



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของการลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสและการเติมแคลเซียมต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

Effect of Osmodehydration and Calcium Addition on Quality of Frozen Cantaloupe

นามผู้วิจัย นางสาวน้ำฝน เจริญพันธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสและการเติมแคลเซียมต่อคุณภาพของ
แคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

Effect of Osmodehydration and Calcium Addition on Quality of Frozen Cantaloupe

โดย

นางสาวน้ำฝน เจริญพันธ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

พ.ศ. 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำฝน เจริญพันธ์ 2552: ผลของการลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสและการเติม
แคลเซียมต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการ
อาหาร) สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D. 103 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการแช่เยือกแข็ง (slow freezing (SF), medium
freezing (MF) และ quick freezing (QF)) การลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ
และที่ความดันสูญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์ และการเติมแคลเซียม และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์
ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 ต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่เก็บรักษาตัวอย่างที่
อุณหภูมิ -18 °ซ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน ผลการทดลองชิ้นที่หนึ่ง พบว่า แคนตาลูปที่
ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้ง 3 แบบ (SF, MF และ QF) จะมีค่าความแน่นเนื้อลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแคนตาลูปสด
โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ QF จะมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด ส่วนผลของการลดปริมาณน้ำ
บางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสแบบต่างๆ พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ ก่อนการแช่เยือกแข็ง
จะมีปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่ได้รับสูงขึ้น โดยวิธีการออสโมซิสที่แตกต่างกันทั้ง 3 แบบ ไม่มี
ผลต่อการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อตรวจสอบคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า
ตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำการละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีปริมาณความชื้นและปริมาณ
ของเหลวที่สูญเสียหลังทำการละลาย (drip loss) น้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ในขณะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นในตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิส โดยวิธีการออสโมซิสทั้ง 3
แบบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว สำหรับคุณภาพด้านสี พบว่าตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำ
ละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมเช่นกัน และผลการวัดค่า
ความแน่นเนื้อของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำการละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบจะมีค่ามากกว่า
ตัวอย่างควบคุม และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการออสโมซิส 3 แบบ พบว่าค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่
ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศมีค่าสูงที่สุดมากกว่ากลุ่มของตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดัน
สูญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์ ส่วนผลในการทดลองที่สาม พบว่า การเติมแคลเซียมและเอนไซม์
เพกทินเมทิลเอสเทอร์ มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำการละลายได้ ทำ
ให้ตัวอย่างที่เติมแคลเซียมในสารละลายออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด และมีค่าความแน่นเนื้อไม่
แตกต่างกับตัวอย่างที่เติมแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 90 วัน การ
ที่ตัวอย่างที่เติมแคลเซียมมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น คาดว่าเป็นเพราะแคลเซียมไปเพิ่มความแข็งแรงของ
ผนังเซลล์แคนตาลูป

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Namfon Charoenphan 2009: Effect of Osmodehydration and Calcium Addition on Quality of Frozen Cantaloupe. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Sanguansri Charoenrein, Ph.D. 103 pages.

The objective of this research was to study the effect of freezing rate (slow freezing (SF), medium freezing (MF) and quick freezing (QF)), different osmotic pretreatment (osmotic dehydration (OD), pulse vacuum osmotic (PVOD) at 100 and 300 mbar) and addition of calcium and pectinmethylesterase (PME) in 50% (w/w) sucrose solution on quality of frozen cantaloupe after storage for 3, 30, 60 and 90 days at -18°C. In the first experiment, a reduction in firmness (maximum force) was observed after SF, MF and QF as compared with fresh cantaloupe. QF samples had higher firmness than those with other freezing rates. In second experiment, the results showed that the increase of water loss and solid gain of osmotically dehydrated cantaloupe samples before freezing were not significantly different among the osmotic pretreatment ($p>0.05$). During storage times, the all osmotic pretreatments (OD, PVOD at 100 and 300 mbar) reduced moisture content and drip loss of samples ($p\leq 0.05$). While total soluble solids of all osmodehydrofrozen samples were significantly higher than that of the untreated sample. Moreover, ΔE^*_{ab} of all osmodehydrofrozen samples were significantly lower than that of the untreated sample. Furthermore, firmness values of sample treated with osmotic dehydration at atmospheric pressure (OD) were significantly higher than that of the osmotic dehydration in vacuum at 100 and 300 mbar and untreated sample. When storage times increased, most quality of each samples were not significantly different ($p>0.05$). In the third experiment, we found that addition of calcium and PME were effective in improving quality of freeze-thawed cantaloupe samples. At 90 storage days, samples treated with OD addition of calcium had highest firmness values and were not significantly different with samples treated with OD addition of calcium and PME. These results were ascribed to the effect of calcium on the cell wall strength of the cantaloupe tissue.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สงวนศรี เจริญเหรียญ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา รวมถึงการ
ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ตลอดจนการให้ความอนุเคราะห์โดยตลอดระยะเวลาของการทำ
วิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุคนธ์ชื่น ศรีงาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ร่วม และ ดร. สายพิณ ทานัชฌาธิ์ ประธานกรรมการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย รวมถึงรอง
ศาสตราจารย์ ดร. ทนง ภัครษ์พันธุ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์
ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่ได้อบรมสั่ง
สอน และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไป
และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่าน ที่ได้ให้
คำแนะนำ ตลอดจนการช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ให้
สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่ให้ความช่วยเหลือ และการสนับสนุนในทุกๆ
ด้าน ตลอดจนให้ความรักและกำลังใจเป็นอย่างดีมาโดยตลอด รวมทั้งขอขอบคุณทุกคนใน
ครอบครัวทั้งคุณตา คุณยาย น้าและน้องสาวทุกคน ที่เป็นกำลังใจและมอบความรัก ความเข้าใจ
ให้แก่กันเสมอมา

น้ำฝน เจริญพันธ์

ตุลาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	36
สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุป	74
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และกายภาพ	86
ภาคผนวก ข แผนภาพการแช่เยือกแข็ง	90
ภาคผนวก ค ข้อมูลประกอบผลการทดลอง	93
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมี	6
2	คุณค่าทางโภชนาการของแคนตาลูป	7
3	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปในผักและผลไม้	21
4	องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพบางประการของแคนตาลูป	36
5	ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่ได้รับในชั้นแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ	42
6	ค่าความเป็นกรด-ด่างของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	48
7	ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	48
8	ค่าความเป็นกรด-ด่างของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	63
9	ปริมาณเถ้าของแคนตาลูปที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ก่อนการแช่เยือกแข็ง	73
ตารางผนวกที่		
ค1	ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบต่างๆ	96
ค2	ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของแคนตาลูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบต่างๆ	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค3	ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลาย และค่าความแน่นเนื้อของแกนตาอุปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	97
ค4	ค่าสี ($L^*a^*b^*$) และ ΔE^*_{ab} ของแกนตาอุปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	98
ค5	ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลาย และค่าความแน่นเนื้อของแกนตาอุปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสในสารละลายชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	99
ค6	ค่าสี ($L^*a^*b^*$) และ ΔE^*_{ab} ของแกนตาอุปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	101
ค7	ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายออสโมซิสที่ต่างกัน 3 ชนิด	102

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบช้า	9
2	การเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์เนื้อเยื่อระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว	10
3	หลักของการลดน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งผักและผลไม้	13
4	การถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิส	15
5	โครงสร้าง Egg-box model	23
6	เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส ทำหน้าที่ย่อยเอาหมู่เมทิลออกจากเพกทิน (A) และการเข้าทำงานของเอนไซม์ทางด้านปลายด้านหนึ่งของเพกทิน (B)	26
7	ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness value) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อัตราต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 7, 30 และ 60 วัน	38
8	ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อัตราต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 7, 30 และ 60 วัน	39
9	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของแคนตาลูปสด และแคนตาลูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อัตราต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน (100x, Bar = 100 μ m)	40
10	ปริมาณความชื้นของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	45
11	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	46
12	ค่าความสว่าง (L^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	49
13	ค่าสีแดง (a^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	51
14	ค่าสีเหลือง (b^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	51

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	ค่า ΔE^*_{ab} ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	52
16	ค่าความแน่นเนื้อของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	55
17	ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	58
18	ปริมาณความชื้นของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	61
19	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	62
20	ค่าความสว่าง (L^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	65
21	ค่าสีแดง (a^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	65
22	ค่าสีเหลือง (b^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	66
23	ค่า ΔE^*_{ab} ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	67
24	ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness value) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	68
25	ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า	
ข1	แผนภาพการแช่เยือกแข็งของแคนตาลูปด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า (SF)	91
ข2	แผนภาพการแช่เยือกแข็งของแคนตาลูปด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบปานกลาง (MF) และแบบเร็ว (QF)	91
ข3	แผนภาพการแช่เยือกแข็งของแคนตาลูปที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ในระหว่างการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40°C	92
ข4	แผนภาพการแช่เยือกแข็งของแคนตาลูปที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ในระหว่างการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40°C	92
ค1	ลักษณะกราฟเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปสดและแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำการละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน	94
ค2	ลักษณะกราฟเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปสดและแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำการละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสในสารละลายชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน	95

ผลของการลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสและการเติมแคลเซียมต่อ คุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

Effect of Osmodehydration and Calcium Addition on Quality of Frozen Cantaloupe

คำนำ

ผลไม้แช่เยือกแข็งจัดเป็นกลุ่มหนึ่งของอาหารแช่เยือกแข็งของไทย ซึ่งถือเป็นกลุ่มใหญ่ และมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลไม้แช่เยือกแข็งสามารถรับประทานได้ทันที หรือนำไปเป็นส่วนประกอบอาหารได้หลากหลายชนิด และการแช่เยือกแข็งยังช่วยให้มีผลไม้สำหรับการบริโภค และใช้ในการแปรรูปตลอดทั้งปี นอกจากนี้ผลไม้แช่เยือกแข็งยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย จากข้อมูลการส่งออกในปี 2550 นั้นประเทศไทยได้ส่งออกผลไม้สดแช่เย็น แช่เยือกแข็งไปยังทั่วโลกเป็นจำนวน 703,322 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 13,200 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในปี 2551 โดยมีปริมาณและมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.9 และ 15.4 ตามลำดับ จากช่วงเดียวกันของปีก่อน (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2551) ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการบริโภคผลไม้ที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับปัจจุบันผู้บริโภคทั่วโลกให้ความสนใจเกี่ยวกับสุขภาพ คุณค่าทางโภชนาการ ลักษณะปรากฏตลอดจนรสชาติของอาหารมากขึ้น ซึ่งการแปรรูปด้วยการแช่เยือกแข็ง ทำให้คงคุณภาพของอาหารทั้งในด้านกลิ่น รส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแปรรูปด้วยวิธีอื่น เช่น การแปรรูปด้วยความร้อนซึ่งจะทำให้เนื้อสัมผัส สี กลิ่น และรสชาติของผลไม้เปลี่ยนไป นอกจากนี้ความร้อนยังอาจทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารต่างๆ รวมถึงวิตามินที่สำคัญในผลไม้ด้วย

แคนตาลูปเป็นพืชตระกูลแตงชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นที่นิยมของผู้บริโภค และเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ เช่น จีน ฮองกง สาธารณรัฐอาหรับเอมิเรตส์ เป็นต้น โดยเฉพาะประเทศจีนซึ่งนำเข้าแคนตาลูปสดจากประเทศไทยในปี 2548 ตั้งแต่เดือนมกราคม-เดือนสิงหาคม มีมูลค่าสูงถึง 21.4 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2548) จึงทำให้เกษตรกรหันมาสนใจปลูกแคนตาลูปกันมากขึ้นทำให้เกิดปัญหาผลผลิตล้นตลาด (เดลินิวส์, 2552) ประกอบกับอายุหลังการเก็บเกี่ยวของแคนตาลูปสดค่อนข้างสั้น (ประมาณ 1 สัปดาห์) (ธงชัย, 2531) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรนำแคนตาลูปมาแปรรูป

เป็นผลไม้แช่เยือกแข็งจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากการแปรรูปโดยการแช่เยือกแข็ง น่าจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแคนตาลูปได้นานขึ้น และช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการแช่เยือกแข็งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และคงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้ดี แต่ปัญหาหนึ่งที่พบบ่อยในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่เยือกแข็ง คือ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังทำละลายซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณมากถึงร้อยละ 85-90 (คนัย, 2540) และมีโครงสร้างของผนังเซลล์ที่มีลักษณะแข็งและมีความยืดหยุ่นน้อย เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งจึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งปริมาณมาก ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตก เกิดความเสียหายกับผนังเซลล์ มีผลทำให้สูญเสียความแน่นเนื้อ เนื้อผลไม้มีมล และมีการสูญเสียสารต่างๆ เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล และสารสี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีและรสชาติ ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับของผู้บริโภค การเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งอัตราเร็วที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

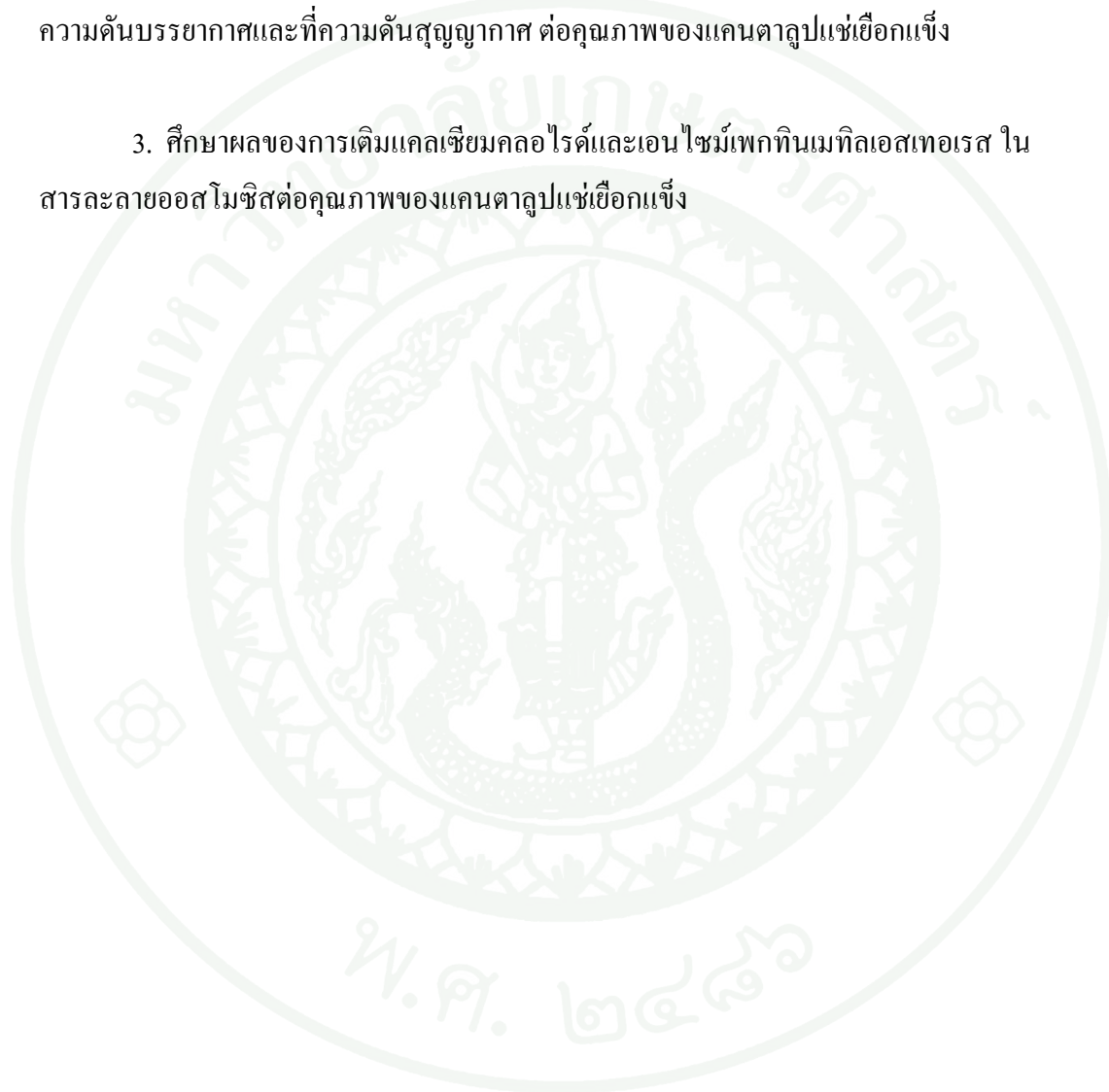
ปัจจุบันได้มีการนำวิธีการต่างๆ ทั้งวิธีทางเคมีและกายภาพมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่เยือกแข็ง การดึงน้ำออกโดยการออสโมซิส เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการเบื้องต้น (pretreatment) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลไม้แช่เยือกแข็ง วิธีนี้จะช่วยลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง ทำให้ปริมาณผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นลดลง ส่งผลให้เซลล์ได้รับความเสียหายจากการแช่เยือกแข็งน้อยลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น (Li and Sun, 2002) นอกจากนี้ลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งโดยการออสโมซิสเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อน คือ ผลิตภัณฑ์ยังคงรักษาสี เนื้อสัมผัส ตลอดจนกลิ่นรส และสารระเหยต่างๆ ไว้ได้ สามารถประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด รวมทั้งใช้พลังงานน้อยกว่าการใช้ลมร้อนเพื่อระเหยน้ำออกจากเซลล์ด้วย (Li and Sun, 2002) แต่ปัญหาหนึ่งของการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ คือ มีประสิทธิภาพต่ำ เพราะมีอัตราการถ่ายโอนมวลสารทั้งของน้ำและตัวถูกละลายช้า ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ (Deng and Zhao, 2008) จึงมีการประยุกต์ใช้การออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ เพื่อเพิ่มอัตราการไหลและการถ่ายโอนมวลสารในระหว่างการออสโมซิส

นอกจากนี้ มีงานวิจัยจากหลายกลุ่มพบว่า การเติมแคลเซียม หรือ เอนไซม์ เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส ในขั้นตอนการแปรรูปจะทำให้ผลไม้มิมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ลดลักษณะ เนื้อนุ่มและของผลไม่ได้ เนื่องจากแคลเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกทิน ซึ่งเป็น องค์ประกอบของผนังเซลล์ เกิดการเชื่อมโยงข้าม (cross-linkage) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) บนสายของเพกทิน เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเตท ซึ่งไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้ผนัง เซลล์มีความคงทนมากขึ้น (Anino *et al.*, 2006) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเติมเกลือแคลเซียม (calcium salt) เช่น แคลเซียมคลอไรด์ สามารถรักษาความแน่นเนื้อของแคนตาลูปตัดแต่ง (Luna-Guzman *et al.*, 1999) และช่วยปรับปรุงความแน่นเนื้อของเมลอนตัดแต่ง (fresh-cut “Amarillo” melon) ได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C (Aguayo *et al.*, 2008) และการเติมแคลเซียม ร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส สามารถปรับปรุงคุณภาพของสตอเบอร์รี่แช่เยือกแข็งได้ ทำให้หินสตอเบอร์รี่หลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีค่าความแข็ง (hardness) เพิ่มสูงขึ้น และลด ปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการละลายด้วย (Buggenhout *et al.*, 2008)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาผลของการลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่ เยือกแข็งขึ้นแคนตาลูปด้วยวิธีการออสโมซิสแบบต่างๆ ในสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อคุณภาพ ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง และการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับการเติม แคลเซียมคลอไรด์ หรือเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแคนตาลูปหลัง การแช่เยือกแข็งและทำละลาย ซึ่งคาดว่าข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ในทาง อุตสาหกรรมและได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาเชิงลึกต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอัตราการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง
2. ศึกษาผลของการลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ ต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง
3. ศึกษาผลของการเติมแคลเซียมคลอไรด์และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส ในสารละลายออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง



การตรวจเอกสาร

1. แคนตาลูป

แคนตาลูปเป็นพืชตระกูลแตงชนิดหนึ่ง มีชื่อสามัญว่า Cantaloupe มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Cucumis melo*. L มีถิ่นกำเนิดในแถบร้อนของทวีปแอฟริกา สำหรับประเทศไทยนิยมปลูกมากในจังหวัดนครสวรรค์ เชียงใหม่ ตาก ปราจีนบุรี เป็นต้น แคนตาลูปพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากมีหลากหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์ฮันนี่คิว พันธุ์ซันเลดี้ และพันธุ์วินัส เป็นต้น (คำนึ่ง, 2531) สำหรับการเก็บเกี่ยวแคนตาลูปนั้น ความแก่อ่อนของแคนตาลูปที่จะเก็บเกี่ยวมีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพของแคนตาลูปที่จะใช้ในการบริโภคและอายุการเก็บรักษา การเก็บเกี่ยวแคนตาลูปจะเก็บในระยะผลพัฒนาเต็มที่ (แก่เต็มที่) ซึ่งสามารถสังเกตได้จากลักษณะต่างๆ (ธงชัย, 2531) เช่น

1. แคนตาลูปบางพันธุ์ เมื่อถึงระยะแก่ ร่วงแหหรือตาข่ายที่ขึ้นอยู่รอบๆ ผลจะมีลักษณะแข็งและเห็นเป็นรอยนูนเด่นชัด
2. ในแคนตาลูปพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมจะเริ่มมีกลิ่นหอมในระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้
3. สีของผลแคนตาลูป เมื่อถึงระยะแก่ สีของผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีขาวครีมหรือสีครีมนวล
4. ขั้วของผล แคนตาลูปที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จะมีรอยแยกเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างผลกับขั้วผล โดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวเมื่อเกิดรอยแยกประมาณ 50 % หรือครึ่งหนึ่งของรอบขั้วผล

องค์ประกอบของแคนตาลูปจะแตกต่างกันไปตามชนิด พันธุ์ ฤดูกาล และความแก่อ่อนของแคนตาลูป โดยองค์ประกอบหลักที่พบมากในแคนตาลูป คือ น้ำ โดยพบว่าแคนตาลูปสดมีปริมาณความชื้นสูงมากถึงร้อยละ 90-92 (ตารางที่ 1) รองลงมาคือ คาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 7.8-14.4 ของน้ำหนักผลสด ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสเป็นส่วนใหญ่ ส่วนกรดอินทรีย์หลักที่พบมากคือ กรดซิตริกและกรดมาลิก (Seymour and McGlasson, 1993) นอกจากนี้ แคนตาลูปยังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะวิตามินซี วิตามินเอ และโปตัสเซียม

(คำนึ่ง, 2531) แคนตาลูปมีองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีในส่วนเนื้อของแคนตาลูป

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น (%)	90.15
เถ้า (%)	0.65
โปรตีน (%)	0.84
ไขมันทั้งหมด (%)	0.19
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)	7.86
- ซูโครส (%)	4.35
- กลูโคส (%)	1.54
- ฟรุคโตส (%)	1.87
เส้นใย (%)	0.9
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°บริกซ์)	10-14.8
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.1-6.6

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก

ที่มา: ดัดแปลงจาก Miccolis and Saltveit (1995)

สำหรับการวิจัยนี้ใช้แคนตาลูปพันธุ์วินัส เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทย สามารถปลูกและติดผลง่าย เก็บเกี่ยวได้เร็ว และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศที่ร้อนได้ดี มีผลกลมรีรูปไข่ หนักประมาณ 1.0-1.8 กิโลกรัมต่อผลขึ้นกับความสมบูรณ์ของดิน เปลือกมีสีขาวครีมเกลี้ยง เนื้อภายในหนา มีสีขาวอมส้ม รสหวานจัด และมีกลิ่นหอม (คำนึ่ง, 2531)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของแคนตาลูปในส่วนที่รับประทานได้

คุณค่าทางโภชนาการ (ต่อ 100 กรัมที่รับประทานได้)	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	34
โปรตีน (กรัม)	0.84
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	0.19
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	8.16
เส้นใย (กรัม)	0.90
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	9.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	15.0
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม)	267.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.21
วิตามินเอ (IU)	3382.0
ไทอะมิน (มิลลิกรัม)	0.041
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.019
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.734
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	36.7

ที่มา: คัดแปลงจาก USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2008)

2. การแช่เยือกแข็ง

กระบวนการแช่เยือกแข็ง (Freezing process) เป็นกระบวนการถนอมอาหารโดยการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำถึงระดับที่ชะลอหรือหยุดปฏิกิริยาเคมี และการทำงานของจุลินทรีย์ได้ ช่วยให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้เป็นเวลานาน ลดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร สามารถขนส่งจำหน่ายได้ในระยะไกล และเป็นกระบวนการถนอมอาหารที่สามารถคงความสดของอาหารรสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้อย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ

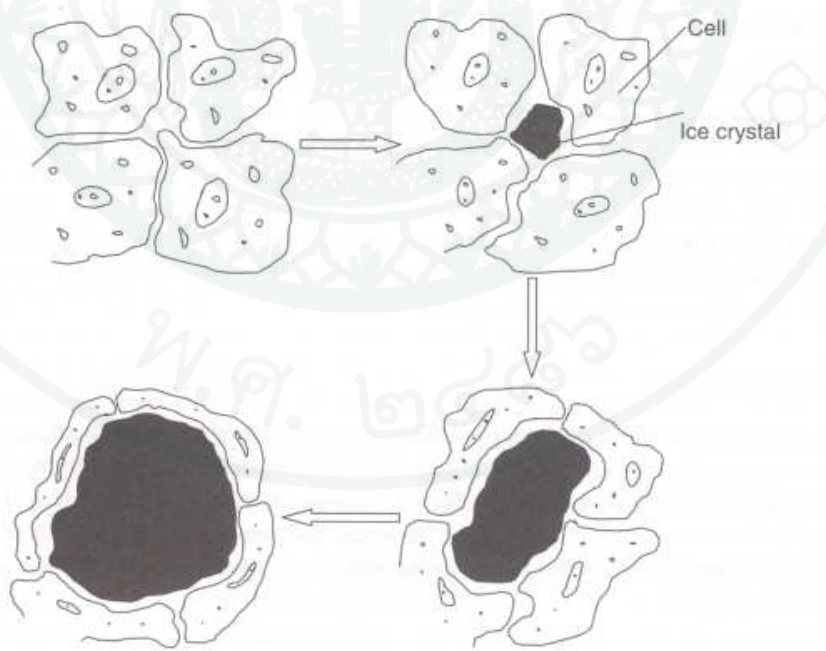
2.1 หลักการแช่เยือกแข็ง

กระบวนการแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีการถนอมอาหารด้วยอุณหภูมิต่ำ โดยลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเป็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18°C หรือต่ำกว่า ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง และทำให้ค่าแอกทีวิตี้ (water activity: a_w) ของอาหารลดลง สภาวะดังกล่าวส่งผลให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ ทำให้สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และลดอัตราของปฏิกิริยาต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอาหารด้วย (สายสนม, 2546)

ในการแช่เยือกแข็ง การเกิดผลึกน้ำแข็งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเกิดนิวเคลียสผลึก (nucleation) และการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง (crystal growth) (Fellows, 1990) นิวเคลียสผลึกเริ่มเกิดเมื่อทำให้อุณหภูมิของอาหารต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง โดยโมเลกุลของน้ำมารวมตัวกันอย่างเป็นระเบียบจนเป็นอนุภาคเล็กๆ ซึ่งสมดุลกับน้ำที่อยู่รอบๆ ส่วนการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งเป็นขั้นตอนที่เกิดต่อเนื่องจากการเกิดนิวเคลียสผลึก โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่จากส่วนที่เป็นของเหลวไปสู่ผิวของผลึกที่เกิดขึ้นและโมเลกุลของตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่ออกจากผลึก ส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยทั่วไปโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนตัวมาเกาะกับนิวเคลียสผลึกที่ก่อตัวแล้วมากกว่าที่จะก่อนิวเคลียสผลึกขึ้นใหม่ เพราะโมเลกุลของน้ำในสภาวะที่เป็นของเหลวมีขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้ในอัตราเร็วสูงและจะหยุดลงเมื่อกระทบกับผิวหน้าของนิวเคลียสผลึก อัตราการก่อนิวเคลียสผลึกและการเพิ่มขนาดผลึกจะเป็นตัวกำหนดขนาดของผลึก ซึ่งมีความสำคัญมาก เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับถึงคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง การแช่เยือกแข็งในอัตราเร็วสูง ผลึกจะเกิดขึ้นได้ทั้งภายในเซลล์ (intracellular) และภายนอกเซลล์ (extracellular) ได้พร้อมๆ กัน มีขนาดของผลึกเล็ก ปริมาณมากกระจายทั่วไป จึงไม่ทำให้เซลล์หดตัว ในขณะที่การแช่เยือกแข็งแบบช้า จะเกิดผลึกขนาดใหญ่และจะเกิดที่บริเวณภายนอกเซลล์ ในขณะที่น้ำภายในเซลล์จะถูกดึงมาช่วยเพิ่มขนาดของผลึกที่ภายนอกเซลล์เป็นผลให้เซลล์หดตัวและลดขนาดลง (Sun and Zheng, 2006)

