกดีไฮเดรชันผ่านไป เมื่อระยะเวลาการออสโมติกดีไฮเดรชันผ่านไปหลังจาก 6 ชั่วโมง ค่า SG มีค่าอยู่ระหว่าง 22.7-61.2 % ค่า SG เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

เตรชัน เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการนั้นมีความแตกต่างระหว่างเฟสของผลไม้ และ สารละลายค่อนข้างมาก จึงเกิดการแพร่ของสารละลายที่มีความเข้มข้นมากไปยังที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า หลังจากกระบวนการออสโมติกผ่านไป 4-6 ชั่วโมง การแพร่เริ่มคงที่ เนื่องจากความแตกต่างของแรงผลักดันทั้ง 2 เฟสใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับการทดลองของ Lazarides *et al.* (1995) ซึ่งรายงานผลของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในแอปเปิล ที่ความเข้มข้นของซูโครสเท่ากับ 45, 55, 65 °Brix และการศึกษาของ Falad *et al.* (2007) ซึ่งศึกษากระบวนการออสโมติกในแตงไทย พบว่าในช่วงแรกของกระบวนการออสโมติกนั้นมีความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายและผลไม้ จึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสูงในช่วงแรก การเพิ่มความเข้มข้นในสารละลายออสโมติก ยิ่งทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นทั้งสองเฟส ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลได้ดีและเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ความเข้มข้นต่ำ



ภาพที่ 13 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครสความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C

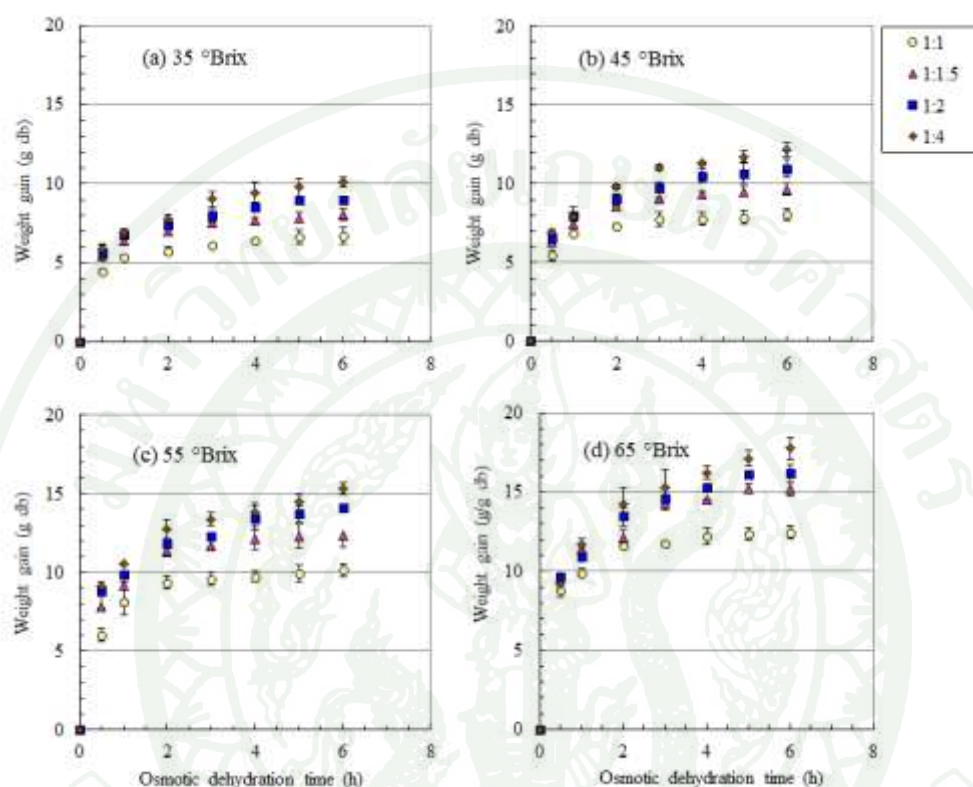
ภาพที่ 14 แสดงค่าการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์มะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน (WL) เมื่อระยะเวลาการออสโมติกผ่านไปหลังจาก 6 ชั่วโมง ค่า WL มีค่าอยู่ระหว่าง 11.0 - 39.1 % ค่า WL เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการนั้นมีความแตกต่างระหว่างเฟสของผลไม้ และสารละลายค่อนข้างมาก จึงเกิดการแพร่ของน้ำไปสู่สารละลายภายนอกที่มีความเข้มข้นสูงกว่า หลังจากกระบวนการออสโมติกผ่านไป 2-3 ชั่วโมง การแพร่เริ่มคงที่ เนื่องจากความแตกต่างของแรงผลักดันทั้ง 2 เฟสใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 14 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในชุดโครสความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C

ภาพที่ 15 แสดงค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของมะละกอ เมื่อระยะเวลาการออสโมติกผ่านไปเมื่อระยะเวลาการออสโมติกผ่านไปหลังจาก 6 ชั่วโมง ค่า WG มีค่าอยู่ระหว่าง 6.7 – 17.8 g db ค่า WG เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการนั้นมีความแตกต่างระหว่างเฟสของผลไม้ และสารละลายค่อนข้างมาก

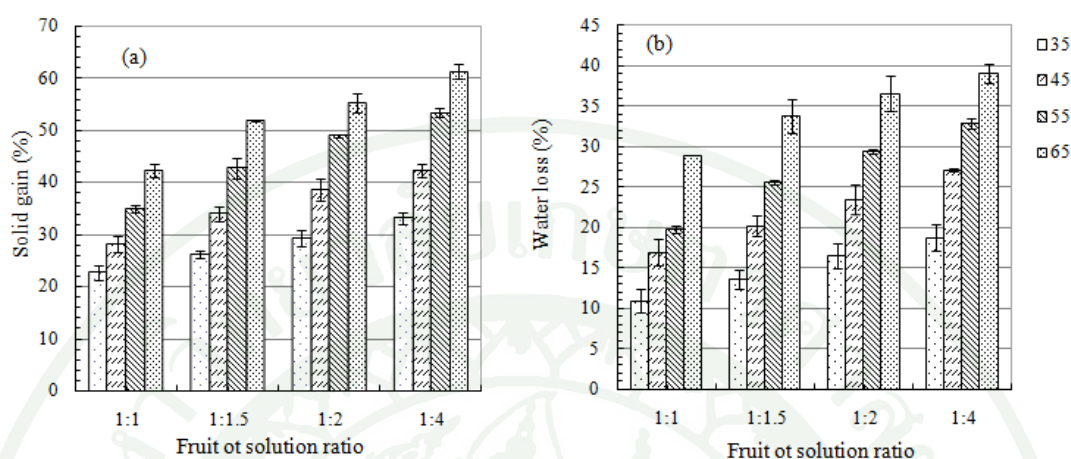
จึงเกิดการแพร่ของสารละลายที่มีความเข้มข้นมากไปยังที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า หลังจากกระบวนการออสโมติกผ่านไป 2-3 ชั่วโมง การแพร่เริ่มคงที่ เนื่องจากความแตกต่างของแรงผลักดันทั้ง 2 เฟสใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 15 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG) (g db) ในแต่ละกระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครสความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C

ภาพที่ 16 แสดงกราฟแท่งเปรียบเทียบค่า SG และ WL เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นต่างๆ จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้นมีอิทธิพลต่อค่า SG และ WL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วน F:S เดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงส่งผลต่อค่า driving force ของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทมวลได้ดีกว่าเมื่อใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำอย่างชัดเจน ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการเลือกใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงส่งผลดีต่อกระบวนการในด้านการสูญเสียที่รวดเร็วและมากกว่าการใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ

Ispir and Togrul (2009) ที่ศึกษากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในผล apricot โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 40, 50, 60, 70 °Brix



ภาพที่ 16 ค่า SG (a) และ WL (b) ในมะละกอเมื่อแช่อิ่มในซูโครส ความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 °Brix อัตราส่วนระหว่างมะละกอต่ซูโครสเท่ากับ 1:1, 1:1.5, 1:2 และ 1:4, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C, ระยะเวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 7 แสดงค่า SG และ WL เมื่อเวลาในการออสโมติกเท่ากับ 6 และ 24 ชั่วโมง เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายเท่ากับ 1:2 แช่อิ่มที่อุณหภูมิ 40 °C จากตารางพบว่าทั้งค่า SG และ WL ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเวลาในการแช่อิ่มที่ 6 และ 24 ชั่วโมง ในทุกความเข้มข้นของซูโครส ดังนั้นจากตารางนี้จะเห็นได้ว่าระยะเวลาการแช่อิ่มเท่ากับ 6 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการทดลองนี้

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่า SG และ WL เมื่อแช่อิ่มนาน 6 และ 24 ชั่วโมงที่ความเข้มข้นของซูโครสเท่ากับ 35, 45, 55 และ 65 °Brix อัตราส่วนระหว่างมะละกอต่อดสารละลายเท่ากับ 1:2, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C

Sucrose concentration (°Brix)	Solid gain (%)		Water loss (%)	
	6 h	24 h	6 h	24 h
35	29.25±1.50 a	30.74±1.25 a	16.5±1.14 a	15.16±0.14 a
45	38.59±2.02 a	41.50±2.32 a	23.5±1.82 a	22.79±1.03 a
55	48.84±0.28 a	49.90±0.44 a	29.4±0.26 a	28.17±0.92 a
65	55.26±2.84 a	56.80±0.50 a	36.6±2.24 a	36.33±2.74 a

หมายเหตุ ค่าที่แสดงหมายถึงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.4 การศึกษาแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) และการทวนสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Validation)

จากการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) แบบเชิงเส้นตรง (linear regression) และไม่ใช่เชิงเส้นตรง (nonlinear regression) แบบสมการ quadratic ของค่า solid gain, water loss และ total soluble solid พบว่าการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย แบบสมการ quadratic แสดงค่า R^2 ที่สูงกว่า สมการ linear regression มีค่าเท่ากับ 0.964, 0.957 และ 0.971 ในการศึกษา SG, WL และ TSS ตามลำดับ เนื่องจากสมการแบบ quadratic แสดงอิทธิพลของทั้งพจน์สมการเชิงเส้นตรง พจน์ยกกำลังสองของตัวแปร และสหสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมด ซึ่งจะได้สมการที่เกิดความซับซ้อน เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์เชิงเส้นตรง ซึ่งยังคงแสดงค่า R^2 ที่สูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.876, 0.898 และ 0.889 ในการศึกษา SG, WL และ TSS ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์นั้น สมการที่เหมาะสมในการศึกษาแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยจึงแสดงสมการ linear regression ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามแต่ละตัว พบว่าตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัว (เวลาในการออสโมติก, ความเข้มข้นของซูโครส, และอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อซูโครส) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (ค่า SG, WL และค่า TSS) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และแสดงค่าสมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละตัวแปรดังสมการที่ (13)-(15)

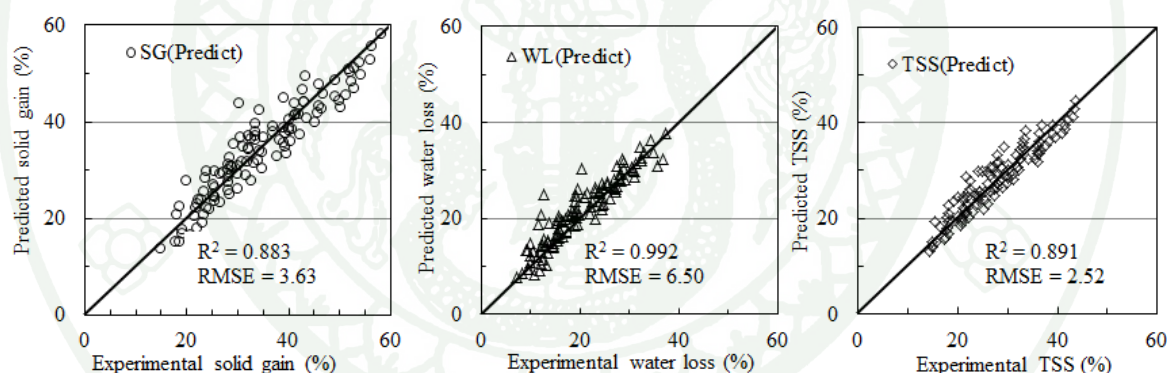
$$SG (\%) = -14.780 + 2.623 X_1 + 0.704 X_2 + 2.93 X_3 \quad R^2 = 0.876 \quad (13)$$

$$WL (\%) = -14.755 + 1.313 X_1 + 0.564 X_2 + 1.954 X_3 \quad R^2 = 0.898 \quad (14)$$

$$TSS (^\circ\text{Brix}) = -8.216 + 1.765 X_1 + 0.523 X_2 + 2.092 X_3 \quad R^2 = 0.889 \quad (15)$$

เมื่อ X_1 คือ เวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชัน (0.5 – 6 ชั่วโมง), X_2 คือ ความเข้มข้นของซูโครส (35-65 °Brix) และ X_3 คือ สัดส่วนของซูโครสต่อผลไม้ (1-4)

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (validation) สมการถดถอยที่ (13)-(15) โดย การทำการทดลองใหม่เพิ่มขึ้นมาเพื่อทดสอบความถูกต้องของสมการดังกล่าว ผลการทดสอบ พบว่าสมการแบบจำลองการวิเคราะห์ถดถอยการถดถอยมีความสามารถในการทำนายค่า SG, WL และ TSS ได้ถูกต้อง แม่นยำดี โดยภาพที่ 17 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าข้อมูลจริง จากการทดลอง และค่าจากการทำนายในสมการ linear regression พบว่าค่า R^2 ของการทำนายค่าตอบสนองทั้ง 3 ค่ามีค่ามากกว่า 0.8 และค่าความคลาดเคลื่อน RMSE ของแบบจำลองความถดถอยในชุดข้อมูลต่ำ



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าข้อมูลจริงและข้อมูลจากการทดลองในค่า SG, WL และ TSS

1.5 ผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน แสดงดังตารางที่ 8 พบว่า ระยะเวลาในการออสโมติก, ความเข้มข้นของสารละลาย และ อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลาย มีความสัมพันธ์ต่อ ค่า solid gain, water loss, TSS, solid content, moisture content, และ weight อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ผลการทดสอบพบว่าระยะเวลาในการออสโมติก, ความเข้มข้นของซูโครส, อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลาย, solid gain, water loss, TSS, solid content, weight gain มีความสัมพันธ์กันในเชิง

บวก ยกเว้นค่า moisture content ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นในเชิงลบ (ระยะเวลาในการ
อบสโมคกิ้ง, ความเข้มข้นของซูโครส, อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลาย ไม่มีความสัมพันธ์
กันเนื่องจากเป็นตัวแปรต้นในการทดลอง)



ตารางที่ 8 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

	OD time	Syrup con.	F:S ratio	Solid gain	Water loss	TSS	Solid content	Moisture content	Weight gain
OD time	1.000								
Syrup con.	0.000	1.000							
F:S ratio	0.000	0.000	1.000						
Solid gain	0.473**	0.747**	0.317**	1.000					
Water loss	0.334**	0.845**	0.297**	0.971**	1.000				
TSS	0.444**	0.775**	0.316**	0.990**	0.976**	1.000			
Solid content	0.438**	0.781**	0.311**	0.997**	0.984**	0.993**	1.000		
Moisture content	-0.440**	-0.780**	-0.311**	-0.996**	-0.984**	-0.992**	-1.000**	1.000	
Weight gain	0.482**	0.725**	0.312**	0.953**	0.927**	0.952**	0.960**	-0.959**	1.000

หมายเหตุ * Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) , Moisture content in wet basis

ดังนั้นจากผลการทดลองการศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างมะละกอต่อชูโครส (1:1, 1:1.5, 1:2 และ 1:4) และความเข้มข้นของสารละลายชูโครส (35, 45, 55 และ 65 °Brix) พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนระหว่างผลไม้ต่อชูโครสและความเข้มข้นของชูโครส ทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสัดส่วนของมะละกอต่อชูโครส พบว่าค่าเมื่อเพิ่มระดับสัดส่วนของมะละกอต่อชูโครสจาก 1:2 เป็น 1:4 ไม่ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

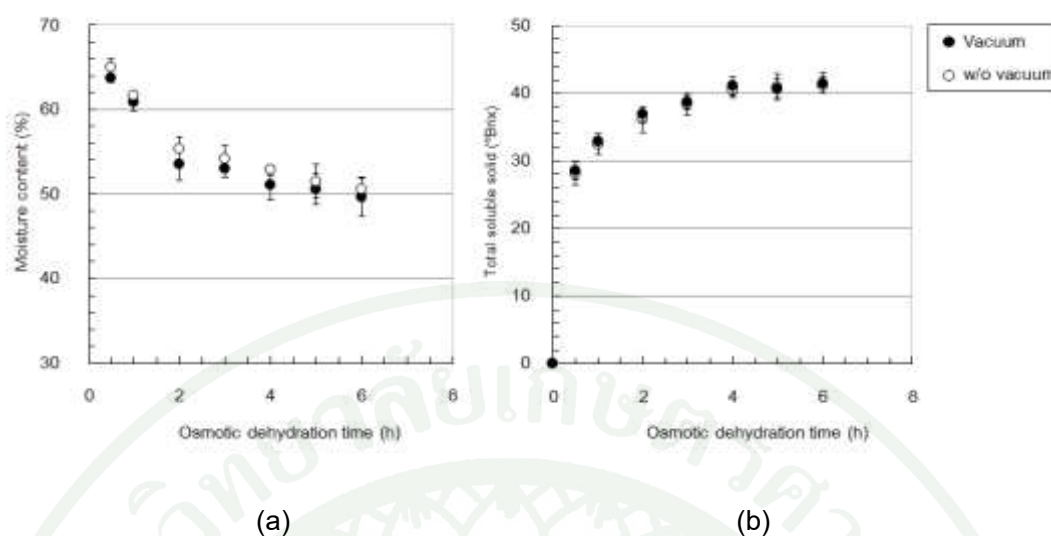
ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันของมะละกอต่อนต่อไป คือการเลือกใช้สัดส่วนระหว่างมะละกอต่อชูโครสที่ 1:2 และความเข้มข้นของชูโครสเท่ากับ 65 °Brix

2. การศึกษาผลของการลดความดันสุญญากาศก่อนการออสโมติกดีไฮเดรชันต่อคุณภาพมะละกอแช่อิ่ม

2.1 ผลของการลดความดันสุญญากาศต่อปริมาณความชื้นและของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

