

ผลของพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ต่อการทำแห้งและคุณภาพของมะละกอแช่อบแห้ง

นายสิทธิโชค เถลิงนวดชาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF POLYHYDRIC ALCOHOL ON DRYING AND QUALITY OF
OSMOTICALLY-DEHYDRATED AIR-DRIED PAPAYA

Mr. Sittichoke Thalerngnawachart

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของพอลิไฮดรริกแอลกอฮอล์ต่อการทำแห้งและคุณภาพ
ของมะละกอแช่อบแห้ง

โดย

นายสิทธิโชค เถลิงนชาติ

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. วีระเชษฐ จิตตานิชย์)

สิทธิโชค เถลิงนวดชาติ : ผลของพอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ต่อการทำแห้งและคุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง. (EFFECTS OF POLYHYDRIC ALCOHOL ON DRYING AND QUALITY OF OSMOTICALLY-DEHYDRATED AIR-DRIED PAPAYA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์, 130 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส จลนพลศาสตร์การอบแห้ง มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทอรัม และคุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า การออสโมซิสแบบ multiple step ส่งผลให้ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งในชิ้นมะละกอสูงกว่าการออสโมซิสแบบ single step ขึ้นต่อไปศึกษาผลของการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส โดยทดแทนซูโครสบางส่วนที่ระดับความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ด้วยซอร์บิทอล 10%, w/v (Su-Sor) กลีเซอรอล 10%, v/v (Su-Gly) และน้ำตาลอินเวิร์ต 10%, v/v (Su-Inv) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการทดแทนซูโครส พบว่า Su-Sor, Su-Gly และ Su-Inv มีค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากนั้นอบแห้งตัวอย่างทุกชุดการทดลองหลังการออสโมซิสด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ พบว่า ชุดควบคุมมีค่าคงที่การอบแห้งสูงสุด รองลงมาเป็น Su-Sor, Su-Gly และ Su-Inv ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า แบบจำลอง modified Henderson and Pabis มีความเหมาะสมในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งของตัวอย่างทุกชุดการทดลองมากกว่าแบบจำลอง Page และแบบจำลอง Henderson and Pabis ในระหว่างการอบแห้ง พบว่า ชุดควบคุมมีแนวโน้มการลดลงของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำที่สุด แต่มีการหดตัวสูงกว่าชุดการทดลองอื่น และผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งแต่ละชุดการทดลองมีเจดสีใกล้เคียงกันแต่มีความเข้มสีต่างกัน ค่า monolayer moisture content (M_0) จากมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทอรัมที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ของผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยแบบจำลอง GAB ในการคำนวณชี้ให้เห็นว่า Su-Sor และ Su-Gly มีค่า M_0 สูงกว่าชุดควบคุม และ Su-Inv ขึ้นตอนสุดท้ายศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ 8 สัปดาห์ พบว่า ผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีค่า spin-lattice relaxation time ($^1\text{H NMR } T_1$) ลดลง โดย Su-Gly มีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ต่ำกว่าชุดควบคุมและ Su-Inv ตลอดระยะเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ Su-Inv มีการเปลี่ยนแปลงด้านสีและเนื้อสัมผัสน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น เมื่อพิจารณาลักษณะทางสัณฐานของเซลล์ผลิตภัณฑ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า Su-Sor มีการหดตัวของเซลล์ระหว่างการเก็บน้อยกว่าชุดควบคุม และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา พบว่า Su-Sor มีลักษณะทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับ Su-Inv

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2554.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5372356023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: PAPAYA/ POLYHYDRIC ALCOHOL/ OSMOTICALLY-DEHYDRATED AIR-DRIED

SITTICHOKE THALERNGNAWACHART: EFFECTS OF POLYHYDRIC ALCOHOL ON
 DRYING AND QUALITY OF OSMOTICALLY-DEHYDRATED AIR-DRIED PAPAYA.

ADVISOR : ASST. PROF. KIATTISAK DUANGMAL, Ph.D., 130 pp.

The objectives of this research were to investigate the effect of partially substituted sucrose with polyhydric alcohols on mass transfer during osmosis, drying kinetics, moisture sorption isotherm and quality of osmosed air dried papaya during storage. Preliminary study showed that multiple step osmosis resulted in higher solid gain compared to single step osmosis. Papaya slices were soaked in 40, 50 and 60 °Brix sucrose solution, respectively, for 5 hours each. In 60 °Brix solution, partial replacement of sucrose with 10% (w/v) sorbitol (Su-Sor), 10% (w/v) glycerol (Su-Gly) and 10% (v/v) invert sugar (Su-Inv) were used as osmotic solution compared with the control containing only sucrose. Su-Gly, Su-Inv and Su-Sor presented higher water loss, solid gain and weight reduction compared to the control ($p \leq 0.05$). After osmosis, papaya slices were dried in a hot-air dryer at 60 °C until the weight of sample was constant. The drying constant comparison was as follows: control > Su-Sor > Su-Gly > Su-Inv. Among three mathematical models (Page, Henderson and Pabis and modified Henderson and Pabis), Modified Henderson and Pabis was found to be the most appropriate model to predict the drying behavior of all treatments. During drying process, the control presented the lowest a_w reduction. However, the shrinkage of the control higher than other treatments. The hue angle of four samples was similar while the chroma was different. Monolayer moisture content (M_o) of dried products was calculated by applying GAB equation to moisture sorption isotherm at 30 ± 2 °C. Su-Sor and Su-Gly had higher M_o than control and Su-Inv. Finally, quality of dried products, during 8 weeks of storage, was determined. Spin-lattice relaxation time ($^1\text{H NMR } T_1$) of dried products decreased during storage. Su-Gly presented a significant lower $^1\text{H NMR } T_1$ than control and Su-Inv ($p \leq 0.05$) during storage. Compared to other treatments, Su-Inv retarded the colour and texture changes. The microstructure analysis, using scanning electron microscope, of dried products showed that the cell structure of Su-Sor was less shrinkage than that of the control during storage. The results from the quantitative description analysis, showed that sensory characteristics of Su-Sor was as good as Su-Inv.

Department :Food Technology.....Student's Signature :

Field of Study :Food Technology.....Advisor's Signature :

Academic Year :2011.....Co-advisor's Signature :

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ แนวความคิดในการทำงาน และเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. สายวรุฬห์ ชัยวานิชศิริ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช และอาจารย์ ดร. วีระเชษฐ จิตตานิษฐ์ ที่ร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้สละเวลาให้คำแนะนำ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ขอขอบพระคุณบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนอุดหนุนการศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำหรับทุนวิจัยพื้นฐานเชิงยุทธศาสตร์ “การผลิต การเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปอาหารเพื่อการบริโภคภายในประเทศ และเพื่อเป็นสินค้าส่งออกคุณภาพสูง” โครงการ “ผลของพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ต่อการทำแห้ง และคุณภาพของมะละกอแช่อบแห้ง” (DBG5380018) สำหรับเงินทุนในการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ระดับปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับกำลังใจ ความช่วยเหลือ และน้ำใจที่มีให้ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่าน สำหรับการอำนวยความสะดวกในการวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมถึงญาติทุกท่าน สำหรับความรัก ความห่วงใย และกำลังใจด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 มະລະกອ.....	2
2.2 การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง.....	4
2.3 ผลของการใช้พอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ต่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง.....	15
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่ม อบแห้งกับมอยส์เจอร์ชอร์พชั่นไอโซเทิร์ม.....	18
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะละกอสด.....	30
3.2 ศึกษาผลของวิธีการอบสไมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการอบสไมซิส.....	31
3.3 ศึกษาผลของการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยชอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาล อินเวิร์ตต่อการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการอบสไมซิส.....	32
3.4 ศึกษาผลของการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยชอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาล อินเวิร์ตต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง.....	33
3.5 ศึกษาผลของการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยชอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาล อินเวิร์ตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง.....	35

บทที่	หน้า
3.6 ศึกษาผลของการทดแทนธาตุโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อซอร์พชันไอโซเทิร์มของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้ง.....	35
3.7 ศึกษาผลของการทดแทนธาตุโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา...	36
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	39
4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะละกอสด.....	39
4.2 ผลของวิธีการอบสโมคซีสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการอบสโมคซีส.....	39
4.3 ผลของการทดแทนธาตุโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการอบสโมคซีส.....	44
4.4 ผลของการทดแทนธาตุโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง.....	49
4.5 ผลของการทดแทนธาตุโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งและหลังอบแห้ง.....	56
4.6 ผลของการทดแทนธาตุโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อซอร์พชันไอโซเทิร์มของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้ง.....	61
4.7 ผลของการทดแทนธาตุโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา.....	64
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	94
ภาคผนวก ก.....	96
ภาคผนวก ข.....	106
ภาคผนวก ค.....	109
ภาคผนวก ง.....	122
ภาคผนวก จ.....	129
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	130