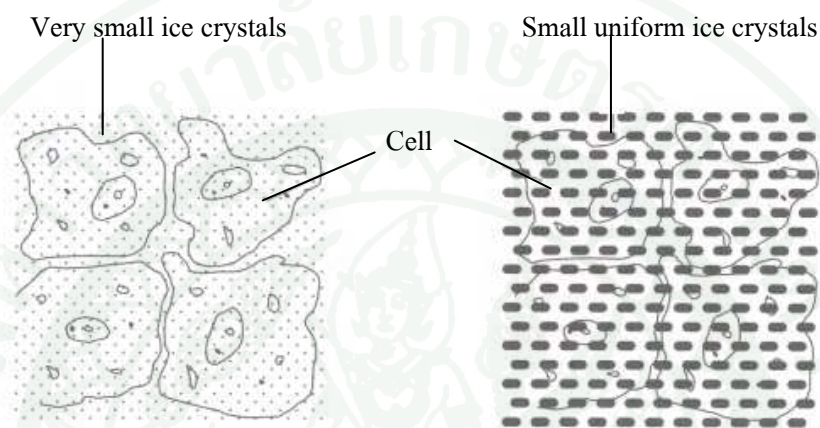
2.2 ผลของการแช่เยือกแข็ง

การเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งส่งผลต่อโครงสร้างเนื้อเยื่อของอาหาร ซึ่งสัมพันธ์กับคุณภาพของอาหารหลังทำละลายและการยอมรับของผู้บริโภค อัตราเร็วที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง (freezing rate) จึงมีความสำคัญเนื่องจากมีผลต่อขนาดและตำแหน่งของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น การแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) ทำให้ผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณภายนอกเซลล์ และเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบช้ามีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ น้ำภายนอกเซลล์จึงมีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำภายในเซลล์ ดังนั้นน้ำภายนอกเซลล์จึงเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งก่อน ผลึกน้ำแข็งจะมีความดันไอน้ำต่ำกว่าบริเวณภายในเซลล์ น้ำจากภายในเซลล์จึงเคลื่อนที่ไปยังผลึกน้ำแข็งทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น (Sun and Zheng, 2006) เซลล์จึงสูญเสียน้ำเป็นผลให้ความดันเต่งภายในเซลล์ลดลงและทำให้เซลล์อ่อนนุ่มลง นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งที่โตขึ้นจะทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์สูญเสียรูปร่างและทำให้เซลล์ใกล้เคียงแตก ดังภาพที่ 1 เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งเซลล์จะไม่กลับมามีรูปร่างและความเต่งของเซลล์ (turgidity) เหมือนเดิม อาหารจะนิ่มและสารต่างๆ ในเซลล์จะไหลออกจากเซลล์ที่เสียหาย เพิ่มการสูญเสียของเหลวหลังการละลาย และทำให้คุณภาพของอาหารลดลง (Fellows, 1990)



ภาพที่ 1 การเกิดผลึกน้ำแข็งในเนื้อเยื่อระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบช้า
ที่มา: Sun and Zheng (2006)

ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (rapid freezing) ผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นได้ทั้งในส่วนภายในเซลล์ และภายนอกเซลล์ได้พร้อมๆกัน ผลึกมีขนาดเล็กถึงเล็กมาก และมีขนาดสม่ำเสมอกระจายทั่วไปจึงไม่ทำให้เซลล์เกิดการหดตัว ดังภาพที่ 2 จึงเกิดความเสียหายแก่เซลล์เพียงเล็กน้อย ทำให้อาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบเร็วมีคุณภาพดีกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Fellows, 1990)



ภาพที่ 2 การเกิดผลึกน้ำแข็งในเนื้อเยื่อระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว
ที่มา: Sun and Zheng (2006)

2.3 ความทนทานของเนื้อเยื่อต่อการแช่เยือกแข็ง

โดยทั่วไปแล้วเนื้อเยื่ออาหารทั้งพืชและสัตว์มีความทนต่อการแช่เยือกแข็งได้มากน้อยต่างกัน ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของเซลล์และการปฏิบัติก่อนจะนำมาแช่เยือกแข็ง แต่เมื่อเปรียบเทียบแล้วเซลล์สัตว์มีความทนทานต่อการแช่เยือกแข็งดีกว่าเซลล์พืช เพราะโครงสร้างของเซลล์ต่างกัน เซลล์สัตว์มีโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ที่มีความยืดหยุ่นและทนต่อการแตกหักระหว่างการแช่เยือกแข็งได้ ในขณะที่เซลล์พืชซึ่งประกอบด้วยผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แน่นแข็ง (rigid) และมีความยืดหยุ่นน้อย จึงเกิดความเสียหายจากผลึกน้ำแข็งได้มากกว่า (Sun, 2006) แต่อย่างไรก็ตามความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเซลล์เนื้อเยื่อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะไปทำลายเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร เช่น การเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ (Fellow, 1990) โดยทั่วไปคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งอัตราเร็วที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ การแช่เยือกแข็งแบบช้าทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ และผลึกน้ำแข็งส่วนมากมักจะอยู่ภายนอกเซลล์ (ดังภาพที่ 1) ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบเร็วทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมาก กระจายทั่วทั้งภายในและภายนอกเซลล์ (ดังภาพที่ 2) จึงเกิดความเสียหายน้อยกว่า เซลล์สูญเสียใยน้อย เนื้อสัมผัสของอาหารจึงดีกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Fellow, 1990)

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ คุณภาพของวัตถุดิบ เริ่มต้น ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิในการเก็บรักษา และวิธีการละลายน้ำแข็ง เป็นต้น การใช้วัตถุดิบเริ่มต้นที่มีคุณภาพดีย่อมส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพดี ส่วนขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแช่เยือกแข็งก็มีความสำคัญ โดยเฉพาะกับวัตถุดิบที่เป็นผัก หรือผลไม้ควรมีการล้างทำความสะอาด ตัดแต่งหรือมีกระบวนการเบื้องต้น เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือกายภาพ เช่น การลวกเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดก่อนนำเข้ากระบวนการผลิต สำหรับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งโดยทั่วไปคือประมาณ -18°C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ไม่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Blond and Meste, 2004) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การเกิดผลึกซ้ำ (recrystallization) มีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อของเซลล์ ทำให้มีการสูญเสียใยน้ำภายหลังการละลายเพิ่มขึ้น

ถึงแม้ว่าการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพได้หลายประการ แต่การที่น้ำในอาหารกลายเป็นผลึกน้ำแข็งนั้นก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ โดยเฉพาะในกลุ่มของผลไม้แช่เยือกแข็ง เพราะเซลล์ผลไม้มีปริมาณน้ำอยู่มาก โดยผลไม้สดประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 80 หรือมากกว่า เมื่อนำมาแช่เยือกแข็งมักเกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Tregunno and Goff,

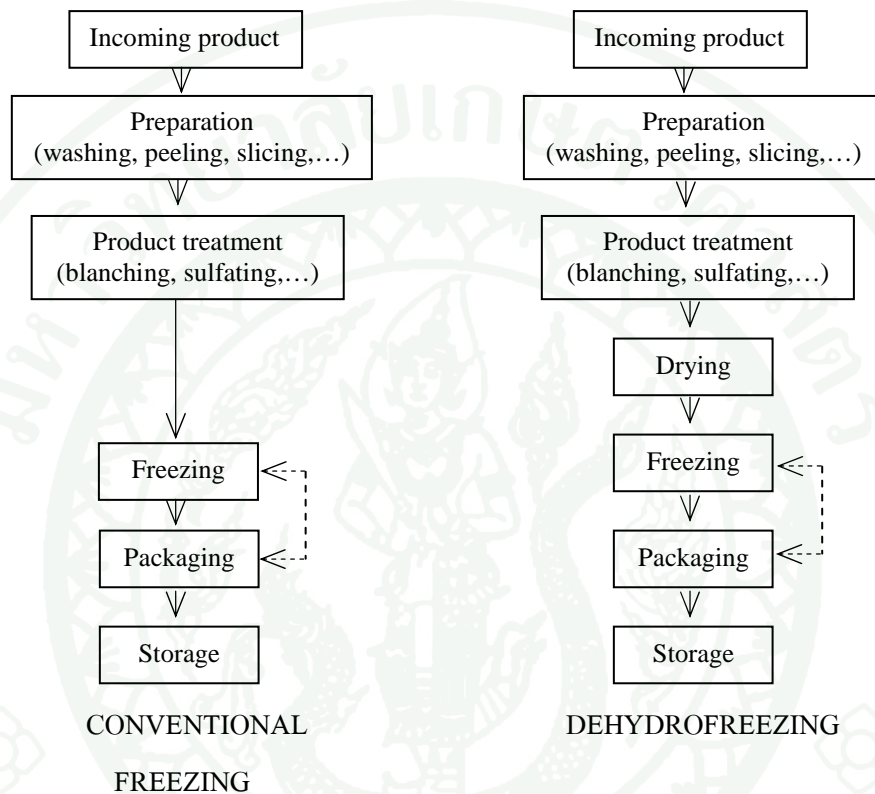
1996) ประกอบกับลักษณะโครงสร้างของเซลล์พืชที่บอบบาง และมีความทนทานต่อการแช่เยือกแข็งต่ำกว่าเซลล์สัตว์ ดังนั้นผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจึงทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์สูญเสียความดันภายในเซลล์ และเกิดความเสียหายกับผนังเซลล์ โดยเฉพาะเมื่อการแช่เยือกแข็งเป็นแบบช้า ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์มาก และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ มีการสูญเสียน้ำและสารอาหารบางส่วนออกจากผลิตภัณฑ์ ภายหลังจากละลายน้ำแข็ง (Dermesonlouoglou *et al.*, 2007)

การลดความเสียหายของเซลล์จากการแช่เยือกแข็งสามารถทำได้โดยการลดปริมาณผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นให้น้อยลง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี และวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้คือ การลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

3. การลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

Dehydrofreezing เป็นวิธีการทางการค้าที่มีการนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง การจัดการ และการเก็บรักษาผักและผลไม้ ประกอบด้วยขั้นตอนของการลดปริมาณน้ำ และการแช่เยือกแข็ง โดยอาหารจะถูกดึงน้ำออกจนมีปริมาณความชื้นตามต้องการแล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็ง การลดปริมาณน้ำในผลไม้มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลไม้แช่เยือกแข็ง ลดการสูญเสียคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา (Dermesonlouoglou *et al.*, 2007) เนื่องจากการลดปริมาณน้ำก่อนการแช่เยือกแข็ง ทำให้ปริมาณผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นลดลง ส่งผลให้เซลล์ได้รับความเสียหายจากการแช่เยือกแข็งน้อยลง ลดการสูญเสียน้ำภายหลังการละลาย และช่วยเพิ่มความคงตัวของคุณภาพอาหารแช่เยือกแข็งด้วย (Dermesonlouoglou *et al.*, 2008) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบดั้งเดิม (conventional freezing) กับการลดน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง (dehydrofreezing processes) ของผักและผลไม้ ดังภาพที่ 3 จะเห็นว่าในกระบวนการ dehydrofreezing จะเพิ่มขั้นตอนการลดน้ำบางส่วน (partial dehydration) ซึ่งมีผลต่อกระบวนการแช่เยือกแข็งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย จากงานวิจัยพบว่าเมื่อนำผักและผลไม้ต่างๆ (แอปเปิล เมลอน มันฝรั่ง และแครอท) ที่ผ่านการลดน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งไปใช้เพื่อเตรียมผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น พาย แอปเปิล และไอศกรีมเมลอน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพและลักษณะเนื้อสัมผัสดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบดั้งเดิม (Spiazzi *et al.*, 1997; Li and Sun, 2002)

การใช้ลมเพื่อระเหยน้ำออกจากเซลล์ (air-drying) และการออสโมซิส (osmotic dehydration) เป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้ในการลดปริมาณน้ำบางส่วนในผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็ง การออสโมซิสเป็นวิธีที่นิยมมากกว่า เนื่องจากวิธีนี้ไม่ทำให้ผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมากนัก รวมทั้งใช้พลังงานน้อยกว่าการใช้ลมร้อน (Li and Sun, 2002)



ภาพที่ 3 หลักของการลดน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งผักและผลไม้
ที่มา : Sun and Zheng (2006)

4. การลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิส

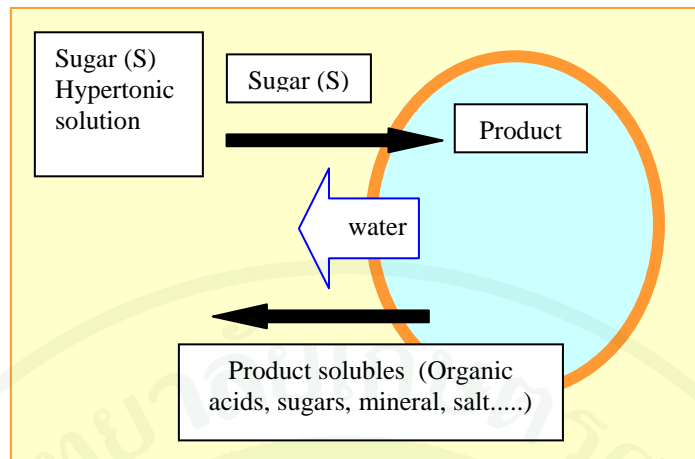
การดึงน้ำหรือการลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิส (Osmotic dehydration) สามารถแบ่งกลุ่มตามสถานะความดันที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิส ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (Zhao and Xie, 2004)

4.1 การลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ

การใช้วิธีการออสโมซิส เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการดึงน้ำออก สามารถทำได้โดยการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า (hypertonic solution) และมีค่าแอสโมติก-แอสโมติกต่ำกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายในผลไม้ ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายภายนอกเกิดเป็นแรงขับ ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายภายนอก จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าโดยผ่านเซลล์เมมเบรนของผลไม้ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) (Ponting *et al.*, 1966) ดังแสดงในภาพที่ 4 น้ำภายในเซลล์ผลไม้จะเคลื่อนที่ออกสู่สารละลาย ในขณะที่ตัวถูกละลายซึ่งนิยมใช้น้ำตาล จะแพร่เข้าสู่เซลล์ของผลไม้ด้วยอัตราการแพร่ที่ช้ากว่าอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำ เนื่องจากขนาดโมเลกุลของน้ำเล็กกว่าขนาดโมเลกุลของน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีปริมาณน้ำลดลงและมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น และสารบางอย่าง เช่น กรดอินทรีย์ วิตามิน และเกลือแร่ในเนื้อเยื่อผลไม้ จะแพร่ออกสู่สารละลายแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Rastogi *et al.*, 1996)

ลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีออสโมซิสเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อน คือ ผลิตภัณฑ์ยังคงรักษาสี เนื้อสัมผัส ตลอดจนกลิ่นรส และสารระเหยต่างๆ ไว้ได้ตามธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและยังคงคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ (Dermesonlouoglou *et al.*, 2007)

ในการปรับปรุงคุณภาพของผลไม้กีวีแช่เยือกแข็ง Talens *et al.* (2001) พบว่าการแช่ขึ้นกีวี (เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ซม. หนา 1 ซม.) ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่แปรความเข้มข้น 4 ระดับ (35, 45, 55 และ 65 °บrix) ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง ทำให้ตัวอย่างมีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งลดลง และสีของกีวีใกล้เคียงกับของสดเมื่อใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เนื้อสัมผัสของกีวีหลังการละลายน้ำแข็งมีค่ามากที่สุดในตัวอย่งที่ผ่านการแช่ในสารละลายความเข้มข้น 45 °บrix



ภาพที่ 4 การถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิส

ที่มา : ดัดแปลงจาก Torreggiani and Bertolo (2004)

ส่วน Marani *et al.* (2001) พบว่า การแช่ชิ้นกีวีและแอปเปิ้ลในสารละลายน้ำตาลโมเลกุลเล็ก ได้แก่ ฟรุกโตส ซูโครส และกลูโคส ตัวอย่างมีอัตราของน้ำที่ออกจากชิ้นผลไม้เร็วกว่าและมีปริมาณของแข็งที่ได้รับมากกว่าการแช่ในสารละลายน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก (high molecular weight sugars) เนื่องจากน้ำตาลที่มีโมเลกุลต่ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ผลไม้ได้เร็วกว่าน้ำตาลที่มีโมเลกุลสูง เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการออสโมซิสทำให้ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งลดลง โดยตัวอย่างกีวีที่แช่ในสารละลายกลูโคสมีความนิ่มมากกว่าตัวอย่างอื่น อย่างไรก็ตาม หลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายตัวอย่างกีวีมีค่าเนื้อสัมผัสลดลง และไม่มี ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส ในขณะที่การแช่ชิ้นแอปเปิ้ลในสารละลายน้ำตาล (ยกเว้น ฟรุกโตส) มีค่าเนื้อสัมผัสดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และระยะเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าเนื้อสัมผัสลดลง

Corzo and Gomez (2004) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูป (*C. melo*, variety Edisto) ด้วยเทคนิค response surface methodology (RSM) โดยหั่นแคนตาลูปเป็นชิ้นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.08 ± 0.05 ซม. ความสูง 1.56 ± 0.06 ซม. แช่ในสารละลายซูโครสแปรความเข้มข้น (45, 50, 55 °บริกซ์) แปรอุณหภูมิของสารละลาย (40, 45, 50 °ซ) และแปรเวลาในการแช่ (60-120 นาที) ใช้อัตราส่วนของสารละลายออสโมซิสต่อแคนตาลูปเป็น 20: 1 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูป คือ ที่อุณหภูมิ 37.95 °ซ ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 41.6 °บริกซ์ และใช้เวลาในการแช่ 132.30 นาที ซึ่งจะให้ค่าปริมาณ

ของแข็งที่เพิ่มขึ้น 12.3 °บริกซ์ต่อกรัม อัตราการสูญเสียน้ำ 0.33 กรัมต่อกรัม และค่าน้ำหนักที่ลดลง 0.11 กรัมต่อกรัม ในขณะที่ Rodrigues and Fernandes (2007) ศึกษาผลของการคั่งน้ำออกจากแคนตาลูป (*Curcumis melo* L.) ด้วยวิธีการออสโมซิสในสารละลายผสมของน้ำ น้ำตาล และเกลือ ที่แปรความเข้มข้นต่างกัน โดยหั่นแคนตาลูปเป็นชิ้นลูกเต๋ายาวขนาด 2x2x2 ซม. แขนงในสารละลายซูโครสที่แปรความเข้มข้น 30-70% (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แปรความเข้มข้น 0-10% (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) ใช้อัตราส่วนของแคนตาลูปต่อสารละลายออสโมซิสเป็น 1: 4 พบว่า อัตราการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสและเกลือเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระยะเวลาในการออสโมซิสเพิ่มขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำในระหว่างการออสโมซิสมีค่าเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีการออสโมซิสเพื่อลดปริมาณน้ำบางส่วนในการปรับปรุงคุณภาพของผักแช่เยือกแข็งชนิดต่างๆ Dermesonlouoglou *et al.* (2007) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของมะเขือเทศแช่เยือกแข็ง โดยนำชิ้นมะเขือเทศแช่ในสารละลายมอลโตเด็คซ์ทรินความเข้มข้นร้อยละ 56.5 เดิมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 ใช้อัตราส่วนของมะเขือเทศต่อสารละลายเท่ากับ 1: 5 อุณหภูมิการแช่ 35±1 °ซ หลังจากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เตรียมโดยลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 8 วินาที และตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ในขณะที่มีปริมาณความชื้นลดลง นอกจากนี้ยังมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีประมาณ 0.97 น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ (0.99) โดยการลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งสามารถปรับปรุงคุณภาพของมะเขือเทศ ช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงสี ลดการสูญเสียความแน่นเนื้อและกรดแอสคอร์บิกได้มากถึงร้อยละ 64 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ Dermesonlouoglou *et al.* (2008) ยังพบว่า การออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งช่วยปรับปรุงคุณภาพของแตงกวาแช่เยือกแข็งได้ โดยการแช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายออสโมซิส 2 ชนิด คือ สารละลายโอดีโกฟรุกโตสและมอลโตเด็คซ์ทรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 56.5 ซึ่งมีการเติมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 ใช้อัตราส่วนของมะเขือเทศต่อสารละลายเท่ากับ 1: 5 อุณหภูมิการแช่ 35±1 °ซ หลังจากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน (-5, -8, -12, -15 °ซ) เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลายมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ และสามารถปรับปรุงคุณภาพในด้านสี และมีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย

4.2 การลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ

เนื่องจากการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ มีประสิทธิภาพต่ำ เพราะมีอัตราการถ่ายโอนมวลสารทั้งของน้ำและตัวถูกละลายช้า ทำให้ต้องใช้เวลานาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ (Deng and Zhao, 2008) จึงมีการประยุกต์ใช้การออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ เพื่อเพิ่มอัตราการไหลและการถ่ายโอนมวลสาร ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพ ลดระยะเวลา ประหยัดพลังงานและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

การออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการดูดเอาอากาศออก หลังจากที่แช่ผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงแล้ว เพื่อให้ระบบเป็นสุญญากาศ ซึ่งการปรับสถานะสุญญากาศจะช่วยลดแรงดึงผิวที่รอยต่อระหว่างของแข็งกับสารละลาย ป้องกันการรวมตัวของเนื้อเยื่อที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น (Zhao and Xie, 2004) และการลดลงของความดันจะทำให้ก๊าซที่อยู่ใน โครงสร้างที่เป็นรูพรุนของผลไม้ขยายตัวและเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ มีผลให้ปริมาตรของก๊าซที่อยู่ในโครงสร้างของผลไม้ลดน้อยลง และมีการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายเข้าไปในช่องว่างในเซลล์ผลไม้แทน ขั้นตอนที่สอง คือ การทำให้ระบบกลับเข้าสู่สถานะเดิมที่ความดันบรรยากาศ ในขั้นตอนนี้ความดันจะเพิ่มขึ้น ทำให้ก๊าซบางส่วนที่เหลืออยู่ในรูพรุนถูกกด มีปริมาตรลดน้อยลง และมีการเคลื่อนที่ของของเหลวที่อยู่รอบๆ เข้าไปในโครงสร้างได้มากขึ้น ทำให้การถ่ายโอนมวลสารต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น และผลไม้จะมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นด้วย (Lombard *et al.*, 2008)

จากการศึกษาของ Fito (1994) ในการวัดปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณของแข็งที่ได้รับของชิ้นแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ และที่ความดันสุญญากาศ ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 65 ที่อุณหภูมิ 50 °ซ พบว่า ชิ้นแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศมีอัตราปริมาณน้ำที่สูญเสียมากกว่ากลุ่มที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่มีปริมาณของแข็งที่ได้รับไม่แตกต่างกัน

4.3 การลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศเป็นช่วงๆ

วิธีการนี้มีหลักการเหมือนกับการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ เป็นการประยุกต์ใช้สถานะสุญญากาศเป็นระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 5-15 นาที หลังจากที่แช่ผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงแล้ว โดยใช้การปรับสถานะสุญญากาศเป็นช่วงๆ (pulsed vacuum) หลังจากนั้นจึง

ปรับระบบกลับเข้าสู่สภาวะเดิมที่ความดันบรรยากาศ ทำให้เกิดการแทนที่ของตัวถูกละลายในช่องว่างของเซลล์ เช่นเดียวกับวิธีการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ (Zhao and Xie, 2004)

จากงานวิจัยต่างๆ ที่ใช้วิธีการออสโมซิสเป็นวิธีการเบื้องต้นสำหรับกระบวนการแปรรูปผลไม้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง Fermin and Corzo (2005) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูป (*Cucumis melo*, cv Edisto) ที่ความดันสุญญากาศ โดยหั่นแคนตาลูปเป็นชิ้นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ± 0.05 เซนติเมตร สูง 3.0 ± 0.06 เซนติเมตร แช่ในสารละลายซูโครสที่อุณหภูมิ 45°C อัตราส่วนของสารละลายต่อแคนตาลูปเท่ากับ 20: 1 แล้วปรับให้เป็นสภาวะสุญญากาศเป็นช่วงๆ (pulsed vacuum) เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจึงปรับระบบกลับเข้าสู่สภาวะเดิมที่ความดันบรรยากาศ โดยแปรระดับของความดันสุญญากาศ ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส และ เวลาในการแช่ คำนวณค่าน้ำหนักที่ลดลง ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ จากนั้นนำไปคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิค response surface methodology พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูปที่ความดันสุญญากาศ คือ ที่ระดับความดันสุญญากาศ 740 มิลลิบาร์ ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 49.5 ถึง 52.5°Brix และใช้เวลาในการแช่ 75 ถึง 84 นาที ซึ่งจะให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย 0.17 กรัมต่อกรัม และปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 19.0°Brix

Lombard *et al.* (2008) ศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสต่อการถ่ายโอนมวลสารของสัปปะรด โดยหั่นสัปปะรดเป็นชิ้นหนา 1 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสแปรความเข้มข้น $45-65^{\circ}\text{Brix}$ อุณหภูมิของสารละลาย $30-50^{\circ}\text{C}$ และ เวลาในการแช่ 20-240 นาที โดยทำการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ (vacuum pulse) 200 มิลลิบาร์ ในช่วง 10 นาทีแรกของกระบวนการ พบว่า ปริมาณการสูญเสียน้ำ และปริมาณของแข็งที่ได้รับ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าความดันสุญญากาศไม่มีผลต่อค่าปริมาณการสูญเสียน้ำ โดยตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 2 สภาวะมีค่าปริมาณการสูญเสียน้ำไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ ทำให้ตัวอย่าง มีค่าการสูญเสียน้ำหนัก (mass loss) ต่ำกว่าการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ เนื่องจากการลดความดันให้เป็นสุญญากาศ ทำให้ก๊าซเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ และเมื่อปรับความดันกลับสู่ที่ความดันบรรยากาศ จะเกิดการเคลื่อนที่ของสารละลายน้ำตาลเข้าไปในเซลล์ ทำให้ตัวอย่างมีค่า sugar uptake เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีผลผลิต (yield) เพิ่มขึ้นด้วย

4.4 ปัจจัยที่มีผลและข้อพิจารณาในการเลือกสภาวะของการออสโมซิส

จากงานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาการลดปริมาณน้ำบางส่วนในผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็งโดยวิธีการออสโมซิส หรือการแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง โดยสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีออสโมซิสในผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ลักษณะ โครงสร้างของเนื้อผลไม้ ชนิดของสารละลายออสโมซิส ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมซิส เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิสและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ออสโมติกเอเจนต์ (osmotic agent) หรือสารที่ใช้ในการออสโมซิสแต่ละชนิดจะมีผลต่อการถ่ายโอนมวลสารแตกต่างกัน สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะให้ค่าการถ่ายโอนมวลสูงกว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า (Lazarides *et al.*, 1999) โดยทั่วไปสารที่นิยมมาใช้เป็นออสโมติกเอเจนต์มากที่สุด คือ น้ำตาลซูโครส นอกจากนี้ยังมีการใช้ high fructose corn syrup (HFCS) กลูโคส และ ฟรุคโตส ซึ่งสมบัติของสารที่จะนำมาใช้ในกระบวนการออสโมซิสจะต้องมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำ รสชาติดี ให้กลิ่นรสที่ดีต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายและไม่เป็นพิษ

ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมซิสที่ใช้ก็มีความสำคัญต่อการถ่ายโอนมวลสารและระยะเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส สารละลายออสโมซิสควรมีความเข้มข้นสูง ซึ่งพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลาย จะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลสารให้สูงขึ้น (Corzo and Gomez , 2004; Rodrigues and Fernandes, 2007)

Rahman and Lamb (1990) ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำและปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นของแกนสับปะรด โดยหั่นตัวอย่างเป็นชิ้นสี่เหลี่ยม 6.5 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสแปรความเข้มข้นร้อยละ 40-70 (น้ำหนักโดยปริมาตร) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40 เป็น 70 ตัวอย่างมีอัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้น และมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นด้วยแต่น้อยกว่าอัตราการสูญเสียน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการแพร่ออกของน้ำผ่านเซลล์เมมเบรนจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าการแพร่ของโมเลกุลน้ำตาล