เมื่อนำมะละกอที่ผ่านการลอกเสร็จแล้วไปผ่านการลดความดันสุญญากาศก่อนการแช่อิ่มโดยการบรรจุมะละกอที่ต้องการลดความดันลงใน desiccator ที่ต่อด้วยปั๊มสุญญากาศ โดยใช้ความดัน 2.66 kPa นาน 10 นาทีและนำมะละกอไปแช่อิ่มในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix โดยใช้สัดส่วนระหว่างมะละกอต่อซูโครสเท่ากับ 1:2 นั้น พบว่าตัวอย่างมะละกอที่ผ่านและไม่ผ่านการลดความดันนั้นมีปริมาณความชื้นลดลง โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นของทั้งสองตัวอย่างมีค่าประมาณ 96.3-96.5 % และปริมาณความชื้นลดลงเหลือประมาณ 49.7 – 50.6% เมื่อกระบวนการออสโมติกผ่านไป 6 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ผ่านการลดความดัน นั้น มีอัตราการลดลงของความชื้นมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลดความดัน โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการออสโมติกจนถึงชั่วโมงที่ 3 ของการแช่อิ่ม และหลังจากนั้นความปริมาณความชื้นของทั้ง 2 ตัวอย่างไม่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 18 (a)

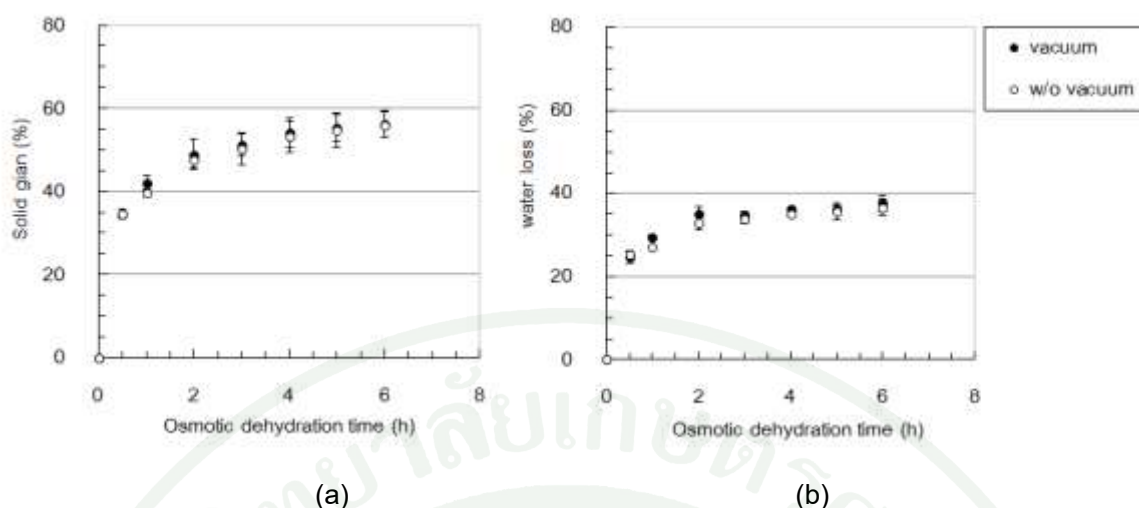
ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน แสดงดังภาพที่ 18 (b) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการ ออสโมติกผ่านไปทำให้ค่า TSS ของมะละกอที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดความดันที่สุญญากาศเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 18 ปริมาณความชื้น (%) (a) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) (b) ของมะละกอที่ผ่าน (vacuum) และไม่ผ่าน (w/o vacuum) การลดความดันสุญญากาศ ก่อนกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน = 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2

2.2 ผลของการลดความดันสุญญากาศต่อการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) และการสูญเสียน้ำ (WL) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ปริมาณความชื้นที่ลดลงระหว่างกระบวนการออสโมติก เป็นปัจจัยสำคัญในการถ่ายเทมวลในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในด้านการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) และการสูญเสียน้ำ (WL) ดังภาพที่ 19 (a) และ (b) ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อการแช่มีนาน 6 ชั่วโมง SG มีค่าประมาณ 56.1-55.9% และค่า WL มีค่าประมาณ 36.7-37.6 % แต่ทั้งค่า SG และ WL ในตัวอย่างที่ผ่านการลดความดันสุญญากาศก่อนการออสโมติกมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลดความดัน ในช่วง 3 ชั่วโมงแรกของการแช่ หลังจากนั้นทั้งค่า SG และ WL ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Fito (1994) ได้ศึกษาการถ่ายเทมวลในแอปเปิ้ลที่ออสโมติกในสารละลาย saccharose ความเข้มข้น 65% ที่อุณหภูมิ 60 °C โดยเปรียบเทียบการออสโมติกในสภาวะสุญญากาศและสภาวะปกติ ผลการศึกษาพบว่าการลดความดันในสภาวะสุญญากาศทำให้เพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำ (WL) ในช่วงแรกของกระบวนการออสโมติก แต่ไม่มีผลต่อค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG)



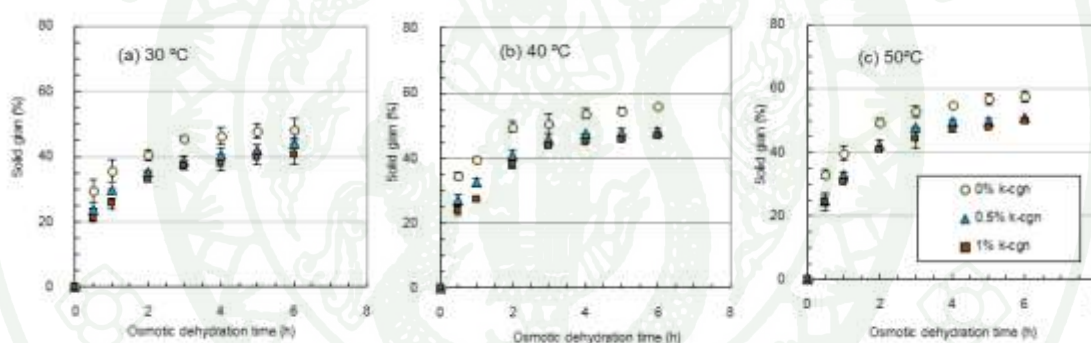
ภาพที่ 19 ค่า SG (a) และ WL (b) ของมะละกอที่ผ่าน (vacuum) และไม่ผ่าน(w/o vacuum) การลดความดันสุญญากาศก่อนกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครส ความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครส = 1:2

เมื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำคำนวณจากความชันของกราฟ ระหว่างค่า $\ln MR$ และระยะเวลาในการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มที่ผ่านและไม่ผ่านการลดความดันสุญญากาศก่อนการแช่อิ่ม เท่ากับ 1.25×10^{-10} และ $1.20 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้น เมื่อแช่อิ่มมะละกอที่ความเข้มข้น 65 °Brix โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลาย 1:2 นาน 6 ชั่วโมงนั้น การลดความดันสุญญากาศก่อนการแช่อิ่มไม่มีผลการการแพร่ของน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลดความดัน

3. ศึกษาผลของการเคลือบด้วยแคปซูลคาราจีแนน (K-cgn) และอุณหภูมิในการแช่แข็งต่อกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

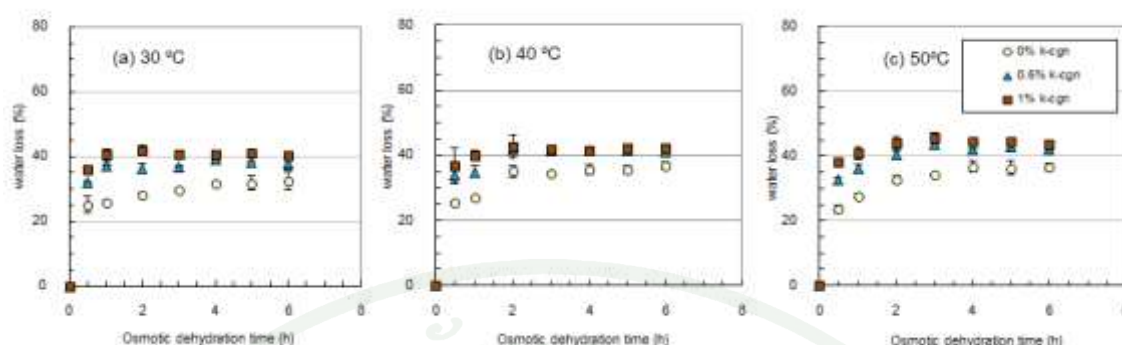
3.1 ผลของการเคลือบด้วยแคปซูลคาราจีแนน (K-cgn) และอุณหภูมิในการแช่แข็งต่อกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันต่อค่า SG, WL และ TSS

ภาพที่ 20 (a-c) แสดงค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) ระหว่างกระบวนการออสโมติก เมื่ออุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกเท่ากับ 30, 40 และ 50 °C ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าการเคลือบมะละกอด้วยสารละลาย K-cgn ก่อนการนำไปออสโมติกมีผลทำให้การเพิ่มขึ้นของของแข็งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบ และการออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลต่อการถ่วงเทมวอลของระบบ โดยเมื่ออุณหภูมิในการแช่แข็งสูงขึ้นส่งผลให้ค่า SG เพิ่มขึ้นด้วย



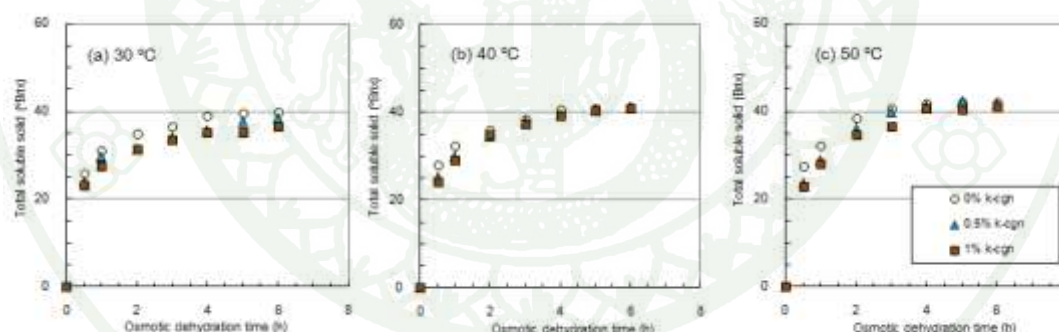
ภาพที่ 20 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ในมะละกอกที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30 (a), 40 (b) และ 50 (c) °C

ค่าการสูญเสีย น้ำของมะละกอรหว่างกระบวนการแช่แข็ง แสดงดังภาพที่ 21 ค่าการสูญเสีย น้ำของมะละกอเพิ่มมากขึ้นเมื่อเคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ตัวอย่างที่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn 1% ให้ค่า WL ที่สูงที่สุด ตามด้วย 0.5% และ 0% ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิในการกระบวนการออสโมติกสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า WL มากขึ้น



ภาพที่ 21 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ในมะละกอที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในซูโครส ความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30 (a), 40 (b) และ 50 (c) °C

ภาพที่ 22 แสดงค่า TSS ของมะละกอแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในกระบวนการออสโมติกสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า TSS มากขึ้น



ภาพที่ 22 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ในมะละกอที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30 (a), 40 (b) และ 50 (c) °C

ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่า SG ของมะละกอที่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ที่ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% และที่อุณหภูมิในการออสโมติกที่ 30, 40 และ 50 °C ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างมะละกอที่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn มีค่า SG น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่น 95% แต่ไม่มีความแตกต่างกัน

ระหว่างตัวอย่างที่เคลือบระดับ 0.5 และ 1% และการแช่ตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงส่งผลต่อค่า SG ที่สูงขึ้นด้วย ค่า SG ของการแช่ที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าน้อยกว่าที่ 40 และ 50 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 °C

ตารางที่ 9 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น(SG) ของมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ในซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30, 40, 50 °C อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2, เวลาในการแช่เท่ากับ 6 ชั่วโมง

Temperature (°C)	Solid gain value with K –cgn for coating (%)		
	0%	0.5%	1%
30	48.3±1.33bA	44.0±1.56bA	40.6±1.98bA
40	56.0±0.06aA	48.6±0.69aB	46.8±0.27aB
50	57.5±0.06aA	50.9±0.69aB	49.8±0.27aB

หมายเหตุ ค่าที่แสดงหมายถึงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และตัวพิมพ์ใหญ่ ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง (อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่) และแนวนอน (ระดับความเข้มข้นของการเคลือบ K –cgn) ตามลำดับ หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่า WL ของมะละกอที่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ที่ความเข้มข้นต่างๆ และที่อุณหภูมิในการแช่ต่างๆ ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างมะละกอที่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn มีค่า WL มากกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่น 95% แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างตัวอย่างที่เคลือบระดับ 0.5 และ 1% และการแช่ตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงส่งผลต่อค่า WL ที่สูงขึ้นด้วย ค่า WL ของการแช่ที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าน้อยกว่าที่ 40 และ 50 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 °C

ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ในมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ในซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30, 40, 50 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครส เท่ากับ 1:2, เวลาในการแช่เท่ากับ 6 ชั่วโมง

Temperature (°C)	Water loss values with K –cgn for coating (%)		
	0%	0.5%	1%
30	32.48±2.7aB	37.90±2.0bAB	40.25±1.0bA
40	36.76±1.2aB	41.31±0.4abA	42.38±1.3abA
50	36.56±1.3aB	41.93±0.2aA	43.48±0.2aA

หมายเหตุ ค่าที่แสดงหมายถึงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และตัวพิมพ์ใหญ่ ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง (อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่) และแนวนอน (ระดับความเข้มข้นของการเคลือบ K-cgn) ตามลำดับ หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

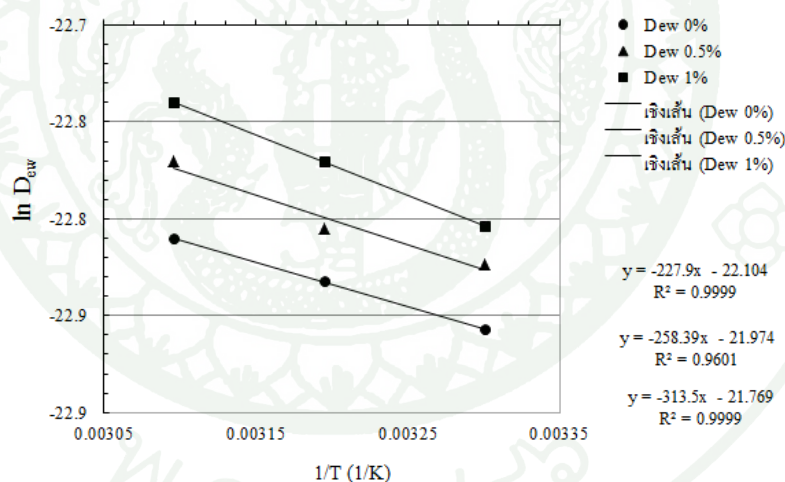
3.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusivity; D_{ew}) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำคำนวณจากความชันของกราฟที่พล็อตระหว่างค่า $\ln MR$ และระยะเวลาในการแช่ โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่คำนวณได้ แสดงดังตารางที่ 11 จากตารางแสดงให้เห็นว่าค่า D_{ew} มีค่าอยู่ระหว่าง $1.18-1.33 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Azoubel and Murr (2004), Gely and santally (2007) และ Silva *et al.* (2012) ที่รายงานค่าการแพร่ของน้ำอยู่ในช่วง $10^{-12} - 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ จากตารางแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่และการเคลือบด้วย K –cgn ก่อนการแช่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ โดยพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่และการเคลือบด้วย K –cgn ก่อนการแช่ ส่งผลให้ค่า D_{ew} สูงขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{ew}) ของมะละกอรหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ที่เคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 °Brix, อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 30, 40, 50 °C อัตราส่วนมะละกอสูโครสเท่ากับ 1:2

Temperature (°C)	Water diffusivity (D_{ew}) with K-cgn concentration for coating ($\times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$)		
	0%	0.5 %	1%
30	1.18±0.00	1.22±0.18	1.25±0.11
40	1.21±0.03	1.25±0.09	1.28±0.04
50	1.24±0.10	1.29±0.16	1.33±0.09

เมื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่า(-)ลอการิทึมธรรมชาติของสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ ($-\ln D_{ew}$) กับ $1/T$ (1/K) ดังภาพที่ 23 พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการออสโมติกดีไฮเดรชันสูงขึ้นทำให้ค่าการแพร่ของน้ำสูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 23 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า $-\ln D_{ew}$ และค่า $1/T$ (1/K) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันของมะละกอ

3.3 การวิเคราะห์ส่วนประกอบสำคัญ (Principle component analysis) และ cluster analysis

การวิเคราะห์ส่วนประกอบสำคัญ (PCA) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการลดมิติข้อมูล และเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการสังเกตโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลและตัวอย่างที่วิเคราะห์ (Patras *et al.*, 2011) การวิเคราะห์ PCA ในการทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นคือสภาวะในการแช่ส้ม (9 ทรีตเมนต์ประกอบด้วยระดับการเคลือบ K-cgn 3 ระดับและอุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน 3 ระดับ) และตัวแปรวัดค่าในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน (Solid gain, Water loss, moisture content, solid content, D_{ew} , TSS of fruit and TSS of solution)

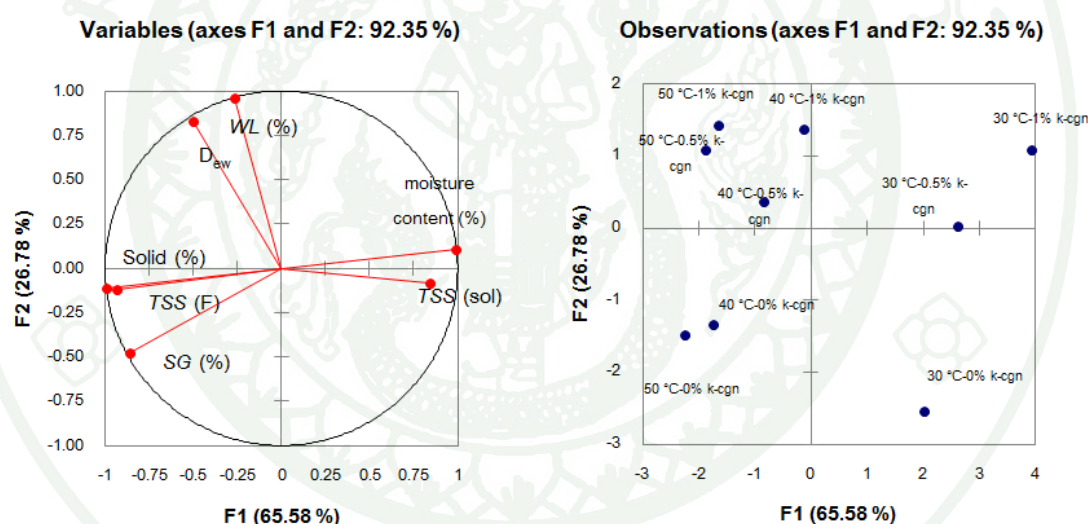
การวิเคราะห์ PCA นี้ได้ใช้โปรแกรม XL stat 2007 ในการวิเคราะห์โดยศึกษาพารามิเตอร์ทั้ง 7 พารามิเตอร์ (Solid gain, Water loss, moisture content, solid content, D_{ew} , TSS of fruit และ TSS of solution) เพื่อเป็น observations/variable label และเลือก observation label เป็นทรีตเมนต์ต่างๆ ในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ที่ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับคือ ระดับการเคลือบ K-cgn (0, 0.5 และ 1% K-cgn) และอุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน (30, 40 และ 50 °C) จากนั้นดูแกนความสัมพันธ์จากค่า Eigen value เพื่อเลือกแกนที่ต้องการเนื่องจากค่า Eigen value ที่สูงจะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลได้มาก