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีและสารอาหารของเนื้อมะละกอ.....	3
4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะละกอสด.....	39
4.2 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของ มะละกอระหว่างการอบสโมคซิดแบบ single step และ multiple step	43
4.3 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง ค่าการลดลงของน้ำหนัก และ อัตราส่วนระหว่างค่าการสูญเสีย น้ำและค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งของมะละกอแต่ ละชุดการทดลองหลังการอบสโมคซิดเป็นเวลา 15 ชั่วโมง.....	46
4.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ความเป็นกรดต่าง และ ความหนืดของสารละลายอบสโมคซิดแต่ละชนิดก่อนการอบสโมคซิด.....	46
4.5 ค่าคงที่การอบแห้งที่ได้จากการอบแห้ง (อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) ของมะละกอ แช่อบซึ่งผ่านการอบสโมคซิดในสารละลายอบสโมคซิดชนิดต่าง ๆ	53
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของมะละกอแช่อบแต่ละชุดการ ทดลอง.....	54
4.7 การหดตัวของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งเป็นเวลา 16.5 ชั่วโมง.....	60
4.8 ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณจากแบบจำลอง BET และแบบจำลอง GAB ของผลิตภัณฑ์ มะละกอแช่อบอบแห้ง.....	63
4.9 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบอบแห้งระหว่างการเก็บ รักษา.....	64
4.10 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา.....	65
4.11 ค่า spin-lattice relaxation time ของตัวอย่างมะละกอหลังการอบสโมคซิด ผลิตภัณฑ์ มะละกอแช่อบอบแห้งในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บ และผลิตภัณฑ์หลังเก็บ.....	66
4.12 ค่า L^* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา	68
4.13 ค่า a^* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา	68

ตารางที่	หน้า
4.14 ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา	68
4.15 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ของสารสกัดจากผลิตภัณฑ์ มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา.....	70
4.16 ปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง.....	71
4.17 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา.....	71
4.18 ค่างานในการตัดของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา.....	71
4.19 ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา.....	72
4.20 ค่าความแข็ง ค่างานในการตัด และค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ทางการค้า.....	73
4.21 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา.....	73
4.22 ค่าความเหนียวยึดติดของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา....	73
4.23 ค่าการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา.....	74
4.24 ค่าความเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา.....	74
4.25 ค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยึดติด ค่าการเคี้ยว และค่าความเกาะติดกันของ ผลิตภัณฑ์ทางการค้า.....	75
4.26 คะแนนความชื้นจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์ มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง.....	80
4.27 อัตราส่วนระหว่างคะแนนความชื้นและคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังของผลิตภัณฑ์ มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง.....	82
ข.1 การเตรียมสารละลายเกลืออิมิตัวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	106
ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสียของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มแต่ละ ชุดการทดลองในช่วงเวลาที่ 15 ของการอบสไมซิส.....	109
ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการเพิ่มขึ้นของแข็งของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่ม แต่ละชุดการทดลองในช่วงเวลาที่ 15 ของการอบสไมซิส.....	109

ตารางที่	หน้า
ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการลดลงของน้ำหนักของตัวอย่างมะละกอแช่ อิมในแต่ละชุดการทดลองในช่วงเวลาที่ 15 ของการออสโมซิส.....	109
ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์ มะละกอแช่อิมอบแห้งแต่ละชุดการทดลองที่ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเดียวกันที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	110
ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิม อบแห้งตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส....	111
ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิม อบแห้งแต่ละชุดการทดลองที่ช่วงเวลาเดียวกันตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	111
ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิม อบแห้งตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส...	112
ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิม อบแห้งแต่ละชุดการทดลองที่ช่วงเวลาเดียวกันตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	112
ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า spin-lattice relaxation time ของตัวอย่างที่ ผ่านการเก็บในชั้นตอนต่าง ๆ.....	113
ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า spin-lattice relaxation time ของมะละกอ แช่อิม ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิมอบแห้งในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บ และ ผลิตภัณฑ์หลังเก็บเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	113
ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิมอบแห้งแต่ละ ชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	114

ตารางที่	หน้า
ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a^* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	114
ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b^* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	115
ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งแต่ละชุดการทดลองที่ช่วงเวลาเดียวกันตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	115
ค.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	116
ค.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้ง.....	116
ค.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	117
ค.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่างานในการตัดของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้ง ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	117
ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้ง ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	118
ค.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งแต่ละชุดการทดลองด้านค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และค่างานในการตัดที่ช่วงเวลาเดียวกันตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	118

ตารางที่	หน้า
ค.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	119
ค.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเหนียวยืดติดของผลิตภัณฑ์มะละกอ แช่อิ่มอบแห้ง ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	119
ค.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	120
ค.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.	120
ค.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลองด้านค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยืดติด ค่าการเคี้ยว และค่าความเกาะติดกันที่ช่วงเวลาเดียวกัน ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	121
ค.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง.....	121
ง.1 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนัก ของมะละกอแช่อิ่มที่เวลาต่าง ๆ ระหว่างการอบสโมคิซในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 40 และ 50 องศาบริกซ์	122
ง.2 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของมะละกอแช่อิ่ม ระหว่างการอบสโมคิซในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์.....	122
ง.3 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของมะละกอแช่อิ่มระหว่างการอบสโมคิซในสารละลายอบสโมคิซความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยชอร์บิทอล 10% (w/v).....	123

ตารางที่	หน้า
ง.4 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของ มะละกอแช่ส้มระหว่างการอบสโมคซิสในสารละลายอบสโมคติกความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v).....	123
ง.5 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของ มะละกอแช่ส้มระหว่างการอบสโมคซิสในสารละลายอบสโมคติกความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v).....	123
ง.6 ปริมาณความชื้น (กรัมน้ำ/กรัมของแข็งแห้ง) ของมะละกอแช่ส้มในแต่ละชุดการทดลอง ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	124
ง.7 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก) a_w และค่าสีในระหว่างการอบแห้งของชุด ควบคุมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	125
ง.8 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก) a_w และค่าสีในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)	126
ง.9 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก) a_w และค่าสีในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v).....	126
ง.10 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก) a_w และค่าสีในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสของชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v).....	127
ง.11 ปริมาณความชื้นสมมูล (กรัมน้ำ/ 100 กรัมของแข็งแห้ง) ของผลิตภัณฑ์มะละกอ แช่ส้มอบแห้ง ในระบบที่มีสารละลายเกลือส้มตัวที่ให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่าง ๆ.....	128

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงสีของมะละกอที่ระยะการสุกต่าง ๆ	4
2.2 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส	5
2.3 การแพร่ของน้ำและน้ำตาลในระหว่างการออสโมซิส.....	5
2.4 กราฟการอบแห้ง.....	12
2.5 การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารระหว่างอบแห้ง.....	12
2.6 โครงสร้างของพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ ก.) ซอร์บิทอล ข.) กลีเซอรอล.....	16
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับค่าวอเตอร์แอกทิวิตี.....	19
2.8 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทิร์ม.....	21
2.9 การแบ่งชนิดของน้ำในอาหารตามมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทิร์ม.....	22
2.10 รูปแบบของมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทิร์ม.....	23
4.1 ค่าการสูญเสียน้ำของมะละกอในระหว่างการออสโมซิสด้วยวิธี single step และ multiple step.....	40
4.2 ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งของมะละกอในระหว่างการออสโมซิสด้วยวิธี single step และ multiple step.....	40
4.3 ค่าการลดลงของน้ำหนักของมะละกอในระหว่างการออสโมซิสด้วยวิธี single step และ multiple step	41
4.4 ค่าการสูญเสียน้ำของมะละกอตลอดการออสโมซิส 15 ชั่วโมง.....	44
4.5 ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งของมะละกอตลอดการออสโมซิส 15 ชั่วโมง.....	44
4.6 ค่าการลดลงของน้ำหนักของมะละกอตลอดการออสโมซิส 15 ชั่วโมง.....	45
4.7 กราฟการอบแห้งของมะละกอแช่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายออสโมติกชนิดต่าง ๆ ก.) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการอบแห้งของมะละกอแช่ข.) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของมะละกอแช่.....	50

4.8 กราฟการอบแห้งของมะละกอแช่อิ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ผ่านการอบสโมคซิดในสารละลายอบสโมคซิดชนิดต่าง ๆ ก.) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่ม ข.) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นของมะละกอแช่อิ่ม.....	51
4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	57
4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	57
4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก.) L* ข.) a* ค.) b*	59
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* และ b* ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	60
4.13 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทิร์มของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส.....	62
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* และ b* ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา.....	69
4.15 ลักษณะเซลล์มะละกอสด มะละกอที่ผ่านการพรีทรีตเมนต์ และมะละกอที่ผ่านการอบสโมคซิดในแต่ละชุดการทดลองจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 150 เท่า.	76
4.16 ลักษณะเซลล์ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 150 เท่า.....	77
4.17 ลักษณะเซลล์ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการเก็บ 8 สัปดาห์ ซึ่งส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 150 เท่า.....	78
ก.1 ตัวอย่างลักษณะกราฟจากเครื่อง Texture Analyser ที่วัดด้วย BSK with knife.....	99
ก.2 ตัวอย่างลักษณะกราฟจากเครื่อง Texture Analyser ที่วัดด้วยวิธี texture profile analysis.....	100
จ.1 ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง.....	129