Saputra (2001) ศึกษาผลของความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายต่อการถ่ายโอนมวลสารระหว่างการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีการออสโมซิส โดยหั่นตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม 7 มิลลิเมตร แล้วนำไปแช่สารละลายน้ำตาลซูโครสที่แปรความเข้มข้นร้อยละ 50-70 และแปรอุณหภูมิ

ของสารละลายตั้งแต่ 30-70 °ซ พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการออสโมซิสมากที่สุด คือ การใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 70 อุณหภูมิของสารละลาย 50 °ซ และแช่เป็นเวลา 9 ชั่วโมง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เนื้อสับประรดนุ่มและ

ระดับของความดันสุญญากาศและระยะเวลาก็เป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศจะทำให้มีการถ่ายโอนมวลสารได้ดี ช่วยเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำ ทำให้มีปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ได้รับด้วย เนื่องจากการลดความดันในระดับสุญญากาศ ทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากเซลล์ จึงเกิดช่องว่างซึ่งจะถูกแทนที่ด้วยสารละลายภายนอกเมื่อมีการปรับความดันกลับสู่ความดันบรรยากาศ ทำให้มีปริมาณของแข็งที่ได้รับเพิ่มสูงขึ้น (Lombard *et al.*, 2008) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศอาจมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ได้รับเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายออสโมซิสในระดับต่ำ (ความเข้มข้นน้อยกว่า 50 °บริกซ์) เนื่องจากความแตกต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) ของน้ำที่มีค่าสูงกว่าตัวถูกละลายในผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่ของสารละลายเข้าไปในผลไม้ (Zhao and Xie, 2004)

อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมซิสกับผลไม้ ถ้าอัตราส่วนของสารละลายออสโมซิสมากจะทำให้อัตราการออสโมซิสเร็วขึ้นกว่าการใช้สารละลายออสโมซิน้อยๆ แต่เนื่องจากการใช้สารละลายออสโมซิสมาก ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นและมีปัญหาเรื่องการจัดการกับสารละลายหลังการออสโมซิส แต่ถ้าใช้สารละลายออสโมซิน้อยเกินไปมีผลให้ความเข้มข้นของสารละลายเจือจางลง ส่งผลให้แรงดันออสโมซิสลดลงด้วย Lenart and Flink (1984) พบว่าอัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารละลายต่อตัวอย่างจาก 2: 1 เป็น 3: 1, 4: 1 และ 5: 1 ตามลำดับ และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการออสโมซิส คือ ใช้อัตราส่วนของสารละลายต่อตัวอย่าง เท่ากับ 3: 1

นอกจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น เช่น การกวนสารละลายในขณะที่แช่ เป็นต้น การที่จะเลือกใช้ปัจจัยใดเป็นเกณฑ์ควรพิจารณาจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเกณฑ์ในการเลือกคุณภาพดังกล่าว ได้แก่ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รวมถึงพิจารณาปัจจัยอื่นๆ

ประกอบ เช่น ค่าใช้จ่าย ความยากง่าย ต้นทุน เป็นต้น จากตารางที่ 3 แสดงค่าปัจจัยต่างๆ ที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับกระบวนการออสโมซิสของผักและผลไม้

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปในผักและผลไม้

พารามิเตอร์	สภาวะที่ใช้
ความเข้มข้นของสารละลาย	สารละลายออสโมซิสที่นิยมใช้ คือน้ำตาลซูโครส สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ จะใช้ที่ระดับ 20 -50 °บริกซ์ สำหรับอาหารแห้ง มักใช้ที่ระดับ 50-70 °บริกซ์
อุณหภูมิของสารละลาย	20-50 °ซ
ระดับของสภาวะสุญญากาศ	สำหรับ minimally processed products ใช้ 5-50 มิลลิบาร์ สำหรับอาหารแห้ง ใช้ 50-200 มิลลิบาร์
ระยะเวลาภายใต้ความดันสุญญากาศ	10-30 นาที
ระยะเวลาปรับระบบกลับสู่ที่ความดันบรรยากาศ	สำหรับ minimally processed products ใช้ 10-20 นาที สำหรับอาหารแห้ง ใช้เวลาตั้งแต่เป็นนาที จนถึงเป็นชั่วโมง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Zhao and Xie (2004)

5. การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่เยือกแข็ง

ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างของผลไม้ นั่นๆ Torreggiani and Bertolo (2001) กล่าวว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้จะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของผนังเซลล์ (cell wall structure) ซึ่งส่วนนี้จะเต็มไปด้วยสารประกอบเพกทิน (pectin substances) โดยเฉพาะในส่วนของมิลเดิลลามেলা ซึ่งเป็นการรอยต่อระหว่างเซลล์นั้นพบเพกทินเป็นส่วนใหญ่และเชื่อมต่อกันเอง ทำให้เซลล์ 2 เซลล์เชื่อมติดกัน (Skrede, 1996) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นจึงเกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของผนังเซลล์ ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลไม้

มาก การนิ่มของผลไม้เกิดจากการที่เซลล์เสียความสามารถในการเกาะติดกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของมิลเคิลลาเมลล่าของเซลล์ (คณีย์, 2540)

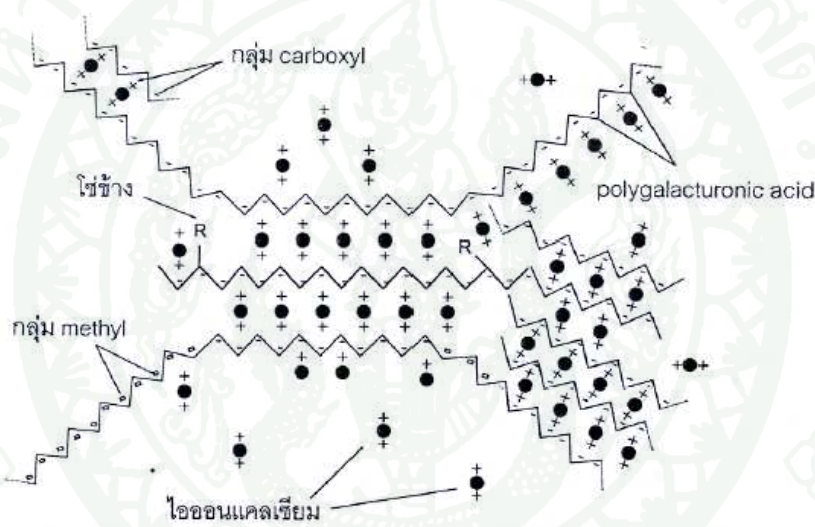
ในกระบวนการแปรรูปผลไม้ที่มีทั้งการแช่ในสารละลายน้ำตาลเป็นเวลานานและการแช่เยือกแข็ง จึงอาจทำให้คุณภาพของผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยเฉพาะคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ซึ่งเป็นลักษณะคุณภาพที่สำคัญของผลไม้ ซึ่งขั้นตอนการแปรรูปดังกล่าวมีผลไปทำลายเซลล์เนื้อเยื่อ เนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตก และเกิดความเสียหายกับผนังเซลล์ มีผลทำให้สูญเสียความแน่นเนื้อ เนื้อผลไม้จึงนุ่มลง แล้วยังมีผลทำให้ผลไม้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสภายหลังการละลายด้วย จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของผลไม้แช่เยือกแข็ง ซึ่งนิยมทำในขั้นตอนของการออสโมซิส การใช้สารประกอบแคลเซียม หรือการใช้แคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Javeri *et al.*, 1991)

5.1 ผลของแคลเซียม

จากการที่ผลไม้ต้องผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลเป็นเวลานานในกระบวนการออสโมซิส ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการแปรรูปผลไม้ จึงอาจทำให้เนื้อผลไม้มีนุ่มลงภายหลังการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจึงมีการใช้สารประกอบแคลเซียมเพื่อเพิ่มความแน่นเนื้อ (firmness) และรักษาคุณภาพของผลไม้แช่เยือกแข็งด้วย ประกอบกับปัจจุบันการเติมแคลเซียมเพิ่มในอาหารและเครื่องดื่มเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากการได้รับปริมาณแคลเซียมที่ไม่เพียงพอทำให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคกระดูกพรุน

แคลเซียมคลอไรด์เป็นเกลือแคลเซียมชนิดหนึ่งที่มีการนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมผักและผลไม้แปรรูป เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดี มีราคาถูกและบริโภคได้ สำหรับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.1-1 ซึ่ง Izumi and Watada (1995) พบว่าการใช้แคลเซียมที่ระดับความเข้มข้นต่ำสามารถช่วยรักษาความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์ได้ อย่างไรก็ดีการใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดรสขม และกลิ่นรสที่ผิดปกติในเนื้อผลไม้ได้ (Luna-Guzman and Barrett, 2000) โดย Tordoff (1996) พบว่า แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ มีรสขม เปรี้ยว และหวาน แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 100 มิลลิโมลาร์ จะมีรสขม เค็ม และเปรี้ยว

การที่แคลเซียมสามารถปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้เนื่องจากแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกทินบริเวณมิลเด็ลลามลล่า และผนังเซลล์ของผลไม้ เกิดการเชื่อมโยงข้าม (cross-linkage) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) บนสายเพกทินและประจุของแคลเซียมไอออน โดยแคลเซียมไอออนจะทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลที่เป็นอิสระบนสายของเพกทินสายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสายเพกทินอีกสายหนึ่ง เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg-box model ดังภาพที่ 5 (จริงแท้, 2546) เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียม-เพกเตต (calcium pectates) ซึ่งไม่ละลายน้ำ จึงช่วยเพิ่มความแน่นแข็งและลดอัตราการสลายตัวของมิลเด็ลลามลล่า และผนังเซลล์ ทำให้เนื้อผลไม้มีความแข็งแรงกรอบและคงตัวอยู่ได้ (Luna-Guzman *et al.*, 1999; Aguayo *et al.*, 2008)



ภาพที่ 5 โครงสร้าง Egg-box model

ที่มา: จริงแท้ (2546)

จากรายงานการวิจัยมีการใช้แคลเซียมเพื่อรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้หลายชนิด ในปี 1993 Monsalve-Gonzalez *et al.* ศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการออสโมซิสขึ้น แอปเปิลในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 52 °บริกซ์ และใช้อุณหภูมิการแช่ 30 °ซ พบว่าการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.15 ไม่มีผลต่ออัตราส่วนค่าความแข็งระหว่างแอปเปิลที่ผ่านการออสโมซิสและแอปเปิลสด ($p > 0.05$) แต่การเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.30 และ 0.60 มีผลต่ออัตราส่วนค่าความแข็งระหว่างแอปเปิลที่ผ่านการออสโมซิสและแอปเปิลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่

ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.60 จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสขมมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.30

Luna-Guzman *et al.* (1999) ศึกษาผลของการแช่แคนตาลูปตัดแต่งพร้อมบริโกล (Fresh-cut) ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแคนตาลูป พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1-5 สามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นได้ และเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าไปในชั้นแคนตาลูปก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นและมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย และพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการแช่เพิ่มสูงขึ้นจาก 40 °ซ เป็น 60 °ซ ส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าไปในเนื้อแคนตาลูปมีค่าเพิ่มมากขึ้น

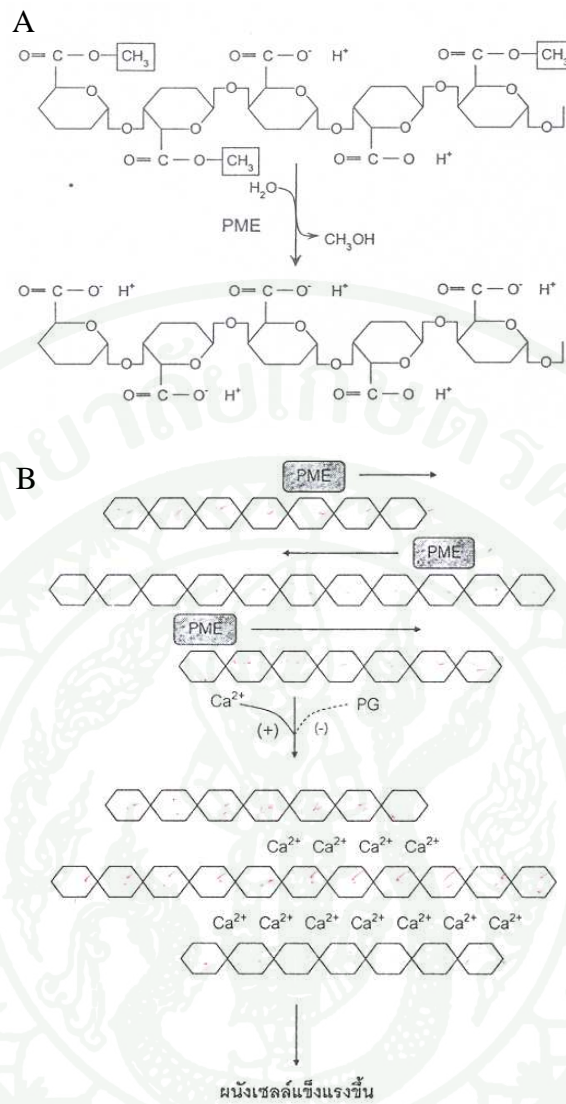
5.2 เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส

เพกทินเมทิลเอสเทอเรส (Pectinmethylesterase: PME, EC 3.1.1.11) เป็นเอนไซม์ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการแยกกลุ่มเมทิล (methyl group) ออกจากเพกทิน ทำให้ได้หมู่คาร์บอกซิลอิสระ (ภาพที่ 6A) ซึ่งหมู่คาร์บอกซิลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน (ที่อยู่ภายในเซลล์หรือที่เติมเข้าไปจากภายนอก) บริเวณมิลเคล็ดลามลล่า และผนังเซลล์ของผลไม้เกิดการเชื่อมโยงข้ามระหว่างหมู่คาร์บอกซิลบนสายของเพกทินและประจุของแคลเซียมไอออน เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเตต ซึ่งไม่ละลายน้ำ จึงทำให้เนื้อผลไม้มีความแน่นเนื้อและคงรูปอยู่ได้ (Guillemin *et al.*, 2006) (ภาพที่ 6B) และสารประกอบแคลเซียมเพกเตตที่เกิดขึ้นอาจไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์โพลีกาลแลกทูโรเนส (polygalacturonase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายโมเลกุลของเพกทิน จึงลดอัตราการสลายตัวของสารประกอบเพกทินลง (จริงแท้, 2546) ดังนั้นการเติมเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรสร่วมกับแคลเซียมจึงน่าจะเป็นวิธีที่ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรสเพื่อปรับปรุงความแน่นเนื้อของผลไม้แปรรูปหลายชนิด Javeri *et al.* (1991) พบว่าการแช่ชิ้นพีชผ่าซีก (peaches halves) ในสารละลายของเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส (Marsh grapefruit, PME) และแคลเซียมคลอไรด์ที่ความดันสุญญากาศเป็นเวลา 1 ชม. มีผลทำให้ความแน่นเนื้อของลูกพีชบรรจุกระป๋องมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วน Guillemin *et al.* (2008) พบว่าการแช่ชิ้นแอปเปิ้ลในสารละลายของเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส (*Aspergillus niger* PME) และแคลเซียมคลอไรด์ที่ความดันสุญญากาศ ก่อนนำไปผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์นั้น จะทำให้ชิ้นแอปเปิ้ลพาสเจอไรซ์

ที่ผ่านการแช่ในสารละลายของเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์สและแคลเซียม มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด โดยการเติมเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์สทำให้ระดับของการเกิด methyl-esterification ของสายเพกทินมีค่าลดลงจาก 82% เป็น 45% ซึ่งเป็นการสนับสนุนสมมติฐานที่ว่าเอนไซม์ PME จะไปเร่งปฏิกิริยาการแยกกลุ่มเมทิลออกจากเพกทิน ทำให้ได้หมู่คาร์บอกซิลอิสระที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับแคลเซียม ทำให้เพิ่มความหนาแน่นของเพกทิน ส่งผลให้เนื้อเยื่อแอปเปิลมีความแน่นแข็ง

Buggenhout *et al.* (2008) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของสตอเบอร์รี่แช่เยือกแข็ง โดยนำชิ้นสตอเบอร์รี่ผ่าซีก (strawberry halves) แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 60 ที่มีการเติมเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส (*Asergillus aculeatus* PME) ร้อยละ 0.12 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่าการเติมเอนไซม์ร่วมกับแคลเซียมในสารละลายออกซิโมซิส ทำให้ชิ้นสตอเบอร์รี่หลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายมีค่าความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น และลดปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการละลายลงถึง 81% ด้วย



ภาพที่ 6 เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส ทำหน้าที่ย่อยเอาหมู่เมทิลออกจากเพกทิน (A) และ การเข้าทำงานของเอนไซม์ทางด้านปลายด้านหนึ่งของเพกทิน (B)
ที่มา: ดัดแปลงจาก จริงแท้ (2546)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 แคนตาลูปพันธุ์วินัส (*Cucumi smelo* L.) ซึ่งจากร้านขายส่งผลไม้ในตลาดสี่มุมเมือง
- 1.2 ชูโครส (Food grade, MitrPhol, Thailand)
- 1.3 เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เลส (Fungal pectinmethylesterase: PME, Novozymes)

2. สารเคมี

- 2.1 Calcium chloride (Calcium chloride, Analytical grade, APS, Australia)
- 2.2 สารเคมีสำหรับเตรียมตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการเยือกแข็งในการนำไปตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของแคนตาลูป ได้แก่ สารละลายสำหรับตรึงเนื้อเยื่อ และเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 (Ethanol, Analytical grade, Merck, Germany)

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

- 3.1 เครื่องกวนที่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ (High torque stirrer, Ingenieurburo CAT, M. Zip รุ่น R50D, Germany)
- 3.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิได้ (Water Bath; WB22, Memmert, Germany)
- 3.3 เครื่องแช่เยือกแข็งระบบไครโอเจนิกแบบฟลักซ์ไนโตรเจนเหลว (Minibatch 1000L, Bangkok Industrial Gas Co., Ltd)
- 3.4 สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และเครื่องบันทึกข้อมูล (data-logger)
- 3.5 ถังพลาสติกชนิด NY/ONPE ความหนา 70 ไมครอน ขนาด 100 x 150 มม.
- 3.6 เครื่องปิดผนึกถังพลาสติก
- 3.7 กระดาษซับ
- 3.8 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Scaltec รุ่น SPB31)
- 3.9 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (BP 3100S, Sartorius, Germany)

- 3.10 อุปกรณ์เครื่องครัว (มีด ภาชนะสแตนเลส ฯลฯ)
- 3.11 อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 3.12 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic stirrer) และแท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
- 3.13 ปัมสุญญากาศ (Vacuum pump)

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ

- 4.1 ตู้แช่เยือกแข็ง (SANYO, รุ่น SF-C1495)
- 4.2 เครื่องวัดสี (Miniscan XE, Japan)
- 4.3 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Pocket Refractometer, Pal-1, Atago, Japan)
- 4.4 ตู้อบแบบลมร้อน (Hot Air Oven; ULE500, Memmert, Germany)
- 4.5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
- 4.6 ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Low temperature incubator)
- 4.7 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer, Stable Micro System รุ่น TA-XTplus, UK)
- 4.8 เครื่องปั่น (Commercial Blender, Waring, USA)
- 4.9 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle Furnace, Gallenkamp รุ่น FSE-261-210D)
- 4.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, JEOL รุ่น JMS-5600LV, England)
- 4.11 เครื่องทำแห้งจุดวิกฤต (Critical point dryer, CPD, Energy Beam Sciences รุ่น K850, USA)

วิธีการ

1. การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูป

ทำความสะอาดผิวแคนตาลูปพันธุ์วินัส ในระยะพัฒนาเต็มที่ (รอยแยกที่ขั้วมากกว่า 50%) ซึ่งมีน้ำหนักผลอยู่ในช่วง 1.5-1.8 กิโลกรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ ดังต่อไปนี้

1.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000) รายละเอียดในภาคผนวก ก

1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids) โดยใช้ Pocket Refractometer

1.3 ค่าสี ในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ โดยเครื่องวัดสี Miniscan XE (Japan)

นำผลที่ได้มาพิจารณาเพื่อกำหนดเกณฑ์สำหรับคัดเลือกวัตถุดิบมาใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง

2. อิทธิพลของอัตราการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

นำแคนตาลูปพันธุ์วินัส ซึ่งจากร้านรับส่งผลไม้ในตลาดสี่มุมเมือง ซึ่งมีน้ำหนักผลอยู่ในช่วง 1.5-1.8 กิโลกรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ในช่วง 8-10 °บrix นำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก คว้านเมล็ดออก แล้วตัดแบ่งแคนตาลูปให้เป็นรูปทรงระบอบอกที่มีความสูง 1.5 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร

2.2 อิทธิพลของอัตราการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

เตรียมตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 2.1 หลังจากนั้นบรรจุชิ้นแคนตาลูปในถุงไนลอนชนิด NY/ONPE ความหนา 70 ไมครอน ขนาด 100 x 150 มม. โดยบรรจุถุงละ 4 ชิ้น ปิดผนึก นำแคนตาลูปที่บรรจุใส่ถุงไปแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็ง 3 ระดับ คือ อัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Slow Freezing, SF) ด้วยการแช่ในตู้แช่เยือกแข็งที่

อุณหภูมิ -20°C ที่อัตราเร็วประมาณ 0.13 เซนติเมตรต่อชั่วโมง อัตราการแช่เยือกแข็งแบบปานกลาง (Medium Freezing, MF) และอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (Quick Freezing, QF) ด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิก โดยกำหนดสภาวะในการแช่เยือกแข็งของอัตราการแช่เยือกแข็งแบบปานกลางเป็น การลดอุณหภูมิของเครื่องไครโอจินิกเป็น -40°C ภายในระยะเวลา 2 นาทีและรอจนกระทั่งอุณหภูมิตั้งตรงกลางของตัวอย่างลดลงถึง -25°C ซึ่งจะได้อัตราเร็วประมาณ 2.79 เซนติเมตรต่อชั่วโมง สำหรับการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ทำโดยลดอุณหภูมิของเครื่องไครโอจินิกเป็น -70°C ภายในระยะเวลา 3 นาทีและรอจนกระทั่งอุณหภูมิตั้งตรงกลางของตัวอย่างลดลงถึง -25°C ซึ่งจะได้อัตราเร็วประมาณ 5.78 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ติดตามและวัดอุณหภูมิของตัวอย่างในระหว่างการแช่เยือกแข็งด้วยการนำสายเทอร์โมคอปเปิล (thermocouple) ที่ต่ออยู่กับเครื่องบันทึกข้อมูล (data-logger) มาเสียบกับตัวอย่างแคนตาลูป โดยให้อยู่กึ่งกลางของตัวอย่าง หลังจากนั้นบันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการแช่เยือกแข็ง จากนั้นนำตัวอย่างมาเก็บรักษาในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18°C เป็นเวลา 7, 30 และ 60 วัน เมื่อครบกำหนดเวลา นำตัวอย่างที่ผ่านการทำละลายมาวิเคราะห์คุณภาพตามวิธีในข้อ 2.3

2.3 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

นำตัวอย่างที่ครบกำหนดตามระยะเวลาการเก็บรักษา (7, 30 และ 60 วัน) มาละลายน้ำแข็งโดยนำตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งมาวางในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 4°C นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ ดังนี้

2.3.1 วัดปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังละลายน้ำแข็งและตรวจวัดเนื้อสัมผัส ตามวิธีการในข้อ 4.2

2.3.2 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของแคนตาลูป

นำตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน มาแช่ในสารละลายสำหรับตรึงเนื้อเยื่อ และขจัดน้ำออกจากตัวอย่างด้วยการนำไปแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 50%, 70%, 90% และเอทิลแอลกอฮอล์ล้วนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามลำดับ แล้วนำชิ้นตัวอย่างไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งจุดวิกฤต (critical point dryer) จากนั้นนำไปตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาค (microstructure) ด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3. อิทธิพลของการออสโมซิสต่อปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่ได้รับ

3.1 ศึกษาอิทธิพลของการออสโมซิสต่อปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณของแข็งที่ได้รับ

เตรียมตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 2.1 จากนั้นนำตัวอย่างแคนตาลูปผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้

3.2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ ทำโดยแช่ชิ้นแคนตาลูปในสารละลายน้ำตาล ที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศที่ 100 และ 300 มิลลิบาร์ สำหรับการกำหนดสภาวะการทดลองแบบ pulse vacuum ดัดแปลงตามวิธีการของ Deng and Zhao (2008) ทำโดยแช่ชิ้นแคนตาลูปในสารละลายน้ำตาลในโถความดันที่ต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) แล้วปรับให้เป็นสภาวะสุญญากาศตามกำหนดเป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาจึงปรับสภาวะสุญญากาศให้กลับมาอยู่ในสภาวะบรรยากาศ 5 นาที จากนั้นปรับเป็นสภาวะสุญญากาศตามกำหนดอีกครั้งเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงปรับให้กลับสู่ความดันบรรยากาศจนครบเวลา 1 ชั่วโมง

ทุกกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสใช้อัตราส่วนเนื้อผลไม้ต่อสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 1:3 โดยน้ำหนัก และมีการกวนน้ำเชื่อมตลอดเวลาด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก หลังการออสโมซินำชิ้นแคนตาลูปออกจากน้ำเชื่อม และซับสารละลายส่วนเกินบริเวณผิวด้วยกระดาษซับ

3.2.3 กลุ่มตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)

3.2 วิเคราะห์หาปริมาณน้ำที่สูญเสีย (water loss; WL) และปริมาณของแข็งที่ได้รับ (solid gain; SG) ในชิ้นแคนตาลูป หลังจากแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่สภาวะต่างๆ เป็นเวลา t สามารถคำนวณหาได้จากสมการของ Panagioutou *et al.* (1999) โดยน้ำหนักแห้งของตัวอย่างได้จากการอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จนน้ำหนักคงที่ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0}$$

$$SG = \frac{(m - m_0)}{m_0}$$

- เมื่อ M_0 : น้ำหนักเริ่มต้นของแคนตาลูปก่อนแช่ในสารละลายน้ำตาล
 M : น้ำหนักของแคนตาลูปหลังแช่ในสารละลายน้ำตาลนาน t ชั่วโมง
 m_0 : น้ำหนักแห้งของแคนตาลูปสด
 m : น้ำหนักแห้งของแคนตาลูปหลังแช่สารละลายน้ำตาลนาน t ชั่วโมง

4. อิทธิพลของการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

4.1 เตรียมตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการต่างๆ ตามข้อ 3.1 หลังจากนั้นบรรจุขึ้นแคนตาลูปในถุงไนลอนชนิด NY/ONPE ความหนา 70 ไมครอน ขนาด 100 x 150 มม. โดยบรรจุถุงละ 4 ชิ้น ปิดผนึก และนำไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic Freezer ให้อุณหภูมิภายในเครื่องเท่ากับ -40°C จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างขึ้นสุดท้ายเท่ากับ -25°C โดยบันทึกอุณหภูมิของชิ้นแคนตาลูปในขณะที่แช่เยือกแข็งทุก 1 นาที และเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ -18°C เป็นเวลา 3, 30 และ 60 วัน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ เมื่อครบกำหนดเวลา นำตัวอย่างที่ผ่านการทำละลายมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพตามวิธีในข้อ 4.2

4.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

นำตัวอย่างที่ครบกำหนดตามระยะเวลาการเก็บรักษา (3, 30 และ 60 วัน) มาละลายน้ำแข็งโดยนำตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งมาวางในตู้ควบคุมอุณหภูมิต่ำที่ 4°C นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ ดังนี้

4.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000) รายละเอียดในภาคผนวก ก

4.2.2 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็ง คัดแปลงตามวิธีการของ Marani *et al.* (2001)

นำชิ้นแคนตาลูปวางบนกระดาษซับ และทิ้งไว้ให้น้ำแข็งละลายในตู้ควบคุม อุณหภูมิที่ 4°C นาน 12 ชั่วโมง วัดค่า 4 ซ้ำ คำนวณปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งต่อน้ำหนักแห้ง ตามสมการของ Marani *et al.* (2001)

$$DL (\%) = \frac{W_t - W_0}{W_s \times TS} \times 100$$

เมื่อ W_0 : น้ำหนักของกระดาษซับก่อนละลายน้ำแข็ง
 W_t : น้ำหนักของกระดาษซับหลังละลายน้ำแข็ง
 W_s : น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการละลายน้ำแข็ง
 TS : ร้อยละปริมาณของแข็งในตัวอย่าง