ผลการวิเคราะห์ด้วย PCA เพื่อจัดกลุ่มพบว่า การใช้องค์ประกอบ (PC) 2 องค์ประกอบสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 92.35% จากกลุ่มข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 24 โดยองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ที่ 65.68% ซึ่งสามารถอธิบายค่า การเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG), ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ทั้งในตัวอย่างมะละกอและน้ำเชื่อม, ปริมาณความชื้น(%MC), ปริมาณของแข็ง (Solid), ขณะที่องค์ประกอบที่ 2 (PC 2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ที่ 26.78% ซึ่งสามารถอธิบายค่า การสูญเสีย น้ำ (WL) และสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{ew})

เมื่อพิจารณาค่าแห่งตัวอย่างในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันพบว่า กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิต่ำ (30 °C) จะขึ้นกับแกนองค์ประกอบที่ 1 ในทางด้านบวก ส่วนการแช่ส้มที่อุณหภูมิสูงจะขึ้นกับแกนองค์ประกอบที่ 1 ในทางลบ และพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดค่าพบว่า แกนองค์ประกอบที่ 1 ในด้านบวกมีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกับปริมาณความชื้น (MC) และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ใน

ดิสเพอร์ชันของ (TSS. Sol) ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลไม้ (TSS.Fruit), ปริมาณของแข็ง (solid), ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าแกนองค์ประกอบที่ 1 สามารถแบ่งความสัมพันธ์ของอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ได้

เมื่อพิจารณาแกนองค์ประกอบที่ 2 พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn มีความสัมพันธ์กับแกนองค์ประกอบที่ 2 ในด้านลบ (ทั้งที่แช่ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 °C) ส่วนตัวอย่างที่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn 0.5 และ 1% มีความสัมพันธ์กับแกนองค์ประกอบที่ 2 ในด้านบวก และพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดค่าพบว่า ค่า การสูญเสีย น้ำ (WL) และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{ew}) มีความสัมพันธ์กับ PC 2 ในด้านบวก ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าแกนองค์ประกอบที่ 2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลมาจากการการเคลือบ K-cgn ได้



ภาพที่ 24 การวิเคราะห์ส่วนประกอบสำคัญ (PCA) (a) PCA พล็อตสำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (b) loading plots สำหรับตัวอย่างต่างๆ บน PC1 และ PC2

Cluster analysis เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกหรือแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่มีความเหมือนหรือความคล้ายคลึงกัน การแบ่งกลุ่มตัวอย่างจากการทดลองทั้ง 9 ทรีตเมนต์ที่มีผลต่อกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน แสดงดังภาพที่ 26 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถแบ่งกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่ม A คือกลุ่มที่ประกอบไปด้วยกลุ่มที่ใช้อุณหภูมิในการแช่หุ้มต่ำ คือ 30 °C ทั้งที่ไม่เคลือบ และเคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0.5 และ 1% กลุ่ม B คือกลุ่มที่ประกอบไปด้วยกลุ่มที่ผ่านการเคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ที่แช่หุ้มที่อุณหภูมิ 40 และ 50 °C กลุ่ม C คือกลุ่มที่ประกอบไปด้วยสิ่งทอดทอลงที่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ความเข้มข้น 0.5 และ 1% และแช่หุ้มที่อุณหภูมิ 40 และ 50 °C

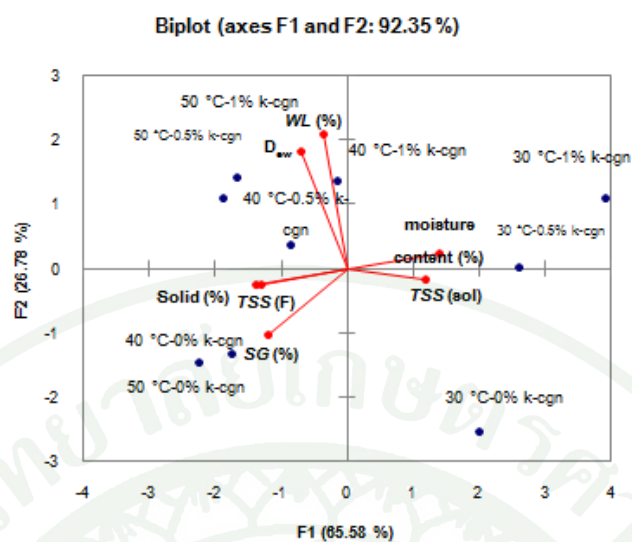
เมื่อพิจารณาการจัดกลุ่มตัวอย่างโดยเทคนิค cluster analysis (ภาพที่ 26) เปรียบเทียบกับ principle component analysis (ภาพที่ 25) พบว่ามีความสอดคล้องกันดังนี้

กลุ่ม A หรือกลุ่มที่ใช้อุณหภูมิในการแช่หุ้มต่ำนั้นเป็นกลุ่มที่อยู่ทางด้านแกนบวกขององค์ประกอบ PC 1 คือกลุ่มที่มีค่า ประมาณความชื้นในตัวอย่างสูง และมีค่า TSS ในสารละลายสูง ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับองค์ประกอบ PC 1 แสดงให้เห็นว่าเป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีการถ่ายเทมวลของของแข็งต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น

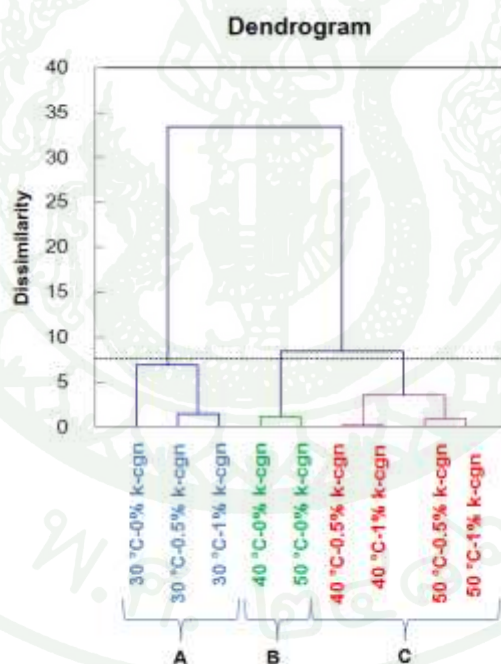
กลุ่ม B หรือกลุ่มที่ไม่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn และแช่หุ้มที่อุณหภูมิสูง (40 และ 50 °C) คือกลุ่มที่ขึ้นกับแกน PC 1 ในด้านลบ แสดงให้เห็นถึงลักษณะเด่นด้านการเพิ่มขึ้นมากของแข็งและความสามารถในการแพร่ของของแข็งที่ดี และแกน PC 2 ในด้านลบ แสดงให้เห็นถึงค่าการสูญเสีย น้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกลุ่มอื่น

กลุ่ม C หรือกลุ่มที่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ความเข้มข้น 0.5 และ 1% และแช่หุ้มที่อุณหภูมิ 40 และ 50 °C คือกลุ่มที่เป็นตัวแทนของการสูญเสีย น้ำ และประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำดี ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ และกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่รีเทนเมนต์ที่มีการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และปริมาณของแข็งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่ม B

ดังนั้นเมื่อพิจารณาคัดเลือกสภาวะในการแช่หุ้มมะละกอเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการแช่หุ้มที่ดีที่สุด และสามารถลดปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์ได้นั้น กลุ่ม C จึงเป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการแช่หุ้มมากที่สุดเนื่องจากการแพร่ของน้ำในกระบวนการแช่หุ้มมากที่สุด และเมื่อพิจารณาถึงด้านความคุ้มค่าทางต้นทุนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม สภาวะที่เหมาะสมที่จะเลือกไปศึกษาต่อ จึงเป็นสภาวะการแช่หุ้มมะละกอที่เคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ความเข้มข้น 0.5% และแช่หุ้มที่อุณหภูมิ 40 °C



ภาพที่ 25 Bi-plot ระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่วัดและตัวอย่างต่างๆ ในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน



ภาพที่ 26 การแบ่งกลุ่มตัวอย่างในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

4. ผลของชนิดน้ำตาลและการเคลือบด้วยแคปซารีจีแนน (K-cgn) ต่อคุณภาพ มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

นำมะละกอเข้าสู่กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันโดยคัดเลือกจากสภาวะ จากข้อ 1-3 โดยเคลือบมะละกอด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ความเข้มข้น 0.5% เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เคลือบ จากนั้นแช่อิ่มในซูโครส และน้ำตาลอินเวิร์ต ความเข้มข้น 65 °Brix และอุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกเท่ากับ 40 °C

4.1 ผลของชนิดน้ำตาลและการเคลือบด้วย K-cgn ต่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity)

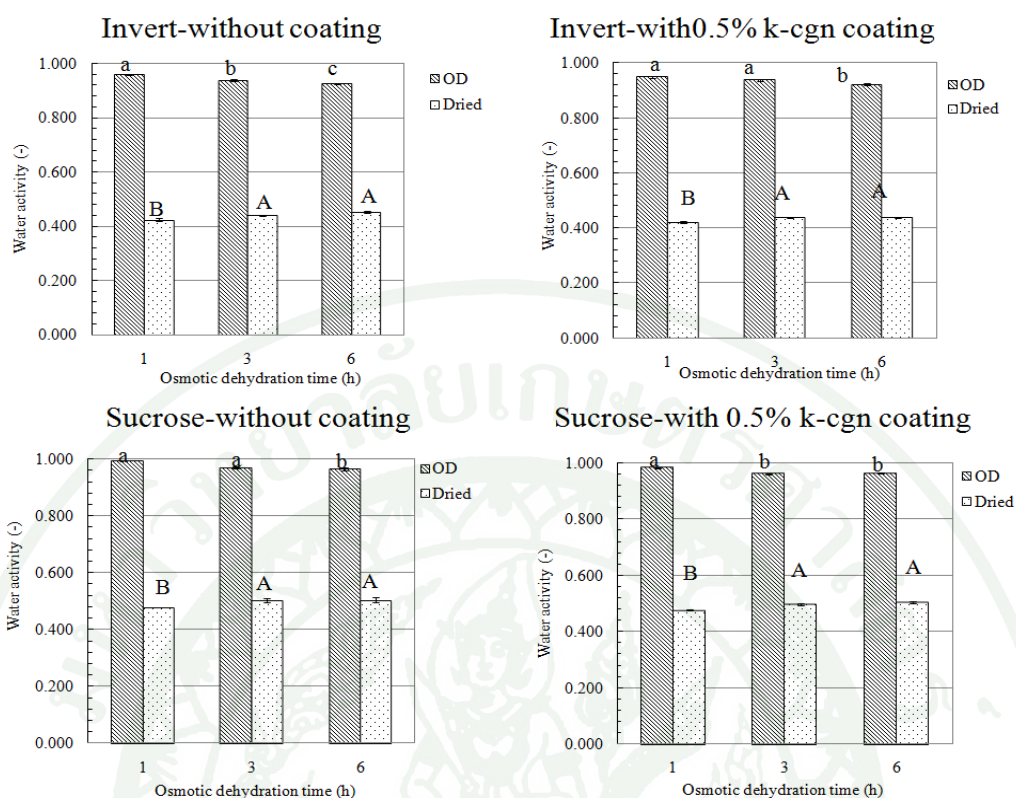
ผลการทดลองพบว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ของมะละกอแช่อิ่ม มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่อิ่ม, การเคลือบมะละกอด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn สามารถช่วยลดค่า a_w ในมะละกอแช่อิ่มและมะละกอแช่อิ่มอบแห้งได้ (ดังตารางที่ 12 และภาพที่ 27)

ค่า a_w ในมะละกอแช่อิ่ม/แช่อิ่มอบแห้ง ที่แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่แช่ในซูโครส เนื่องจากน้ำที่อยู่ในตัวอย่างที่แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ตเป็นน้ำที่ไม่อิสระที่ไปทำปฏิกิริยา Hydrogen กับโมเลกุลน้ำตาลอินเวิร์ต จึงทำให้ค่า a_w ของมะละกอที่แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าน้อยกว่าที่แช่ในซูโครส (Korsrilabut *et al.*, 2010)

ตารางที่ 12 ค่าวอเตอร์แอคติวิตีของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลา
กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ใน
สารละลาย ซูโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮ
เดรชันเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2

OD time (h)	a _w of OD papaya				a _w of dried OD papaya			
	Invert syrup		Sucrose		Invert syrup		Sucrose	
	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn
1	0.959aA	0.949aB	0.995aA	0.983aA	0.423bA	0.420bA	0.478bA	0.476bA
3	0.939bA	0.938aA	0.971aA	0.961bB	0.440aA	0.436aA	0.503aA	0.498aA
6	0.926cA	0.922bA	0.965bA	0.963bA	0.453aA	0.437aB	0.504aA	0.503aA

หมายเหตุ ค่าที่แสดงหมายถึงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และตัวพิมพ์ใหญ่ ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง (เวลาที่ใช้ใน
การแช่อิ่ม) และแนวนอน (การไม่เคลือบและเคลือบ K –cgn) ตามลำดับ หมายถึง
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 27 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลา กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ใน ซูโครสและ น้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครส เท่ากับ 1:2

4.2 ผลของชนิดน้ำตาลและการเคลือบด้วยแคปซูลคาร์ซีแนนต่อปริมาณความชื้น (moisture content)

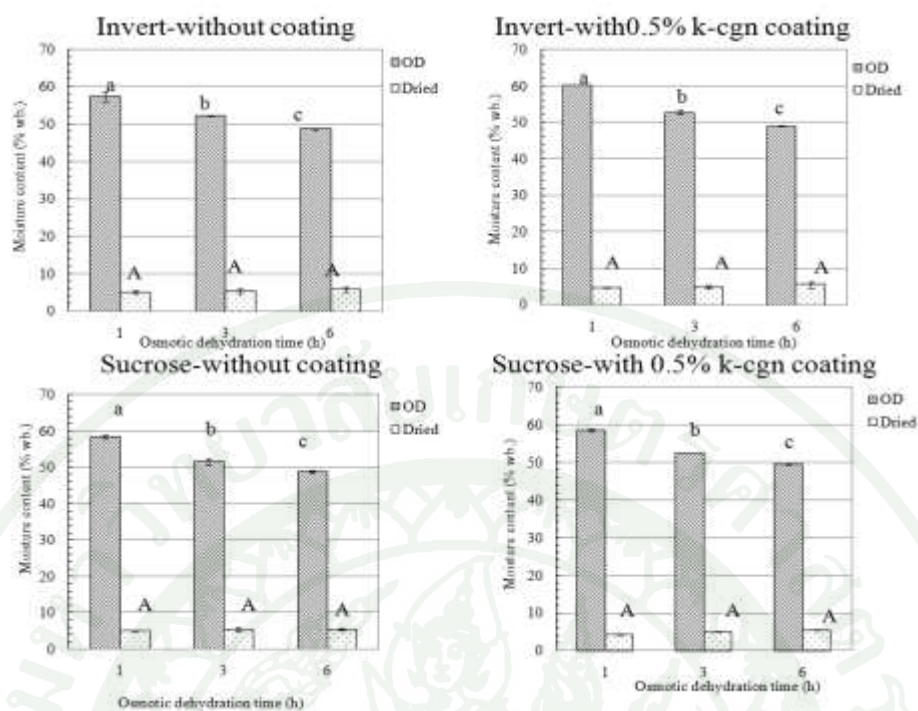
ระยะเวลาในการแช่อิ่มมีผลต่อปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่มโดยปริมาณ ความชื้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่อิ่ม จาก 1, 3, 6 ชั่วโมง ตามลำดับ แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นในมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ($p > 0.05$) (ดังแสดงใน ภาพที่ 23 และตารางที่ 28)

การเคลือบมะละกอด้วยดิสเพอร์ชันของ k-cgn ก่อนการแช่อิ่มไม่มีผลต่อปริมาณ ความชื้นทั้งในมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

ตารางที่ 13 ปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลา
กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ใน
ซุโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C,
อัตราส่วนมะละกอ:ซุโครสเท่ากับ 1:2

OD time (h)	Moisture content of OD papaya (%)				Moisture content of dried OD papaya (%)			
	Invert syrup		Sucrose		Invert syrup		Sucrose	
	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn
1	57.35aA	60.22aA	58.50aA	58.56aA	4.95aA	4.60aA	5.04aA	4.17aB
3	52.23bA	52.73bA	51.69bA	52.48bA	5.34aA	4.88aA	5.34aA	4.88aA
6	48.70cA	49.04cA	48.79cA	49.52cA	5.75aA	5.43aA	5.40aA	5.29aA

หมายเหตุ ค่าที่แสดงหมายถึงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และตัวพิมพ์ใหญ่ ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง (เวลาที่ใช้ในการ
แช่อิ่ม) และแนวนอน (การไม่เคลือบและเคลือบ K -cgn) ตามลำดับ หมายถึง
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 28 ปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลา กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ใน ซูโครสและ น้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครส เท่ากับ 1:2

4.3 ผลของชนิดน้ำตาลและการเคลือบด้วยแคปปาการีจีแนตต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid)