บทที่ 1

บทนำ

มะละกอบเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภค ทั้งในรูปผลไม้สด และผลไม้แปรรูป มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเป็นแหล่งของวิตามินเอ และสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น เบตาแคโรทีน มะละกอบเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายและมีผลผลิตตลอดปี จึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย อย่างไรก็ตามในช่วงที่มะละกอบสดมีปริมาณผลผลิตมาก อาจทำให้เกิดปัญหาผลผลิตล้นตลาดประกอบกับเกิดการเน่าเสียได้ง่าย การแปรรูปมะละกอบในรูปแบบต่าง ๆ เช่น มะละกอบแช่อิ่มอบแห้ง จึงเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ ช่วยยืดอายุการเก็บและเพิ่มมูลค่าของผลผลิต รวมถึงสามารถจำหน่ายได้ทั้งภายในและต่างประเทศ

อย่างไรก็ตามผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่จำหน่ายทั่วไปในตลาดมักมีปัญหาเกี่ยวกับรสหวานจัด สีคล้ำ และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ต้องการ เช่น การเหี่ยวยุบ เนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้าง รวมถึงการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งล้วนมีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหาโดยการทดแทนสารละลายซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ ซึ่งมีสมบัติในการดูดความชื้น และลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ของผลิตภัณฑ์ดีกว่าซูโครส ซึ่งอาจช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ 2 ชนิด ได้แก่ ซอร์บิทอล และกลีเซอรอล ต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการอบแห้ง การอบสโมคซีส จลนพลศาสตร์การอบแห้ง มอชส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทอรั่ม และคุณภาพของมะละกอบแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บ โดยข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบผลของพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บในภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ซึ่งล้วนใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะละกอบแช่อิ่มอบแห้งและผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดอื่นต่อไป

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 มะละกอ

มะละกามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya* จัดอยู่ในวงศ์ Caricaceae เป็นไม้ผลเขตร้อน มีอายุ 1-2 ปี แหล่งกำเนิดของมะละกออยู่บริเวณอเมริกากลาง ชายฝั่งเม็กซิโก ต่อมาแพร่กระจายมายังทวีปเอเชีย และเป็นที่ยอดนิยมในประเทศไทย แหล่งปลูกมะละกอที่สำคัญของประเทศไทย คือ บริเวณภาคกลาง เช่น ราชบุรี นครปฐม เป็นต้น (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2545)

มะละกอที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่หลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์แขกดำ พันธุ์แขกนวล พันธุ์สายน้ำผึ้ง พันธุ์ปลักไม้ลายหรือพันธุ์ฮอลแลนด์ เป็นต้น โดยมะละกอพันธุ์แขกดำมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์แขกนวล และพันธุ์ฮอลแลนด์ ตามลำดับ พื้นที่ปลูกมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์มีเพียง 8% ของพื้นที่ปลูกมะละกอทั้งหมด อย่างไรก็ตามมะละกอพันธุ์นี้กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อเนื่อง และมีความต้านทานโรคสูงกว่าพันธุ์อื่น เมื่อเปรียบเทียบกับมะละกอพันธุ์แขกดำ พบว่า มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์มีความแน่นเนื้อและความหวานมากกว่ามะละกอพันธุ์แขกดำ (จิ่งแท้ ศิริพานิช, 2552)

มะละกอสามารถใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารได้หลายประเภท เช่น ใช้ทดแทนวัตถุดิบในการผลิตซอสมะเขือเทศ และซอสพริก หรือผลิตเป็นผลไม้กระป๋อง เครื่องดื่ม มะละกอดอง มะละกอบแห้ง แยม เป็นต้น มะละกอเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเป็นแหล่งของวิตามินเอ และสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น เบตาแคโรทีน ไลโคปีน องค์กรประกอบทางเคมีและสารอาหารของเนื้อมะละกอแสดงดังตารางที่ 2.1

เนื่องจากความสุกของมะละกอมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงต้องมีการเลือกเก็บมะละกอในระยะที่เหมาะสม โดยการเก็บเกี่ยวมะละกอเพื่อใช้รับประทานเป็นผลไม้สดหรือเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ควรปล่อยให้ผลแก่เต็มที่ ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย (2545) แบ่งระยะการสุกของมะละกอได้ 6 ระยะ ดังนี้

1. ระยะแก่จัดสีเขียว: ผิวมะละกอมีสีเขียวเข้ม เนื้อผลแน่นแข็ง เนื้อภายในเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพู

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีและสารอาหารของเนื้อมะละกอ

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย (ต่อ 100 กรัม)
ปริมาณความชื้น (กรัม)	88.06
โปรตีน (กรัม)	0.47
ไขมัน (กรัม)	0.26
เถ้า (กรัม)	0.39
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	10.82
เส้นใย (กรัม)	1.70
น้ำตาลทั้งหมด (กรัม)	7.82
ซูโครส (กรัม)	0.00
กลูโคส (กรัม)	4.09
ฟรุกโทส (กรัม)	3.73
วิตามินเอ (IU)	950.00
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	60.90
เบตาแคโรทีน (ไมโครกรัม)	274.00
ไลโคปีน (ไมโครกรัม)	1828.00
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	43.00

ที่มา: ดัดแปลงจาก USDA (2011)

2. ระยะเวลาเริ่มเปลี่ยนสี: ผิวมะละกอเริ่มมีสีเขียวอ่อนและสีเหลืองบริเวณเนินสันด้านปลายผล เนื้อยังคงมีลักษณะแน่นแข็ง แต่เปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดผล ยกเว้นบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือก ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกนอกประเทศ
3. ระยะเวลาสุกหนึ่งในสี่: ผิวมะละกอเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองถึงส้มชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณสันด้านปลายผล เนื้อผลภายในเริ่มอ่อน และเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั้งผล ยกเว้นด้านบนที่ติดกับก้านผลและบริเวณปลายผล ระยะเวลาเหมาะกับการเก็บเกี่ยวเพื่อบริโภคภายในประเทศและการขนส่งเพื่อจำหน่ายปลีก
4. ระยะเวลาสุกหนึ่งในสอง: ผิวมะละกอครึ่งหนึ่งของผลเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ขณะที่อีกครึ่งยังเป็นสีเขียว เนื้อผลภายในอ่อนลง และเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั้งผล ยกเว้นด้านบนที่ติดกับก้านผลและบริเวณปลายผล ระยะเวลาเหมาะกับการจัดวางเพื่อขายปลีก และเป็นระยะที่เกือบจะรับประทานได้

5. ระยะเวลาสุกสามในสี่: ผิวมะละกามีส่วนสีเหลืองมากกว่าสีเขียว เนื้อผลนุ่ม เมื่อใช้น้ำกดจะยุบลง และมีสีแดงอมชมพูตลอดผล เป็นระยะที่รับประทานได้
6. ระยะเวลาสุกเต็มที่: ผิวมะละกามีส่วนสีเหลืองมากกว่าระยะเวลาสุกสามในสี่ เนื้อภายในนุ่มและมีสีแดงอมชมพูตลอดผล ระยะนี้เหมาะที่สุดสำหรับรับประทาน

Hawaii Papaya Industry Association (2011) แบ่งระยะการสุกของมะละกอกเป็น 4 ระยะ (ภาพที่ 2.1) ซึ่งเทียบเท่ากับระยะที่ 3 ถึง ระยะที่ 6 ของการแบ่งระยะการสุกมะละกอกตามวิธีของศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย (2545)



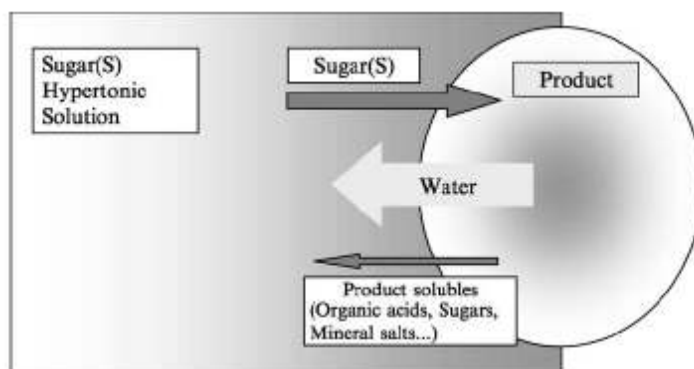
ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงสีของมะละกอกที่ระยะการสุกต่าง ๆ

ที่มา: Hawaii Papaya Industry Association (2011)

2.2 การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

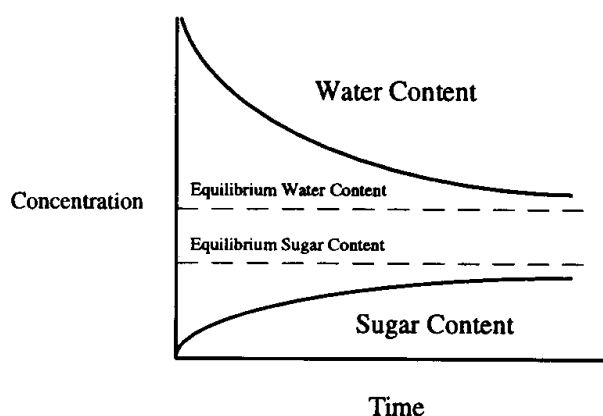
การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสหรือการแช่อิ่ม เป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อ โดยแช่ชิ้นอาหารในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นของสารละลายภายในเนื้อเยื่อ ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติคระหว่างภายในและภายนอกเนื้อเยื่อจนเกิดแรงขับ และเกิดการถ่ายเทมวลสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า การถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นในลักษณะสวนทางกัน โดยน้ำภายในองค์ประกอบของเนื้อเยื่อจะเคลื่อนที่ออกมาภายนอก ในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายจะเคลื่อนที่เข้าไป นอกจากนี้ตัวถูกละลายบางส่วนในเนื้อเยื่อ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือแร่ และวิตามิน จะแพร่ออกจากเนื้อเยื่อเล็กน้อย (Raoult-Wack, 1994) ดังภาพที่ 2.2