4.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°บริกซ์) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

นำชิ้นแคนตาลูปที่ละลายน้ำแข็ง มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ บีบคั้นและกรองน้ำด้วยผ้าขาวบาง นำส่วนของเหลวที่ได้มาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Pocket Refractometer) และวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวที่ได้ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) หาค่าเฉลี่ยจากการวัดค่า 3 ซ้ำ

4.2.4 การวัดสี

วัดค่าสีของตัวอย่างแคนตาลูปที่ละลายน้ำแข็งแล้ว ด้วยเครื่องวัดสี (Miniscan XE) ในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ และคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*_{ab}) โดยวัดค่า 5 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสี ตามสมการของ Hunt (1998)

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

เมื่อ ΔL^* = ค่า L^* ของแคนตาลูปหลังผ่านการเก็บรักษา – ค่า L^* ของแคนตาลูปเริ่มต้น
 Δa^* = ค่า a^* ของแคนตาลูปหลังผ่านการเก็บรักษา – ค่า a^* ของแคนตาลูปเริ่มต้น
 Δb^* = ค่า b^* ของแคนตาลูปหลังผ่านการเก็บรักษา – ค่า b^* ของแคนตาลูปเริ่มต้น

4.2.5 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Total titratable acidity) ตามวิธี AOAC (2000) เตรียมตัวอย่าง และไทเทรตตามรายละเอียดในภาคผนวก ก

4.2.6 การตรวจวัดเนื้อสัมผัส

ตรวจวัดเนื้อสัมผัสของตัวอย่างแคนตาลูปที่ละลายน้ำแข็งแล้ว ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัด P/36R โดยกำหนดสภาวะในการวัด คือ การวัดค่าแรงจากการกดตัวอย่าง หรือ Compression test และกำหนดอัตราเร็วของหัววัด ดังนี้ ความเร็วก่อนกดลงบนตัวอย่าง (pre-test speed) เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วขณะกดตัวอย่าง (test speed) เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วหลังจากกด (post-test speed) เท่ากับ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกดลงผิวของตัวอย่างลึกลงไปร้อยละ 50 ของความสูงของตัวอย่าง และวัดค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างจากค่าแรงกดสูงสุด (maximum force) ในหน่วยนิวตัน (N) วัดค่า 8 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

5. การปรับปรุงคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

5.1 อิทธิพลของการเติมแคลเซียมคลอไรด์และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส ในการออกซิโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

เตรียมตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลายต่างๆ ตามวิธีการที่เหมาะสมจากข้อ 4 โดยแช่ชิ้นแคนตาลูปในสารละลาย 3 ชนิด คือ สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 ผสมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) และสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 ผสมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส ร้อยละ 0.12 (ปริมาตรโดยปริมาตร) และใช้ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออกซิโมซิสเป็นตัวอย่างควบคุม บรรจุขึ้น

แคนตาลูปในถุงพลาสติกชนิด NY/ONPE ความหนา 70 ไมครอน ขนาด 100 x 150 มม. ปิดผนึก และนำไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งระบบไครโอจินิกแบบพ่นไอไนโตรเจนเหลวที่ อุณหภูมิ -40 °ซ จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลงถึง -25 °ซ โดยบันทึกอุณหภูมิของชั้น แคนตาลูปในขณะที่แช่เยือกแข็งทุก 1 นาที และเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ -18 °ซ

5.2 วิเคราะห์ปริมาณแก้ว ในชั้นแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ก่อน การแช่เยือกแข็ง ตามวิธี AOAC (2000) รายละเอียดในภาคผนวก ก

5.3 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

นำตัวอย่างที่ครบกำหนดตามระยะเวลาการเก็บรักษา (3, 30, 60 และ 90 วัน) มาละลาย น้ำแข็งโดยนำตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งวางในตู้ควบคุมอุณหภูมิต่ำ ที่ 4 °ซ นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ ตามวิธีการในข้อ 4.2

6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในการทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกแบบสมบูรณ์ (Random Complete Block Design; RCBD) โดยกำหนดให้การทดลองซ้ำเป็นบล็อก และใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7. สถานที่และระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

ห้องปฏิบัติการส่วนกลาง ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

8. ระยะเวลาการทำวิจัย

ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2551 ถึง สิงหาคม 2552

ผลและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูป

สำหรับการวิจัยนี้ใช้ผลแคนตาลูปพันธุ์วินัส เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทย สามารถปลูกและติดผลง่าย เก็บเกี่ยวได้เร็ว และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศที่ร้อนได้ดี โดยคัดเลือกแคนตาลูปในระยะพัฒนาเต็มที่ มีผลสีเหลืองนวล ผิวเรียบ มีน้ำหนักผลประมาณ 1.5-2 กิโลกรัม แล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นทั้งทางเคมีและกายภาพเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอ ผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า แคนตาลูปมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 92 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 7-8 ๐บริกซ์ ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 0.05 โดยสมบัติทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ จิราพร (2549) ที่ศึกษาการลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยการออสโมซิสขึ้นแคนตาลูป (พันธุ์ชั้นเล็ก) ก่อนนำไปอบแห้ง โดยแคนตาลูปสดที่ใช้มีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 91 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 10 ๐บริกซ์ และมีค่าความเป็นกรดร้อยละ 0.07 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่ามีค่าที่แตกต่างกันบ้าง เนื่องจากเป็นแคนตาลูปคนละสายพันธุ์ และมาจากแหล่งที่ต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกันได้

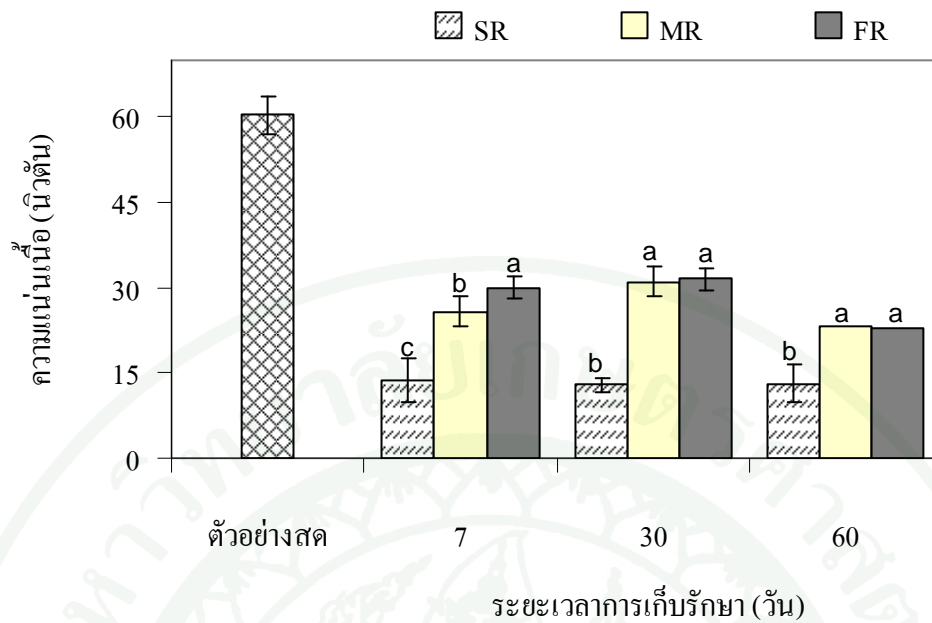
ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพบางประการของส่วนเนื้อของแคนตาลูปสด

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น (% น้ำหนักเปียก)	92.46 \pm 0.66
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (๐บริกซ์)	7.82 \pm 0.41
ค่าความเป็นกรด (% as citric acid)	0.05 \pm 0.003
ค่าสีของเนื้อแคนตาลูป	
<i>L*</i> (ค่าความสว่าง)	56.11 \pm 2.98
<i>a*</i> (ค่าสีแดง)	19.06 \pm 0.51
<i>b*</i> (ค่าสีเหลือง)	38.57 \pm 0.62

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. อิทธิพลของอัตราการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

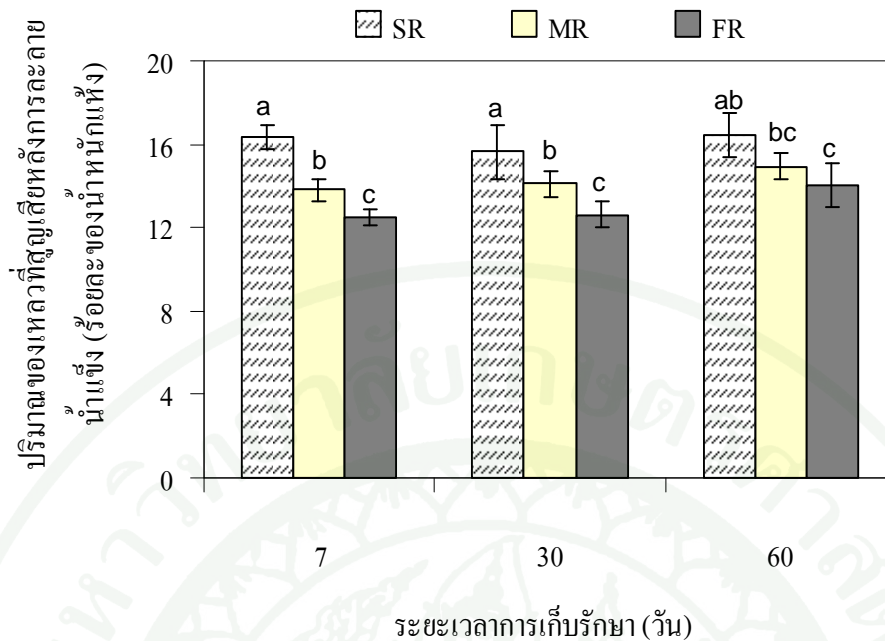
จากการตรวจวัดเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อัตราต่างๆ คือ SF, MF และ QF ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 7, 30 และ 60 วัน เปรียบเทียบกับตัวอย่างแคนตาลูปสด ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างได้มาจากค่าแรงกดสูงสุด จะเห็นว่าการแช่เยือกแข็งทำให้ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด ซึ่งเป็นผลมาจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตก เกิดความเสียหายกับผนังเซลล์ มีผลทำให้สูญเสียความแน่นเนื้อ เนื้อผลไม้ไม่นุ่มลง (Fennema *et al.*, 1973) เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ QF จะมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ MF และตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ SF จะมีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุด ส่วนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 30 และ 60 วัน ตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ SF มีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุด ต่างกับอัตราการแช่เยือกแข็งแบบอื่นๆ (MF และ QF) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่อัตราการแช่เยือกแข็งแบบ MF และ QF มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการแช่เยือกแข็งแบบ SF เป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าจึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นจะไปทำลายเซลล์ได้มากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ MF และ QF ซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งที่สูงกว่า (Charoenrein and Reid, 1989) นอกจากนี้ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้ง 3 แบบจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน ตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้ง 3 แบบมีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบเดียวกันที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 7 วัน ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเป็นเพราะในระหว่างการเก็บรักษาผลึกน้ำแข็งนี้เกิดการโตของผลึก (ice recrystallization) ส่งผลให้มีการทำลายโครงสร้างของเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดความเสียหายมากขึ้น (Fennema *et al.*, 1973) ค่าความแน่นเนื้อจึงมีค่าลดลง



ภาพที่ 7 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness value) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำลายที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อัตราต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 7, 30 และ 60 วัน

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

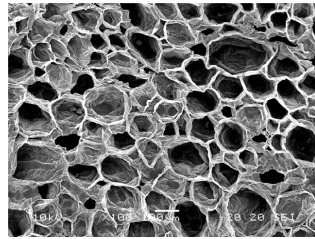
ภาพที่ 8 แสดงผลการวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่อัตราการแช่เยือกแข็งต่างๆ กัน พบว่าที่ระยะการเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 7, 30 และ 60 วัน อัตราการแช่เยือกแข็งทั้ง 3 แบบมีผลทำให้มีปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ SF มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งสูงที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ MF และ QF ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น จะไปทำลายเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการฉีกขาด เนื้อสัมผัสนุ่มลง (ภาพที่ 7) ทำให้สูญเสียน้ำออกจากเซลล์ภายหลังการละลาย ในขณะที่การแช่เยือกแข็งแบบ MF และ QF จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กทั้งภายในและภายนอกเซลล์ จึงทำให้เกิดความเสียหายกับเซลล์น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ SF



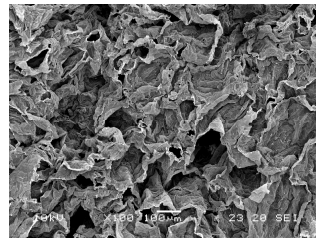
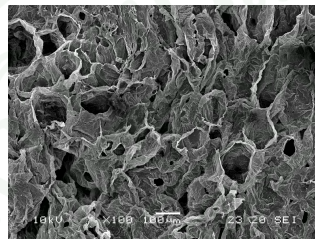
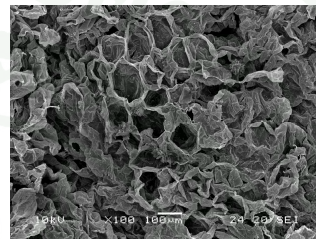
ภาพที่ 8 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียบนหลังการละลายน้ำแข็งของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อัตราต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 7, 30 และ 60 วัน

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการพิจารณาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งแสดงโครงสร้างระดับจุลภาคภายในของชิ้นแคนตาลูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ระดับต่างๆ หลังทำละลาย (ภาพที่ 9) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ SF (ภาพที่ 9(ข)) เซลล์มีลักษณะอยู่และไม่สามารถคงรูปของเซลล์ไว้ได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด (ภาพที่ 9(ก)) ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบ MF และ QF (ภาพที่ 9(ค), 9(ง)) ลักษณะเซลล์จะใกล้เคียงกับตัวอย่างสดมากกว่าจะเห็นว่าเซลล์ยังสามารถคงรูปร่างดั้งเดิมไว้ได้ คือ มีลักษณะกลม สอดคล้องกับค่าเนื้อสัมผัสและปริมาณน้ำที่สูญเสียบนหลังการละลายที่วัดได้ (ภาพที่ 7 และ ภาพที่ 8) แต่อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นว่าลักษณะโครงสร้างของแคนตาลูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลายทั้ง 3 แบบ มีลักษณะแตกต่างจากตัวอย่างสดอย่างชัดเจน



(ก) แคนดaluปสด

(ข) แคนดaluปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วย
อัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า(ค) แคนดaluปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วย
อัตราการแช่เยือกแข็งแบบปานกลาง(ง) แคนดaluปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วย
อัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว

ภาพที่ 9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของแคนดaluปสด และแคนดaluปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อัตราต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน (100x, Bar = 100 µm)

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแช่เยือกแข็งแบบต่างๆ ที่มีต่อคุณภาพของแคนดaluปแช่เยือกแข็งหลังทำละลาย ที่เก็บรักษาภายในระยะเวลา 60 วัน พบว่า อัตราการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมต่อการแช่เยือกแข็งแคนดaluป คือ อัตราการแช่เยือกแข็งแบบปานกลาง (การแช่เยือกแข็งโดยใช้เครื่องไครโอจินิก ที่มีการปรับอุณหภูมิของเครื่องให้เท่ากับ -40 °ซ ภายในระยะเวลา 2 นาที) โดยพิจารณาที่ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างแคนดaluปเป็นเกณฑ์ โดยวิธีนี้ทำให้ตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด และมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว

3. อิทธิพลของการออสโมซิสแบบต่างๆ ต่อปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณของแข็งที่ได้รับ ในชิ้นแคนตาลูป

ในการทดลองนี้จะศึกษาผลของการลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการออสโมซิสต่างกัน 3 แบบ คือ แบบที่หนึ่ง การออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ (Osmotic dehydration) (กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์คือ OD) ทำโดยการแช่ตัวอย่างแคนตาลูปในสารละลายน้ำตาลที่ความดันบรรยากาศ แบบที่สอง การออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศที่มีการปรับเป็นช่วงๆ (pulse vacuum osmotic dehydration) ที่ 100 มิลลิบาร์ (กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์คือ PVOD-100 mbar) และแบบที่สาม การออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศที่มีการปรับเป็นช่วงๆ ที่ 300 มิลลิบาร์ (กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์คือ PVOD-300 mbar) โดยใช้สารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 และอัตราส่วนเนื้อผลไม้ต่อสารละลายเท่ากับ 1: 3 เปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (กลุ่มควบคุม) ในการทดลองนี้ได้เลือกระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ร้อยละ 50 เนื่องจากระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสสำหรับอาหารแห้ง (dehydrated foods) โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณร้อยละ 50-75 ๖บริกซ์ (Zhao and Xie, 2004) และระดับความเข้มข้นนี้เพียงพอต่อการลดปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 90 นอกจากนี้จากรายงานของงามจิตร์ (2551) พบว่าการแช่ชิ้นเงาะในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของเงาะแช่เยือกแข็งได้ ส่วนที่เลือกใช้ระยะเวลาในการแช่ 1 ชั่วโมง เนื่องจากในกระบวนการออสโมซิสนั้นอัตราการสูญเสียน้ำของผลไม้จะสูงในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะมีอัตราการลดลง (Barbosa-Canova and Vega-Mercado, 1996) ประกอบกับระยะเวลาการแช่ที่นานมีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลไม้ คือ ทำให้เนื้อผลไม้มีรสขม และมีรสหวานเกินไปจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ สำหรับอัตราส่วนของเนื้อผลไม้ต่อสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส ได้พิจารณาจากปริมาณสารละลายที่เพียงพอต่อการแช่ตัวอย่าง และสามารถกวนสารละลายในขณะที่แช่ชิ้นแคนตาลูปได้

การลดปริมาณน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ ซึ่งทำโดยการแช่ตัวอย่างแคนตาลูปในสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากชิ้นแคนตาลูปในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่าจะแพร่เข้าสู่เซลล์ เนื่องจากความแตกต่างของความดันออสโมซิสระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์ ทำให้ชิ้นแคนตาลูปมีปริมาณน้ำที่สูญเสียและมีปริมาณของแข็งที่ได้รับเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่ได้รับในชิ้นแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ

วิธีการออสโมซิส	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ^{ns} (กรัม/กรัมน้ำหนักแห้งเริ่มต้น)	ปริมาณของแข็งที่ได้รับ ^{ns} (กรัม/กรัมน้ำหนักแห้งเริ่มต้น)
OD	4.58±0.43	2.04±0.30
PVOD-100mbar	4.79±0.67	1.84±0.24
PVOD-300mbar	4.65±0.50	1.83±0.28

หมายเหตุ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างแคนตาลูปเมื่อผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ (OD, PVOD-100 และ 300 มิลลิบาร์) พบว่า การออสโมซิสทั้ง 3 แบบจะทำให้ตัวอย่างแคนตาลูปมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ เนื่องจากความแตกต่างของความดันออสโมซิสระหว่างภายในเซลล์ผลไม้กับสารละลายภายนอก ทำให้น้ำในชิ้นแคนตาลูปเคลื่อนที่ออกมายังสารละลายน้ำตาล และเมื่อเปรียบเทียบที่วิธีการออสโมซิสจะเห็นว่า วิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบทำให้ตัวอย่างแคนตาลูปมีปริมาณน้ำที่สูญเสียแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Moreno *et al.* (2004) ซึ่งรายงานว่ปริมาณน้ำที่สูญเสียของตัวอย่างมะละกอ (Chilean papayas) ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครส 55 และ 65 °บริกซ์ ที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และ Lombard *et al.* (2008) ที่พบว่าการแช่ตัวอย่างสัปะรดในสารละลายน้ำตาลที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ 200 มิลลิบาร์ มีค่าปริมาณการสูญเสียน้ำไม่แตกต่างกันเช่นกัน

การที่ตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศที่ 100 และ 300 มิลลิบาร์ มีปริมาณน้ำที่สูญเสียไม่แตกต่างกับตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ อาจมีสาเหตุมาจากลักษณะเนื้อเยื่อของแคนตาลูป โดยเฉพาะความเป็นรูพรุนของผลไม้ (fruit porosity) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญเกี่ยวเนื่องกับปริมาตรในเนื้อผลไม้ที่จะถูกแทนที่ด้วยตัวถูกละลายในระหว่างการออสโมซิส (Zhao and Xie, 2004) ดังนั้นผลไม้ที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนสูงจึงมีการเคลื่อนที่ของแก๊ส (gas removal) ออกจากเนื้อผลไม้มากเมื่อมีการลดความดันบรรยากาศลง ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารมากกว่าผลไม้ที่มีรูพรุนน้อย (Deng and Zhao, 2008) ซึ่งกรณีของ

แคนตาลูปนั้นพบว่า แคนตาลูป (*Cucumis melo* var. “Reticulado”) มีความเป็นรูพรุนน้อย (มีค่าเท่ากับ 0.13 เปอร์เซ็นต์) (Mujica-Paz *et al.*, 2003) จึงอาจทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารได้น้อยในระหว่างการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ และมีค่าไม่แตกต่างกับการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ

ในระหว่างการออสโมซิส นอกจากตัวอย่างจะสูญเสียน้ำออกจากเซลล์แล้ว ตัวถูกละลายในสารละลายซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่าสามารถแพร่เข้าสู่เซลล์ของผลไม้ ทำให้แคนตาลูปมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 5 พบว่าปริมาณของแข็งที่ได้รับของตัวอย่างแคนตาลูปเมื่อผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นกัน โดยมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศและที่ความดันบรรยากาศ สอดคล้องกับการศึกษาของ Shi *et al.* (1995) พบว่าการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ได้รับ

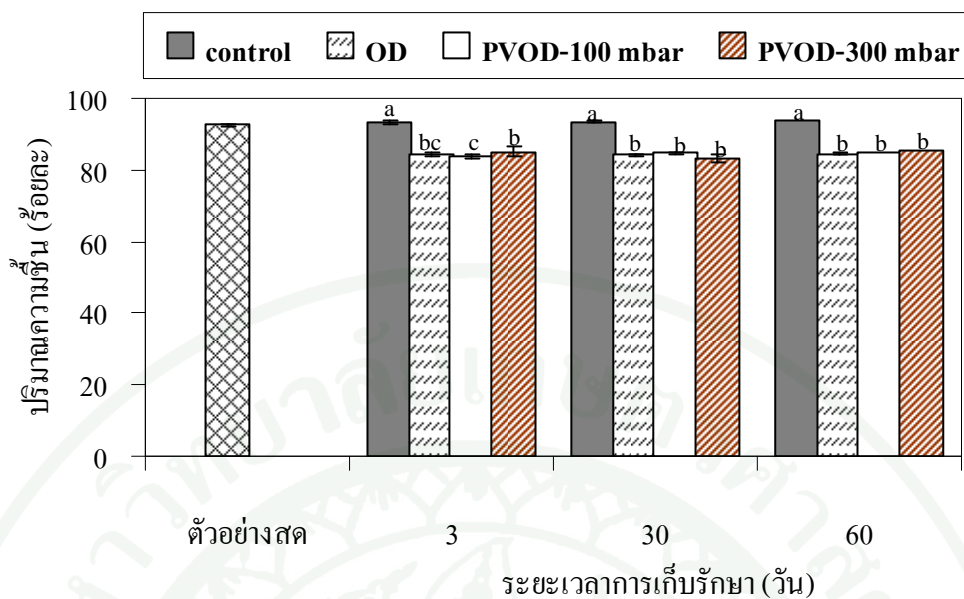
ตามหลักของการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศนั้น การลดลงของความดันจะทำให้ก๊าซที่อยู่ในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของผลไม้ขยายตัวและเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ ทำให้เกิดช่องว่างและการเคลื่อนที่ของของเหลวที่อยู่รอบๆ เข้าไปในโครงสร้างได้มากขึ้น ผลไม้ก็จะมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นด้วย (Lombard *et al.*, 2008) แต่ในการทดลองนี้พบว่า การออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ได้รับของตัวอย่างแคนตาลูป สันนิษฐานว่าอาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความดัน ในขั้นตอนของการปรับสภาวะสุญญากาศแบบเป็นช่วงๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformations) ของเซลล์ และมีปริมาตร (volume changes) ลดลง จึงส่งผลกระทบต่อสัดส่วนปริมาตรในเนื้อผลไม้ที่จะถูกแทนที่ด้วยตัวถูกละลายลดลงเช่นกัน ประกอบกับคุณลักษณะโครงสร้างทางชีวภาพ (biological microstructural characteristics) ของแคนตาลูปที่มีความเป็นรูพรุนน้อย (Shi, *et al.*, 1995; Zhao and Xie, 2004) จึงทำให้ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์ มีปริมาณของแข็งที่ได้รับไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ โดยจะมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้จะเห็นว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีค่าปริมาณของแข็งที่ได้รับน้อยกว่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย เนื่องจากโมเลกุลของตัวถูกละลาย (ในการทดลองนี้คือน้ำตาล) มีขนาดโมเลกุลใหญ่ จึงทำให้มีอัตราการแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ช้ากว่าการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากเซลล์

4. อิทธิพลของการออสโมซิสแบบต่างๆ ต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

ถึงแม้ว่าการแช่เยือกแข็งจะทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีและกายภาพส่วนใหญ่ลดต่ำลงได้ แต่ปฏิกิริยาต่างๆ ไม่ได้หยุดลงทั้งหมด ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็งก็ยังคงเกิดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอย่างช้าๆ จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อให้ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการลดน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสแบบต่างๆ การติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C เป็นระยะเวลา 60 วัน โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลาย ค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ และวัดค่าเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส

4.1 ปริมาณความชื้น

จากผลการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งและทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสูญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์ เปรียบเทียบกับตัวอย่างแคนตาลูปที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เมื่อทุกตัวอย่างเก็บรักษาไว้ที่ -18°C เป็นเวลา 3 ถึง 60 วัน พบว่า ปริมาณความชื้นของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างแคนตาลูปที่ไม่ผ่านการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 10 ทั้งนี้วิธีการออสโมซิสที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นที่ลดลงของตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย ($p > 0.05$) โดยตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ จะมีความชื้นลดลงจากประมาณร้อยละ 92 ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นของแคนตาลูปสดก่อนการแช่เยือกแข็ง เหลือประมาณร้อยละ 85 ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสจะมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกับแคนตาลูปสด ซึ่งปริมาณความชื้นที่ลดลงแสดงถึงตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีปริมาณน้ำลดลงก่อนการแช่เยือกแข็ง ทำให้ลดปริมาณผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เซลล์ผลไม้ได้รับความเสียหายจากปริมาณผลึกน้ำแข็งน้อยลง (Li and Sun, 2002) นอกจากนี้พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในแต่ละตัวอย่าง ($p > 0.05$) ดังตารางภาคผนวกที่ ค3



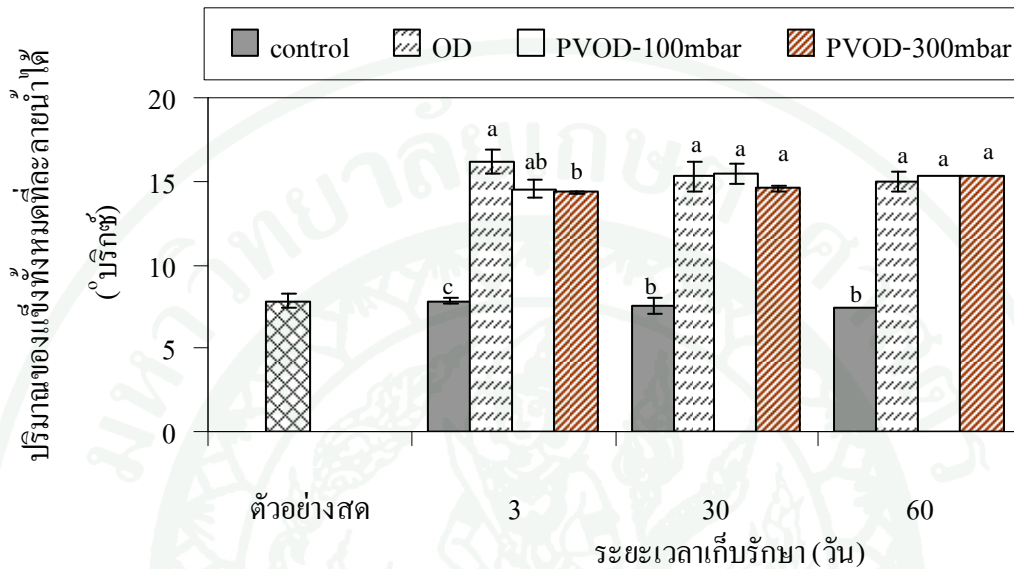
ภาพที่ 10 ปริมาณความชื้นของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°บริกซ์)