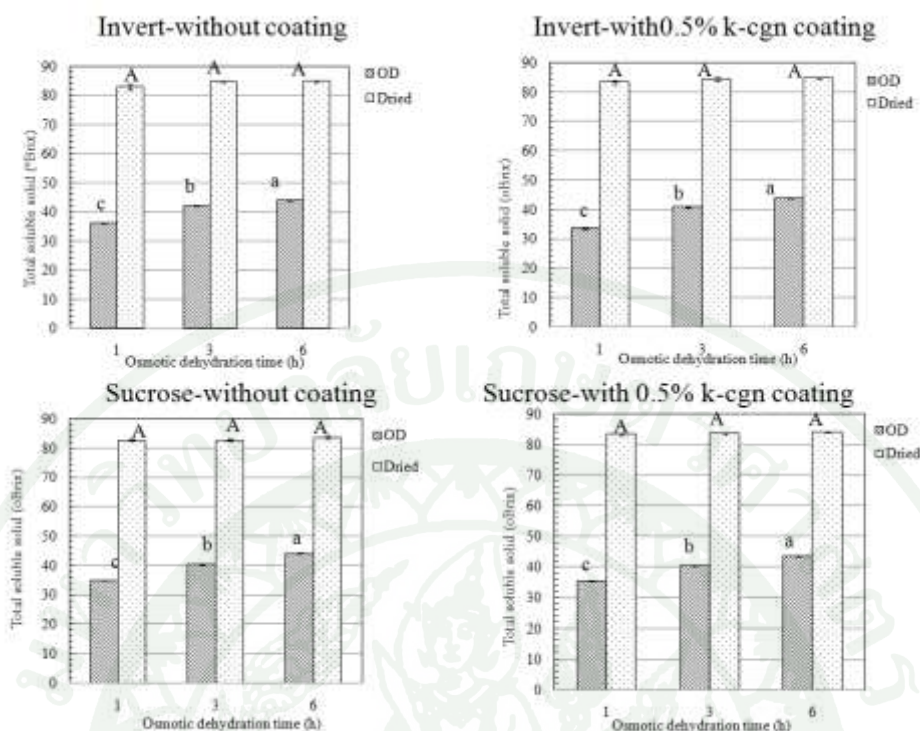
ระยะเวลาในการแช่มีผลต่อค่า TSS ของมะละกอแช่ โดยค่า TSS ของมะละกอแช่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ จาก 1, 3, 6 ชั่วโมง ตามลำดับ แต่ไม่มีผลต่อค่า TSS ในมะละกอแช่อบแห้ง ($p > 0.05$) การเคลือบมะละกอด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ก่อนการแช่มีอิทธิพลต่อค่า TSS ทั้งในมะละกอแช่ และมะละกอแช่อบแห้ง (ดังแสดงในภาพที่ 24 และตารางที่ 29)

ตารางที่ 14 ค่า TSS ของมะละกอแช่ และมะละกอแช่อบแห้งระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ในซูโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครส เท่ากับ 1:2

OD time (h)	TSS of OD papaya (°Brix)				TSS of dried OD papaya (°Brix)			
	Invert syrup		sucrose		Invert syrup		sucrose	
	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn
1	36.00cA	33.50cB	34.80cA	34.40cA	84.83aA	84.00aA	84.50aA	82.83aA
3	42.00bA	40.70bB	40.30bA	40.30bA	84.67aA	82.83aA	83.00aA	82.67aA
6	43.97aA	43.80aA	44.13aA	43.50aA	83.00aA	84.67aA	84.00aA	83.67aA

หมายเหตุ ค่าที่แสดงหมายถึงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และตัวพิมพ์ใหญ่ ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง (เวลาที่ใช้ในการแช่) และแนวนอน (การไม่เคลือบและเคลือบ K-cgn) ตามลำดับ หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 29 ค่า TSS ของมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ในซุโครสและน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซุโครสเท่ากับ 1:2

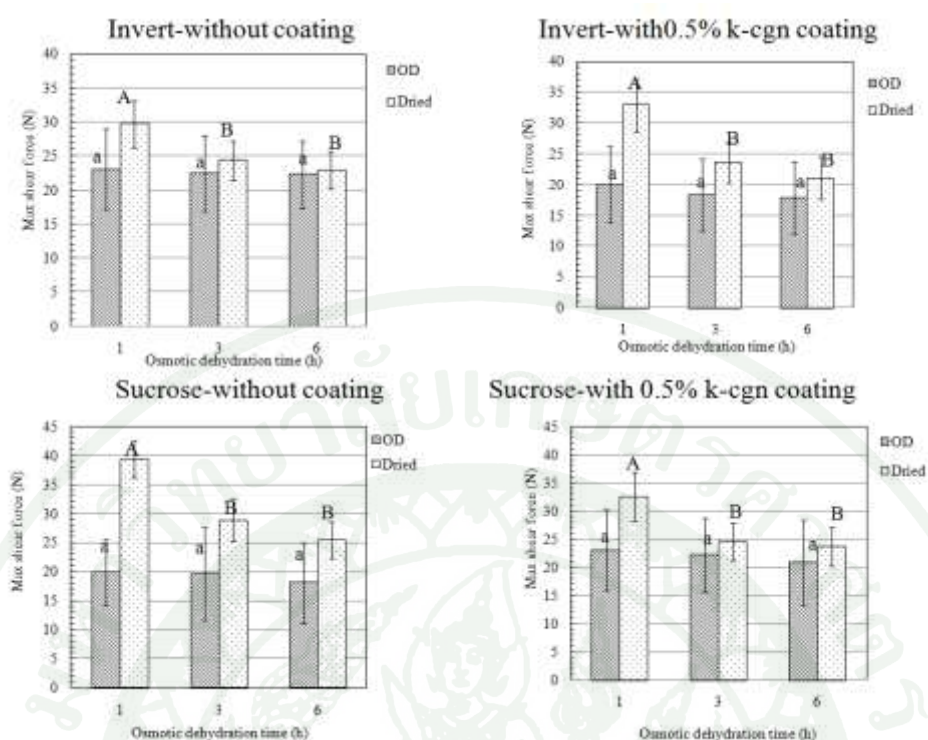
4.4 ผลของชนิดน้ำตาลและการเคลือบด้วยแคปปาการีจีแนตต่อค่า maximum shear force

เวลาในการแช่อิ่มมีผลต่อค่า maximum shear force ในมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง โดยค่า maximum shear force มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการแช่อิ่ม การเคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ก่อนการแช่อิ่มไม่มีผลต่อค่า max shear force ทั้งในตัวอย่างมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (ดังแสดงในภาพที่ 25 และตารางที่ 30)

ตารางที่ 15 ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ในซุโครส และน้ำเชื่อมอินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ: ซุโครสเท่ากับ 1:2

OD time (h)	Max. shear force of OD papaya (N)				Max. shear force of dried OD papaya (N)			
	Invert syrup		sucrose		Invert syrup		sucrose	
	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn	Without coat	0.5% K-cgn
1	23.04aA	20.03aA	19.84aA	23.13aA	29.71aA	32.88aA	39.28aA	32.61aA
3	22.39aA	18.24aA	19.54aA	22.22aA	24.32bA	23.55bA	28.76bA	24.66bA
6	22.22aA	17.82aA	18.07aA	20.88aA	22.89bA	21.03bA	25.43bA	23.73bA

หมายเหตุ ค่าที่แสดงหมายถึงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และตัวพิมพ์ใหญ่ ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง (เวลาที่ใช้ในการแช่อิ่ม) และแนวนอน (การไม่เคลือบและเคลือบ K-cgn) ตามลำดับ หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 30 ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดมะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเวลา กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เท่ากับ 1,3 และ 6 ชั่วโมง เมื่อแช่ใน ซูโครสและน้ำเชื่อม อินเวิร์ต อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มเท่ากับ 40 °C, อัตราส่วนมะละกอ:ซูโครสเท่ากับ 1:2

4.5 ผลของชนิดน้ำตาลและการเคลือบด้วยแคปซูลคาร์ซีจีแนต่อค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

คัดเลือกระยะเวลาในการแช่อิ่มมะละกอจากทดลองข้อที่ 4.1- 4.4 พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการแช่อิ่มที่จะศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสต่อไป คือการแช่อิ่มที่ 3 และ 6 ชั่วโมง เนื่องจากการแช่อิ่มที่ 1 ชั่วโมงนั้นมีค่า maximum shear force ที่มากกว่าตัวอย่างที่แช่ที่ 3 และ 6 ชั่วโมง และตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่แช่ 1 ชั่วโมงเกิดลักษณะการหดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงคัดเลือกมะละกอที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยดิสเพอร์ชันของ K-cgn ก่อนการแช่อิ่มในซูโครส และน้ำตาลอินเวิร์ตที่ความเข้มข้น 65 °Brix ที่อุณหภูมิในการแช่เท่ากับ 40 °C และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 20 ชั่วโมง มาวัดค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการสอบถามด้านความชอบของผลิตภัณฑ์โดยใช้ 9 point hedonic scale และทดสอบความพอดี (JAR) ด้านความหวาน ของตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่าง โดยวางแผนการทดลองแบบ BIB จากแผนการทดลองใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 112 คน จากการทดสอบความชอบด้าน ลักษณะปรากฏ, สี, เนื้อสัมผัส, รสหวาน และความชอบรวม และทดสอบความพอดี (JAR) ด้านรสหวานของผลิตภัณฑ์ (ทำการทดสอบความหวานของผลิตภัณฑ์เนื่องจากตัวอย่างมีการแปรผันการเคลือบดิสเพอร์ชันของ K-cgn ซึ่งจากการทดลองพบว่าการเคลือบ K-cgn มีผลต่อปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์)

คะแนนการทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์ทั้ง 8 ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 16 จากผลการทดลองพบว่าค่าคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่าง 5.8-7.0 คะแนนจาก 9 คะแนน เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะปรากฏ และด้านสีพบว่า ตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มที่แช่ในสารละลายน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะนี้สูงกว่าตัวอย่างที่แช่ในซูโครส ($p < 0.05$) เนื่องจากคุณลักษณะของน้ำตาลอินเวิร์ตที่ช่วยป้องกันการเกิดผลึกในน้ำเชื่อม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความโปร่งแสง และยังคงสีเดิมของตัวอย่าง

ตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ให้คะแนนความชอบรวมสูงที่สุดคือตัวอย่าง ที่เคลือบด้วย K-cgn และแช่อิ่มในน้ำตาลอินเวิร์ต ออสโมติกนาน 6 ชั่วโมง มีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 6.6 คะแนน รองลงมาคือ ตัวอย่างที่เคลือบด้วย K-cgn และแช่อิ่มในซูโครสออสโมติกนาน 6 ชั่วโมง มีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 6.5 คะแนน ซึ่งเมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าทั้งสองตัวอย่างที่มีคะแนนความชอบรวมสูงสุด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการออสโมติกที่ 6 ชั่วโมงมีคะแนนความชอบรวมสูงกว่าตัวอย่างที่แช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ทั้งในตัวอย่างที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วย K-cgn และแช่อิ่มในซูโครสและน้ำตาลอินเวิร์ต (แสดงดังตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน 3 และ 6 ชั่วโมงและแช่อิ่มในน้ำเชื่อมอินเวิร์ตและซูโครส ที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบ K-cgn ความเข้มข้น 0.5% (BIB: (t=8, k=4, r=7, b=14, $\lambda=3$, E=0.86, Type I))

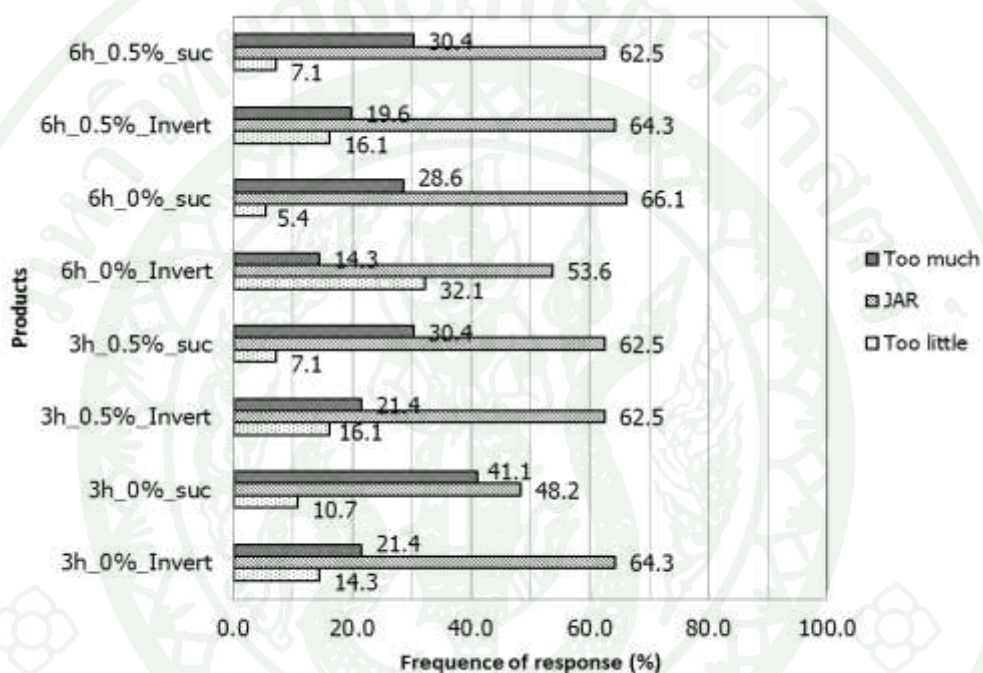
Treatments	Appearance	Color	Hardness	overall texture	sweet taste	overall taste	overall liking
Inv 3h 0% K-cgn	6.5±1.2ab	6.6±1.2abc	6.2±1.3 ab	6.2±1.3 ab	6.4±1.2 ab	6.1±1.2c	6.1±1.4 bc
Inv 3h 0.5% K-cgn	6.5±1.4 ab	6.7±1.3 ab	5.9±1.4 ab	6.0±1.3 ab	6.1± 1.2ab	6.1±1.2 c	6.1±1.1 bc
Inv 6h 0% K-cgn	6.7±1.1 a	6.9±1.1 ab	6.1±1.3 ab	6.1±1.3 ab	6.2±1.2 ab	6.3±1.0abc	6.3±1.0 bc
Inv 6h 0.5% K-cgn	6.8±1.1 a	7.0±1.2 a	6.4±1.3 a	6.4±1.3 a	6.5±1.2 ab	6.6±1.0 a	6.6±1.0 a
Suc 3h 0% K-cgn	6.1±1.4 bc	6.0±1.4 d	5.8±1.7 b	5.8±1.6 b	6.1±1.1 b	6.0±1.2c	5.9±1.3 c
Suc 3h 0.5% K-cgn	6.0±1.4 c	6.3±1.2 cd	6.0± 1.6ab	6.0±1.5 ab	6.3±1.2 ab	6.1±1.2 bc	6.1±1.3 bc
Suc 6h 0% K-cgn	6.1 ±1.3bc	6.1±1.3 cd	6.2±1.6 ab	6.3±1.3 a	6.2±1.3 ab	6.4±1.0abc	6.4±1.2abc
Suc 6h 0.5% K-cgn	6.2 ±1.3bc	6.4±1.2bcd	6.3±1.3 ab	6.2±1.4 ab	6.5±0.9 a	6.5±0.9 ab	6.5±1.1 ab

หมายเหตุ ค่าที่แสดงหมายถึงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.5.1 สเกลความพอดี (JAR)

ภาพที่ 31 แสดงการกระจายตัวของสเกล JAR สำหรับรสหวานที่ทดสอบในมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ผลการศึกษาพบว่าผู้ทดสอบมีความคิดเห็นว่ารสชาติของผลิตภัณฑ์มีความหวานพอดี ประมาณ 48.2-66.1% (มีค่าน้อยกว่า 70%) จึงจำเป็นต้องทดสอบ binomial test เพื่อหาความแตกต่างกันทางสถิติระหว่าง Non-JAR คือ “หวานมากเกินไป” และ “หวานน้อยเกินไป”



ภาพที่ 31 การกระจายตัวของสเกล JAR สำหรับรสหวานที่ทดสอบในมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

ตารางที่ 17 แสดงการทดสอบ Binomial test สำหรับ % non JAR โดยทดสอบความแตกต่างทางสถิติของผู้ที่ตอบว่า หวานน้อยเกินไป และ หวานมากเกินไป จากการทดสอบผลิตภัณฑ์ทั้ง 8 ตัวอย่าง จากตารางแสดงให้เห็นว่า “หวานน้อยเกินไป” แตกต่างกับ “หวานมากเกินไป” อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสังเกตจากค่าทางสถิติที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าจากตารางที่ความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจากตารางนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าควรที่จะปรับสูตรต่อไปหรือไม่ ซึ่งจะต้องนำไปเชื่อมสัมพันธ์กับคะแนนความชอบรวม (overall liking)

ตารางที่ 17 ค่าการทดสอบ Binomial ของ JAR scale ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง

Product	JAR (n,%)	Is JAR>= 70%?	Too little	Too much	Sum (or n)	Max	0.05 critical value	Are too little difference than too much at p=0.05?
Inv-3h0%K-cgn	36 (64.3%)	No	8 (14.3%)	12 (21.4%)	20	20	15	Yes(Cal>Table)
Suc-3h0%K-cgn	27 (48.2%)	No	6 (10.7%)	23 (41.1%)	29	29	21	Yes(Cal>Table)
Inv-3h0.5%K-cgn	35 (62.5%)	No	9 (16.1%)	12(21.4%)	21	21	16	Yes(Cal>Table)
Suc-3h0.5%K-cgn	35 (62.5%)	No	4 (7.1%)	17(30.4%)	21	21	16	Yes(Cal>Table)
Inv-6h0%K-cgn	30 (53.6%)	No	8 (14.3%)	18(32.1%)	26	26	19	Yes(Cal>Table)
Suc-6h0%K-cgn	37 (66.0%)	No	3 (5.4%)	16(28.6%)	19	19	15	Yes(Cal>Table)
Inv-6h0.5%K-cgn	36 (64.3%)	No	9 (16.1%)	11(19.6%)	20	20	15	Yes(Cal>Table)
Suc-6h0.5%K-cgn	35 (62.5%)	No	4 (7.1%)	17(30.4%)	21	21	16	Yes(Cal>Table)