ในช่วงต้นของการออสโมซิส การถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นการแพร่ของสารจะช้าลง และเข้าสู่ภาวะสมดุล (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.2 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

ที่มา: Torreggiani และ Bertolo (2004)



ภาพที่ 2.3 การแพร่ของน้ำและน้ำตาลในระหว่างการออสโมซิส

ที่มา: Cánovas และ Mercado (1996)

อย่างไรก็ตามผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสยังคงมีปริมาณความชื้นสูง จึงต้องมีการอบแห้งผลิตภัณฑ์เพื่อลดปริมาณความชื้น และค่า a_w ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา

ข้อดีของการทำแห้งแบบออสโมซิสก่อนการอบแห้ง คือ ช่วยประหยัดพลังงานในการอบแห้ง เนื่องจากมีการกำจัดน้ำบางส่วนออกไปในช่วงออสโมซิส ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง นอกจากนี้ยังช่วยรักษาค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ การทำแห้งแบบออสโมซิสก่อนการอบแห้งช่วยลดการถูกทำลายของเนื้อเยื่อ ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์ และลดการสูญเสียกลิ่น รสชาติ และวิตามินของผลไม้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลไม้แช่อิ่มอบแห้งกับผลไม้อบแห้งด้วยลมร้อน พบว่า ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับผลไม้สดมากกว่าผลไม้ที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน (Tortoe, 2010)

ขั้นตอนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนการคัดเลือกและการเตรียมวัตถุดิบ

คุณภาพของวัตถุดิบเริ่มต้นมีผลโดยตรงต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย จึงต้องมีการคัดเลือกคุณภาพของวัตถุดิบให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการคัดเลือกวัตถุดิบ เช่น ชนิดหรือสายพันธุ์ ขนาดและรูปร่างของวัตถุดิบ เป็นต้น

Kowalska และ Lenart (2001) ศึกษาผลของชนิดผลไม้ต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการอบแห้งของแอปเปิล พื้กทอง และแครอท โดยแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 61.5% (w/w) ซึ่งมีค่า $a_w = 0.90$ เป็นเวลา 180 นาที ควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 30 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างผลไม้กับสารละลายซูโครสเป็น 1:4 พบว่า ค่าการสูญเสีย น้ำ (water loss, WL) ของพื้กทองมากกว่าแครอท และแอปเปิล ตามลำดับ ซึ่งมีผลตรงข้ามกับค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (solid gain, SG) ความแตกต่างของค่า WL และ SG ระหว่างผลไม้แต่ละชนิด อาจเกิดจากโครงสร้างของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน โดยแอปเปิลมีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุนมากกว่าผลไม้ชนิดอื่น ทำให้เกิดการแพร่ผ่านของน้ำตาลได้ดี เมื่อน้ำตาลแพร่เข้าไปในตัวอย่างมาก อาจส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสต่ำลง จึงเกิดการกำจัดน้ำออกจากชิ้นผลไม้ได้น้อยลง (Torreggiani and Bertolo, 2004)

Falade, Igbeka และ Ayanwuyi (2007) ศึกษาผลของขนาดชิ้นตัวอย่างต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการอบแห้งของแตงโม โดยหั่นชิ้นแตงโมกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร แปรความหนาของตัวอย่าง 3 ระดับ ได้แก่ 20, 30 และ 50 มิลลิเมตร แช่แตงโมที่หั่นแล้วในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส พบว่า การลดความหนาของตัวอย่างทำให้ค่า WL และ SG สูงขึ้น เนื่องจากการลดขนาดของตัวอย่างช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารเกิดได้ดีขึ้น

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการอบแห้ง สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อนจากการลวก และการใช้สารเคมี เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การเจริญของจุลินทรีย์ และช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การลวกเป็นการให้ความร้อนกับวัตถุดิบ เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีหรือชีวเคมีที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของอาหาร เช่น ปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยเอนไซม์

พอลิฟีนอลออกซิเดส นอกจากนี้การลวกทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้อ่อนตัวลง และช่องว่างของเยื่อหุ้มเซลล์เปิดกว้างขึ้น ทำให้การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสเกิดได้ดีขึ้น (Naknean, 2012) Escorbar และคณะ (2007) ศึกษาผลของเวลาในการลวกต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสของแครอท โดยลวกแครอทที่หั่นแล้วในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แปรเวลาในการลวก 3 ระดับ (10, 20 และ 30 วินาที) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลวก จากนั้นแช่ตัวอย่างในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50% (w/w) อุณหภูมิของสารละลาย 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า การเพิ่มเวลาในการลวกส่งผลให้ค่า WL และ SG ของแครอทระหว่างการออสโมซิสสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากความร้อนมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ของพืช ส่งผลให้ช่องว่างของเยื่อหุ้มเซลล์ขยายตัว การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสจึงเกิดได้ง่ายขึ้น

การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของวัตถุดิบ โดยแคลเซียมอซิออนจะทำปฏิกิริยากับเพกติน เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเตตซึ่งไม่ละลายน้ำ ช่วยให้ผนังเซลล์ของผลไม้มีความแข็งแรงมากขึ้น (Feeters and Tang, 1983) อافر ละออกอ (2547) ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง พบว่า สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้มะละกอแช่อิ่มอบแห้งมีค่าความแข็งและค่างานในการตัดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Mahmud และคณะ (2008) ซึ่งศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่ออายุการเก็บและสมบัติทางเคมีกายภาพของมะละกอ พบว่า สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2.5% ช่วยยืดอายุการเก็บของมะละกอ เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์มีผลในการชะลอการสุกของมะละกอ โดยการลดการหายใจของเซลล์มะละกอ ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความชื้นเป็นกรดของมะละกอมีค่าต่ำ แต่มีค่า pH สูง นอกจากนี้พบว่า แคลเซียมคลอไรด์ช่วยลดการสูญเสีย น้ำหนักของมะละกอ ซึ่งอาจเกิดจากการที่แคลเซียมอซิออนช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้การสูญเสียของฟอสโฟลิปิด และโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ลดลง ส่งผลให้การสูญเสียของสารภายในเซลล์น้อยลงตามไปด้วย

การใช้กรดซิตริกมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาล เนื่องจากกรดซิตริกช่วยลดค่า pH ของอาหารให้อยู่ในช่วงที่เอนไซม์ทำงานได้ไม่ดี และมีสมบัติเป็น chelating agent ช่วยจับกับคอปเปอร์ไอออนที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ นอกจากนี้การใช้กรดซิตริกยังช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ (Sreenivas, Singha and Lele, 2011) Allali, Marchal และ Vorobiev (2010) พบว่า การใช้กรดซิตริกความเข้มข้น 0.5-2.0% มีผลช่วยเร่งการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสแบบเปิด เนื่องจากกรดซิตริกทำให้เพกตินที่

เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโครงสร้างของเพกตินอาจมีช่องว่างมากขึ้น ส่งผลให้การแพร่ผ่านของสารระหว่างการออสโมซิสเกิดได้ง่าย

นอกจากการเตรียมวัตถุดิบก่อนการออสโมซิสสามารถทำได้ด้วยวิธีที่กล่าวมา ปัจจุบันมีการใช้วิธีอื่นในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส เช่น การใช้ความดันสูง การใช้สนามไฟฟ้าเป็นจังหวะ เป็นต้น

2.2.2 ขั้นตอนการออสโมซิส

ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก อัตราการกวน อัตราส่วนระหว่างผลไม้งอกกับสารละลายออสโมติก เป็นต้น

2.2.2.1 ชนิดของสารละลายออสโมติก

ในการคัดเลือกสารละลายออสโมติกที่มีความเหมาะสมต้องพิจารณาถึง ราคา ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และสมบัติของสารที่จะนำมาใช้ เช่น ขนาดและน้ำหนักโมเลกุล ความหนืด เป็นต้น สารออสโมติกที่นิยมใช้ ได้แก่ ซูโครส กลูโคส โซเดียมคลอไรด์ ซอร์บิทอล และกลีเซอรอล โดยทั่วไปซูโครสได้รับความนิยมในการใช้ เนื่องจากมีผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดี นอกจากนี้น้ำตาลซูโครสยังหาได้ง่าย และมีราคาถูก