การลดน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ (การออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์) ทำให้ตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำลายมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่ามากกว่าประมาณ 7-8 °บริกซ์ ดังแสดงในภาพที่ 11 โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการที่ตัวอย่างมีปริมาณของแข็งที่ได้รับเพิ่มขึ้นในระหว่างการออสโมซิส (Formi *et al.*, 1997) (ดังตารางที่ 5) เนื่องจากแรงดันออสโมซิสที่เกิดขึ้นทำให้โมเลกุลของน้ำตาลในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าภายในเซลล์สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์ผลไม้ ในขณะที่น้ำจะแพร่ออกสู่ภายนอกเซลล์ สอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่ลดลงของตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ และวิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดปริมาณของแข็งที่ได้รับที่พบว่า ปริมาณของแข็งที่ได้รับของตัวอย่างแคนตาลูปเมื่อผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ มี

ความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 5) ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (30 และ 60 วัน) พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในแต่ละตัวอย่าง ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ ค3)



ภาพที่ 11 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

การออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์ เป็นการลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งการลดปริมาณความชื้นทำให้ลดปริมาณผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น จากการตรวจวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งระบบไครโอจินิกแบบพ่นไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -40°C จนกระทั่งตัวอย่างมีอุณหภูมิประมาณ -25°C (ภาพภาคผนวกที่ ข3) จะสังเกตเห็นว่าตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบจะมีอุณหภูมิลดลงจนกระทั่งตัวอย่างมีอุณหภูมิตั้ง -18°C ภายใน 17-18 นาที ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสจะใช้ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งมากกว่า (22-23 นาที) สอดคล้องกับ Robbers *et al.* (1997) ที่ทดลองลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งก็วิสด โดยการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 68 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น (air-blast freezer) ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที ที่

อุณหภูมิ -3 °ซ พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายมีอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งต่ำกว่าและมีอุณหภูมิลดลงถึง -18 °ซ ภายใน 19-20 นาที ซึ่งเร็วกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ที่ต้องใช้เวลาประมาณ 23-24 นาที จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบมีระยะเวลาการแช่เยือกแข็งลดลง เนื่องจากการออสโมซิส จะทำให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นลดลง (สอดคล้องกับผลการวัดปริมาณความชื้นดังแสดงในภาพที่ 10) ส่งผลต่อการลดปริมาณน้ำที่จะแข็งตัวและปริมาณความร้อนที่ต้องดึงออก ทำให้ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งลดลงด้วย (Li and Sun, 2002)

4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

ตารางที่ 6 และตารางที่ 7 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส ผลการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าประมาณ 6.6-7.0 และมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ประมาณร้อยละ 0.05-0.06 ผลการทดลองนี้แสดงว่าวิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของตัวอย่างแคนตาลูป คาดว่าเป็นเพราะแคนตาลูปเป็นผลไม้ที่มีปริมาณกรดไม่มาก (ดังตารางที่ 4) โดยกรดอินทรีย์หลักที่พบในแคนตาลูป คือ กรดซิตริกและกรดมาลิก (Seymour and McGlasson, 1993) และมีปริมาณกรดอยู่ในระดับต่ำ (0.03-0.04 กรัมต่อลิตร) (Aguayo *et al.*, 2007) ดังนั้นเมื่อนำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลจึงไม่เกิดการแลกเปลี่ยนของกรดในระหว่างการออสโมซิส ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกันระหว่างตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบและตัวอย่างแคนตาลูปที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Torreggiani and Bertolol (2004) ที่พบว่าผลไม้มาก่อนและหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่ความดันสูญญากาศมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม การใช้สารละลายออสโมซิสที่มีความเข้มข้นสูง (ความเข้มข้นมากกว่า 50 %บริกซ์) อาจมีผลทำให้ตัวอย่างมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของกรดอินทรีย์ที่อยู่ภายในเซลล์ออกมาสู่สารละลายภายนอก (Zhao and Xie, 2004)

ตารางที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่านและผ่านการ
ออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

วิธีการออสโมซิส	ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)		
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
	3	30 ^{ns}	60
Control ^{NS}	7.06±0.11 ^a	6.80±0.10	6.90±0.03 ^a
OD ^{NS}	6.68±0.11 ^b	6.76±0.12	6.89±0.01 ^{ab}
PVOD-100 mbar ^{NS}	6.89±0.09 ^{ab}	6.66±0.06	6.79±0.04 ^c
PVOD-300 mbar ^{NS}	6.80±0.22 ^b	6.62±0.04	6.84±0.04 ^{bc}

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

^{NS} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
($p > 0.05$)

ตารางที่ 7 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และ
ผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

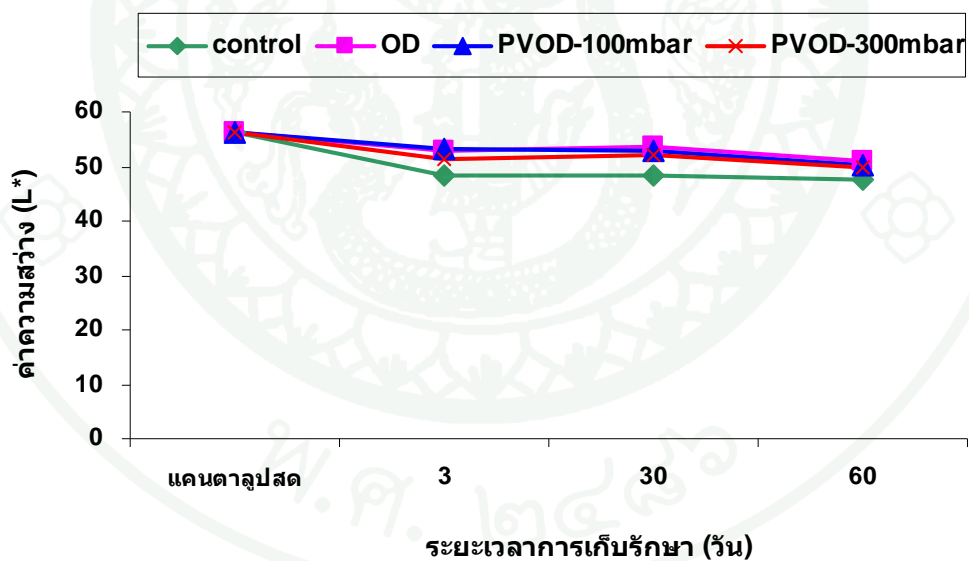
วิธีการออสโมซิส	ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละของกรดซิตริก)		
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
	3 ^{ns}	30 ^{ns}	60 ^{ns}
Control ^{NS}	0.06±0.009	0.05±0.001	0.06±0.001
OD ^{NS}	0.05±0.004	0.04±0.005	0.05±0.010
PVOD-100 mbar ^{NS}	0.05±0.001	0.05±0.002	0.05±0.004
PVOD-300 mbar ^{NS}	0.05±0.008	0.05±0.001	0.04±0.007

หมายเหตุ ^{ns} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

^{NS} ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.4 ค่าสี ($L^* a^* b^*$)

การวัดค่าสีของตัวอย่างแกนตาปลูกในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ นั้น ค่า L^* แสดงถึงค่าความสว่าง (lightness) ส่วนค่า a^* ของตัวอย่างแกนตาปลูกมีค่าเป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างมีสีไปทางสีแดง และค่า b^* ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงถึงตัวอย่างมีค่าสีไปทางสีเหลือง ผลการวัดค่าความสว่างของตัวอย่างแกนตาปลูกแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน ดังแสดงในภาพที่ 12 พบว่า ตัวอย่างแกนตาปลูกที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด และตัวอย่างแกนตาปลูกที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีค่าความสว่างมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้จะพบว่าในระหว่างการเก็บรักษา (ตั้งแต่ 3-60 วัน) ค่าความสว่างของตัวอย่างทุกกลุ่มทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มมีค่าลดลง (ตารางภาคผนวกที่ ก4)

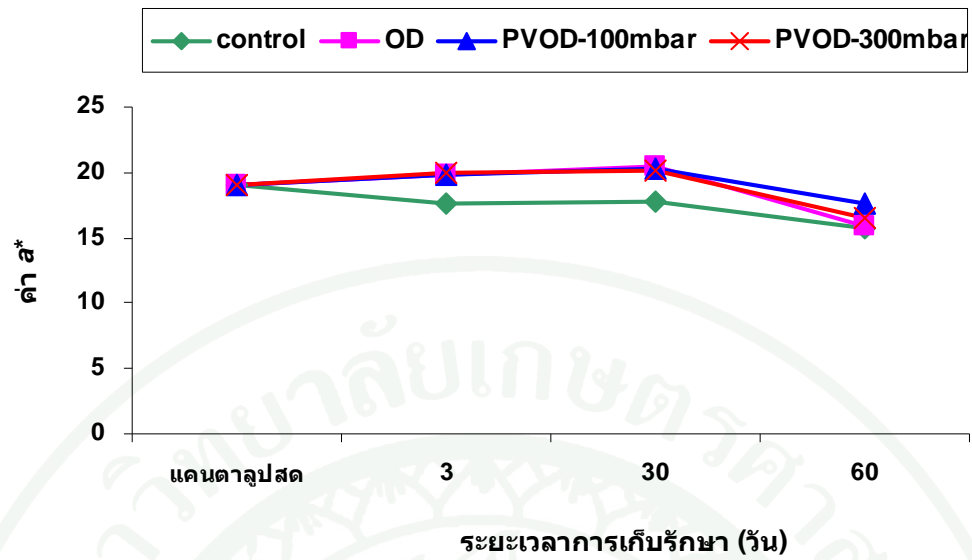


ภาพที่ 12 ค่าความสว่าง (L^*) ของแกนตาปลูกแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

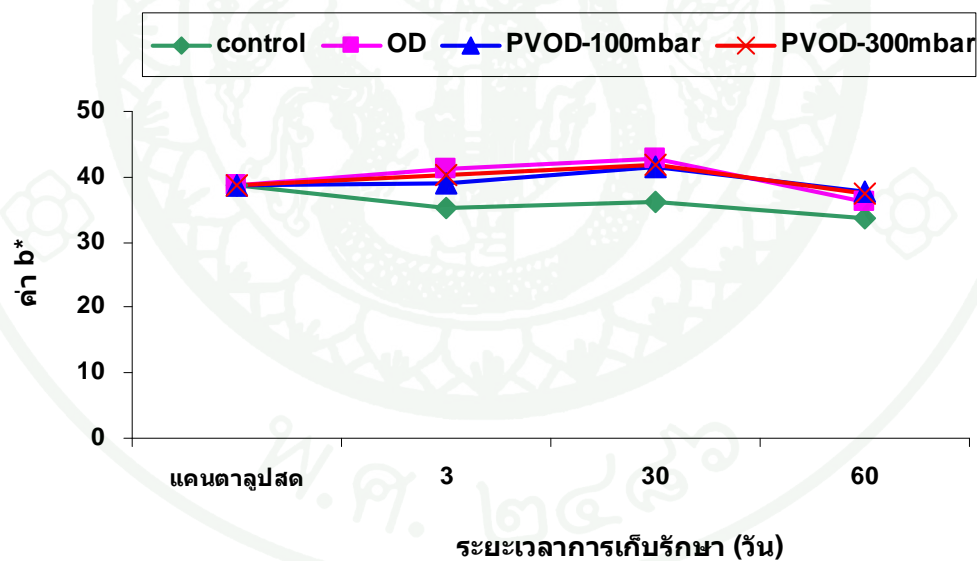
ส่วนค่าสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน แสดงในภาพที่ 13 และ 14 พบว่า ตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาสีของเนื้อแคนตาลูปจากการสังเกตด้วยสายตา พบว่าสอดคล้องกับผลการวัดค่าสี คือ ตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ จะมีสีออกส้มเข้มมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส คาดว่าเป็นเพราะโมเลกุลของน้ำตาลได้แพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อของแคนตาลูป จึงทำให้แคนตาลูปมีสีเข้มขึ้น

เมื่อพิจารณาที่วิธีการออสโมซิสที่แตกต่างกัน พบว่า แคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบมีค่าทั้งสีแดงและสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น พบว่าค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของตัวอย่างแคนตาลูปทุกกลุ่มทดลอง (ทั้งที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบและไม่ผ่านการออสโมซิส) มีแนวโน้มคงที่จนถึงวันที่ 30 วัน จากนั้นจะมีค่าลดลงเล็กน้อย

การแช่เยือกแข็ง และวิธีการลดน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการออสโมซิส อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบภายในแคนตาลูปได้ ทำให้ตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิส มีค่าสีเปลี่ยนแปลงไป จากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า วิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ ไม่มีผลต่อสีของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งอย่างชัดเจน ขึ้นแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีสีไม่แตกต่างกัน โดยมีสีส้มเข้ม คาดว่าเป็นเพราะแคนตาลูปซึ่งมีสีออกส้ม และไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เพราะในแคนตาลูปมีปริมาณสารประกอบฟีนอล (oxidable phenolic compounds) เพียงเล็กน้อย ทำให้สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยตาแยกต่างกับผลไม้ชนิดอื่น เช่น แอปเปิล ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีความไวต่อการเกิดสีน้ำตาล จึงเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนหลังผ่านการออสโมซิสทั้งที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ โดยพบว่า การออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ จะช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เนื่องจากการลดความดันทำให้อากาศหรือแก๊สในเนื้อเยื่อผลไม้ลดลง ประกอบกับการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าไปในเนื้อเยื่อ ทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและมีสภาพเหมือนของสดมากกว่าการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ (Zhao and Xie, 2004)

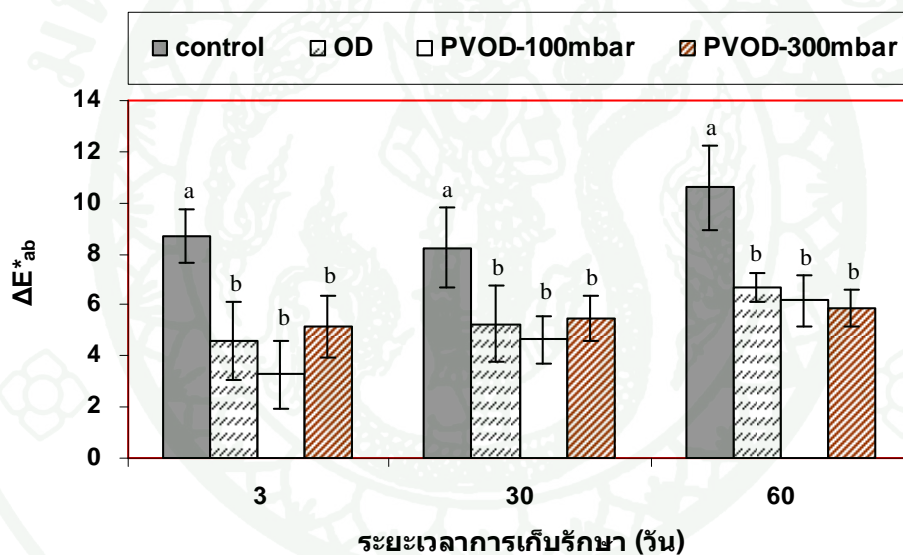


ภาพที่ 13 ค่าสีแดง (a^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน



ภาพที่ 14 ค่าสีเหลือง (b^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

เมื่อนำค่าสีจากการวัดสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ มาคำนวณค่า ΔE^*_{ab} ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความแตกต่างของค่าสีของแคนตาลูปเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับค่าสีของแคนตาลูปสด โดยผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลาย แสดงดังภาพที่ 15 (ตารางภาคผนวกที่ ค4) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะเห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าสีมากขึ้น ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามค่า ΔE^*_{ab} ของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าสีของแคนตาลูปมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าและมีค่าใกล้เคียงกับแคนตาลูปสดมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 นั้น แคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบมีค่า ΔE^*_{ab} ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 15 ค่า ΔE^*_{ab} ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

หมายเหตุ a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส

การแช่เยือกแข็งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะไปทำลายเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ซึ่งมักจะนุ่มลงหลังการละลายน้ำแข็ง

จากการวัดเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าแรงจากการกดตัวอย่าง หรือ Compression test แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแคนตาลูปหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลาย ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มีลักษณะของ compression curve แตกต่างจากตัวอย่างแคนตาลูปสดอย่างชัดเจน (แสดงในภาพภาคผนวกที่ ค1) คือ ลักษณะกราฟมีความชัน และค่าแรงกดสูงสุด (maximum force) ลดลง แสดงว่าตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อลดลง สอดคล้องกับ Chiralt *et al.* (2001) ซึ่งพบว่าตัวอย่างกีวีแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ มีลักษณะของ compression curve แตกต่างจากผลกีวีสดอย่างชัดเจน คือ กราฟมีความชันลดลง แสดงถึงตัวอย่างมีความแน่นเนื้อลดลง

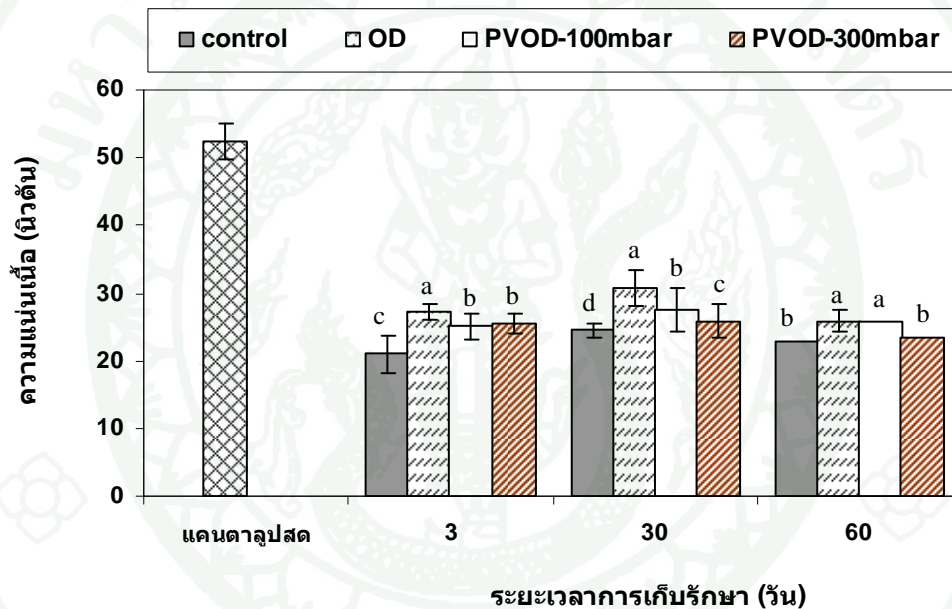
จากการวัดค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ของตัวอย่างจากค่าแรงกดสูงสุด (maximum force) พบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน ตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 16 ผลดังกล่าวแสดงถึงการลดน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการออสโมซิส ทำให้มีปริมาณผลึกน้ำแข็งลดลง จึงลดความเสียหายของเซลล์ที่เกิดจากผลึกน้ำแข็งได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Dermesonlouglou *et al.* (2008) ที่พบว่าค่าความแน่นเนื้อของแตงกวาหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลาย ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ (oligofructose and high DE maltodextrin) มีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายเข้าไปในเนื้อผลไม้ ทำให้มีปริมาณของแข็งที่ได้รับเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5) มีผลในการช่วยให้เนื้อผลไม้มีค่าความแน่นเนื้อมากขึ้นด้วย สอดคล้องกับ Monsalve-Gonzalez (1993) ที่พบว่าค่าความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการออสโมซิส ทำให้แอปเปิ้ลแช่เยือกแข็งหลังทำละลายมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเซลล์ของผลไม้ถูกปกป้องโดยน้ำตาลทำให้ส่วนมิลเคล็ดลามลต่ำ ถูกทำลายลดลง ส่งผลให้มีการหดตัวของเซลล์ (shrinking of cell) ลดลงด้วย (Torreggiani and Bertolo, 2001)

จากภาพที่ 16 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการออสโมซิส พบว่าการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศทำให้ตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำลายมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตั้งแต่ 0 ถึง 60 วัน) โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 วัน ตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำลายที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ (OD) มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ ตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์ ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นที่ 30 และ 60 วัน ตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ 300 มิลลิบาร์มีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของ Chiralt *et al.* (2001) ที่พบว่าการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศไม่ได้ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของมะม่วง โดยเฉพาะเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศจะมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด และจากการทดลองของ Talens *et al.* (2001) พบว่าเมื่อนำผลกีวีมาผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 35 °บริกซ์ ที่ความดันสุญญากาศ ทำให้กีวีมีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ

การใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลให้ค่าความแน่นเนื้อมีค่าลดลง ซึ่งสันนิษฐานว่า การเปลี่ยนแปลงความดัน (pressure changes) ในขั้นตอนของการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศมีผลทำให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์ โดยอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างของผลไม้ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสที่ทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง (Castello *et al.*, 2009) โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้มักมีความผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเต่งของเซลล์ (turgidity) ซึ่งเกิดจากแรงดันของส่วนประกอบที่อยู่ภายในเซลล์ (turgor pressure) ที่มีต่อผนังเซลล์ หรือโครงสร้างของเนื้อเยื่อ โดยเฉพาะผลไม้มักมีเซลล์ที่ประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก (pores หรือ intercellular spaces) ในภาวะปกติรูพรุนเหล่านี้จะเต็มไปด้วยก๊าซหรือของเหลว (native liquid หรือ สารประกอบที่อยู่ภายในเซลล์ผลไม้อาจเป็นพวกกรดอินทรีย์ หรือสารสี เป็นต้น) (Anino *et al.*, 2006; ดนัย, 2534) ซึ่งขั้นตอนการลดความดันที่ระดับสุญญากาศ ทำให้อากาศถูกขับออกจากรูพรุนเหล่านี้ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาตรก๊าซกับของเหลว (air and liquid volume fractions) ทำให้ปริมาตรก๊าซที่อยู่ในโครงสร้างของผลไม้นั้นน้อยลง และเมื่อเพิ่มความดันให้กลับมาอยู่ที่ความดันบรรยากาศ แรงดันที่เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการปรับสภาวะสุญญากาศ (Salvatori *et al.*, 1998) อาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมิลเคิลลามาแลค่า และความยืดหยุ่น (elasticity) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเสียรูปร่างของเซลล์ และทำให้เซลล์แตกได้ (Chiralt *et al.*, 2001) นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าสภาวะสุญญากาศที่ใช้ใน

การทดลองนี้มากเกินไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลทำให้เซลล์ได้รับความเสียหาย และทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง

นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่ 0 ถึง 60 วัน พบว่าตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายทุกกลุ่มทดลอง มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้อเพียงเล็กน้อย โดยค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเป็นเพราะในระหว่างการเก็บรักษา อาจเกิดการตกผลึกน้ำแข็งซ้ำ (ice recrystallization) ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายโครงสร้างของเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดความเสียหายมากขึ้น



ภาพที่ 16 ค่าความแน่นเนื้อของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 , 30 และ 60 วัน

หมายเหตุ a-d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.6 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็ง

เนื่องจากเนื้อผลไม้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์พาราไคม่า (parenchyma) ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งเต็มไปด้วยน้ำและอาหารสะสม มีช่องว่างระหว่างเซลล์มาก เมื่อนำไปแช่เยือกแข็งจึงเกิดผลึกน้ำแข็งปริมาณมาก มีผลทำให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์ ส่งผลให้เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งเซลล์จะไม่กลับมาเป็นรูปร่างและความเต่งของเซลล์ (turgidity) เหมือนเดิม อาหารจะนิ่มและสารต่างๆ ในเซลล์จะไหลออกจากเซลล์ที่เสียหาย เกิดการสูญเสียของเหลวหลังการละลาย ดังนั้นในการทดลองนี้จึงวัดปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายของตัวอย่างแคนตาลูป โดยคำนวณปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งตามวิธีการของ Marani *et al.* (2001)

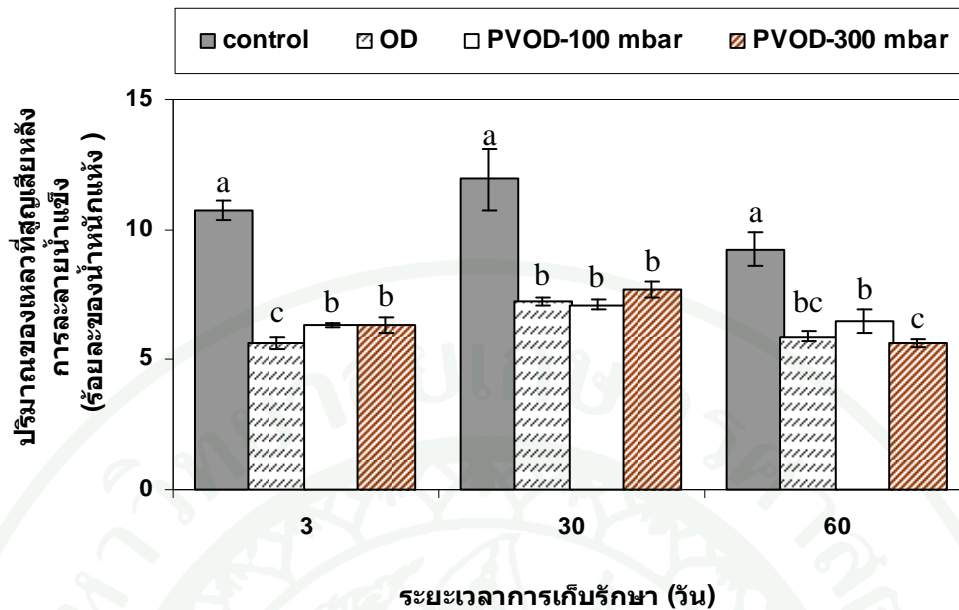
ผลจากการวัดปริมาณของเหลวที่สูญเสียของตัวอย่างแคนตาลูปหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลาย ที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ แสดงในภาพที่ 17 (ตารางภาคผนวกที่ ค3) ผลการทดลองพบว่า ที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 3, 30 และ 60 วัน ตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ จะมีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ ทำให้ตัวอย่างมีค่าปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายลดลงประมาณร้อยละ 50 สอดคล้องกับการทดลองของงามจิตร (2549) ที่แช่ขึ้นเงาะในสารละลายน้ำตาล 3 ชนิด (ซูโครส เทรฮาโลส และ มอลติทอล) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ประมาณร้อยละ 50 เช่นกัน จากผลที่ได้แสดงว่าการแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลซูโครส (ทั้งที่ความดันบรรยากาศและความดันสุญญากาศ) ช่วยลดปริมาณน้ำก่อนการแช่เยือกแข็ง ทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกแช่เยือกแข็งในผลไม้ลดลง ดังนั้นความเสียหายที่เกิดกับเซลล์ของผลไม้เนื่องจากผลึกน้ำแข็งจึงลดลง ส่งผลให้ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งลดลงด้วยเช่นกัน (Marani *et al.*, 2001)

จากภาพที่ 17 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 วัน วิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบมีผลทำให้ตัวอย่างแคนตาลูปมีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ (OD) มีปริมาณของเหลวที่สูญเสียน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์ (PVOD-100 และ PVOD-300 mbar) ซึ่งมีค่าปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับ Talens *et al.* (2001) ที่พบว่าตัวอย่างกีวี (kiwi fruits) ที่ผ่านการออสโมซิสใน

สารละลายซูโครสแปรความเข้มข้น (35-65 °บริกซ์) ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ที่ความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ มีปริมาณการสูญเสียของเหลวมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศที่สภาวะเดียวกัน

การใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลให้มีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสันนิษฐานว่า การเปลี่ยนแปลงความดันในขั้นตอนของการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ นั้น น่าจะเป็นเหตุผลหลัก โดยอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลต่อปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายได้ 2 กรณี คือ กรณีแรก การเปลี่ยนแปลงความดันมีผลต่อปริมาณน้ำภายในเซลล์ เนื่องจากการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศนั้นจะทำให้ก๊าซที่อยู่ในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของผลไม้ขยายตัวและเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ ทำให้เกิดช่องว่างและมีการเคลื่อนที่ของน้ำที่อยู่รอบๆ เข้าไปในช่องว่างหรือรูพรุนได้มากขึ้น ในขณะที่โครงสร้างที่เป็นรูพรุนของผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนที่เป็นรูพรุนยังเต็มไปด้วยแก๊ส จากลักษณะดังกล่าวทำให้ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศมีปริมาณน้ำมากในส่วนของช่องว่างของเซลล์ จึงเกิดผลึกน้ำแข็งมากเมื่อนำมาแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้เซลล์ได้รับความเสียหาย นอกจากนี้ก๊าซที่อยู่ในรูพรุนยังทำหน้าที่เป็นตัวปกป้องโครงสร้างของผลไม้ โดยช่วยลดปริมาตรของน้ำที่จะขยายตัวเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งด้วย (Talens *et al.*, 2001) กรณีที่สองคาดว่า เป็นเพราะการเปลี่ยนแปลงความดัน มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเสียรูปร่างของเซลล์ (ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.5) ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างมาละลายน้ำแข็ง เซลล์จะไม่กลับมามีรูปร่างและความเต่งของเซลล์ (turgidity) เหมือนเดิม สารต่างๆ ในเซลล์จะไหลออกจากเซลล์ที่เสียหาย ทำให้มีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายเพิ่มสูงขึ้น (Fellows, 1990)

ส่วนที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 30 และ 60 วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณของเหลวที่สูญเสียระหว่างตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศและที่ความดันบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลดังกล่าวสันนิษฐานว่าเป็นเพราะในระหว่างการเก็บรักษา อาจเกิดการตกผลึกน้ำแข็งซ้ำ (ice recrystallization) ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นในตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ส่งผลให้มีการทำลายโครงสร้างของเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดความเสียหายมากขึ้น และมีปริมาณของเหลวที่สูญเสียเพิ่มมากขึ้นซึ่งให้ผลทำนองเดียวกับค่าเนื้อสัมผัส



ภาพที่ 17 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบผลการลดน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ ที่มีต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง เมื่อเก็บรักษาภายในระยะเวลา 60 วัน พบว่าวิธีการออสโมซิสที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง คือ การลดน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ โดยพิจารณาที่ค่าความแน่นเนื้อและปริมาณของเหลวที่สูญเสียของตัวอย่างแคนตาลูปภายหลังละลายน้ำแข็งเป็นเกณฑ์ โดยวิธีนี้ทำให้ตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด และมีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งน้อย ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการออสโมซิสในสารละลายซูโครส ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 ที่ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

5. ผลของการเติมแคลเซียมและเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ในการออสโมซิส ต่อคุณภาพของ แคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

การทดลองในขั้นตอนนี้เลือกใช้สภาวะการออสโมซิสที่เหมาะสมจากการทดลองข้อที่ 4 คือ การออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 50 ที่ความดันบรรยากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งให้ดียิ่งขึ้น จากการทดลองที่ผ่านมา ถึงแม้ว่าการลดน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการออสโมซิสจะช่วยให้แคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสยังมีค่าความแน่นเนื้อลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับแคนตาลูปสด สาเหตุที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น ไปที่มุ้งเซลล์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตก เกิดความเสียหายกับผนังเซลล์ มีผลทำให้สูญเสียความแน่นเนื้อ เนื้อผลไม้นุ่มลง นอกจากนี้การสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ในขั้นตอนของการออสโมซิส อาจทำให้ความดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์ของผลไม้ลดลง ทำให้เซลล์อ่อนนุ่มลงได้เช่นกัน (จริงแท้, 2546) ดังนั้นเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งให้ดีขึ้น จึงมีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ (PME) จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ พบว่าการเติมแคลเซียม หรือเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ จากภายนอกสามารถช่วยรักษาความแน่นเนื้อของผลไม้ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาได้ เช่น แอปเปิล (Castello *et al.*, 2009) แคนตาลูป (Luna-Guzman *et al.*, 1999) เป็นต้น

ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกใช้การเติมแคลเซียมคลอไรด์ และ เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 50 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง จากรายงานความเข้มข้นของแคลเซียมที่เหมาะสมสำหรับการแช่ผักและผลไม้ในช่วงร้อยละ 0.5-3 (Martin-Diana *et al.*, 2007) ซึ่ง Guillemin *et al.* (2008) รายงานว่าการแช่แอปเปิลในสารละลายออสโมซิส ที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ (*Aspergillus niger* PME) ร้อยละ 3 ทำให้แอปเปิลพาสเจอไรซ์มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ประกอบกับ Luna-Guzman *et al.* (2000) พบว่าการแช่เมลอนตัดแต่งในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงทำให้เกิดรสเค็ม (salty) สำหรับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เลือกใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.12 เนื่องจาก Degraeve *et al.* (2003) พบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ (0.0048-3%) ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความแน่นเนื้อ โดยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.12 เป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ทำให้มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้

แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 0.12 สำหรับการทดลองนี้

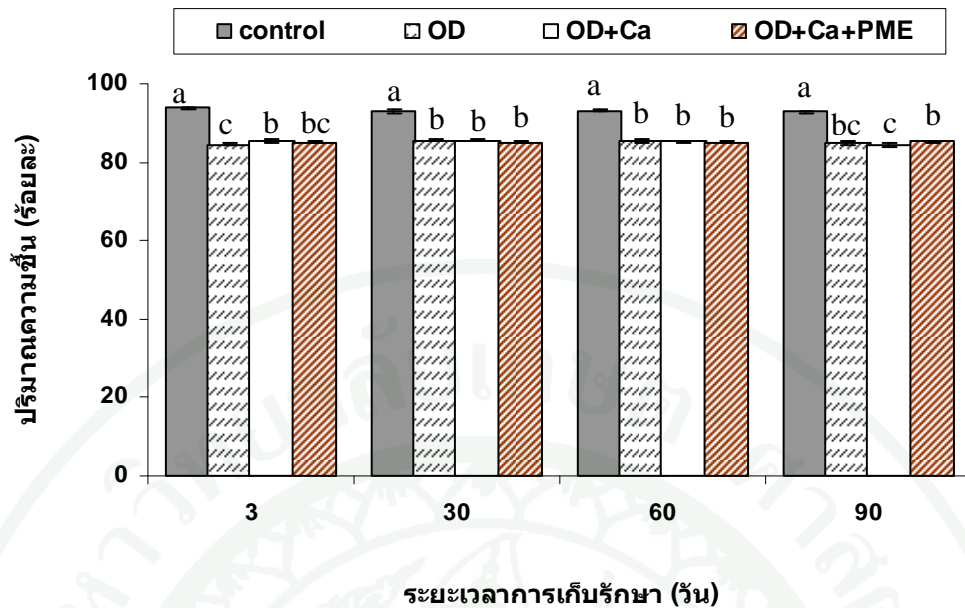
5.1 ปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°บริกซ์)

ผลการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิส ในสารละลายต่างๆ คือ สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 (กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์คือ OD) สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 ผสมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 (กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์คือ OD+Ca) และสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 ผสมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 0.12 (กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์คือ OD+Ca+PME) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 0 ถึง 90 วัน เปรียบเทียบกับตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)

ผลของการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ต่อปริมาณความชื้นของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลาย แสดงในภาพที่ 18 (ตารางภาคผนวกที่ ค5) จากการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิด มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (0-90 วัน) ทั้งนี้การเติมแคลเซียม หรือแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นที่ลดลงของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลาย

สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ พบว่า ตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายต่างๆมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่ามากกว่าประมาณ 8 °บริกซ์ (ภาพที่ 19) และการเติมแคลเซียม หรือแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายเช่นกัน

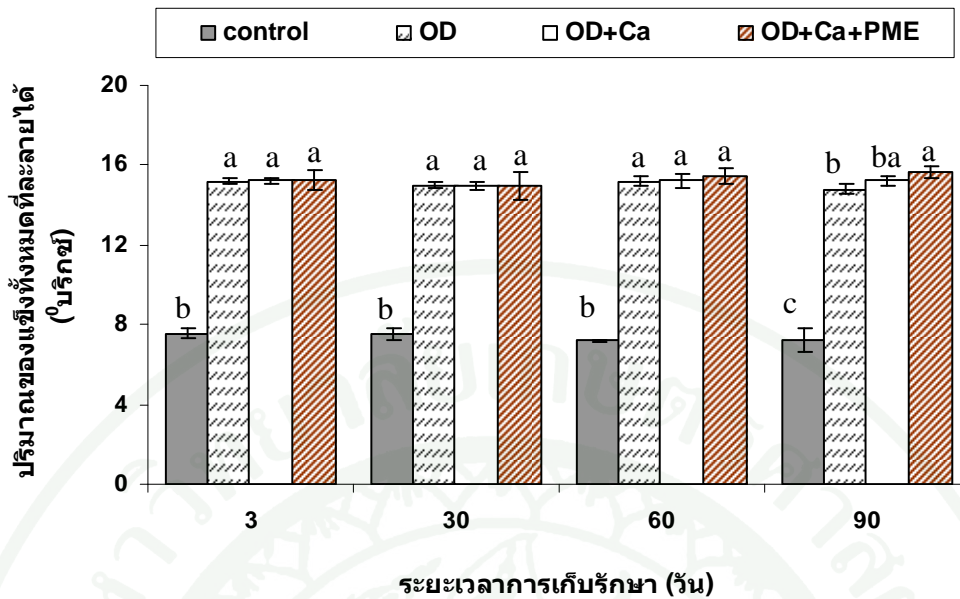
นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่ 0 ถึง 90 วัน พบว่าตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายทุกกลุ่มทดลอง มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นเพียงเล็กน้อย (ตารางภาคผนวกที่ ค5)



ภาพที่ 18 ปริมาณความชื้นของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองในขั้นตอนที่สี่ ที่พบว่าเมื่อแช่ตัวอย่างแคนตาลูปในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 50 ที่ความดันบรรยากาศ จะทำให้ตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลาย มีปริมาณความชื้นลดลง ในขณะที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการแช่ผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า (hypertonic solution) และมีค่าออสโมติกิตีต่ำกว่า (ในการทดลองนี้คือสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 50) ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายภายนอก เกิดเป็นแรงขับ ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายภายนอกจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าโดยผ่านเซลล์เมมเบรนของผลไม้ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน ส่งผลให้น้ำภายในเซลล์ผลไม้จะแพร่ออกสู่สารละลาย ในขณะที่ตัวถูกละลายจะแพร่เข้าสู่เซลล์ของผลไม้ ทำให้ผลไม้มีความชื้นลดลง และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น (Forni *et al.*, 1997)



ภาพที่ 19 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่านและการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ตารางที่ 8 แสดงผลของการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลาย โดยพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างคล้ายกัน คือ ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด และมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างทางสถิติกับตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาล ($p > 0.05$) รองลงมา คือ ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่เติมแคลเซียม และ ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่เติมแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรสจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 8 ค่าความเป็นกรด-ด่างของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

การออสโมซิสใน สารละลาย	ค่าความเป็นกรด-ด่าง			
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
	3	30	60	90
control	6.25±0.04 ^{aA}	6.12±0.06 ^{aB}	6.31±0.05 ^{aA}	6.05±0.03 ^{aB}
OD	6.15±0.05 ^{aA}	6.03±0.03 ^{aB}	6.06±0.06 ^{bB}	6.03±0.01 ^{aB}
OD+Ca	5.41±0.02 ^{bB}	5.47±0.08 ^{bAB}	5.43±0.04 ^{cB}	5.53±0.08 ^{bA}
OD+Ca+PME	5.26±0.11 ^{cB}	5.38±0.06 ^{bA}	5.23±0.02 ^{dB}	5.25±0.03 ^{cB}

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

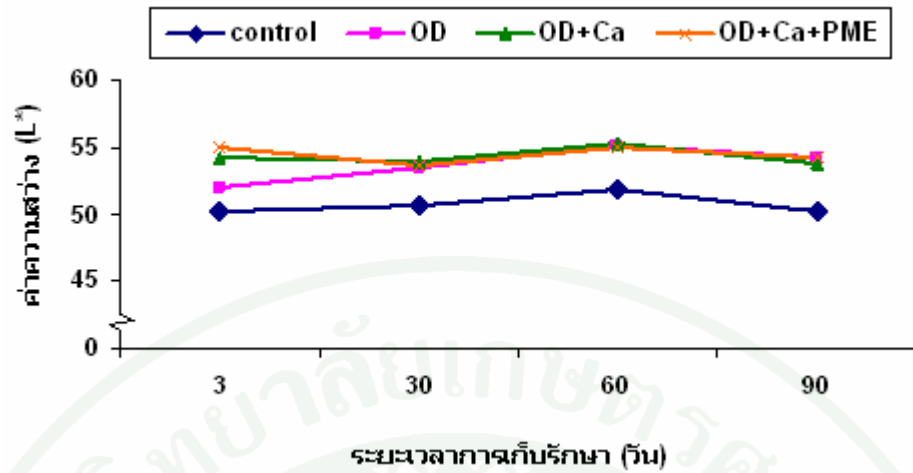
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมแคลเซียมคลอไรด์ และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส ทำให้ตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เนื่องจากการเติมแคลเซียมคลอไรด์ และเอนไซม์ทำให้สารละลายออสโมซิสมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายออสโมซิสที่ไม่ได้เติม (ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ๗) โดยพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายออสโมซิสที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรสมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด (มีค่าเท่ากับ 5.17) รองลงมาคือสารละลายออสโมซิสที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ (มีค่าเท่ากับ 5.32) และสารละลายออสโมซิสที่ไม่ได้เติม (มีค่าเท่ากับ 5.97) ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างมาแช่ในสารละลายออสโมซิสเหล่านี้จึงทำให้ตัวอย่างแคนตาลูปหลังแช่มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงด้วย สอดคล้องกับ Quintero-Ramos *et al.* (2002) ที่ศึกษาผลของการลวกชิ้นแคโรทในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ (0.05-0.60 โมลาร์) พบว่า นอกจากแคลเซียมจะช่วยให้ตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแล้ว ยังมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงด้วย และจากการทดลองของ Perez-Aleman *et al.* (2005) พบว่าการลวกพริกไทย (jalapeno pepper) ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการแช่เยือกแข็ง ทำให้ตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง

5.3 ค่าสี ($L^* a^* b^*$)

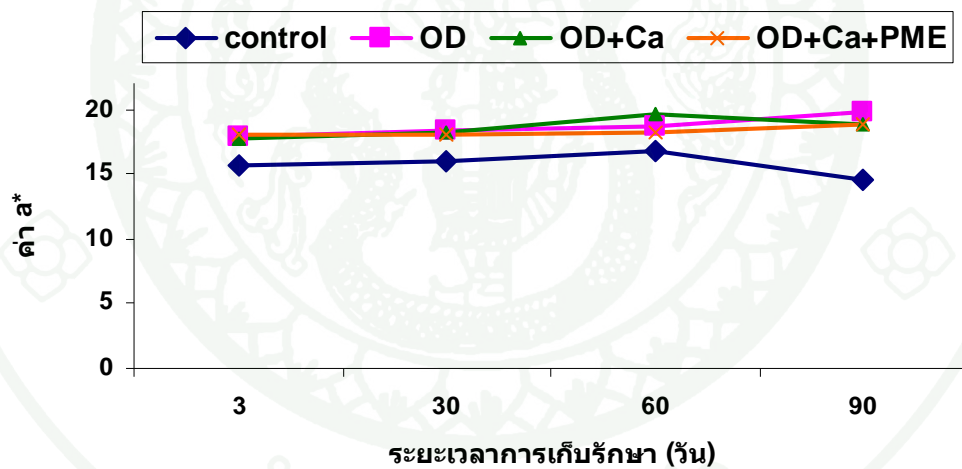
ภาพที่ 20 แสดงค่าสีในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ ของตัวอย่างแคนตาลูปหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน ผลการทดลองพบว่าการแช่เยือกแข็งทำให้ตัวอย่างแคนตาลูปมีค่าความสว่างลดลง โดยมีค่า L^* อยู่ในช่วง 50-54 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสดซึ่งมีค่า L^* เท่ากับ 58 (ตารางภาคผนวกที่ 6) และตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 แบบจะมีค่า L^* มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายออสโมซิสทั้ง 3 ชนิด พบว่าตัวอย่างมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาตั้งแต่ 0 ถึง 90 วัน

ส่วนค่าสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ แสดงในภาพที่ 21 และ 22 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสจะมีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 แบบมีค่าทั้งสีแดงและสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาสีของเนื้อแคนตาลูปจากการสังเกตด้วยสายตา พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลมีสีส้มเข้มขึ้น สอดคล้องกับผลการวัดค่าสีของตัวอย่างมีค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และสอดคล้องกับผลการวัดค่าสีที่ได้ในการทดลองขั้นที่สี่ (ภาพที่ 13 และ 14) และการทดลองของ Rodrigues *et al.* (2003) ที่พบว่าการแช่ตัวอย่างมะละกอในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น และค่าสีจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่ที่นานขึ้นและมีค่าคงที่หลังจากแช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นอกจากนี้ Dermesonlouoglou *et al.* (2007) รายงานว่ามะเขือเทศแช่เยือกแข็งหลังละลายที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ (สารละลายกลูโคส มอลโตเด็คซ์ตริน และ โอลิโก-ฟรุกโทส) มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส การที่ตัวอย่างมีค่าสีเพิ่มขึ้นคาดว่าเป็นผลมาจาก 2 ปัจจัย คือ หนึ่งการลดปริมาณน้ำในตัวอย่างทำให้เพิ่มความเข้มข้นของระบบ และสองคือการที่ตัวถูกละลาย (โมเลกุลของน้ำตาล) แพร่เข้าไปในเซลล์ทำให้มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น (solids uptake) ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าสีเพิ่มขึ้น

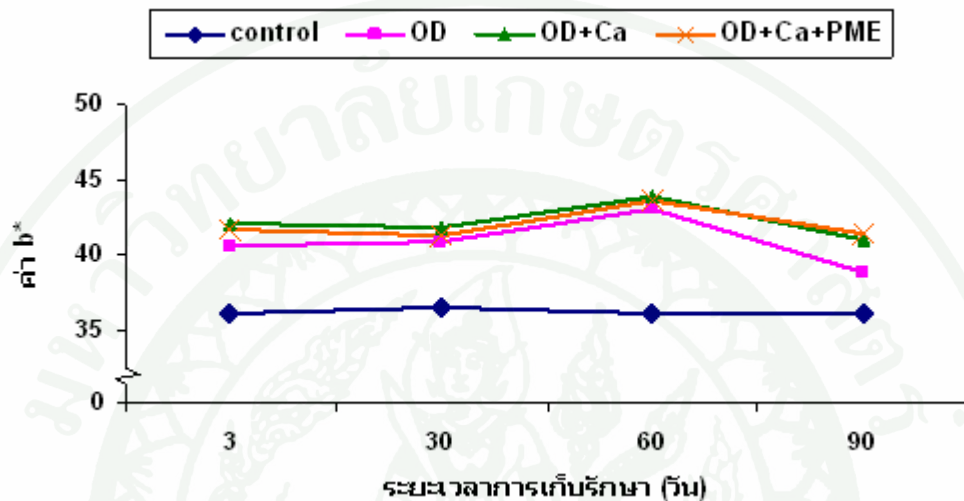


ภาพที่ 20 ค่าความสว่าง (L^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน



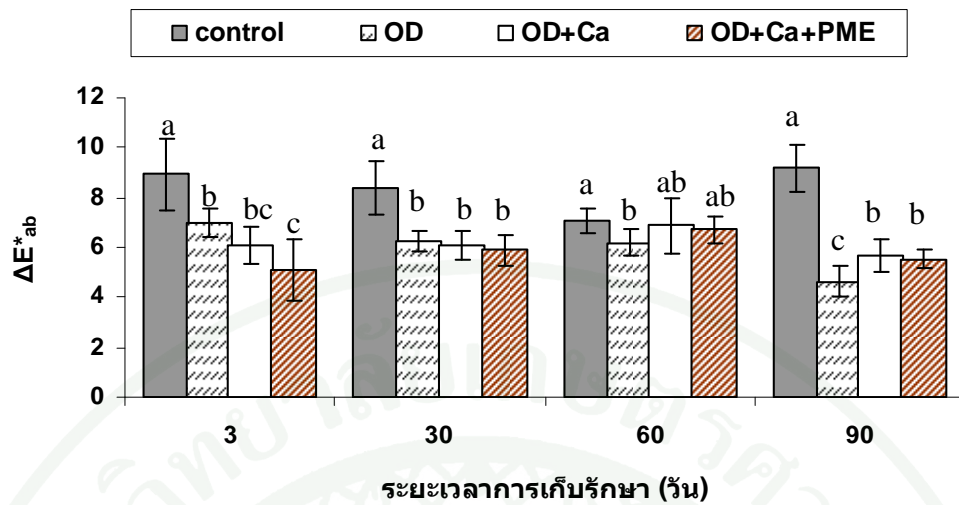
ภาพที่ 21 ค่าสีแดง (a^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมแคลเซียม หรือแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์ เพกทินเมทิลเอสเทอเรส ในสารละลายออสโมซิสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (ค่าความสว่าง ค่าสีแดงและค่าสีเหลือง) ของตัวอย่างแคนตาลูปหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลาย ตลอดระยะเวลา การเก็บรักษา (0 ถึง 90 วัน)



ภาพที่ 22 ค่าสีเหลือง (b^*) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ใน สารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

เมื่อนำค่าสีจากการวัดสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ มาคำนวณค่า ΔE^*_{ab} ซึ่งเป็นค่าที่บ่ง บอความแตกต่างของค่าสีของแคนตาลูปเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับค่าสี ของแคนตาลูปสด โดยผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลาย แสดงดังภาพที่ 23 พบว่าค่า ΔE^*_{ab} ของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการ ออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิด มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าสีของแคนตาลูปมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าและมีค่าใกล้เคียงกับแคนตาลูปสดมากกว่า ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส สอดคล้องกับ Dermesonlouoglou *et al.* (2008) ที่วัดค่าสีของ ตัวอย่างแช่เยือกแข็ง (frozen cucumber) พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการ ออสโมซิสมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายโพลิโกฟรุคโทสและมอลโต- เด็กซ์ตริน



ภาพที่ 23 ค่า ΔE^*_{ab} ของแกนตาปลูกแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

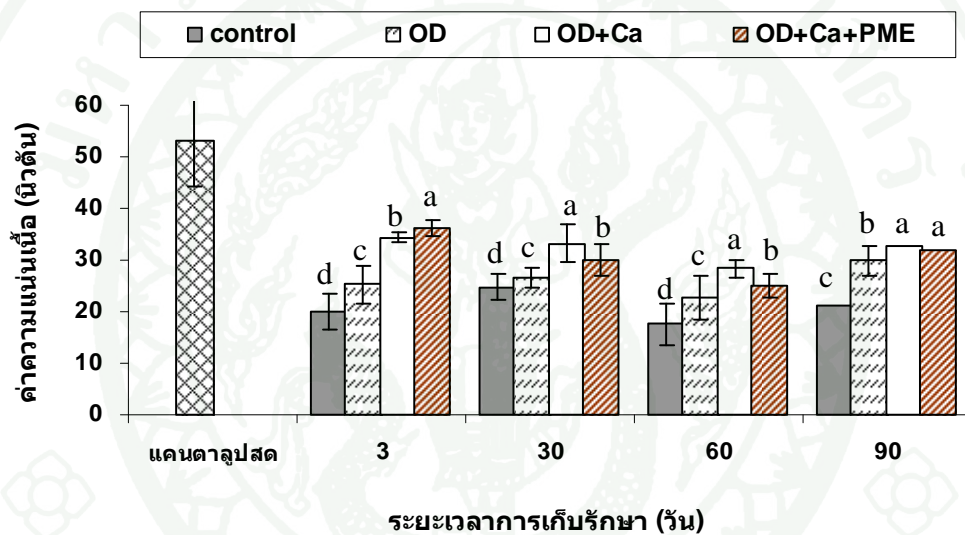
หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

การวัดเนื้อสัมผัสของแกนตาปลูกแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออกซิโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าแรงจากการกดตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแกนตาปลูกหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลาย ทั้งที่ไม่ผ่าน และผ่านการออกซิโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะของ compression curve แตกต่างจากตัวอย่างแกนตาปลูกสดอย่างชัดเจน (แสดงในภาพภาคผนวกที่ ค2)

จากภาพที่ 24 พบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน ตัวอย่างแกนตาปลูกแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิด มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าการออกซิโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิด สามารถช่วยรักษาความแน่นเนื้อของตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งและทำละลายได้

เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 3 วัน พบว่า ตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลผสมแคลเซียมและเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส จะมีความแน่นเนื้อสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลผสมแคลเซียม และตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาภายในระยะเวลา 90 วัน พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลผสมแคลเซียม และสารละลายน้ำตาลผสมแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีค่ามากกว่า ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาล ส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส จะมีความแน่นเนื้อต่ำที่สุด



ภาพที่ 24 ค่าความแน่นเนื้อ(Firmness value) ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

หมายเหตุ a-d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การเติมแคลเซียม หรือแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส ในสารละลายน้ำตาล สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายได้ โดยทำให้ตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มสูงขึ้น น่าจะเกิดจาก 2 ปัจจัยที่สำคัญ ปัจจัยแรกคือ ผลของการแช่ตัวอย่างในสารละลายน้ำตาล ทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิส ส่งผลให้ตัวอย่างมีปริมาณน้ำลดลง จึงลดปริมาณผลึกน้ำแข็งและความเสียหายเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นก็ลดลงด้วยเช่นกัน ส่วนปัจจัยที่สองคือผลของแคลเซียมและเอนไซม์ที่เติมลงไปในสารละลาย เนื่องจากแคลเซียมสามารถสร้างพันธะระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl groups) ของเพกทินที่ผนังเซลล์ ทำให้เกิดการเชื่อมข้ามระหว่างสายเพกทิน ส่งผลให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อจึงมีค่าสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองจากภาพที่ 24 จะเห็นว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ (OD+Ca) มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายน้ำตาลที่ไม่เติมแคลเซียม (OD) และสอดคล้องกับการทดลองของ Monsalve-Gonzalez *et al.* (1993) ที่ศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการออสโมซิสขึ้นแปปเปิดในสารละลายซูโครส 50 °บริกซ์ อุณหภูมิการแช่ 30 °ซ พบว่าการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.30 และ 0.60 มีผลต่ออัตราส่วนค่าความแข็งระหว่างแปปเปิดที่ผ่านการออสโมซิสและแปปเปิดสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเติมแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส พบว่าสามารถทำให้ตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเติมแคลเซียมเพียงอย่างเดียว ซึ่งนักวิจัยหลายท่านได้สันนิษฐานว่าเป็นเพราะเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการแยกกลุ่มเมทิลออกจากเพกทิน ทำให้ได้หมู่คาร์บอกซิลอิสระ (ภาพที่ 4A) ซึ่งหมู่คาร์บอกซิลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนบริเวณมิลเคิลแลมเลล่า และผนังเซลล์ของผลไม่เกิดการเชื่อมโยงข้าม (crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลบนสายของเพกทินและประจุของแคลเซียมไอออน เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเตต ซึ่งไม่ละลายน้ำ จึงทำให้เนื้อผลไม่มีความแน่นเนื้อและคงรูปอยู่ได้ (Guillemin *et al.*, 2006) สอดคล้องกับ Guillemin *et al.* (2008) ที่ศึกษาผลของการแช่ขึ้นแปปเปิดในสารละลายของเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส และแคลเซียม ที่ความดันสูญญากาศ ก่อนนำไปผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ พบว่าขึ้นแปปเปิดพาสเจอร์ไรซ์ที่แช่ในสารละลายของเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์สและแคลเซียม มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด โดยการเติมเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์สทำให้ระดับของการเกิด methyl-esterification ของสายเพกทินมีค่าลดลงจาก 82% เป็น 45% ซึ่งเป็นการสนับสนุนสมมติฐานที่ว่าเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส จะไปเร่งปฏิกิริยาการแยกกลุ่มเมทิลออกจากเพกทิน ทำให้ได้หมู่คาร์บอกซิลอิสระที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับแคลเซียม ทำให้เพิ่มความหนาแน่นของเพกทิน ส่งผลให้เนื้อเยื่อแปปเปิดมีความแน่นแข็งมากขึ้น