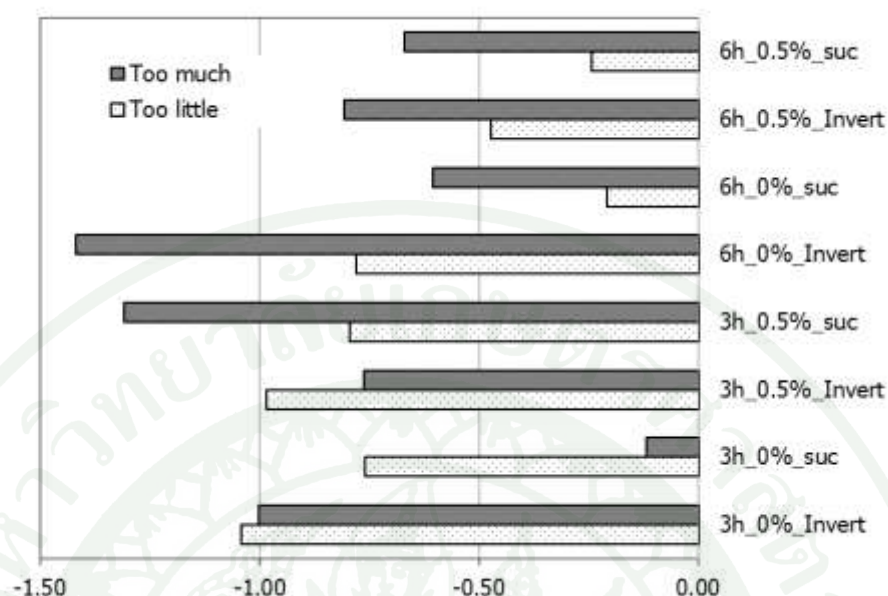
การทดสอบ mean drop สำหรับหาคะแนน “too much” และ “too little” หมายถึงการทดสอบระดับคะแนนความชอบเมื่อผู้ทดสอบตอบ JAR ลงกับคะแนนความชอบรวมของผู้ที่ตอบ “too much” หรือ “too little” ซึ่งจะบ่งบอกถึงระดับคะแนนที่ลดลงเมื่อผู้ทดสอบตอบว่าผลิตภัณฑ์นั้นหวานมาก หรือ หวานน้อยเกินไป ซึ่งถ้าคะแนนที่ลดลงนั้นไม่น้อยกว่า -1.50 แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบตอบ ว่าหวานมาก หรือน้อยเกินไปนั้น ไม่มีผลกระทบต่อคะแนนความชอบรวม แต่ถ้าคะแนน mean drop มากกว่า -2.0 จาก 9 point hedonic scale แสดงให้เห็นว่ารสชาติหวานมาก หรือน้อยเกินไปนั้นมีผลกระทบต่อคะแนนความชอบรวม ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิจัยควรตระหนัก เป็นอย่างยิ่ง ซึ่งเทียบคะแนน mean drop ได้ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ความหมายของค่า mean drop เมื่อใช้ 9 point hedonic scale

Mean drop value	Meaning
0.00 to -0.99	Very slightly concerning
-1.0 to -1.49	Slightly concerning
-1.5 to -1.99	Concerning
-2.0 or greater	Very concerning

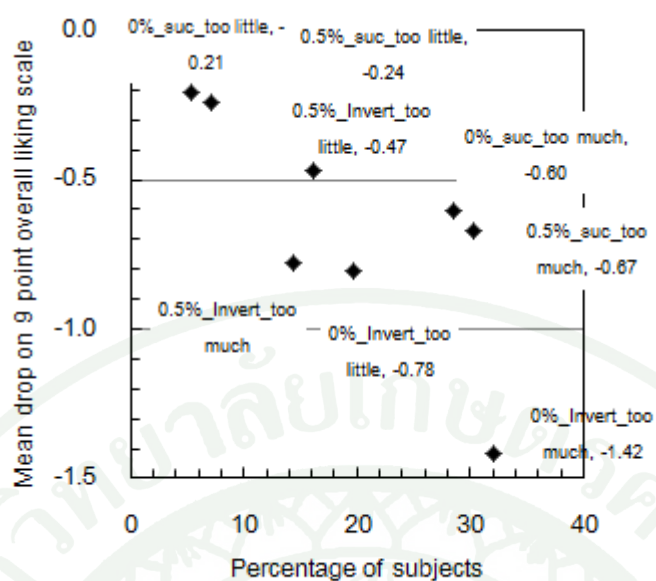
ที่มา: ASTM (2009)

ดังนั้นจากภาพที่ 32 แสดงให้เห็นว่าค่า mean drop ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 8 ตัวอย่างอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า -1.50 แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ผู้ทดสอบจะให้คะแนนความพอใจว่า หวานมาก หรือน้อยจนเกินไป ก็ไม่มีผลกระทบต่อคะแนนความชอบรวม ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้ดิสเพอร์ชันของ K-cgn เคลือบในตัวอย่างมะละกอก่อนกระบวนการแช่เย็นนั้นสามารถลดปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความหวานลดลงตามความต้องการของผู้บริโภค แต่ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีความหวานลดลงแต่ก็ไม่มีผลกระทบต่อความชอบของผู้บริโภค แต่กลับให้คะแนนความชอบรวมในตัวอย่างที่เคลือบ K-cgn มากกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบ



ภาพที่ 32 การทดสอบ mean drop สำหรับหับคะแนน “too much” และ “too little” (การทดสอบระดับคะแนนความชอบเมื่อผู้ทดสอบตอบ JAR ลบกับคะแนนความชอบรวมของผู้ที่ตอบ “too much” หรือ “too little”)

จากผลการวิเคราะห์กราฟ penalty ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ทั้ง 8 ทรีตเมนต์ คือผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่เคลือบและไม่เคลือบด้วย K-cgn ที่แช่ในสารละลายน้ำเชื่อมซูโครส และอินเวิร์ต นาน 6 ชั่วโมง พบว่าค่า penalty อยู่ในช่วง (-0.21) – (-1.42) ซึ่งค่า penalty ที่สูงแสดงถึงปริมาณการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นของค่าคะแนนความชอบรวม (Cavitt *et al.*, 2005) จากภาพแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่ผ่านการเคลือบและแช่ในน้ำเชื่อมอินเวิร์ตนาน 6 ชั่วโมง มีค่า penalty เท่ากับ -1.42 (มีค่ามากที่สุด) แสดงให้เห็นว่าเมื่อผู้บริโภคทดสอบผลิตภัณฑ์นี้และพบว่ามีความหวานที่มากเกินไป ส่งผลให้คะแนนความชอบลดลงมากที่สุด



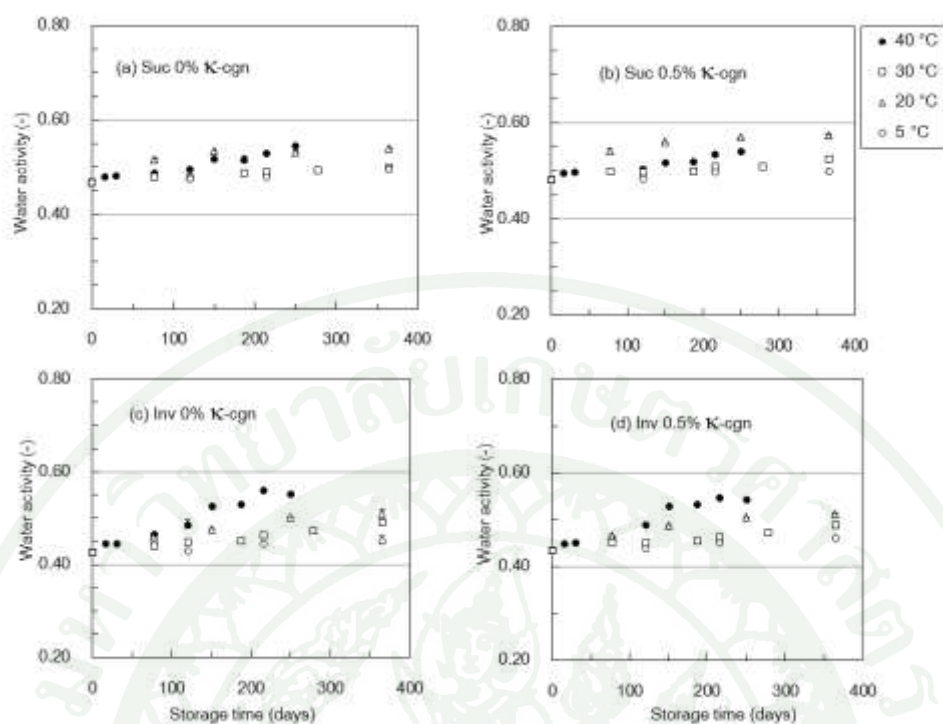
ภาพที่ 33 Penalty mean drop ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

นำมะละกอที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วย K-cgn ความเข้มข้น 0.5% ที่แช่ในซุโครสและน้ำตาลอินเวิร์ต ที่อุณหภูมิ 40 °C โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายเท่ากับ 1:2 แช่อิ่มนาน 6 ชั่วโมง และนำไปอบแห้งที่ 50 °C นาน 20 ชั่วโมง จากนั้นบรรจุมะละกอแช่อิ่มอบแห้งปริมาณ 55 กรัมลงในถุง PP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 °C หลังจากช่วงเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวัดค่าคุณภาพ คือ ค่า water activity, moisture content, maximum shear force, reducing sugar, total soluble solid, pH, titratable acidity และ color were determined เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างอายุการเก็บ

5.1 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (-)

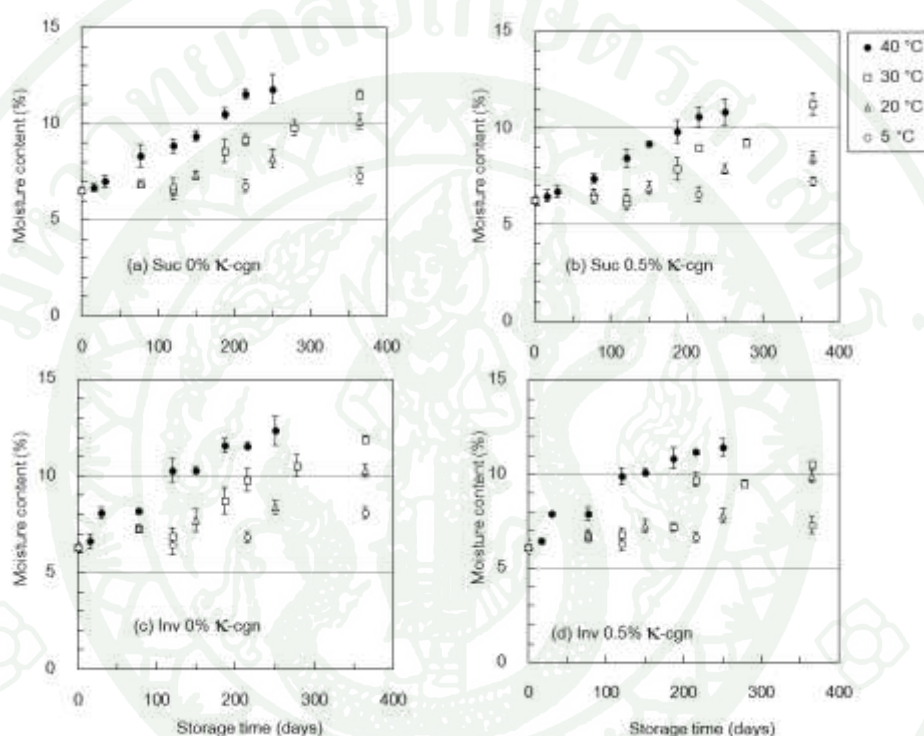
ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเริ่มต้นของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งอยู่ระหว่างช่วง 0.427-0.483 เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 °C พบว่าค่าวอเตอร์แอคทิวิตีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 34 (a-d) โดยเฉพาะตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 °C พบว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า water activity สูงกว่าที่ 30, 20 และ 5 °C ตามลำดับ ยกเว้นตัวอย่างที่แช่อิ่มในซุโครสพบว่า ตัวอย่างที่เก็บที่ 20 °C มีแนวโน้มของค่า water activity สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ อื่นๆ เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างที่ 40 °C นาน 250 วันค่า water activity ของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.546, 0.542, 0.552 และ 0.543 ในตัวอย่างที่ไม่เคลือบ-แช่ในซุโครส (0% K-cgn -sucrose), เคลือบ 0.5% K-cgn-แช่ในซุโครส (0.5% K-cgn -sucrose), ไม่เคลือบ-แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต (0% K-cgn -invert) และเคลือบ 0.5% K-cgn -แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต ตามลำดับ



ภาพที่ 34 ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี (a_w) ของมะละกอแช่อิ่มมอปแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn and (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●)

5.2 ปริมาณความชื้น (%)

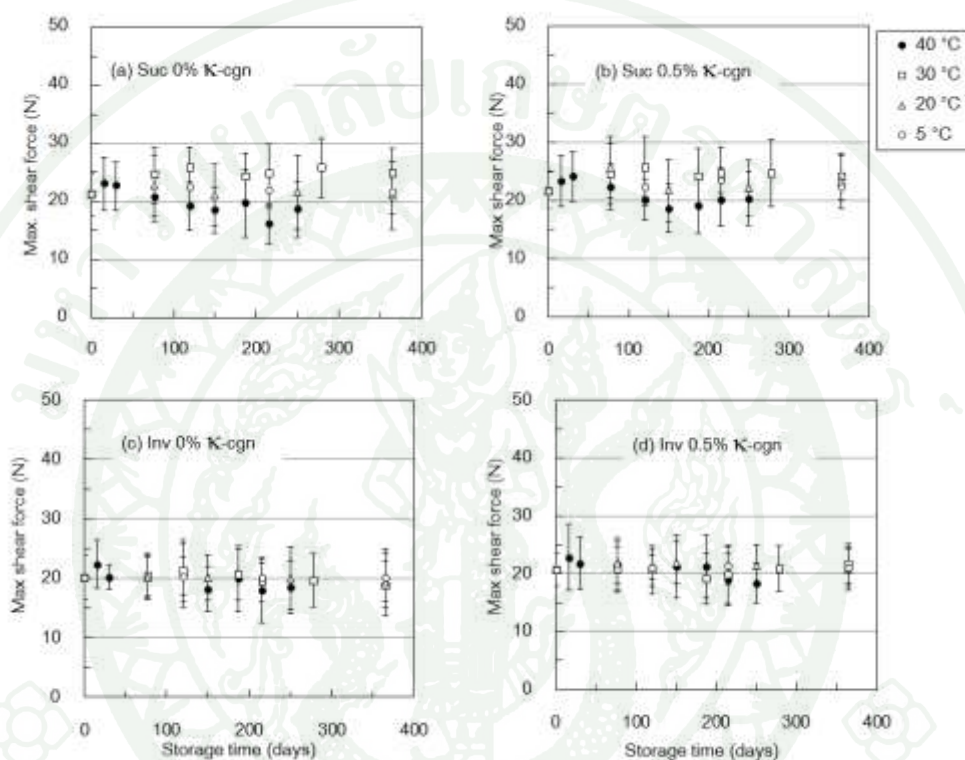
ค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มมอแซ้งอยู่ระหว่าง 6.12-6.51% เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 °C พบว่าปริมาณความชื้นของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะตัวอย่างที่เก็บที่ 40 °C มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นมากที่สุด ตามด้วย 30, 20 และ 5 °C เมื่อเก็บตัวอย่างที่ 40 °C นาน 250 วัน พบว่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 10.82-12.35% แสดงดังภาพที่ 35 (a-d)



ภาพที่ 35 ค่าปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่มมอแซ้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●)

5.3 แรงตัดสูงสุด (N)

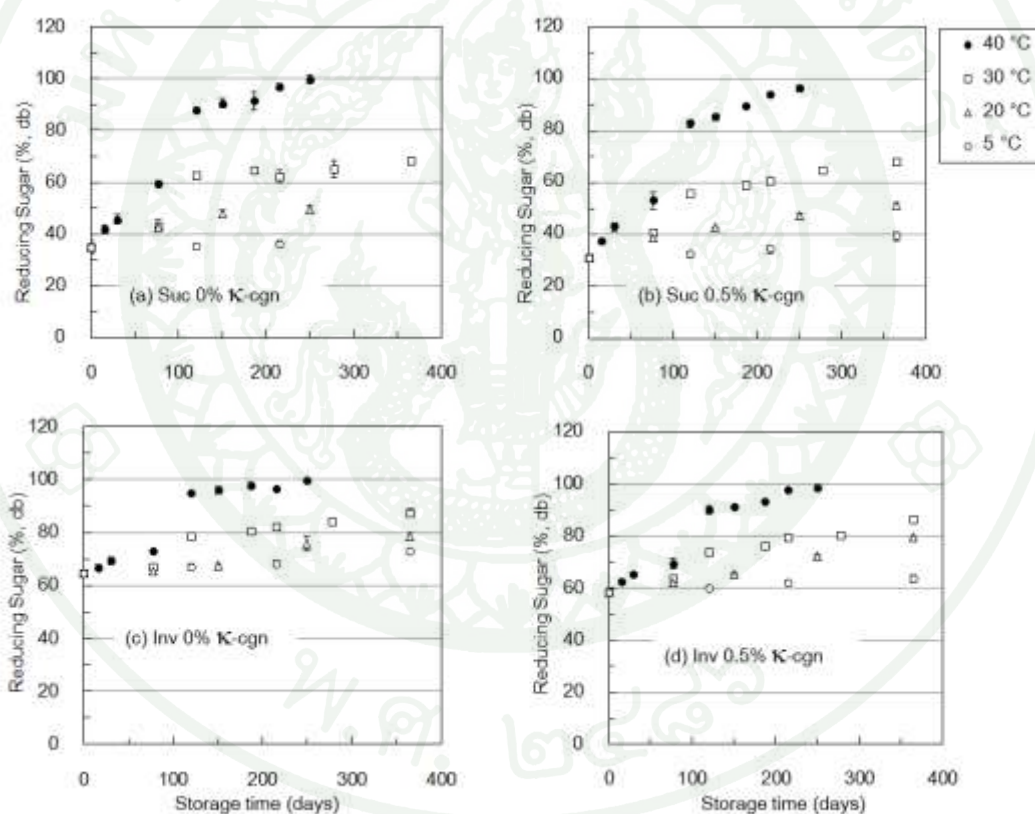
ค่า maximum shear force (N) ของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มมอบแห้งอยู่ระหว่าง 20.17-21.71% เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5, 20, 30 และ 40 °C พบว่าค่า max shear force การเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ค่า maximum shear force (N) ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●).