El-Aouar และคณะ (2006) ศึกษาผลของชนิดสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสของมะละกอ แปรชนิดสารออสโมติก 2 ชนิด ได้แก่ ซูโครส และคอร์นไซรัป ความเข้มข้น 50% (w/w) เป็นเวลา 165 นาที อุณหภูมิในการออสโมซิส 40 องศาเซลเซียส พบว่า มะละกอที่แช่ในสารละลายซูโครสมีค่า WL, SG และ WR สูงกว่ามะละกอที่แช่ในสารละลายคอร์นไซรัป เนื่องจากสารละลายคอร์นไซรัปมีความหนืดสูงกว่าซูโครส จึงมีการถ่ายเทมวลสารของมะละกอต่ำกว่า นอกจากนี้การที่คอร์นไซรัปมีมวลโมเลกุลสูงกว่าซูโครสอาจทำให้การแพร่ของสารเข้าไปในชิ้นมะละกอน้อยกว่าซูโครส ส่งผลให้ค่า SG ของตัวอย่างที่แช่ในคอร์นไซรัปน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ซูโครสในการออสโมซิส

Bchir และคณะ (2009) ศึกษาผลของชนิดสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสของเมล็ดทับทิม แปรชนิดสารละลายออสโมติก 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายซูโครส สารละลายกลูโคสและสารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลูโคส (50:50% w/w) โดยแช่ตัวอย่างในสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

พบว่า เมล็ดทับทิมที่ใช้สารละลายกลูโคสในการออสโมซิสมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของน้ำต่ำกว่าเมล็ดทับทิมที่ใช้ซูโครส แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของของแข็งสูงกว่า (14.78, 27.61 และ 48.06% ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) เนื่องจากกลูโคสมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าซูโครสทำให้สามารถแพร่ผ่านเข้าไปเนื้อเยื่อได้ดี ดังนั้นจึงเกิดการซึมผ่านของของแข็งได้ดี อย่างไรก็ตามการที่เกิดการแพร่ของของแข็งมาก ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและความแตกต่างแรงดันออสโมติกระหว่างสารละลายออสโมติกและเนื้อเยื่อลดลงส่งผลให้การกำจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อเกิดได้น้อยลง (Torreggiani and Bertolo, 2004)

2.2.2.2 ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิสมีผลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเนื้อเยื่อผลไม้และสารละลายออสโมติกจะเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดีกว่าการใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นต่ำ โดยทั่วไปจะใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้น 50-75% (w/w) (Raoult-Wack, 1994) อย่างไรก็ตามการใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงเกินไป อาจทำให้การถ่ายเทมวลสารเกิดได้ช้าลง เนื่องจากความหนืดของสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น หรืออาจเกิดชั้นฟิล์มของน้ำตาลบริเวณผิวของชิ้นผลไม้ ขัดขวางการเคลื่อนที่ของสาร (Sritongtae, Mahawanich and Duangmal, 2011) ในอุตสาหกรรมของไถยนิยมการทำแห้งแบบออสโมซิสด้วยวิธี multiple step โดยเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเป็นลำดับขั้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการ ออสโมซิสด้วยสารละลายออสโมติกความเข้มข้นเดียว (single step) ดังนั้นวิธีนี้จึงมีประโยชน์ในการช่วยลดเวลาการออสโมซิส (Korsrilabut, Borompichaichartkul and Duangmal, 2010; Sritongtae *et al.*, 2011)

การใช้อุณหภูมิในการออสโมซิสช่วยเร่งให้การถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในและภายนอกชิ้นผลไม้เข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงช่วยเร่งการเคลื่อนที่ของสารหรือทำให้เนื้อเยื่อและผนังเซลล์ของผลไม้อ่อนตัวลง นอกจากนี้อาจทำให้ความหนืดของสารละลายออสโมติกลดลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้เนื้อเยื่อเกิดความเสียหายและมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยทั่วไปจะไม่ให้อุณหภูมิเกิน 50-55 องศาเซลเซียส (Allali *et al.*, 2010)

Pan และคณะ (2003) ศึกษาผลของความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลาย ออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสของแครอทและฟักทอง แขนงตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดในสารละลายซูโครสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง แปรความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 3 ระดับ (20, 40 และ 50%) สำหรับแครอท และแปรความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 5 ระดับ (20, 30, 40, 50 และ 65%) สำหรับฟักทอง ร่วมกับการแปรอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก 2 ระดับ (40 และ 50 องศาเซลเซียส) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซูโครสทำให้ค่า WL และ SG ของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดสูงขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสสูงกว่า 50% อาจทำให้เกิด ชั้นฟิล์มของน้ำตาลบริเวณผิวของตัวอย่าง ส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า WL และ SG ลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิของสารละลายซูโครสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส พบว่า ตัวอย่างที่แช่ในสารละลายซูโครสที่อุณหภูมิต่างกันมีค่า WL และ SG ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

Falade และคณะ (2007) ศึกษาผลของความเข้มข้นและอุณหภูมิในการ ออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารของแตงโม แปรความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 3 ระดับ ได้แก่ 40, 50 และ 60 องศาบริกซ์ ร่วมกับการแปรอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก 3 ระดับ ได้แก่ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส โดยแช่ในแตงโมในสารละลายซูโครสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมติกทำให้ตัวอย่างมีค่า WL และ SG สูงขึ้น ($p\leq 0.05$) เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกทำให้ความแตกต่างของ แรงดันออสโมติกระหว่างชั้นผลไม้งอกกับสารละลายเพิ่มขึ้น ขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิของสารละลาย ออสโมติกทำให้การแพร่ของสารเกิดได้เร็วขึ้น

2.2.2.3 อัตราการกวนและอัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกกับอาหาร

ในระหว่างการออสโมซิสจะเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากชิ้นอาหาร ทำให้ ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่บริเวณผิวของชิ้นอาหารลดลง ส่งผลให้การถ่ายเทมวลสาร ลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้การใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูง อาจทำให้เกิดการ เคลือบของชั้นฟิล์มของน้ำตาลบริเวณผิวของชิ้นอาหาร ส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารเกิดได้ยากขึ้น ดังนั้นการกวนสารละลายออสโมติกระหว่างการออสโมซิสในอัตราที่เหมาะสมจึงช่วยให้เกิดการ เคลื่อนที่ของชิ้นอาหารและสารละลายออสโมติก ทำให้แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของสารบริเวณ ผิวหน้าของอาหารลดลง การถ่ายเทมวลสารจึงเกิดได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้อัตราการกวนที่สูงเกินไปอาจทำให้เนื้อเยื่อของอาหารเกิดการเสียหาย (Torreggiani and Bertolo, 2004)

เนื่องจากระหว่างการออสโมซิส น้ำจะเคลื่อนที่ออกจากเนื้อเยื่อเข้าสู่สารละลาย ออสโมติกและสารออสโมติกจะเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นอาหาร การเพิ่มอัตราส่วนของสารละลาย ออสโมติกกับอาหาร จึงช่วยป้องกันการเจือจางของสารละลายออสโมติกระหว่างการออสโมซิส ทำให้การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสเกิดได้คงที่ (Zhao and Xie, 2004)

นอกจากปัจจัยที่กล่าวมาแล้วยังมีอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส เช่น ความดันในขณะออสโมซิส เวลาในการออสโมซิส เป็นต้น (Falade and Igbeka, 2007) ปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมาล้วนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิส ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค และช่วยในการประหยัดเวลาและต้นทุนในการผลิต

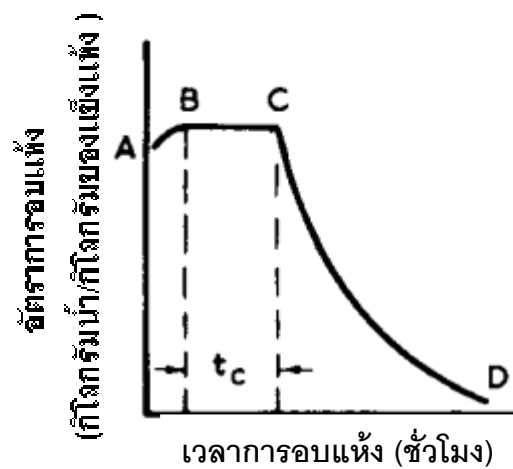
2.2.3 ขั้นตอนการอบแห้ง

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งต้องมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) และมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.65 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2546) ได้มีการกำหนดให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งต้องมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) และมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.75 จึงต้องมีการอบแห้งผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสเพื่อลดปริมาณความชื้นให้อยู่ในช่วงที่กำหนด

การอบแห้งเป็นการกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาหาร เพื่อให้ให้น้ำในอาหารระเหย และส่งผลให้ปริมาณความชื้นของอาหารลดลง จึงช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ลดลงทำให้การเจริญของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมี และชีวเคมีเกิดได้ช้าลง นอกจากนี้การทำแห้งทำให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลง ส่งผลให้การขนส่งทำได้สะดวกขึ้น (Erbay and Icier, 2009)

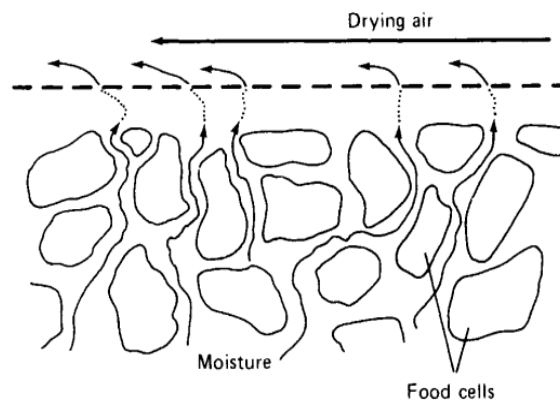
การอบแห้งสามารถแบ่งได้ 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (ภาพที่ 2.4)