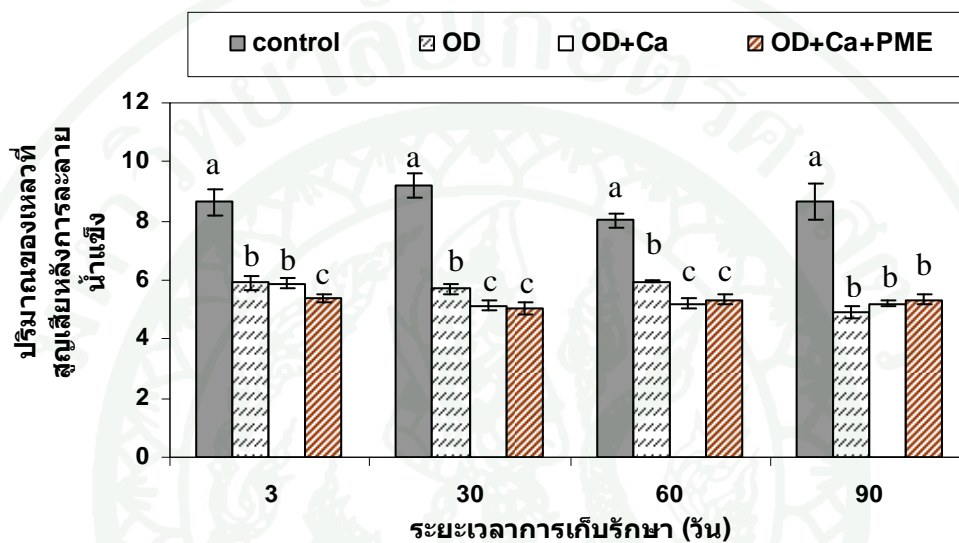
อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลผสมแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เรส มีค่าความแน่นเนื้อลดลง และมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่เติมแคลเซียม จากการทดลองของ Banjongsinsiri *et al.* (2004) พบว่าตัวอย่างมะเขือ (egg plant) ที่ผ่านการแช่ในสารละลายของ แคลเซียมคลอไรด์และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เรส (fungal PME) จะมีค่าความแข็ง (hardness) สูงมากกว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่ไม่เติมแคลเซียมหรือเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เรส เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 7 วัน และตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายของแคลเซียมคลอไรด์และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เรสจะมีค่าความแข็งลดลง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -34 °ซ ที่ระยะเวลาเดียวกัน โดยมีค่าความแข็งไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่เติมแคลเซียมอย่างเดียว แสดงว่าการเติมแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เรสไม่สามารถป้องกันการสูญเสียเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็งลดลง) ของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งคาดว่าเพราะการแพร่ของเอนไซม์เข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้น้อย และเข้าไปไม่ลึก ประกอบกับอาจมีการตกผลึกน้ำแข็งเข้าไปในตัวอย่างไม่ดี ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายโครงสร้างของเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดความเสียหายมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

5.5 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลาย

ปริมาณของเหลวที่สูญเสียเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการกำหนดคุณภาพของผลไม้แช่เยือกแข็ง โดยตัวอย่างที่มีปริมาณของเหลวที่สูญเสียมากแสดงถึงการสูญเสียของเนื้อสัมผัสและปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากในระหว่างการละลาย (Chauhan *et al.* 2009) จากภาพที่ 25 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิดมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 0 ถึง 90 วัน เนื่องจากการแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาล ช่วยลดปริมาณน้ำก่อนการแช่เยือกแข็ง ทำให้มีปริมาณน้ำที่ถูกแช่เยือกแข็งลดลง ความเสียหายที่เกิดกับเซลล์ผลไม้เนื่องจากผลึกน้ำแข็งจึงลดลงด้วย

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายออสโมซิสที่แตกต่างกัน ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 วัน พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลผสมแคลเซียมและเอนไซม์มีปริมาณของเหลวที่สูญเสียน้อยกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลผสมแคลเซียมและสารละลายน้ำตาลอย่างเดียว ซึ่งมีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลการวัดปริมาณของเหลวที่

สูญเสียหลังการละลายที่ได้ สอดคล้องกับผลการวัดค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่าง และสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน คือ การเติมเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เรส จะช่วยเพิ่มหมู่คาร์บอกซิลอิสระที่จะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) (ที่เติมลงไป) บริเวณมิดเคิลลามลล่า และผนังเซลล์ของผลไม้เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเตต ซึ่งไม่ละลายน้ำ จึงทำให้เนื้อผลไม้มีความแน่นเนื้อและคงรูปอยู่ได้



ภาพที่ 25 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อย่างไรก็ตามพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 30 และ 60 วัน ปริมาณของเหลวที่สูญเสียของตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่เติมแคลเซียมและสารละลายที่เติมแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์เรส มีค่าน้อยที่สุด และแตกต่างกับตัวอย่างที่แช่ในสารละลายน้ำตาลอย่างเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 90 วัน ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมซิสทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเป็นเพราะในระหว่างการเก็บรักษาผลึกน้ำแข็งนี้เกิดการโตของผลึกน้ำแข็ง (ice recrystallization) ส่งผลให้มีการทำลาย

โครงสร้างของเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดความเสียหายมากขึ้นและมีปริมาณของเหลวที่สูญเสียเพิ่มมากขึ้น (Fennema *et al.*, 1973)

5.6 ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้า (ash content) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของอาหาร เถ้าเป็นส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาอาหารที่อุณหภูมิสูง จนกระทั่งสารอินทรีย์ถูกเผาไหม้ไปหมด เถ้าที่เหลือจากการเผาจะแสดงเป็นค่าโดยประมาณของปริมาณแร่ธาตุในอาหารทั้งหมด โดยทั่วไปแร่ธาตุในเถ้าจะประกอบด้วยโปตัสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีในปริมาณมาก

ในการทดลองนี้ได้มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในสารละลายในขั้นตอนของการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็ง และจากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างแคนตาลูปหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายที่มีการเติมแคลเซียม และแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่ไม่ได้เติม และตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) ซึ่งได้อธิบายเหตุผลว่าเป็นเพราะผลของแคลเซียมที่เติมลงไป ในสารละลาย สามารถแพร่เข้าไปในแคนตาลูป และเกิดกลไกที่ช่วยให้ตัวอย่างแคนตาลูปมีค่าความแน่นเนื้อมากขึ้น (ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.4) ดังนั้นเพื่อยืนยันผลของแคลเซียมที่ทำให้ตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น จึงได้ทำการวัดปริมาณเถ้าในตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ถึงแม้ว่าจะไม่ได้วัดปริมาณของแคลเซียมโดยตรง แต่ปริมาณเถ้าที่วัดได้ก็เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุในตัวอย่างได้ ซึ่งคาดว่าปริมาณเถ้าที่เปลี่ยนแปลงไปน่าจะเกิดจากการที่ตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 9 ปริมาณเถ้าของแคนตาลูปที่ไม่ผ่าน และผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ ก่อนการแช่เยือกแข็ง

ทริตเมนต์การทดลอง	ปริมาณเถ้า (ร้อยละของน้ำหนักเปียก)
control	0.31±0.003 ^b
OD	0.29±0.004 ^b
OD+Ca	0.35±0.001 ^a
OC+Ca+PME	0.37±0.007 ^a

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 9 แสดงปริมาณเถ้าของแคนตาลูปที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิด ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่เติมแคลเซียมและสารละลายที่เติมแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส มีปริมาณเถ้ามากกว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายน้ำตาลและตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ (หรือแคนตาลูปสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ตัวอย่างที่แช่ในสารละลายน้ำตาลและตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่จะมีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แสดงว่าแคลเซียมที่เติมลงไปโดยสารละลาย สามารถแพร่เข้าไปในชั้นแคนตาลูปในระหว่างการออสโมซิส ทำให้ชั้นแคนตาลูปมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้นด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการศึกษาผลของอัตราการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง พบว่า อัตราการแช่เยือกแข็งมีผลต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง โดยตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบปานกลางและเร็วจะมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้า และมีค่าปริมาณการสูญเสียของเหลวน้อยกว่าเช่นกัน

2. จากการศึกษาผลของวิธีการลดน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการออสโมซิส ทั้ง 3 แบบ คือการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์ ต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบก่อนการแช่เยือกแข็งจะมีปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่ได้รับสูงขึ้น โดยวิธีการออสโมซิสที่แตกต่างกันทั้ง 3 แบบไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อตรวจสอบคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็ง น้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ในขณะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นในตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิส โดยวิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ส่วนค่าความแน่นเนื้อ (firmness value) ของตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ พบว่ามีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุม และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการออสโมซิส 3 แบบ ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศมีค่าสูงที่สุดมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสที่ความดันสุญญากาศ 100 และ 300 มิลลิบาร์

3. สำหรับคุณภาพด้านสี พบว่าตัวอย่างแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 3 แบบ มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงว่าสีของแคนตาลูปมีค่าใกล้เคียงกับแคนตาลูปสดมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส โดยวิธีการออสโมซิสทั้ง 3 แบบมีการเปลี่ยนแปลงสีไม่แตกต่างกัน ดังนั้นวิธีการออสโมซิสที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งสำหรับการทดลองนี้ คือ วิธีการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ

4. การเติมแคลเซียมคลอไรด์ หรือแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส ในสารละลายน้ำตาลในระหว่างกระบวนการออสโมซิส ไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณความชื้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ การเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างการเก็บรักษา และปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลาย โดยพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลผสมแคลเซียม และแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่แช่ในสารละลายน้ำตาลอย่างเดียว อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมแคลเซียม และแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส จะทำให้ตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง คาดว่าเป็นเพราะการเติมแคลเซียม และแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส มีผลทำให้สารละลายออสโมซิสมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง

3. การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในสารละลายน้ำตาลในระหว่างกระบวนการออสโมซิสทำให้แคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลผสมเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส จะมีค่าความแน่นเนื้อสูงในช่วงแรกของการเก็บรักษา (3 วัน) แสดงให้เห็นว่า แคลเซียม และเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์ส มีประสิทธิภาพในการรักษาความแน่นเนื้อของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งได้ โดยประสิทธิภาพของเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์สจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

4. การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในสารละลายน้ำตาลในระหว่างกระบวนการออสโมซิสทำให้แคนตาลูปมีปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่ามีการแพร่ของแคลเซียมเข้าไปในเนื้อของแคนตาลูปในระหว่างกระบวนการออสโมซิส

5. สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพ และลดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่าง ๆ ของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งได้ดีที่สุดในงานวิจัยนี้คือ การลดน้ำบางส่วนด้วยวิธีการออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 50 ที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดปริมาณน้ำบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการออสโมซิสแบบต่างๆ ต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่เยือกแข็ง ซึ่งพบว่าสำหรับแคนตาลูปนั้นวิธีการออสโมซิสในสภาวะความดันบรรยากาศเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษางานวิจัยเบื้องต้น จะเห็นว่าผลไม้แต่ละชนิด ซึ่งมีลักษณะ โครงสร้างที่แตกต่างกัน จึงทำให้เกิดความแตกต่างของผลการทดลอง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับผลไม้แต่ละชนิด เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์จริงในระดับอุตสาหกรรม
2. ควรมีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วย เพื่อทดสอบการยอมรับทั้งทางด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมของผู้ทดสอบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่เยือกแข็ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมส่งเสริมการส่งออก, กระทรวงพาณิชย์. 2551. การส่งออกสินค้าสำคัญของไทย ปี 2544-2548.

แหล่งที่มา: <http://www.ops2.moc.go.th/meeting/bb.xls>, 15 มิถุนายน 2551.

คำนึ่ง คำอุดม. 2531. แคนตาลูป. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ.

จิราพร กอศรีบุตร. 2549. ผลของน้ำตาอินเวิร์ตต่อการทำแห้งและคุณภาพของแคนตาลูป *Cucumis melo* L. เชื่อมอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งามจิตร โล่วิฑูร. 2551. การปรับปรุงคุณภาพของเงาะแช่เยือกแข็งโดยวิธีการออสโมดีไฮเดรชันด้วยน้ำตาลบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คนัย บุญเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เดลินิวส์. 2552. กรุงเทพฯ: 20 มกราคม 2552. หน้า 16.

ธงชัย เนมขุนทด. 2531. แคนตาลูป. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน, กรุงเทพฯ.

ศุลกากร, กรม. 2548. ข้อมูลการส่งออกแคนตาลูป.

แหล่งที่มา: <http://www.nfi.or.th/export.htm.>, 15 มิถุนายน 2551.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2546. กระบวนการแช่เยือกแข็งอาหาร, น. 154-186. ใน คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, บรรณาธิการ. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

A.O.A.C. 2000. **Official Method of Analysis**. 17th ed., The Association of official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

Aguayo, E., V.H. Escalona and F. Artes. 2007. Quality of minimally fresh processe *Cucumis melo* var. saccharinus as improved by controlled atmosphere. . **Eur. J. Hort. Sci.** 72:39-45.

_____, _____ and _____. 2008. Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut 'Amarillo' melon. **Postharvest Biol. Technol.** 47: 397-406.

Anino, S.V., D.M. Salvatori and S.M. Alzamora. 2006. Changes in calcium level and mechanical properies of apple tissue due to impregnation with calcium salts. **Food Res. Int.** 39: 154-164.

Banjongsinsiri, P., J. Shields and L. Wicker. 2004. Vacuum infusion of plant or fungal pectinmethylesterase and calcium affects the texture and structure of eggplant. **J. Agric. Food Chem.** 52: 8214-8223.

Barbosa-Canovas, G.V. and H. Vega-Mercado. 1996. **Dehydration of Foods**. Chapman & Hall, New York.

Blond, G. and M.L. Meste. 2004. Principle of Frozen Storage, pp. 25-53. *In* Y.H.Hui, P. Cornillon., I.G. Legaretta, M.H.Lim., K.D. Murrelll and W.K. Nip, eds. **Handbook of Frozen Foods**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Buggenhout, S.V., T. Grauwet, A.V. Loey and M. Hendrickx. 2008. Use of pectinmethylesterase and calcium in osmotic dehydration and osmodehydrofreezing of strawberries. **Eur Food Res Technol.** 226: 1145-1154.

- Castello, M.L., M. Igual, P.J. Fito and A. Chiralt. 2009. Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (Var. Granny Smith). **J. Food Eng.** 91:1-9.
- Charoenrein, S and D. S. Reid. 1989. Effect of freezing conditions and storage temperature on the stability of frozen green beans, pp. 226-228. *In* J. J. Jen, ed. **Quality Factors of Fruits and Vegetables Chemistry and Technology**. American Chemical Society, Washington, DC.
- Chauhan, O.P., A. Shah, A. Singh, P.S. Raju and A.S. Bawa. 2009. Modeling of pre-treatment protocols for frozen pineapple slices. **J. Food Sci. Technol.** 42: 1283-1288.
- Chiralt, A., N.Martinez-Navarrete, J. Martinez-Monzo, P. Talens, G. Moraga, A. Ayala and P. Fito. 2001. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes cryoprotectant effect. **J. Food Eng.** 49:129-135.
- Corzo, O. and E.R. Gomez. 2004. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. **J. Food Eng.** 64: 213-219.
- Degraeve, P., R. Saurel and Y. Coutel. 2003. Vacuum impregnation pretreatment with pectinmethylesterase to improve firmness of pasteurized fruits. **J. Food Sci.** 68:716-721.
- Deng, Y. and Y. Zhao. 2008. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). **J. Food Eng.** 85: 84-93.
- Dermesonlouoglou, E.K., M.C. Giannakourou and P.S. Taoukis. 2007. Kinetic modeling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage. **Food Chemistry.** 103: 985-993.

- _____, _____ and _____. 2007. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. **J Food Eng.** 78: 272-280.
- _____, _____ and _____. 2008. Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. **Innovat. Food Sci. Emerg. Tech.**
- Fellows, P. 1990. **Food Processing Technology: Principles and Practice.** Ellis Horwood Limited, New York.
- Fennema, O.R., W. D. Powrie and E. H. Marth. 1973. **Low Temperature Preservation of Foods and Living Matter.** Marcel Dekker, New York.
- Fermin, W.J. and O. Corzo. 2005. Optimization of vacuum pulse osmotic dehydration of cantaloupe using response surface methodology. **J. Food Proc Pres.** 29: 20-32.
- Fito, P. 1994. Modeling of vacuum osmotic dehydration of foods. **J. Food Eng.** 23: 313-328.
- Forni, E., A. Sormani, S. Scalise and D. Torreggiani. 1997. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. **Food Res. Int.** 30(2): 87-94.
- Guillemin, A., F. Guillon, P. Degraeve, C. Rondeau, M. Devaux, F. Huber, E. Badel, R. Saurel and M. Lahaye. 2008. Firming of fruit tissues by vacuum-infusion of pectinmethylesterase: Visualisation of enzyme action. **Food Chemistry.** 109: 368-378.
- _____, P. Degraeve, F. Guillon, M. Lahaye and R. Saurel. 2006. Incorporation of pectinmethylesterase in apple tissue either by soaking or by vacuum-impregnation. **Enzyme and Microbial Tech.** 38: 610-616.
- Hunt, R.W.G. 1998. **Measuring Color.** Fountain Press, London.

- Izumi, H and A.E. Watada. 1995. Calcium treatments affect storage quality of shredded carrots. **J Food Sci.** 59: 106-109.
- Javeri, H., R. Toledo and L. Wicker. 1991. Vacuum infusion of citrus pectinmethylesterase and calcium effects on firmness of peaches. **J. Food Sci.** 56: 739-741.
- Lazarides, H.N., P. Fito, A. Chiralt, V. Gekas and A. Lenart. 1999. Advance in osmotic dehydration, pp. 176-199. *In* A.R.F. Oliveira and J.C. Oliveira, eds. **Processing Foods, Quality Optimization and Process Assessment.** CRC Press, London.
- Lenart, A. and J.M. Flink. 1984. Osmotic concentration of potato I: Spatial distribution of osmotic effect. **J. Food Technol.** 19: 45-63.
- Li, B. and D.W. Sun. 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing foods- A review. **J. Food Eng.** 54: 175-182.
- Lombard, G.E., J.C. Oliverira, P. Fito and A. Andres. 2008. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **J. Food Eng.** 85: 277-284.
- Luna-Guzman, I. and D.M. Barrett. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. **Postharvest Biol. Technol.** 19(1): 61-72.
- _____, M. Cantwell and D.M. Barrett. 1999. Fresh-cut cantaloupes: Effect of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. **Postharvest Biol. Technol.** 17: 201-213.
- Marani, C.M., M.E. Agnelli and R.H. Mascheroni. 2001. Quality of osmo-frozen products, pp. 187-196. **IIF-IIR Commission c2.** Bristol.

- Martin-Diana, A.B., D. Rico, J.M. Frias, J.M. Barat, G.T.M. Heneham and C. Barry-Ryan. 2007. Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. **Trends Food Sci. Technol.** 18: 210-218.
- Miccolis, V. and M. Saltveit. 1995. Influence of storage period and temperature on the postharvest characteristics of six melon (*Cucumis melo* L., Inodorus Group) cultivars. **Postharvest Biol. Technol.** 5: 211-219.
- Monsalve-Gonzalez, A., G.V. Barbosa-Canovas and R.P. Cavalieri. 1993. Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. **J. Food Sci.** 58: 1118-1124.
- Moreno, J., G. Bugueno, V. Velasco, V. Petzold and G. Tabilo-Munizaga. 2004. Osmotic dehydration and vacuum impregnation on physicochemical properties of chilean papaya (*Carica candamarcensis*). **J. Food Sci.** 69: FEP102-FEP106.
- Mujica-Paz, H., A. Valdez-Fragoso, A. Lopez-Malo, E. Palou and J. Welti-Chanes. 2003. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. **J. Food Eng.** 57: 305-314.
- Panagiotou, N.M., V.T. Karathanos and Z.B. Maroulis. 1999. Effect of osmotic agent on osmotic ehydration of fruits. **Dry Technol.** 17: 175-189.
- Perez-Aleman, R., R. Marquez-Melendez, V. Mendoza-Guzman, J. Jimenez-Castro, L. Torre, B. Rodriguez-Terrazas, J. Barnard and A. Quintero-Ramos. 2005. Improving textural quality in frozen jalapeno pepper by low temperature blanching in calcium chloride solution. **Int. J. Food Sci. Technol.** 40:401-410.
- Ponting, J.D., G.G. Watters, R.R. Forrey, R. Jackson and W.L. Stanley. 1966. Osmotic dehydration of fruits. **Food Tech.** 20: 125-128.

- Quintero-Ramos, A., M. Bourne, J. Barnard, R. Gonzalezaredo, A. Anzaldua-Morales, M. Pensaben-Esquivel and R. Marquez-Melendez. 2002. Low temperature blanching of frozen carrots with calcium chlorides solution at different holding times on texture of frozen carrots. **J. Food Pro. Preser.** 26: 361-374.
- Rahman, M.S. and J. Lamb. 1990. Osmotic dehydration of pineapple. **J. Food Sci. Technol.** 27: 150-152.
- Rastogi, N.K. and K.S.M.S.Raghavarao. 1996. Kinetics of osmotic dehydration under vacuum. **Lebensm-Wiss u-Technol.** 29: 669-672.
- Robbers, M., R.P. Singh and L.M. Cunha. 1997. Osmotic-convective dehydrofreezing process for drying kiwifruit. **J Food Sci.** 62: 1039-1042, 1048.
- Rodrigues, A.C.C., R.L. Cunha and M.D. Hubinger. 2003. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. **J. Food Eng.** 59:129-135.
- Rodrigues, S. and F.A.N. Fernandes. 2007. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. **J. Food Eng.** 80:678-687.
- Salvatori, D., A. Andres, A. Chiralt and P. Fito. 1998. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. **J Food Process Eng.** 21: 59-73.
- Saputra, D. 2001. Osmotic dehydration of pineapples. **Dry Technol.** 19: 415-425.
- Seymour, G.B. and W.B. McGlasson. 1993. Melon. In G.B. Seymour, J.E.Taylor and G.A.Tucker (eds.), **Biochemistry of Fruit Ripening.** London: Chapman &Hall.
- Shi, X.Q., P. Fito and A. Chiralt. 1995. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **Food Res. Int.** 28(5): 445-454.

- Skrede, G. 1996. Fruits, pp. 183-246. In L.E. Jeremiah, ed. **Freezing Effects on Food Quality**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Spiazzi, E. and R. Mascheroni. 1997. Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables-I. Development of the simulation model. **J. Food Eng.** 34: 387-410.
- Sun, D and L. Zheng. 2006. Plastic packaging of frozen foods, pp. 641-651. In Da-Wen Sun, ed. **Handbook of Frozen Food Processing and Packaging**. CRC Press, Inc., New York.
- Talens, P., N. Martinez-Navarrete, P. Fito and A. Chiralt. 2001. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. **Innovat. Food Sci. Emerg. Tech.** 3: 191-199.
- Tordoff, M.G. 1996. Some basic psychophysics of calcium salt solutions. **Chemical Senses.** 21:417-424.
- Torreggiani, D. and G. Bertolo. 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **J. Food Eng.** 49: 247-253.
- _____ and _____. 2004. Present and future in process control and optimization of somotic dehydration. **Advances in Food and Nutrition Research.** 48: 173-238.
- Tregunno, N.B. and H.D. Goff. 1996. Osmodehydrofreezing of apples: structural and textural effects. **Food Res. Int.** 29: 471-479.
- USDA. 2008. **National Nutrient Database for Standard Reference**. แหล่งที่มา: <http://www.nutrition.gov>, 15 June 2008.
- Zhao, Y. and J.Xie. 2004. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Trends Food Sci. Tech.** 15: 434-451.



ภาคผนวก



วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และกายภาพ

1. ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1.1 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
- 1.1.2 ภาชนะใส่ตัวอย่าง (moisture can) ทำด้วยอลูมิเนียม
- 1.1.3 เดซิเคเตอร์ (desiccator)
- 1.1.4 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

1.2 วิธีการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ในภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิดที่ผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่ นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ วัดค่า 3 ครั้ง คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ})}$$

2. ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (AOAC, 2000)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1.1 ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2.1.2 เต้าไฟฟ้า
- 2.1.3 ขวดรูปชมพู่

2.2 สารเคมี

2.2.1 สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 นอร์มัล

2.2.2 อินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน

2.3 วิธีการวิเคราะห์

2.3.1 ชั่งตัวอย่างแกนตาลูป 10 กรัม หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เติมน้ำเล็กน้อย ต้มให้เดือด 2-3 นาที

2.3.2 ทำให้เย็น ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วกรอง

2.3.3 ปิเปตส่วนที่กรองได้ 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.3.4 เติมฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

2.3.5 ไทเทรตกับ 0.1 N สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งถึงจุดยุติ ซึ่งมีสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต นำมาคำนวณค่าความเป็นกรดในรูปของกรดซิตริก ตามสูตร

$$\% \text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{\text{นอร์มัลลิตี NaOH} \times \text{ปริมาตรของ NaOH} \times \text{มิลลิวาลเอนท์ของกรดซิตริก} \times 100 \times 50}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแกนตาลูป} \times 10}$$

โดยที่มิลลิวาลเอนท์ของกรดซิตริก (milliequivalent of citric acid momohydrate) = 0.70

3. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AACC, 2000)

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เตา muffle furnace

3.1.2 เตาไฟฟ้าให้ความร้อนแบบแผ่นราบ

3.1.3 เป้า (crucible)

3.1.4 เชชเชเตอร์

3.2 วิธีการวิเคราะห์

3.2.1 เผาเบ้าในเตา muffle furnace ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนัก

3.2.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในเบ้าแล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จนหมดควัน

3.2.3 นำไปเผาในเตา muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจนกว่าได้เถ้าเป็นสีขาวหรือสีเทา

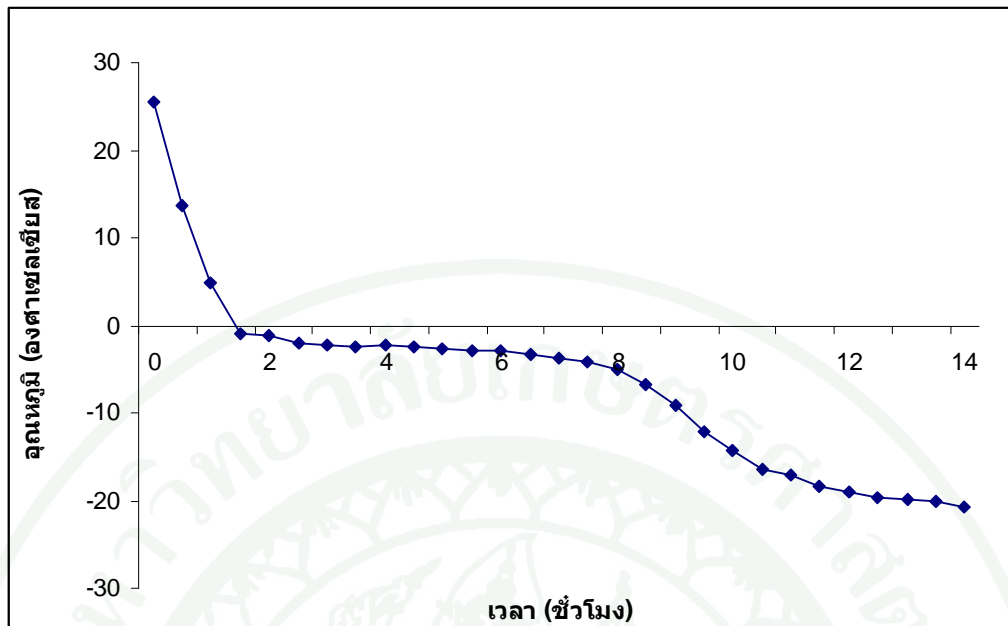
3.2.4 นำเบ้าออกมาใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

3.3 วิธีการคำนวณ

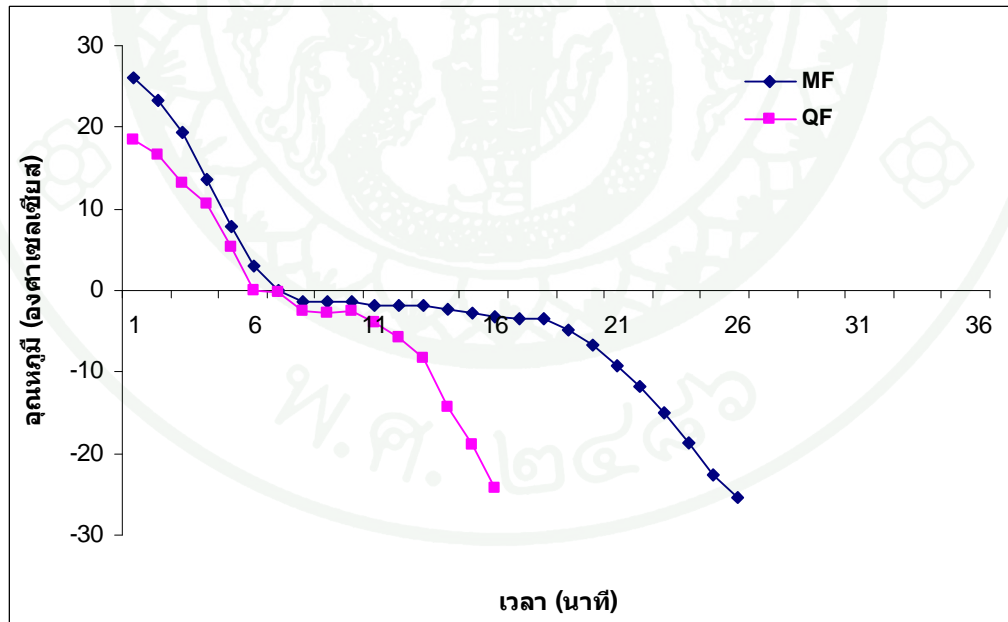
$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(W_2 - W_0) \times 100}{(W_1 - W_0)}$$