5.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง

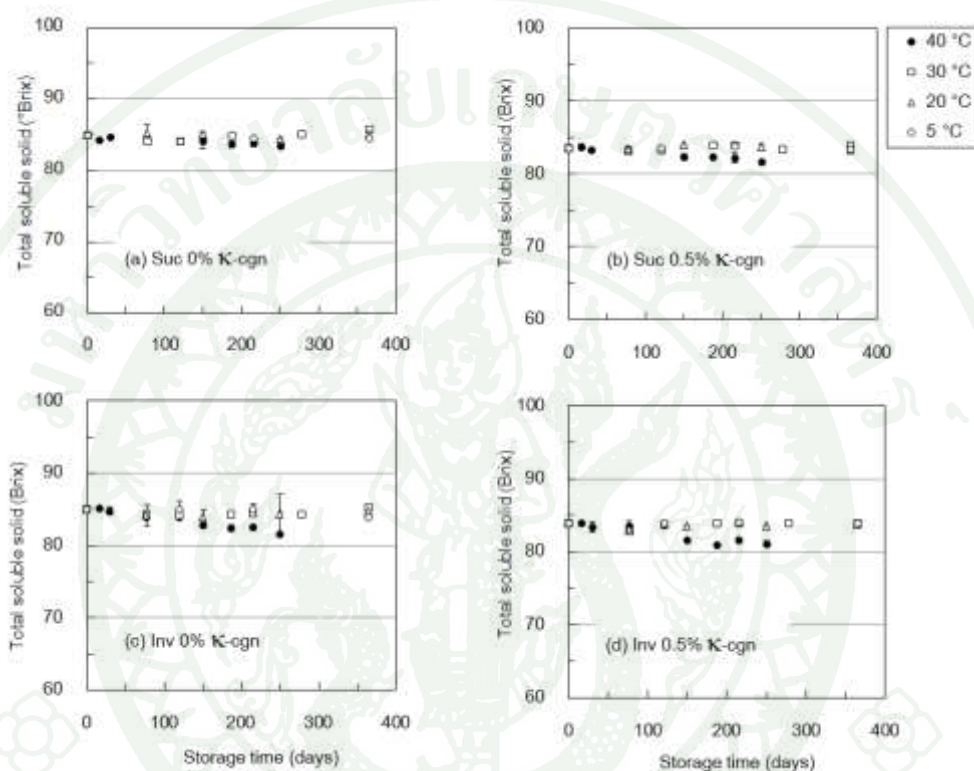
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงในตัวอย่างอาหาร สามารถบ่งบอกการเสื่อมเสียของอาหารได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงเริ่มต้นของตัวอย่างเท่ากับ 30.76- 64.71 (% db) น้ำตาลรีดิวซิงในตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 °C มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิอื่นๆ เมื่อเก็บตัวอย่างที่ 40 °C นาน 250 วันพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงมีค่าเท่ากับ 99.77, 96.18, 99.82 และ 98.61 ในตัวอย่างที่ไม่เคลือบ-แซ่ในซูโครส (0% K-cgn -sucrose), เคลือบ 0.5% k-cgn-แซ่ในซูโครส (0.5% K-cgn -sucrose), ไม่เคลือบ-แซ่ในน้ำตาลอินเวิร์ต (0% K-cgn -invert) และเคลือบ 0.5% K-cgn -แซ่ในน้ำตาลอินเวิร์ต ตามลำดับ



ภาพที่ 37 ค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●).

5.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งอยู่ในช่วง 83-85 °Brix. ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่างระหว่างการเก็บรักษา ดังภาพที่ 38)

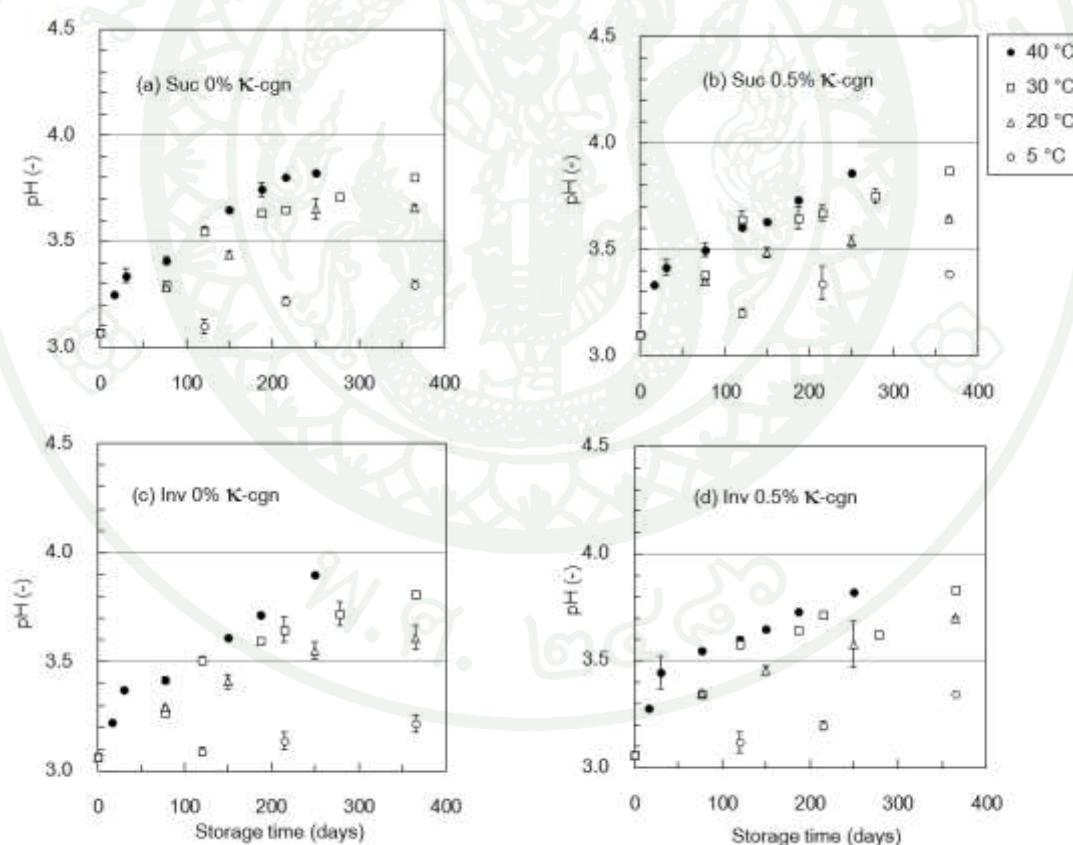


ภาพที่ 38 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40 °C (●).

5.6 ค่า pH

ค่า pH ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40, 30, 20 และ 5 °C แสดงดังภาพที่ 39 ค่า pH เริ่มต้นของตัวอย่างอยู่ในช่วง 3.06-3.10 เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 250 วันพบว่าค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.82, 3.86, 3.90 และ 3.92 ในตัวอย่างที่ไม่เคลือบ-แช่น้ำตาลอินเวิร์ต (0% K-cgn-sucrose), เคลือบ 0.5% K-cgn-แช่น้ำตาลอินเวิร์ต (0.5% K-cgn-sucrose), ไม่เคลือบ-แช่น้ำตาลอินเวิร์ต (0% K-cgn-invert) และเคลือบ 0.5% K-cgn-แช่น้ำตาลอินเวิร์ต ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่าค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น โดยค่า pH ของตัวอย่างที่เก็บที่ 40 °C มีการเพิ่มขึ้นของค่า pH มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิต่ำกว่า

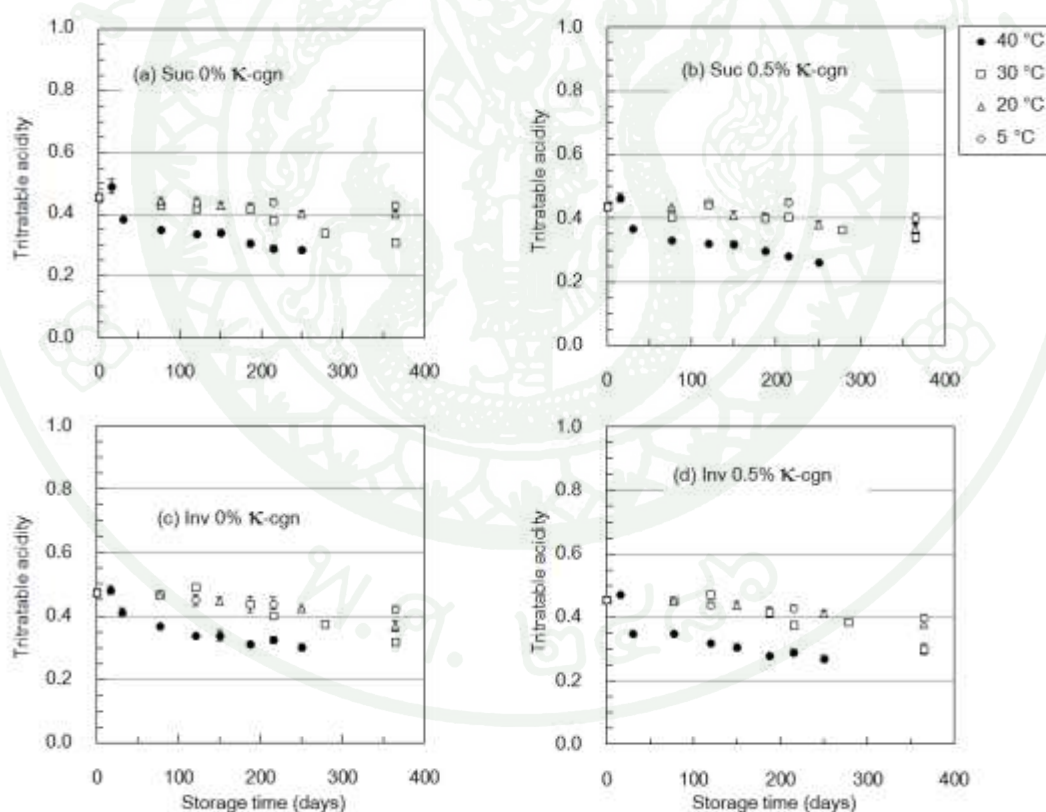


ภาพที่ 39 ค่า pH (-) ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●).

5.7 ปริมาณกรดซิตริก (TTA)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซิตริกโดยวิธีไทเทรต ในตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 40 ผลการทดลองพบว่ากรดซิตริกเริ่มต้นในตัวอย่างมีประมาณ 0.43-0.47 และมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 °C มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเทียบกับที่ 30, 20 และ 5 °C ตามลำดับ

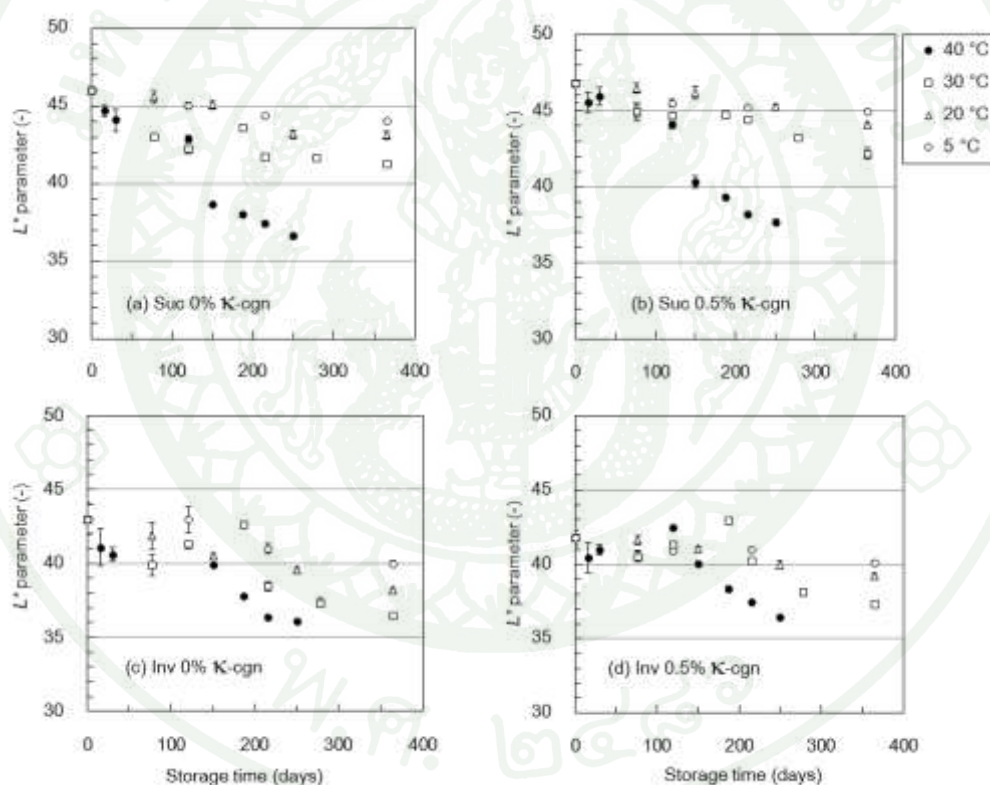
เมื่อเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 250 วันพบว่าปริมาณกรดมีค่าเท่ากับ 0.28, 0.26, 0.30 and 0.27 ในตัวอย่างที่ไม่เคลือบ-แซในซูโครส (0% K-cgn-sucrose), เคลือบ 0.5% K-cgn-แซในซูโครส (0.5% K-cgn-sucrose), ไม่เคลือบ-แซในน้ำตาลอินเวิร์ต (0% K-cgn-invert) และเคลือบ 0.5% K-cgn แซในน้ำตาลอินเวิร์ต ตามลำดับ



ภาพที่ 40 ค่าปริมาณกรดซิตริกของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (Δ), 30 (□) และ 40 °C (●)

5.8 L^* parameter

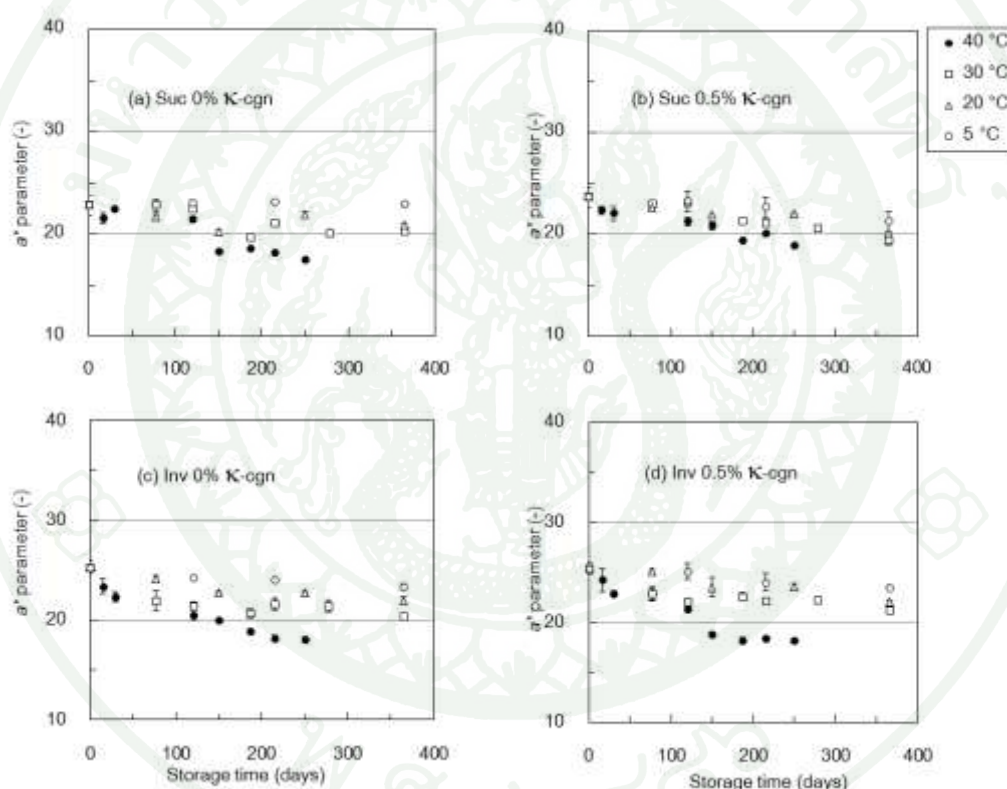
การเปลี่ยนแปลงค่าสีของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง แสดงโดยค่า L^* (แสดงดังภาพที่ 41) แสดงให้เห็นว่าค่า L^* เริ่มต้นของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มมอบแห้งมีค่าระหว่าง 41.8-46.8 จากภาพจะสังเกตได้โดยชัดเจนว่าค่า L^* ของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง เมื่อเก็บรักษาโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 40 °C มีอัตราการลดลงของค่าความสว่างของตัวอย่างมากกว่าตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำๆ เมื่อเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 °C ไว้ 250 วันพบว่าค่า L^* ของแต่ละตัวอย่างลดลงมีค่าเท่ากับ 36.59, 37.7, 36.1 และ 36.5 ในตัวอย่าง ไม่เคลือบ-แช่ในซูโครส (0% K-cgn -sucrose), เคลือบ 0.5% K-cgn แช่ในซูโครส (0.5% K-cgn-sucrose), ไม่เคลือบ-แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต (0% k-cgn-invert) และเคลือบ 0.5% K-cgn แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต ตามลำดับ



ภาพที่ 41 ค่า L^* ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●)

5.9 a^* parameter

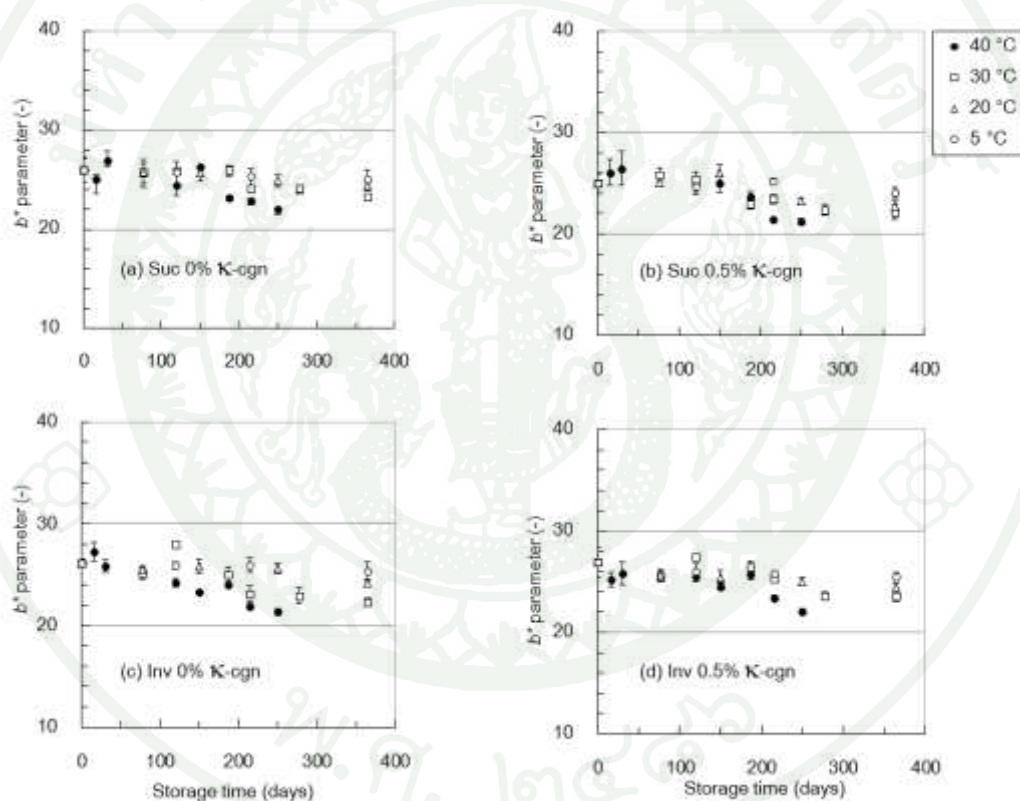
การเปลี่ยนแปลงของสีแดง(a^*) ในมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาค่า a^* เริ่มต้นก่อนการเก็บรักษามีค่า ระหว่าง 22.8-25.4 แสดงดังภาพที่ 42 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะการเก็บที่ 40 °C แสดงอัตราการลดลงของค่า a^* มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิอื่นๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 250 วันพบว่าค่า a^* ของตัวอย่างที่ไม่เคลือบ-แซในซูโครส (17.41), เคลือบ 0.5% K-cgn แซในซูโครส (18.9), ไม่เคลือบ-แซในน้ำตาลอินเวิร์ต (18.0) และเคลือบ 0.5% K-cgn แซในน้ำตาลอินเวิร์ต (18.2) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความเป็นสีแดงลดลง



ภาพที่ 42 ค่า a^* ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●).