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period): ในช่วงแรกของการอบแห้ง (ภาพที่ 2.4 ช่วง BC) อัตราการอบแห้งมีค่าคงที่ เนื่องจากน้ำที่ระเหยเป็นน้ำอิสระที่อยู่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง โดยน้ำภายในตัวอย่างสามารถเคลื่อนที่สู่ผิวของตัวอย่างได้อย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 2.5) ในช่วงนี้อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในมาทดแทนบนผิวของตัวอย่างเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำบริเวณผิวของตัวอย่าง การระเหยของน้ำในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นจนกระทั่งถึงจุดความชื้นวิกฤต (ภาพที่ 2.4 จุด C) ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการอบแห้งเริ่มลดลง



ภาพที่ 2.4 กราฟการอบแห้ง (ช่วง AB คือ ช่วงที่อุณหภูมิของตัวอย่างเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อน ช่วง BC คือ ช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่ และช่วง CD คือ ช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลง)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Fellows (2000)



ภาพที่ 2.5 การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารระหว่างอบแห้ง

ที่มา: Fellows (2000)

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period): เป็นช่วงหลังจุดความชื้นวิกฤต (ภาพที่ 2.4 ช่วง CD) อัตราการอบแห้งมีค่าลดลง เนื่องจากน้ำภายในตัวอย่างมีปริมาณน้อยลง จึงเคลื่อนที่ มาทดแทนที่ผิวหน้าได้ช้าลง อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในมาทดแทนบริเวณผิวของตัวอย่าง น้อยกว่าอัตราการระเหยน้ำ การระเหยของน้ำจะเกิดในลักษณะนี้จนถึงภาวะสมดุล (Cohen and Yang, 1995)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อน ชนิด ขนาด และรูปร่างของผลไม้ รวมถึงชนิดและความเข้มข้นสารละลายออสโมติก

นอกจากปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการระเหยน้ำระหว่างการอบแห้งแล้วยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง ในการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของผลิตภัณฑ์ โดยการทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง เพื่อหาเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม สามารถทำได้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Erbay and Icier, 2009) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง เช่น Page, Henderson and Pabis, modified Henderson and Pabis เป็นต้น โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่ละประเภทมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดและปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ รวมถึงโครงสร้างเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกัน

Mandala, Anagnostaras และ Oikonomou (2005) ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งของแอปเปิ้ลแช่อิ่ม แปรชนิดของสารละลายออสโมติก 2 ชนิด (สารละลายซูโครสและกลูโคส) ร่วมกับการแปรความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก (30 และ 45% (w/w)) เปรียบเทียบกับผลสด โดยควบคุมอุณหภูมิของสารละลายออสโมติกที่ 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างผลไม้กับสารละลายออสโมติกเป็น 1:1.5 จากนั้นอบแห้งแอปเปิ้ลแช่อิ่มด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง พบว่า ในช่วงต้นของการอบแห้งแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสมีการลดลงของปริมาณความชื้นเร็วกว่าแอปเปิ้ลสด อย่างไรก็ตามหลังจากนั้น แอปเปิ้ลสดมีการระเหยของน้ำเร็วกว่าแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากน้ำที่ระเหยในช่วงแรกของการอบแห้งเป็นน้ำอิสระ ซึ่งแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสมีน้ำบางส่วนที่เคลือบที่ออกจากเซลล์ของผลไม้สู่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง น้ำส่วนนี้สามารถระเหยได้ง่ายกว่าน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ จึงอาจเป็นสาเหตุที่ในช่วงแรกของการอบแห้งตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าตัวอย่างสด

Azoubel และคณะ (2009) ศึกษาผลของชนิดสารละลายออสโมติกต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งผลมะม่วงหิมพานต์ แปรชนิดของสารละลายออสโมติก (สารละลายซูโครสและคอร์นไซรัป) เปรียบเทียบกับผลมะม่วงหิมพานต์สด ร่วมกับการแปรอุณหภูมิอบแห้ง (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) โดยแช่ตัวอย่างในสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 52% (w/w) เป็นเวลา 165 นาที อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก 34 องศาเซลเซียส จากนั้นอบแห้งตัวอย่างจนน้ำหนักคงที่ พิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Single exponential, Page, Henderson and Pabis, Logarithmic, Two-term exponential และ Wang and Singh) ในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง พบว่า แบบจำลอง Two-term exponential เหมาะสมที่สุดในการ

ทำนายพฤติกรรมการอบแห้งของทุกชุดการทดลอง ยกเว้นผลมะม่วงหิมพานต์อบแห้งด้วย อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสที่ทำจากผลสด ซึ่งแบบจำลอง Page มีความเหมาะสมมากที่สุด นอกจากนี้พบว่า ผลมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้สารละลายซูโครสในการอบแห้งมีอัตราการอบแห้งต่ำกว่าผลมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้คอรีนไชรูป ซึ่งอาจเกิดจากการที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่างที่ใช้ซูโครสในการอบแห้งมีมากกว่าตัวอย่างที่ใช้คอรีนไชรูป ทำให้เกิดชั้นของน้ำตาลบริเวณผิวหน้า และขัดขวางการระเหยน้ำระหว่างการอบแห้ง

Falade และ Shogaolu (2010) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและอุณหภูมิการอบแห้งต่อพฤติกรรมการอบแห้งของพริกทอง แปรความเข้มข้นของสารละลายซูโครส (40, 50 และ 60 องศาบริกซ์) ร่วมกับการแปรอุณหภูมิในการอบแห้ง (50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส) พบว่า ในช่วงต้นของการอบแห้งพริกทองที่ผ่านการอบแห้งออสโมติกมีอัตราการอบแห้งต่ำกว่าพริกทองสด เนื่องจากพริกทองที่ผ่านการอบแห้งออสโมติกมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดก่อนการอบแห้งสูง ส่งผลให้การระเหยของน้ำในช่วงต้นของการอบแห้งเกิดได้น้อย อย่างไรก็ตามเมื่ออบแห้งเป็นเวลานานจนตัวอย่างมีปริมาณความชื้นลดลงต่ำ อัตราการอบแห้งของพริกทองสดกับพริกทองที่ผ่านการอบแห้งออสโมติกมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซูโครสและอุณหภูมิในการอบแห้ง พบว่า ค่าประสิทธิภาพการแพร่ผ่านของน้ำสูงขึ้น

Korsrilabut และคณะ (2010) ศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งของแคนตาลูปแช่อิ่ม แช่ขึ้นแคนตาลูปในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 40 และ 50 องศาบริกซ์ ตามลำดับ เวลาในการแช่ความเข้มข้นละ 24 ชั่วโมง โดยแปรความเข้มข้นของน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ 4 ระดับ ได้แก่ 0, 5, 10 และ 15% (v/v) จากนั้นจึงอบแห้งแคนตาลูปด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์คงที่ พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลอินเวิร์ตทำให้แคนตาลูปมีอัตราการอบแห้งลดลง เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีความสามารถในการจับน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่า แบบจำลอง modified Henderson and Pabis เหมาะสมในการทำนายการอบแห้งของตัวอย่างทุกชนิดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Page, modified Page, Henderson and Pabis, Two-term exponential และ Verma

Janjai และคณะ (2011) ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของลิ้นจี่อบแห้ง แปรอุณหภูมิของการอบแห้ง (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) อบแห้งจนตัวอย่างมีปริมาณความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 26-37% (โดยน้ำหนักแห้ง) แล้วพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 8 แบบจำลอง (Newton, Page, modified Page,

Henderson and Pabis, Logarithmic, Wang and Singh, Two term และ modified Henderson and Pabis) ในการทำนายพฤติกรรมกรรมการอบแห้ง พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่า แบบจำลอง Page มีความเหมาะสมในการทำนายพฤติกรรมกรรมการอบแห้งมากที่สุด เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อสีและปริมาณวิตามินซี พบว่า อุณหภูมิการอบแห้งไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้ง ทำให้ปริมาณวิตามินซีของลีนีลดลง ($p\leq 0.05$) เนื่องจากวิตามินซีสามารถสลายตัวจากความร้อนได้ดี

2.3 ผลของการใช้พอลิไฮดรอลิกลอสต่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

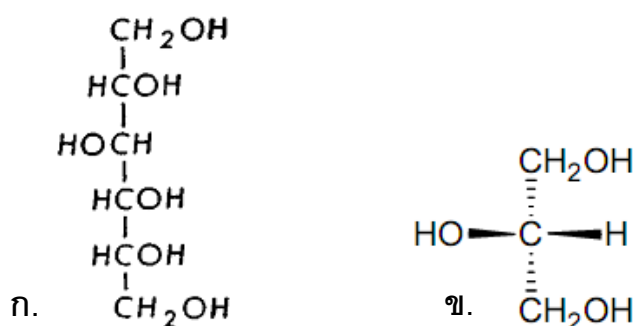
ในการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งนิยมใช้น้ำตาลทรายหรือเกลือเป็นส่วนประกอบในสารละลายออสโมติก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้น หรือค่า a_w ที่เหมาะสม และมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ อย่างไรก็ตามน้ำตาลทรายและเกลือมีข้อจำกัดในการใช้ หากใช้มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสหวานหรือเค็มจัด สีคล้ำ และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ต้องการ ส่งผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ จึงมีการใช้พอลิไฮดรอลิกลอสร่วมกับน้ำตาลทรายเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว เนื่องจากพอลิไฮดรอลิกลอสมีสมบัติในการดูดความชื้น และลดค่า a_w ซึ่งอาจช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส และยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