เมื่อ	W_0 หมายถึง	น้ำหนักของเบ้า หน่วยเป็นกรัม
	W_1 หมายถึง	น้ำหนักของเบ้าและตัวอย่างก่อนเผา หน่วยเป็นกรัม
	W_2 หมายถึง	น้ำหนักของเบ้าและตัวอย่างหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่ หน่วยเป็นกรัม

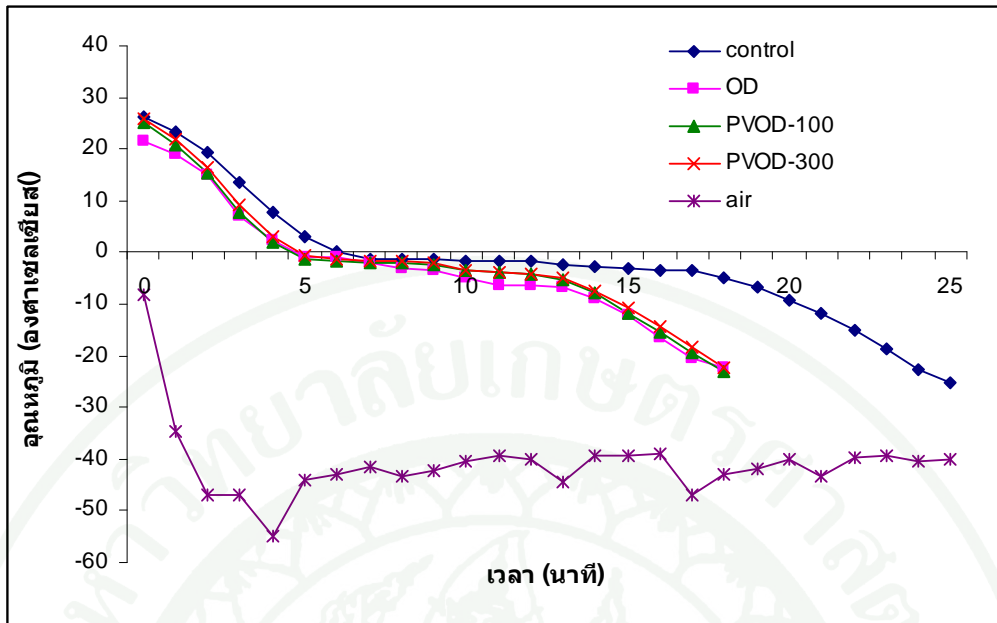




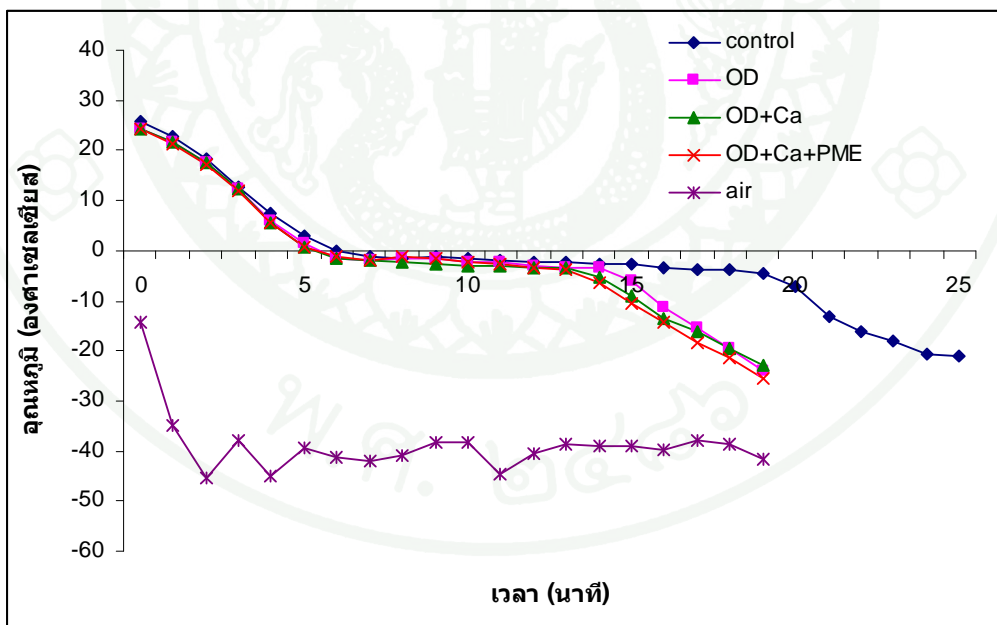
ภาพผนวกที่ ข1 แผนภาพการแช่เยือกแข็งแคนตาอูปลด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า (SF)



ภาพผนวกที่ ข2 แผนภาพการแช่เยือกแข็งแคนตาอูปลด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบปานกลาง (MF) และแบบเร็ว (QF)

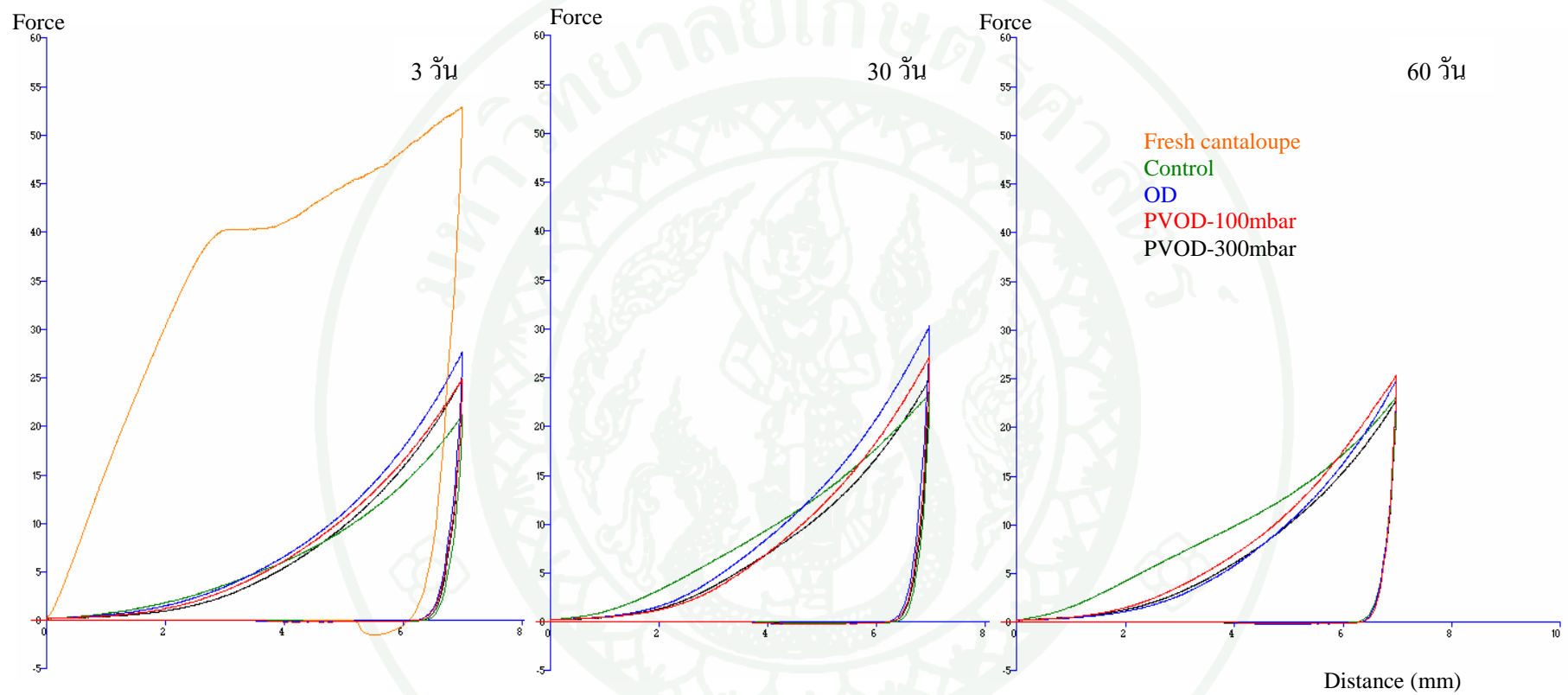


ภาพผนวกที่ ๓ แผนภาพการแช่เยือกแข็งของแคนตาลูปที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ในระหว่างการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ

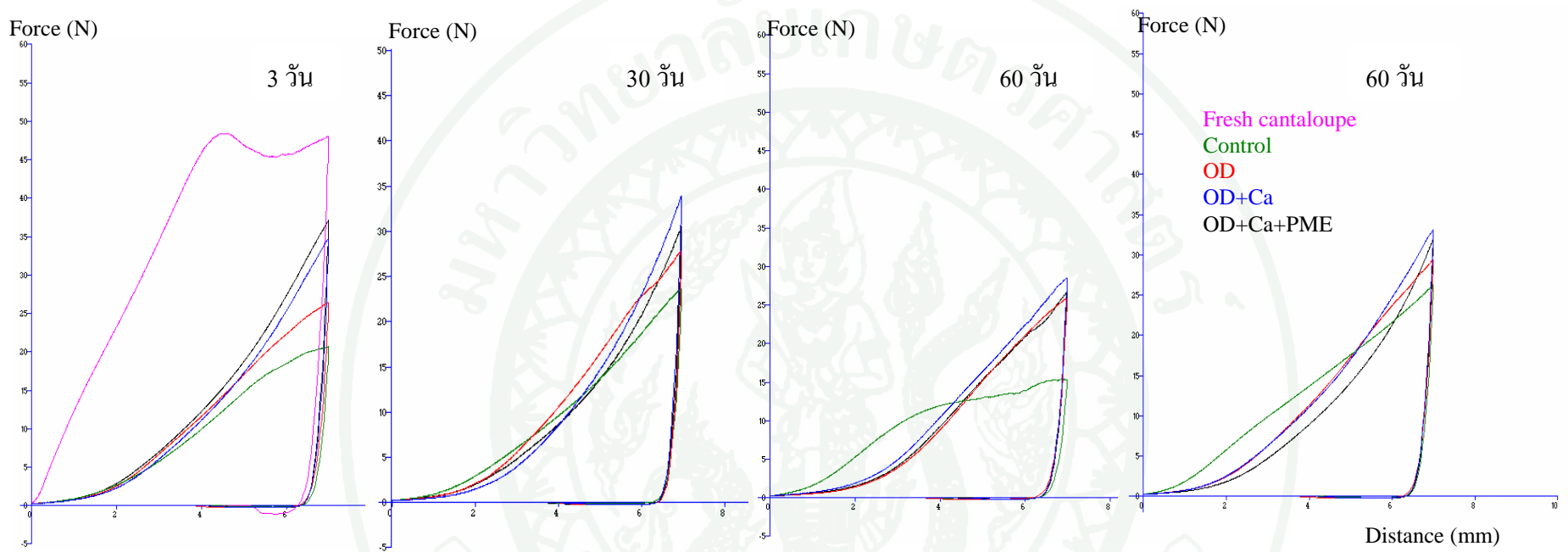


ภาพผนวกที่ ๔ แผนภาพการแช่เยือกแข็งของแคนตาลูปที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ในระหว่างการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ





ภาพผนวกที่ ๑1 ลักษณะกราฟเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปสดและแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน



ภาพผนวกที่ ๑๒ ลักษณะกราฟเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปสดและแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสในสารละลายชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

ตารางผนวกที่ ค1 ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างแคนตาลูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบต่างๆ

อัตราการแช่เยือกแข็ง แบบ	ค่าความแน่นเนื้อ (นิวตัน)		
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
	7	30	60
ช้า	13.75±3.99 ^{cA}	12.93±1.23 ^{bB}	12.02±2.93 ^{bB}
ปานกลาง	25.78±3.26 ^{bB}	31.10±2.69 ^{aA}	23.08±2.64 ^{aC}
เร็ว	29.97±2.98 ^{aB}	31.50±1.97 ^{aA}	22.90±1.98 ^{aC}

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค2 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของแคนตาลูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งแบบต่างๆ

อัตราการแช่เยือกแข็ง แบบ	ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็ง (ร้อยละ)		
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
	7	30	60
ช้า	16.34±0.55 ^{aA}	15.63±1.31 ^{aA}	16.43±1.07 ^{abA}
ปานกลาง	13.83±0.53 ^{bB}	14.12±0.62 ^{bAB}	14.94±0.66 ^{bcA}
เร็ว	12.52±0.38 ^{cB}	12.63±0.65 ^{cB}	14.08±1.06 ^{cA}

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค3 ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลาย และค่าความแน่นเนื้อของแคนตาอูปล้างเชื้อแข็งหลังทำการละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

คุณลักษณะ	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ไม่แช่น้ำตาล (control)	การออสโมซิสที่สภาวะ		
			บรรยากาศ (OD)	สุญญากาศที่ 100 มิลลิบาร์ (PVOD-100)	สุญญากาศที่ 300 มิลลิบาร์ (PVOD-300)
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	3	93.24±0.35 ^{aA}	84.57±0.53 ^{bcA}	83.86±0.30 ^{cb}	85.14±0.60 ^{Ba}
	30	93.47±0.34 ^{aA}	84.23±0.25 ^{bA}	84.79±0.35 ^{bA}	83.35±1.37 ^{bA}
	60	93.89±0.23 ^{aA}	84.41±0.32 ^{bA}	85.10±0.33 ^{bA}	85.21±0.99 ^{bA}
ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังทำการละลายน้ำแข็ง (ร้อยละ)	3	10.71±0.37 ^{aB}	5.61±0.22 ^{cb}	6.31±0.05 ^{bb}	6.32±0.28 ^{bb}
	30	11.93±1.16 ^{aA}	7.23±0.13 ^{bA}	7.11±0.17 ^{bA}	7.70±0.33 ^{bA}
	60	9.25±0.68 ^{aC}	5.87±0.19 ^b	6.47±0.49 ^{bb}	5.65±0.15 ^{cC}
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°บริกซ์)	3	7.83±0.72 ^{cA}	16.17±0.76 ^{aA}	14.53±0.42 ^{bA}	14.37±0.06 ^{bA}
	30	7.53±0.21 ^{bA}	15.27±0.86 ^{aA}	15.43±0.51 ^{aA}	14.57±0.06 ^{aA}
	60	7.37±0.47 ^{bA}	14.97±0.58 ^{aA}	15.30±0.56 ^{aA}	15.33±0.15 ^{aB}
ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)	3	21.00±1.24 ^{cC}	27.12±1.14 ^{aB}	25.03±2.74 ^{bb}	25.52±2.41 ^{bA}
	30	24.54±2.77 ^{dA}	30.63±2.61 ^{aA}	27.45±2.02 ^{bA}	25.85±1.43 ^{cA}
	60	22.94±1.02 ^{bb}	25.88±1.64 ^{aB}	25.66±3.30 ^{aB}	23.52±2.50 ^{bb}

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคุณลักษณะเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 4 ค่าสี ($L^*a^*b^*$) และ ΔE^*_{ab} ของแกนตาปลูกแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออกซิโมซิสแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30 และ 60 วัน

คุณลักษณะ	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ไม่แช่น้ำตาล (control)	การออกซิโมซิสที่สภาวะ		
			ความดันบรรยากาศ (OD)	สุญญากาศที่ 100 มิลลิบาร์ (PVOD-100)	สุญญากาศที่ 300 มิลลิบาร์ (PVOD-300)
L^*	3	48.33±1.30 ^{ba}	52.72±1.13 ^{aA}	53.38±1.50 ^{aA}	51.49±1.12 ^{aA}
	30	48.39±1.27 ^{ca}	53.50±0.98 ^{aA}	52.97±0.44 ^{aA}	52.16±0.92 ^{ba}
	60	47.41±1.05 ^{ba}	50.87±0.75 ^{ab}	50.27±0.82 ^{ab}	49.88±1.34 ^{ab}
a^*	3	17.62±0.51 ^{ba}	19.84±0.71 ^{aA}	19.77±0.50 ^{aA}	19.89±0.78 ^{aA}
	30	17.72±0.63 ^{ba}	20.42±0.77 ^{aA}	20.27±0.93 ^{aA}	20.18±0.57 ^{aA}
	60	15.78±0.51 ^{cb}	15.85±0.66 ^{cbB}	17.63±0.45 ^{ab}	16.47±0.51 ^{bb}
b^*	3	35.26±1.19 ^{ba}	41.23±1.74 ^{aA}	39.00±1.60 ^{ab}	40.19±1.35 ^{ab}
	30	36.32±1.29 ^{ba}	42.71±1.69 ^{aA}	41.51±1.28 ^{aA}	41.82±1.54 ^{aA}
	60	33.54±1.36 ^{cb}	36.20±0.57 ^{bb}	37.71±1.19 ^{ab}	37.38±1.43 ^{abC}
ΔE^*_{ab}	3	8.68±1.02 ^{ab}	4.58±1.55 ^{bb}	3.26±1.32 ^{bc}	5.13±1.21 ^{ba}
	30	8.22±1.57 ^{ab}	5.27±1.45 ^{baB}	4.64±0.92 ^{bb}	5.47±0.85 ^{ba}
	60	10.59±1.62 ^{aA}	6.66±0.56 ^{bb}	6.16±1.00 ^{ba}	5.89±0.72 ^{ba}

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคุณลักษณะเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค5 ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลาย และค่าความแน่นเนื้อของแคนตาลูปแช่เยือกแข็งหลังทำการละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสในสารละลายชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

คุณลักษณะ	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ไม่แช่น้ำตาล (control)	การออสโมซิสในสารละลาย		
			น้ำตาล (OD)	น้ำตาลผสมแคลเซียม (OD+Ca)	น้ำตาลผสมแคลเซียมและเอนไซม์ (OD+Ca+PME)
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	3	93.75±0.20 ^{aA}	84.59±0.35 ^{cA}	85.36±0.36 ^{bA}	85.00±0.15 ^{bcA}
	30	92.86±0.49 ^{aB}	85.54±0.13 ^{bA}	85.51±0.22 ^{bA}	85.03±0.24 ^{bA}
	60	93.18±0.18 ^{aB}	85.34±0.53 ^{bA}	85.11±0.33 ^{bA}	85.10±0.21 ^{bA}
	90	92.74±0.22 ^{aB}	84.93±0.36 ^{bcA}	84.31±0.31 ^{cB}	85.14±0.24 ^{bA}
ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังละลายน้ำแข็ง (ร้อยละ)	3	8.63±0.45 ^{aAB}	5.91±0.25 ^{bA}	5.88±0.16 ^{bA}	5.38±0.11 ^{cA}
	30	9.21±0.41 ^{aA}	5.71±0.17 ^{bA}	5.14±0.16 ^{cB}	5.03±0.20 ^{cB}
	60	8.04±0.24 ^{aB}	5.96±0.03 ^{bA}	5.21±0.16 ^{cB}	5.35±0.14 ^{cA}
	90	8.66±0.59 ^{aAB}	4.91±0.19 ^{bB}	5.21±0.12 ^{bB}	5.35±0.20 ^{bA}
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°บริกซ์)	3	7.55±0.25 ^{bA}	15.18±0.17 ^{aA}	15.20±0.14 ^{aA}	15.23±0.47 ^{aA}
	30	7.50±0.32 ^{bA}	15.00±0.18 ^{aA}	14.98±0.19 ^{aA}	14.95±0.68 ^{aA}
	60	7.18±0.05 ^{bA}	15.18±0.26 ^{aA}	15.23±0.34 ^{aA}	15.43±0.38 ^{aA}
	90	7.20±0.61 ^{cA}	14.80±0.24 ^{bA}	15.20±0.23 ^{abA}	15.63±0.32 ^{aA}
ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)	3	19.94±3.79 ^{dB}	25.32±3.70 ^{cB}	34.41±2.77 ^{bA}	36.05±4.68 ^{aA}
	30	24.67±3.54 ^{dA}	26.56±1.83 ^{cB}	33.23±0.81 ^{aAB}	29.91±1.52 ^{bC}
	60	17.53±2.54 ^{dC}	22.84±4.25 ^{cC}	28.27±3.56 ^{aC}	24.85±3.00 ^{bD}
	90	21.09±3.89 ^{cB}	29.82±2.76 ^{bA}	32.62±1.76 ^{aB}	31.78±2.33 ^{aB}

ตารางผนวกที่ ค5 (ต่อ)

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคุณลักษณะเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ตารางผนวกที่ 6 ค่าสี ($L^*a^*b^*$) และ ΔE^*_{ab} ของแกนตาอุปแช่เยือกแข็งหลังทำละลายที่ไม่ผ่าน และผ่านการออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3, 30, 60 และ 90 วัน

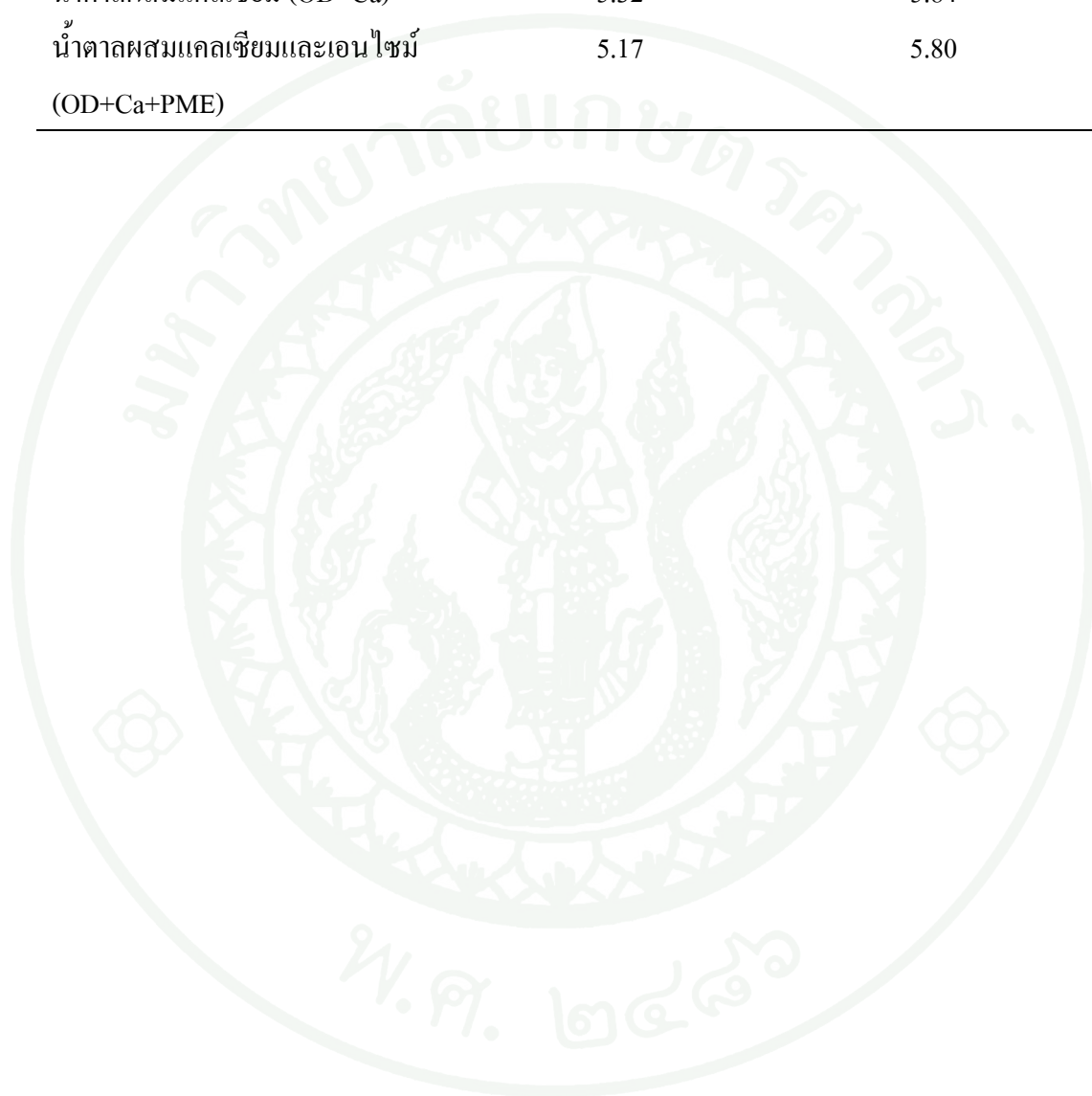
คุณลักษณะ	ระยะเวลา เก็บรักษา (วัน)	การออสโมซิสในสารละลาย			
		ไม่แช่น้ำตาล (control)	น้ำตาล (OD)	น้ำตาลผสม แคลเซียม (OD+Ca)	น้ำตาลผสม แคลเซียมและ เอนไซม์ (OD+Ca+PME)
L^*	3	50.16±1.20 ^{cb}	52.03±0.62 ^{bc}	54.19±0.43 ^{ab}	54.98±1.00 ^{aA}
	30	50.64±1.04 ^{bb}	53.41±1.32 ^{ab}	53.93±0.99 ^{ab}	53.66±0.79 ^{ab}
	60	51.89±0.47 ^{ba}	55.04±0.45 ^{aA}	55.30±0.50 ^{aA}	54.93±0.66 ^{aA}
	90	50.24±0.84 ^{bb}	54.28±0.66 ^{aAB}	53.83±0.48 ^{ab}	54.19±0.63 ^{aAB}
a^*	3	15.72±0.53 ^{bb}	17.81±0.78 ^{ac}	17.69±0.52 ^{ac}	18.09±0.38 ^{ab}
	30	15.98±0.92 ^{bb}	18.37±0.82 ^{abc}	18.15±0.55 ^{ac}	17.97±0.51 ^{ab}
	60	16.78±0.66 ^{ca}	18.71±0.46 ^{bb}	19.62±0.82 ^{aA}	18.20±0.37 ^{bb}
	90	14.57±0.34 ^{cc}	19.84±0.29 ^{aA}	18.90±0.41 ^{bb}	18.84±0.25 ^{ba}
b^*	3	36.01±1.50 ^{cb}	40.48±0.55 ^{bb}	42.09±1.24 ^{ab}	41.61±0.90 ^{ab}
	30	36.46±1.55 ^{bb}	40.84±1.73 ^{ab}	41.83±0.85 ^{abc}	41.21±0.69 ^{ab}
	60	38.39±0.70 ^{ba}	43.03±0.50 ^{aA}	43.78±1.11 ^{aA}	43.62±0.41 ^{aA}
	90	35.99±0.66 ^{cb}	38.82±0.39 ^{bc}	41.01±0.92 ^{ac}	41.32±0.41 ^{ab}
ΔE^*_{ab}	3	8.94±1.45 ^{aA}	6.98±0.58 ^{ba}	6.08±0.76 ^{bc}	5.09±1.25 ^{ca}
	30	8.41±1.07 ^{aA}	6.21±0.41 ^{bb}	6.09±0.58 ^b	5.88±0.60 ^{ba}
	60 ^{ns}	6.78±0.53 ^B	6.19±0.54 ^B	6.87±1.08	6.72±0.53 ^B
	90	9.18±0.94 ^{aA}	4.63±0.60 ^{cc}	5.67±0.66 ^b	5.53±0.38 ^{ba}

หมายเหตุ a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคุณลักษณะเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๓7 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายออสโมซิสที่ต่างกัน 3 ชนิด

สารละลายออสโมซิส	ก่อนแช่	หลังแช่
น้ำตาล (OD)	5.97	6.65
น้ำตาลผสมแคลเซียม (OD+Ca)	5.32	5.84
น้ำตาลผสมแคลเซียมและเอนไซม์ (OD+Ca+PME)	5.17	5.80



ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นางสาวน้ำฝน เจริญพันธ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 25 กันยายน 2521
สถานที่เกิด	พระนครศรีอยุธยา
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(เทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-