5.10 b^* parameter

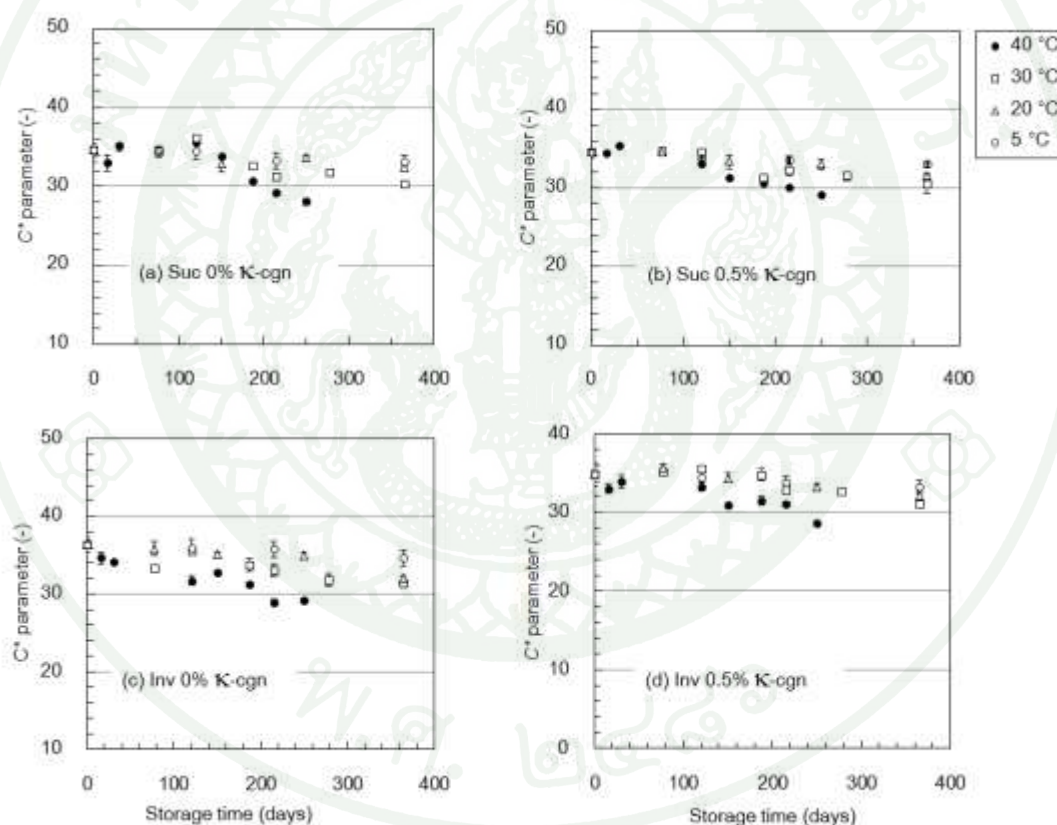
การเปลี่ยนแปลงของสีเหลือง(b^*) ในมะละกอแช่อิ่มมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ค่า b^* เริ่มต้นก่อนการเก็บรักษามีค่า ระหว่าง 25.1 – 26.9 แสดงดังภาพที่ 43 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะการเก็บที่ 40 °C แสดงอัตราการลดลงของค่า b^* มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิอื่นๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 250 วันพบว่าค่า b^* ของตัวอย่างที่ไม่เคลือบ-แช่ในซูโครส (21.86), เคลือบ 0.5% K-cgn แช่ในซูโครส (21.3), ไม่เคลือบ-แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต (21.4) และเคลือบ 0.5% K-cgn แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต (21.1) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความเป็นสีเหลืองลดลง



ภาพที่ 43 ค่า b^* ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●)

5.11 C* parameter

การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของสี (C^*) ในมะละกอแช่อิ่มมอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ค่า C^* เริ่มต้นก่อนการเก็บรักษามีค่า ระหว่าง 34.5-36.4 แสดงดังภาพที่ 44 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะการเก็บที่ 40 °C แสดงอัตราการลดลงของค่าความสว่างมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิอื่นๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 250 วันพบว่าค่าความสว่างของตัวอย่างที่ไม่เคลือบ-แช่ในซูโครส (28.0), เคลือบ 0.5% K-cgn แช่ในซูโครส (29.0), ไม่เคลือบ-แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต (29.2) และเคลือบ 0.5% K-cgn แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต (28.6) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความสว่างลดลงระหว่างอายุการเก็บรักษา

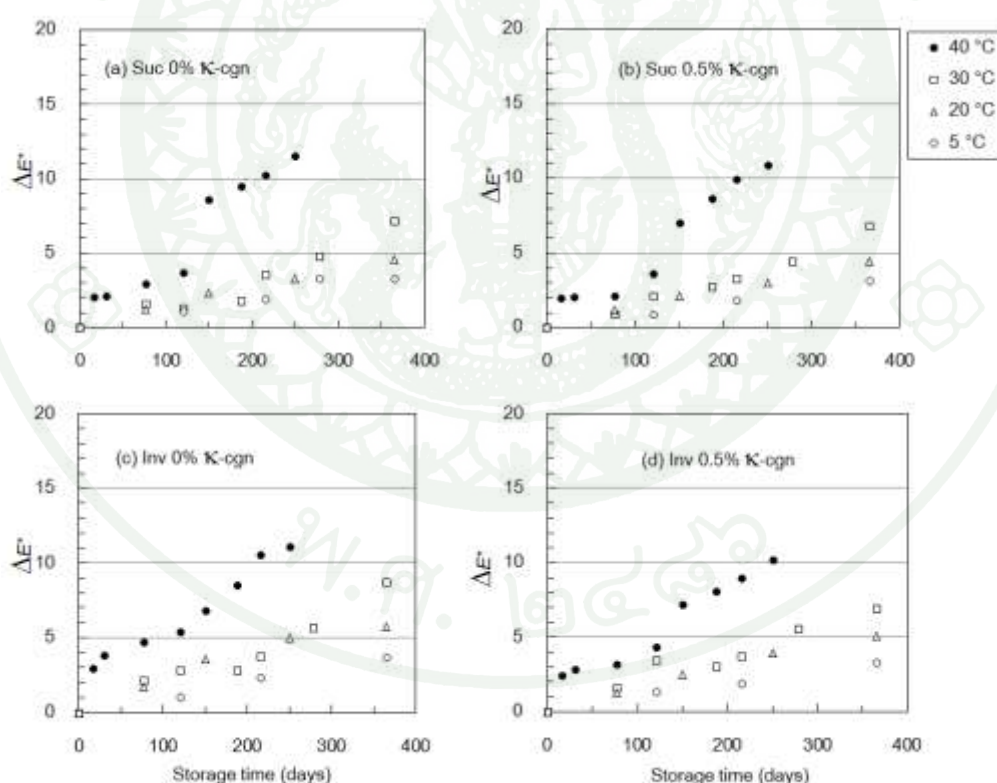


ภาพที่ 44 ค่า C^* ของมะละกอแช่อิ่มมอบแห้ง (a) sucrose 0% K-cgn, (b) sucrose 0.5% K-cgn, (c) invert 0% K-cgn และ (d) invert 0.5% K-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●)

5.12 ΔE^* parameter

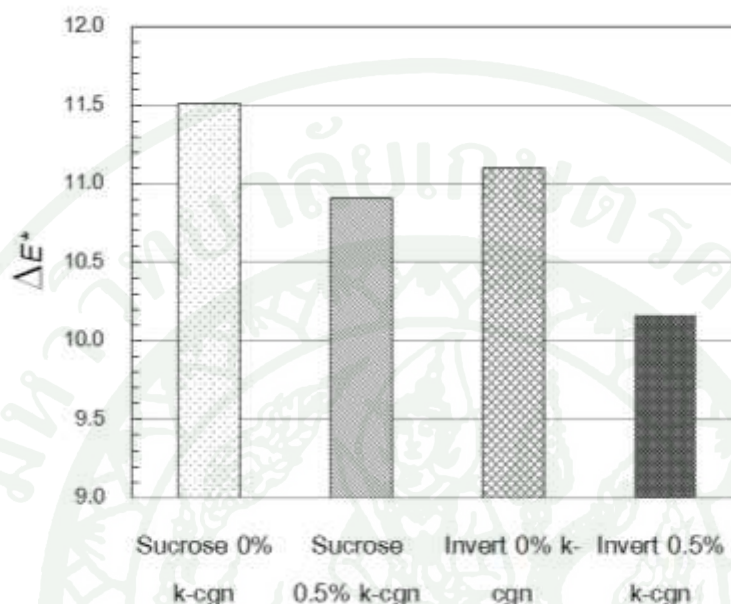
การเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้งหมด (ΔE^*) โดยการคำนวณจากสมการโดยใช้ค่า L^* , a^* และ b^* โดยการเปรียบเทียบค่าเริ่มต้น และค่าระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งแสดงดังภาพที่ 45 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าสีทั้งหมดโดยเฉพาะตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 °C มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้งหมดอย่างรวดเร็ว แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนั้นสามารถคงสีเดิมโดยไม่เปลี่ยนแปลงมาก

เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 250 วันพบว่าค่าความสว่างของตัวอย่างที่ไม่เคลือบ-แช่ในซูโครส (11.5), เคลือบ 0.5% K-cgn แช่ในซูโครส (10.9), ไม่เคลือบ-แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต (11.1) และเคลือบ 0.5% K-cgn แช่ในน้ำตาลอินเวิร์ต (10.2) แสดงให้เห็นว่าสีผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 45 ค่า ΔE^* ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (a) sucrose 0% k-cgn, (b) sucrose 0.5% k-cgn, (c) invert 0% k-cgn และ (d) invert 0.5% k-cgn ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 (○), 20 (△), 30 (□) และ 40°C (●)

ภาพที่ 46 แสดงค่า ΔE^* ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 250 วัน จากภาพพบว่าตัวอย่างมะละกอที่เคลือบด้วยสารละลาย k-cgn ก่อนการแช่อิ่มนั้น มีค่าการเปลี่ยนแปลงโดยรวมของค่าสีน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบ



ภาพที่ 46 ค่า ΔE^* ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 250 วัน

4.1.13 คุณภาพทางจุลินทรีย์เริ่มต้น

เมื่อทำการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยแคปซูลคาราจีแนน และแช่อิ่มด้วยซูโครสและน้ำตาลอินเวิร์ต ความเข้มข้น 65 °Brix พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสและรา อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้อบแห้ง (ดังตารางที่ 19) เนื่องจากมะละกอแช่อิ่มอบแห้งมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่า 0.75 และค่าความชื้นต่ำกว่า 18% ส่งผลให้สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (Fennema, 1985)

ตารางที่ 19 ปริมาณจุลินทรีย์ของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (ตัวอย่างเริ่มต้น)

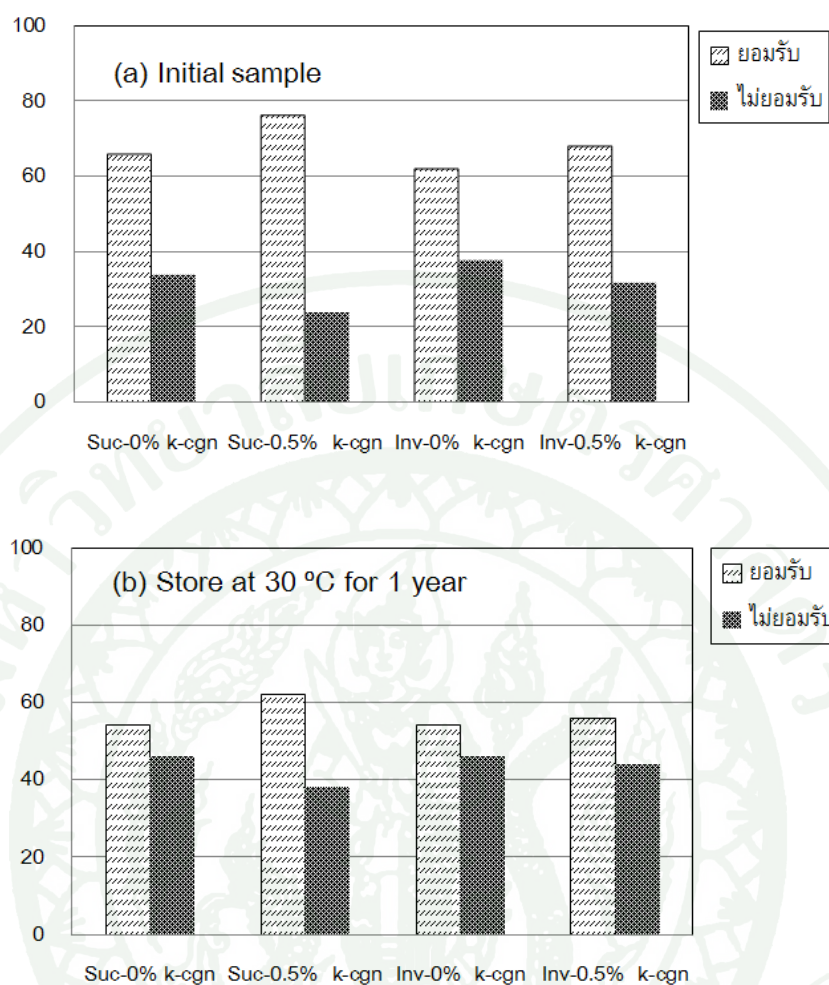
จุลินทรีย์	Suc 0% K-cgn	Suc 0.5% K-cgn	Inv 0% K-cgn	Inv 0.5% K-cgn
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	5.5x10*	4.5x10*	2.0x10*	3.0x10*
ยีสต์และรา (cfu/g)	< 10*	< 10*	< 10*	< 10*

หมายเหตุ * หมายถึง Estimated Standard Plate Count (ESPC) คือ จำนวนจุลินทรีย์ที่นับไม่ได้อยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี/จานเพาะเชื้อ หรือไม่มีโคโลนีเจริญในจานเพาะเชื้อที่ระดับการเจือจางที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด

4.1.14 ผลการยอมรับและการตัดสินใจซื้อมะละกอแช่อิ่มอบแห้งก่อนและหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 1 ปี

เมื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้บริโภคจำนวน 50 คนต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งในตัวอย่างเริ่มต้นที่เคลือบ และไม่เคลือบด้วย K-cgn และแช่อิ่มในซอโครสและน้ำเชื่อม อินเวิร์ตพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ในช่วง 62 – 76% และไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 24-38% (แสดงดังภาพที่ 47 (a)) และพบว่าเปอร์เซ็นต์การยอมรับผลิตภัณฑ์สูงสุด (76%) พบในมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่เคลือบด้วย 0.5% K-cgn และแช่อิ่มในสารละลายซอโครส

เมื่อทดสอบผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 1 ปีในผู้ทดสอบทั้งหมด 50 คน พบว่าปริมาณการยอมรับผลิตภัณฑ์ลดลงอยู่ในช่วง 54-62% ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในช่วง 38-46% (แสดงดังภาพที่ 47 (b)) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้หลังจาก 1 ปี ส่งผลให้การยอมรับผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งลดลง



ภาพที่ 47 ผลการทดสอบการยอมรับผู้บริโภคมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ในตัวอย่างเริ่มต้น (a) และตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 1 ปี (b)

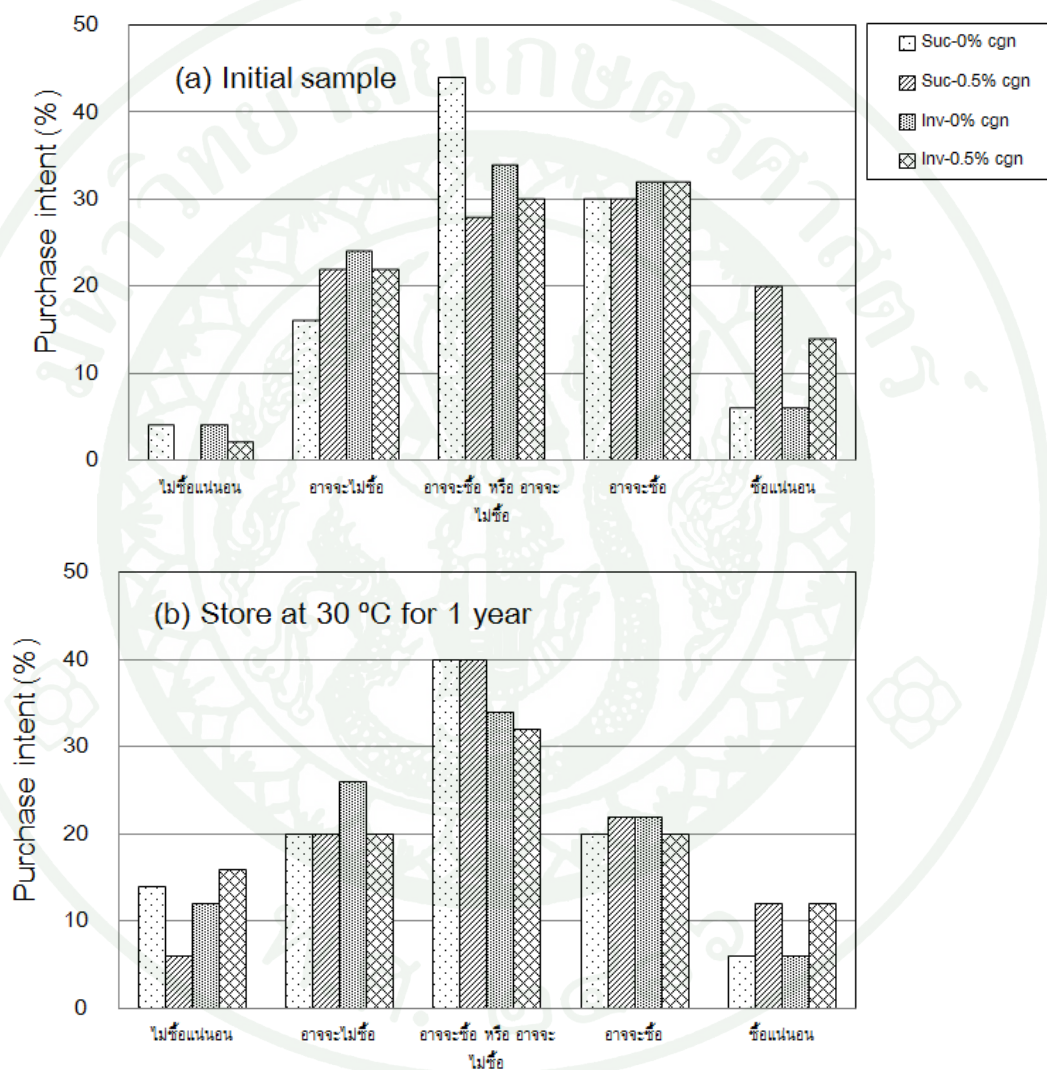
4.1.15 ผลการทดสอบการตัดสินใจซื้อมะละกอแช่อิ่มอบแห้งของผู้บริโภคก่อนและหลัง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 1 ปี