พอลิไฮดรอลิกลอส หมายถึงสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก เช่น กลีเซอรอล และน้ำตาลแอลกอฮอล์ น้ำตาลแอลกอฮอล์ คือ อนุพันธ์ของน้ำตาลที่หมู่คีโตน หรือหมู่แอลดีไฮด์ ที่ได้จากการรีดักชันของน้ำตาลตั้งต้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่น้ำที่เท่านั้น สามารถแบ่งเป็นสามกลุ่มตามโครงสร้างทางเคมี คือ โมโนแซ็กคาไรด์แอลกอฮอล์ ได้แก่ ซอร์บิทอล แมนนิทอล และไซลิทอล ซึ่งได้มาจากกลูโคส แมนโนส และไซโลส ตามลำดับ ไดแซ็กคาไรด์แอลกอฮอล์ ได้แก่ มอลติทอล แลคทิทอล ซึ่งได้มาจากมอลโทสและแลคโทส ตามลำดับ ไโอโซมอลท์ที่ได้มาจาก α -D-กลูโคไพราโนซิล-[1-6]-D-ซอร์บิทอล และ α -D-กลูโคไพราโนซิล-[1,6]-D-แมนนิทอล ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 และพอลิแซ็กคาไรด์แอลกอฮอล์ เช่น ไฮโดรเจนเตทสตาไรซ์ไฮโดรไลเซต (hydrogenated starch hydrolysates) (Wolever *et al.*, 2002)

ซอร์บิทอล (หรือ D-กลูซิทอล) มีสูตรเคมี $C_6H_{14}O_6$ จัดเป็นพอลิไฮดรอลิกลอสที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวน 6 หมู่ มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.6 ก ในทางอุตสาหกรรมผลิตได้จากปฏิกิริยา

ไฮโดรจีเนชันของกลูโคส ซอร์บิทอลมีลักษณะเป็นผงสีขาว มีความสามารถในการละลายน้ำ และความสามารถในการดูดความชื้นสูง ทนความร้อนได้ดี มีระดับความหวานประมาณ 0.5-0.6 เท่าของซูโครส จัดเป็นสารที่อยู่ในบัญชีรายชื่อสารประเภท generally recognized as safe (GRAS) นอกจากนี้ซอร์บิทอลยังให้พลังงานต่ำ โดยให้ค่าพลังงานเพียง 2 ใน 3 ของซูโครส คิดเป็น 2.6 กิโลแคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้กับผู้ป่วยโรคเบาหวาน หรือผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก

กลีเซอรอล มีสูตรเคมี $C_3H_8O_3$ เป็นไตรไฮดริกแอลกอฮอล์ มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.6 ข กลีเซอรอลมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้ดี มีจุดหลอมเหลว 17.8 องศาเซลเซียส จุดเดือด 290 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 1.261 มีความสามารถในการดูดความชื้นและลดค่า a_w ได้ดี มีความหนืดสูง และเป็น plasticizer ช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงความนุ่มนวล และมีความยืดหยุ่นที่ดี (O'Neil *et al.*, 2001) นิยมใช้ทั้งในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม เช่น ช่วยให้เค้คงความชุ่มชื้น ช่วยลดการเกิดปัญหา staling ในขนมปัง ควบคุมการระเหยของน้ำและการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่ม



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ ก.) ซอร์บิทอล ข.) กลีเซอรอล

Zenoozian และคณะ (2008) ศึกษาผลของสารละลายออสโมติกต่อจุลนพลศาสตร์การอบแห้งของผักทองแช่แข็ง โดยแปรชนิดของสารละลายออสโมติก (สารละลายซูโครสและซอร์บิทอล 50% (w/w)) และแช่ผักทองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งผักทอง แช่แข็งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซูโครสในการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นสุดท้ายสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซอร์บิทอล (1.5 และ 1.3% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) และใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่า (700 และ 660 นาที ตามลำดับ) โดยสามารถใช้แบบจำลอง Two term และแบบจำลอง Henderson and Pabis ในการทำนายจุลนพลศาสตร์การอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสด้วยซูโครส และผลิตภัณฑ์

ที่ผ่านการออกซิเดชันด้วยซอร์บิทอลได้ดีที่สุดตามลำดับ เมื่อเทียบกับแบบจำลอง Newton, Page, modified Page, modified Henderson and Pabis, Logarithmic, Two term, Wang and Singh, Simplified diffusion และ Verma

Pattanapa และคณะ (2010) ศึกษาผลการทดแทนสารละลายซูโครสด้วยกลีเซอรอลต่อคุณภาพของส้ม (พันธุ์สายน้ำผึ้ง) แช่อิ่มอบแห้ง โดยแปรอัตราส่วนของสารละลายซูโครส 60% (w/w) และสารละลายกลีเซอรอล 60% (w/w) 5 ระดับ (9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5) แช่ตัวอย่างในสารละลายออกซิเดชันเป็นเวลา 7 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลในการออกซิเดชันส่งผลให้ค่า WL และ SG ของตัวอย่างสูงขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าซูโครส เมื่อใช้กลีเซอรอลและซูโครสในปริมาณเท่ากัน โมลของกลีเซอรอลจะมากกว่าโมลของซูโครส ทำให้แรงดันออสโมติกของกลีเซอรอลสูงกว่าซูโครส ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนกลีเซอรอล จึงส่งผลให้ค่า WL สูงขึ้น และการที่ค่า SG เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลอาจมีผลมาจากขนาดโมเลกุลของกลีเซอรอลที่เล็กกว่าซูโครส จึงแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้ดีกว่า จากนั้นอบแห้งตัวอย่างที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที (ปริมาณความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 2.23-8.63 กิโลกรัม/น้ำ/กิโลกรัมของแห้ง) พบว่า แบบจำลอง Page สามารถทำนายลักษณะการอบแห้งได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลอง Lewis และการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนกลีเซอรอลทำให้ค่าคงที่ในการอบแห้งสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนกลีเซอรอลทำให้ค่า a_w และความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนกลีเซอรอลส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำมากขึ้น และมีค่า L^* ลดลง ($p \leq 0.05$)

Sritongtae และคณะ (2011) ศึกษาผลของพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งของแคนตาลูปแช่อิ่ม แปรชนิดของสารละลายออกซิเดชันเพื่อทดแทนซูโครสบางส่วนที่ความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ ด้วยพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ 2 ชนิด ได้แก่ ซอร์บิทอลและกลีเซอรอล ที่ความเข้มข้น 10% และ 15% (w/v) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v) (ชุดเปรียบเทียบ) และชุดควบคุมซึ่งไม่มีการทดแทนซูโครส (น้ำตาลซูโครส 50 องศาบริกซ์) อบแห้งตัวอย่างทุกชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนปริมาณความชื้นต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) พบว่า ชุดควบคุมมีค่าคงที่การอบแห้งสูงกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์สามารถจับน้ำได้ดี ปริมาณน้ำที่ระเหยในช่วงการอบแห้งจึงน้อยกว่าภาวะอื่น ๆ นอกจากนี้พบว่า แบบจำลอง Page สามารถทำนายลักษณะการอบแห้งของทุกชุดการทดลองได้ดีกว่าแบบจำลอง Henderson และ Pabis เมื่อพิจารณา

ความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์ด้วยการวัดค่า spin-lattice relaxation time ($^1\text{H NMR } T_1$) โดยใช้เครื่อง nuclear magnetic resonance spectrometer (NMR) พบว่าผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ในการออกซิเดชัน และชุดเปรียบเทียบมีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ต่ำกว่าชุดควบคุม แสดงถึงความสามารถในการจับน้ำของพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์และน้ำตาลอินเวิร์ตที่มากกว่าซูโครส

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งกับมอยส์เจอร์ชอร์พชันไอโซเทิร์ม

ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลง เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบของอาหาร ภาวะการเก็บรักษา เป็นต้น