เมื่อสอบถามถึงการตัดสินใจซื้อมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ของผู้บริโภค 50 คน ใน ตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มอบแห้งก่อนและหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 1 ปี พบว่า

ในตัวอย่างเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา ผู้บริโภคส่วนใหญ่ตัดสินใจว่าจะซื้อ อยู่ ในช่วง 30-32% ซึ่งใกล้เคียงกับการตัดสินใจว่าจะซื้อหรืออาจจะไม่ซื้อ ซึ่งอยู่ในช่วง 28-44% (แสดงดังภาพที่ 48 (a)) และพบว่าเมื่อทดสอบการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30

°C นาน 1 ปี พบว่าปริมาณการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ลดลง อยู่ในช่วง 20-22 % และการตัดสินใจอาจจะซื้อหรือไม่ซื้อเพิ่มสูงขึ้นมีค่าในช่วง 32-40%

ดังนั้นจากการศึกษาพบว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นาน 1 ปี ที่ 30 °C มีผลทำให้การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้น



ภาพที่ 48 ผลการทดสอบการตัดสินใจซื้อมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ในตัวอย่างเริ่มต้น (a) และ ตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 1 ปี (b)

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. ความเข้มข้นและอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อชูโครสมีผลต่อการถายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน โดยที่อัตราส่วนระหว่างชูโครสต่อผลไม้ที่สูงขึ้นและความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า SG , WL , WR และ D_{ew} เพิ่มมากขึ้น โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแช่อิ่มคือ 1:2 เนื่องสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (D_{ew}) ไม่แตกต่างจาก 1:4 และใช้ความเข้มข้นของชูโครสที่ 65 °Brix เนื่องจากการถายเทมวลที่สูง และใช้เวลาในการออสโมติกเท่ากับ 6 ชั่วโมงเนื่องจากกระบวนการออสโมติกถึงจุดยุติ
2. การลดความดันสุญญากาศในมะละกอก่อนการแช่อิ่มมีผลต่อค่า SG และ WL ในช่วงแรกของกระบวนการออสโมติก แต่เมื่อแช่อิ่มเป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมงส่งผลให้ตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการลดความดันสุญญากาศไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการลดความดันสุญญากาศก่อนการแช่อิ่มจึงไม่มีอิทธิพลต่อการถายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกเมื่อแช่อิ่มมะละกอนาน 6 ชั่วโมง
3. การเคลือบมะละกอด้วยแคปปาคาราจีแนนก่อนการแช่อิ่ม สามารถช่วยลดปริมาณน้ำตาลที่แพร่เข้าไปในมะละกอ (SG) และเพิ่มการสูญเสียน้ำ (WL) ระหว่างกระบวนการออสโมติก ค่า SG และ WL ของการเคลือบแคปปาคาราจีแนนความเข้มข้น 0.5 และ 1% และการแช่อิ่มที่ 40 และ 50 °C ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแช่อิ่มคือการเคลือบแคปปาคาราจีแนนความเข้มข้น 0.5% และแช่อิ่มที่อุณหภูมิ 40 °C
4. การศึกษาผลของชนิดสารละลายออสโมติกน้ำตาล (น้ำเชื่อมอินเวิร์ต และชูโครส) และการเคลือบ K-carrageenan ต่อคุณภาพของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลไม้แช่อิ่มลดลงในขณะที่ในมะละกอแช่อิ่มอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแช่อิ่มนานขึ้น การเคลือบด้วย K-carrageenan ให้ค่า a_w ต่ำกว่าของผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบทั้งในมะละกอแช่อิ่มและแช่อิ่มอบแห้งที่เตรียมจากน้ำเชื่อมอินเวิร์ต และชูโครส
5. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะละกอแช่อิ่มระหว่างการเก็บรักษาพบว่าค่าสี (L^* , a^* , b^*) และปริมาณกรดซิตริกมีค่าลดลง ในขณะที่ค่า ΔE^* , ปริมาณความชื้น, วอเตอร์แอกทิวิตี, น้ำตาลรีดิวซิงค์, pH มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 250 วันพบว่าสีมะละกอล้ำขึ้น และค่าสีมีความเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงพาณิชย์. 2551. การส่งออกผลไม้อบแห้ง. แหล่งที่มา: www.moc.go.th, 7 ธันวาคม 2553

นันทวัน เทอดไทย. 2552. การออกแบบกระบวนการทางอุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1: โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ผู้จัดการออนไลน์. 2556. ส่งออกได้เฮ! 13 สินค้าจ่อได้คืน GSP จากสหรัฐฯ แะยื่นคำร้อง โดยด่วนภายใน 12 เม.ย.นี้. แหล่งที่มา: <http://www.manager.co.th/iBizChannel/ViewNews.aspx?NewsID=9560000039059>, 13 ตุลาคม 2556.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2549. อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์. 106 – 109. ใน รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. 2545. คู่มือการปลูกมะละกอ. เกษตรสาส์น, กรุงเทพมหานคร.

สมศักดิ์ วรรณศิริ, ทวีศักดิ์ นวลพลับ, อนุชา ทองไทยทร และ ปฐพีชล วายอค์คี. 2530. การปลูกมะละกอ. บริษัทสหมิตรออฟเซต, กรุงเทพมหานคร:

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แช่อิ่ม. มผช. 161-2546.

Anupama, D., K.K. Bhat, V.K Sapna. 2003. Sensory and physic-chemical properties of commercial sample of honey. **Food Res Int.** 36: 183-191.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis.** 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Maryland, U.S.A.

ASTM American Society of Testing and Materials. 2009. **Just-About-Right (JAR)**

scales: Design, usage, benefits and risks. In: Rothman L, Parker MJ, editors.

ASTM International Manual Series. MNL 63. West Conshohocken, Pa.: ASTM.

Azoubel, P.M. and F.E.X. Murr. 2004. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **J. Food Eng.** 61(3), 291-295.

Baardseth, P., G. Skrede, T. Naes, M. S. Thomassen, A. Iversen and L. Kaaber. 1988. A comparison of CIE (1976) $L^*a^*b^*$ values obtained from two different instruments on several food commodities. **J. Food Sci.** 53. 1737–1742.

BAM. 2001. **Food and Drug Administration Bacteriological Analytical Manual**. 8th ed., AOAC International, USA.

Beristain, C.I., E. Azuara, R. Cortes and H.S. Garcia. 1990. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. **Int. J. Food Sci Tech.** 25: 576-582.

Bolin HR, CC, Huxsoll, R. Jackson and KC Ng. 1983. Effect of osmosis agents and concentration on fruit quality. **J. Food Sci.**, 48: 202-205.

Camirand, W., J.M. Krochta, A.E. Pavlath, D. Wong and M.E. Cole. 1992. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. **Carbohydrate Pol.** 17: 39–49.

Carr, J.M. 1993. Hydrocolloids and stabilizers. **Food Technol.** 47(10): 100.

Cavitt LC, J. Meullenet, R. Xiong and CM. Owens. 2005. The relationship of razor blade shear, allo-kramer shear, Warner-Bratzler shear and sensory tests to changes in tenderness of broiler breast fillets. **J. Musc Foods.** 16: 223–42.

- Chauhan, O.P., P.S. Raju , D.K. Dasgupta , R. Shylaja , Sudhakar Rao and A.S. Bawa. 2006. Modified/Controlled Atmosphere Storage of Minimally Processed Mango Slices (Var. *Arka anmol*). **Am. J. Food Technol.** 1: 105-116.
- Chenlo, F., R. Moreira, C. Fernández-Herrero and G. Vázquez. 2007. Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: mass transfer processes and global kinetics modeling . **J. Food Eng.** 78(3): 765-774.
- Codex arementarius. 2010. **Sulfite in dried fruit** codex stand 192-1995.
- Correa J.L.G., L.M. Pereira, G.S. Vieira and M.D. Hubinger. 2010. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **J. Food Eng.** 96: 498-504.
- Crack J. 1975. **The mathematics of diffusion**. Oxford university press, Oxford.
- Falade, K.O., J.C. Igbeka and F.A. Ayanwuyi. 2007. Kinetics of mass transfer and colour changes during osmotic dehydration of water melon. **J. Food Eng.** 80: 979-985.
- FAO (2004). **FAO Statistical Yearbook 2004**. Rome: Statistics Division, Food and Agriculture Organization.
- Fennema, O.R. 1985. **Food Chemistry**. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Fernandes, F.A.N., S. Rodrigues, O.C.P. Gaspareto and E.L. Oliveira. 2006. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Res. Int.** 39: 492-498.
- Fito Pedro. 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. **J. Food Eng.** 22: 313-328.

- Flink JM. 1975. Process conditions for improved flavor quality of freeze dried foods. **J. Agric. Food Chem.** 19: 1019-1026.
- Gely, M.C. and E.M. Santally. 2007. Moisture diffusivity in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds: effect of air temperature and initial moisture content of seed. **J. Food Eng.** 78(3): 1029-1033.
- Giese, J. 1992. Developing low-fat meat products. **Food Technol.** 50(9): 100-108.
- Heng, K., S. Guilbert and J. Cuq. 1990. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. **Science Aliments.** 10: 831-848.
- Ispir A. and T.I. Togrul. 2009. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. **Chem. Eng. Res. Des.** 87: 166-180.
- Korsrilabut J. C. Borompichaichartkul and K. Duangmal. 2010. Effect of invert sugar on the drying kinetics and water mobility of osmosed-air dried cantaloupe. **Food Sci. Tech.** 45: 1524-1531
- Khin, M.M., W. Zhou and C.O. Perera. 2007. A study of mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cube. **J. Food Eng.** 77: 84-95.
- Lazarides, H.N. 1995. Osmotic preconcentration as a tool in freeze preservation of fruits and vegetables, *In*: Lenart, A. and Lewicki, P. P. (Eds). **Proceedings of the Second International Seminar on Osmotic Dehydration of fruit and vegetables.** Warsaw, April 18-19, 1994, 88-98.
- _____, E. Katsanides, and A. Nicolaidis. 1995. Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. **J. Food Eng.** 25: 151-166.
- Lenart A. and J.N. Flink. 1984. Osmotic concentration of potatoes I. Criteria for the end point of the osmotic process. **J. Food Tech.** 19: 45-63.

- Lerici, C.R., G. Pinnavaia, R.M. Dollar and L. Bartolucci. 1985. Osmotic dehydration of Fruits: Influence of osmotic agent on drying behavior and product quality. **J. Food Sci.** 50: 1217.
- Madala, I.G., E.F. Anagnostaras and C.K. Oikonomou. 2005. Influence of osmotic dehydration condition on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. **J. Food Eng.** 69: 307-316.
- Matusek, A., B. Czukur, P. Meresz. 2008. Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. **Journal of innovative food science and emerging technologies** 9: 365-373.
- Moreau, C., R. Durand, F. Alies, M. Cotillon, T. Frutz and M. Theoleyre. 2002. Hydrolysis of sucrose in the presence of H-form zeolite. **Industrial crops and product.** 11: 237-242.
- National results defense council. 2003. **Invert sugar.** Aviable from: <http://www.Nrdcindia.com>. 1 December 2010.
- Patras, A., N.P. Brunton, G. Downey., A. Rawson, K. Warriner and G. Gernigon. 2011. Application of principle component and hierarchical cluster analysis to classify fruit and vegetables commonly consumed in Ireland based on *in vitro* antioxidant activity. **J. Food Compos. Anal.** 24: 250-256.
- Pisulka P. S., N. K. Jain, S. K. Jain. 2011. Osmo-air drying of aloe vera gel cubes. **J. Food Sci Technol.** 48(2): 183-189.
- Pongting, J.D., G.G. Watters, R.R. Forrey, R. Jackson and W.L. Stanley. 1996. Osmotic dehydration of fruits. **Food Tech.** 20(10): 125-128.
- Prothon, P. and L.M. Ahrné. 2004. Application of the Guggenheim, Anderson and De Boer model to correlate water activity and moisture content during osmotic dehydration of apples. **J. Food Eng.** 61(3): 467-470.

- Rahman, M. S. and J. Lamb. 1991. Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. **J. Food Proc. Eng.** 14: 163-171.
- Raoult -Wack, A. L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends. Food Sci. Tech.** 5: 255-260.
- _____, A. L., F. Lafont and S. Guibert. 1989. Osmotic dehydration: Study of mass transfer in term of engineering properties. **Drying.** 89: 487-495.
- Rastogi, N.K. and K.S.M.S. Ranhavarao. 1997. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration. **J. Food Eng.** 34: 429-440.
- _____, _____ and K. Niranjana 1997. Mass transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration. **J. Food Eng.** 31: 423-432.
- Rodrigues, C.C.A., L.R. Cunha and D.M. Hubinger. 2003. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration process. **J. Food Eng.** 59: 129-135.
- Saxena, S., B.B. Mishra, R Chander and A. Sharna. 2009. Shelf stable intermediate moisture pineapple (*Ananas comosus*) slices using hurdle technology. **Food Sci. and Tech.** 42: 1681-1687.
- Shi J., Z. Pan and T.H. McHugh. 2009. Effect of infusion method and parameters on solid gain in blueberries. **Food bioprocess technol.** 2: 271-278.
- _____ and S. J. Xue. 2009. Application and development of osmotic dehydration technology on food processing, pp. 111-111. In C. Ratti., eds. **Advances in Food Dehydration.** Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Shi X.Q., P. Fito and A. Chiralt. 1995. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruit. **Food Res. Int.** 25(5): 445 – 454.

- Silva M.A., Z.E. Silva, V.C. Mariani and S. Darched. 2012. Mass transfer during the osmotic dehydration of Weast Indian cherry. **Food Sci. Tech.** 45: 246-252
- Singh, B., A. Kumar and A.K. Gupta. 2007. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cube. **J. Food Eng.** 79: 471-480.
- Singh, C., K.H. Sharma and C.B. Sarkar. 2010. Influence of process conditions on the mass transfer during osmotic dehydration of coated pineapple samples. **J. Food Process Pres.** 34: 700-714.
- Torreggiani, D., E. Forni, A. Maestrelli and F. Quadri. 1998. Influence of osmotic dehydration on texture and pectic composition of kiwifruit slices. **In Proceedings 11th international drying symposium (IDS'98)**. Halkidiki, Greece, August 19-22 Vol. A, 930-937.
- Torres, J.D., P. Talens, J.M. Carot, A. Chiralt and I. Escriche. 2007. Volatile profile of mango (*Mangifera india* L.), as affected by osmotic dehydration. **Food chem.** 101: 219-2.
- Trius, A., J.G. Sebranek, R.E. Rust and J.M. Carr. 1994. Carrageenan in beaker sausage as effect by pH and sodium tripolyphosphate. **J. Food Sci.** 59: 948-951.
- Varanyanond W., S. Boobumrung, H. Tamura, T. Yoshizawa and Y. Matsubara. 2001. Osmotic dehydration of mango: Influence of trehalose and sucrose contents on the product quality. **Tech, Bell, Fac, Agr, Kagawa Univ.** 53: 43-49.



แบบทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์ มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

รหัสตัวอย่าง

คำชี้แจง: กรุณาทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้แล้วประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ ตามระดับความชอบของท่าน ในแต่ละคุณลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1. ท่านมีความชอบต่อ “ลักษณะปรากฏ (appearance)” อย่างไร

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้	ชอบ	ชอบ	ชอบ	ชอบ
มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	เล็กน้อย	ว่าชอบหรือไม่ชอบ	เล็กน้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด

2. ท่านมีความชอบต่อ “สี (color)” อย่างไร

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้	ชอบ	ชอบ	ชอบ	ชอบ
มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	เล็กน้อย	ว่าชอบหรือไม่ชอบ	เล็กน้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด

3. ท่านมีความชอบต่อ “เนื้อสัมผัส (texture)” อย่างไร

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้	ชอบ	ชอบ	ชอบ	ชอบ
มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	เล็กน้อย	ว่าชอบหรือไม่ชอบ	เล็กน้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด

4. ท่านมีความชอบต่อ “รสหวาน (sweet taste)” อย่างไร

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ชอบ	ไม่	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้	ชอบ	ชอบ	ชอบ	ชอบ
มากที่สุด	ชอบ	ปาน	เล็กน้อย	ว่าชอบ	เล็กน้อย	ปาน	มาก	มาก
	มาก	กลาง		หรือไม่ชอบ		กลาง		ที่สุด

ท่านคิดว่าความรู้สึกที่มีต่อความหวานของผลิตภัณฑ์ที่ประเมินได้เป็นอย่างไร

☐	☐	☐
หวานน้อยไป	หวานพอดี	หวานมากเกินไป

5. ท่านมีความชอบต่อ “ความชอบโดยรวม (overall liking)” อย่างไร

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบ	บอกไม่ได้	ชอบ	ชอบ	ชอบ	ชอบ
มากที่สุด	มาก	ปาน	เล็กน้อย	ว่าชอบ	เล็กน้อย	ปาน	มาก	มาก
		กลาง		หรือไม่		กลาง		ที่สุด
				ชอบ				

6. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ “มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง” นี้หรือไม่

☐ ยอมรับ	☐ ไม่ยอมรับ
เพราะ	เพราะ

7. ท่านจะซื้อผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่

☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ซื้อแน่นอน	อาจจะไม่ซื้อ	อาจจะซื้อ หรือ	อาจจะซื้อ	ซื้อแน่นอน
		อาจจะไม่ซื้อ		

ข้อเสนอแนะ.....

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นางสาวชนาภ ไชยวงศ์
 เกิดวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2529
 สถานที่เกิด อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน
 ประวัติการศึกษา วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานพัฒนาธุรกิจ 4
 สถานที่ทำงานปัจจุบัน ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร
 ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ:

Nudchanad Chaiwong, Rungnapnar Pongsawatmanit 2011.
 Effect of K-carrageenan coating on the quality of osmotic
 dehydrated papaya. The 12th Asean Food Conference 2011,
 16th -18th June 2011 BITEC Bangna, Bangkok, Thailand
 ทุนการศึกษาที่ได้รับ ทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 (2553-2554)