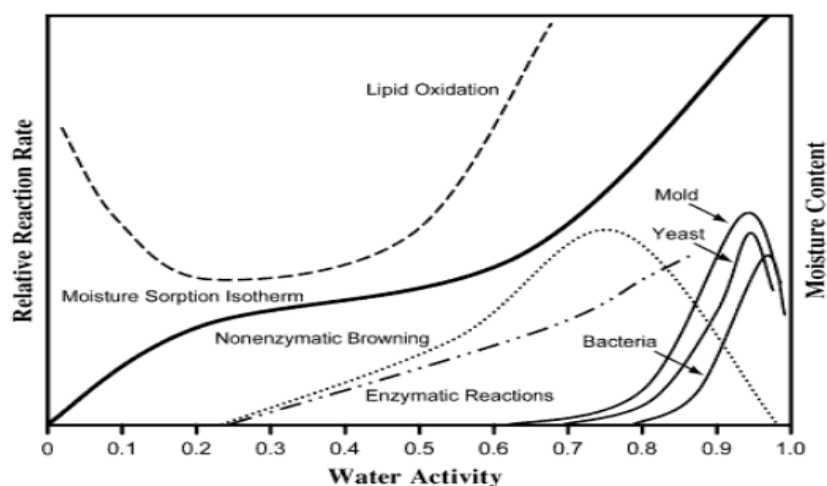
2.4.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งอาจเกิดผลึกน้ำตาลบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการเกิดเนื้อสัมผัสที่แห้งแข็ง ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค จึงมีแนวคิดแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตและพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ที่มีความสามารถในการดูดความชื้นได้ดีทดแทนซูโครสบางส่วน เพื่อช่วยลดการเกิดผลึก และรักษาความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์ (อาพร ละออกอ, 2547; วีรยา พรหมประเทศ, 2551; Korsrilabut *et al.*, 2010; Sritongtae *et al.*, 2011)

ปฏิกิริยาเคมีหลักที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา คือ ปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ โดยเฉพาะปฏิกิริยาเมลลาร์ด เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีน้ำตาลซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดสูง นอกจากนี้ค่า a_w ของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งอยู่ในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาประเภทนี้ได้ดี (0.60-0.80) (ภาพที่ 2.7) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ และมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง บุรฉัตร ศรีทองแท้ (2551) พบว่า การทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (ซอร์บิทอลและกลีเซอรอล) ในการออกซิเดชันแคนตาลูป อาจช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ได้ เนื่องจากซอร์บิทอลและกลีเซอรอลไม่มีหมู่คาร์บอนิลที่จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

การเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งอาจเกิดขึ้นได้จากการดูดความชื้นและการเพิ่มขึ้นของค่า a_w ในระหว่างการเก็บรักษา การทดแทนซูโครสบางส่วนด้วย

พอลิไฮดริกแอลกอฮอล์และน้ำตาลอินเวิร์ต ซึ่งมีความสามารถในการจับน้ำได้ดี และส่งผลในการลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ จึงอาจช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับค่าวอเตอร์แอกทิวิตี

ที่มา: Labuza และ Altunakar (2007)

Duangmal, Laorko และ Tattiyakul (2005) ศึกษาผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อคุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง โดยแช่ขึ้นมะละกอในสารละลายผสมซึ่งประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1% (w/v) กรดซิตริกความเข้มข้น 1% (w/v) และแคลเซียมคลอไรด์ 1.5% (w/v) เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นแช่มะละกอในสารละลายชูโครสที่ความเข้มข้น 35, 45, 55 และ 65 องศาบริกซ์ ความเข้มข้นละ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยทดแทนสารละลายชูโครสความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ ด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต แปรความเข้มข้นของน้ำตาลอินเวิร์ต (0, 5, 10 และ 15% (v/v)) จากนั้นอบแห้งมะละกอแช่อิ่มด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นประมาณ 15% (โดยน้ำหนักเปียก) แล้วเก็บผลิตภัณฑ์ในถุงพอลิเอทิลีน ติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ทุก 3 สัปดาห์ เป็นเวลา 21 สัปดาห์ พบว่า การทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตในการออสโมซิสช่วยลดการเกิด hardening และผลึกน้ำตาลบนผิวของผลิตภัณฑ์ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ชูโครสเพียงอย่างเดียวในการออสโมซิส นอกจากนี้พบว่า หลังเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 21 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนชูโครสด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตความเข้มข้น 15% (v/v) ได้รับการยอมรับมากที่สุด

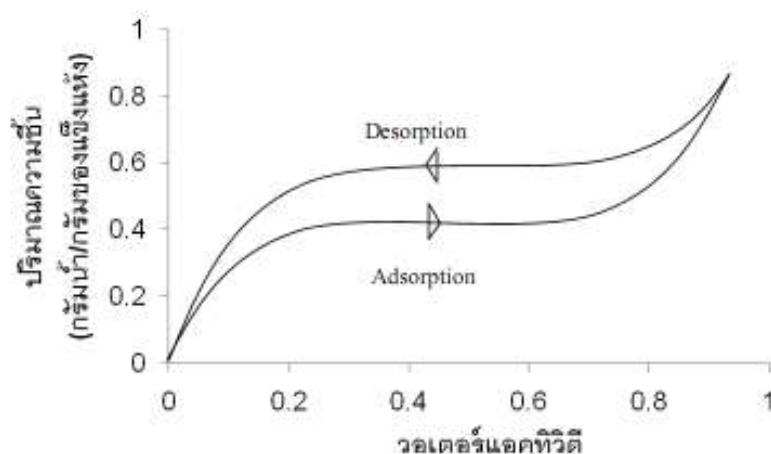
Duangmal และ Khachonsakmetee (2009) ศึกษาผลของการทดแทนโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ด้วยน้ำผึ้งต่อคุณภาพของฝรั่งแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บ โดยแช่ขึ้นฝรั่งในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.25% (w/v) กรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v)

กรดซิตริก 1% (w/v) แคลเซียมคลอไรด์ 1% (w/v) และน้ำผึ้ง โดยแปรความเข้มข้นของน้ำผึ้ง (0, 1 และ 3% (v/v)) เปรียบเทียบกับชุดเปรียบเทียบที่ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.5% (w/v) โดยไม่ใช้น้ำผึ้ง แคร้ตัวอย่างในสารละลายผสมเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นแคร้ตัวอย่างในสารละลายชูโครสความเข้มข้น 35, 45 และ 55% (w/w) ความเข้มข้นละ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายชูโครสให้อยู่ที่อุณหภูมิห้องระหว่างการออสโมซิส อัตราส่วนระหว่างฝรั่งกับสารละลายเป็น 1:5 จากนั้นอบแห้งฝรั่งแช่เย็นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งปริมาณความชื้นของตัวอย่างประมาณ 15% (โดยน้ำหนักเปียก) เก็บผลิตภัณฑ์ในถุงพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยวัดสมบัติของตัวอย่างทุก 3 สัปดาห์ เป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเวลานาน ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความแข็งและค่างานในการตัดสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการสูญเสียความชื้นบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์สู่อากาศ และการเกิดผลึกน้ำตาล การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผึ้งที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งและค่างานในการตัดของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความสามารถในการดูดความชื้นของน้ำตาลรีดิวิชั่นที่เป็นส่วนประกอบของน้ำผึ้ง นอกจากนี้การใช้น้ำผึ้งในการปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบสามารถลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ ซึ่งอาจเกิดจากการที่น้ำผึ้งมีเพปไทด์มัลโม่เลกุลต่ำที่มีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

Mahayothee และคณะ (2009) ศึกษาผลของชนิดสารละลายออสโมติกต่อการเปลี่ยนแปลงสีของลิ้นจี่แช่อบแห้ง โดยแช่ลิ้นจี่ในสารละลายชูโครสความเข้มข้น 25 องศาบริกซ์ แปรชนิดของสารละลายออสโมติกที่ใช้ผสมกับชูโครส (กลีเซอรอลและทรีฮาโลส ที่ความเข้มข้น 5%) แคร้ตัวอย่างในสารละลายออสโมติกเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นอบแห้งตัวอย่างที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีค่า a_w ระหว่าง 0.5-0.6 เก็บตัวอย่างในถุงพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างวิเคราะห์ทุกเดือน เป็นเวลา 5 เดือน พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารละลายกลีเซอรอลร่วมกับชูโครสในการออสโมซิสมีความสามารถในการชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลีเซอรอลผสมกับทรีฮาโลสร่วมกับชูโครส และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทรีฮาโลสร่วมกับชูโครส ตามลำดับ สาเหตุที่กลีเซอรอลสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดี เนื่องจากกลีเซอรอลไม่มีหมู่คาร์บอนิลอิสระที่สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน จึงลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมซ์เอนไซม์ได้

2.4.2 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทอรัม

มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทอรัม (moisture sorption isotherm, MSI) เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของอาหารที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่ adsorption isotherm และ desorption isotherm กราฟทั้ง 2 รูปแบบเกิดจากกลไกในการเคลื่อนย้ายความชื้นที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปการสร้าง MSI แบบ adsorption isotherm ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะใช้สำหรับอาหารแห้ง ซึ่งอาศัยข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอาหารไว้ในภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ กัน แล้วปล่อยให้เกิดการเคลื่อนย้ายความชื้นจากอากาศสู่อาหารจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ขณะที่ desorption isotherm สร้างได้จากข้อมูลที่ได้จากการเก็บอาหารที่มีปริมาณความชื้นสูงไว้ในภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วปล่อยให้เกิดการเคลื่อนย้ายความชื้นจากอาหารสู่อากาศจนเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยที่ค่า a_w เดียวกัน ปริมาณความชื้นของอาหารที่ภาวะสมดุลของ desorption isotherm สูงกว่า adsorption isotherm เสมอ ซึ่งช่วงความแตกต่างดังกล่าวที่เกิดขึ้นเรียกว่า hysteresis แสดงในภาพที่ 2.8 (Al-Muhtaseb, Mcminn and Magee, 2002)



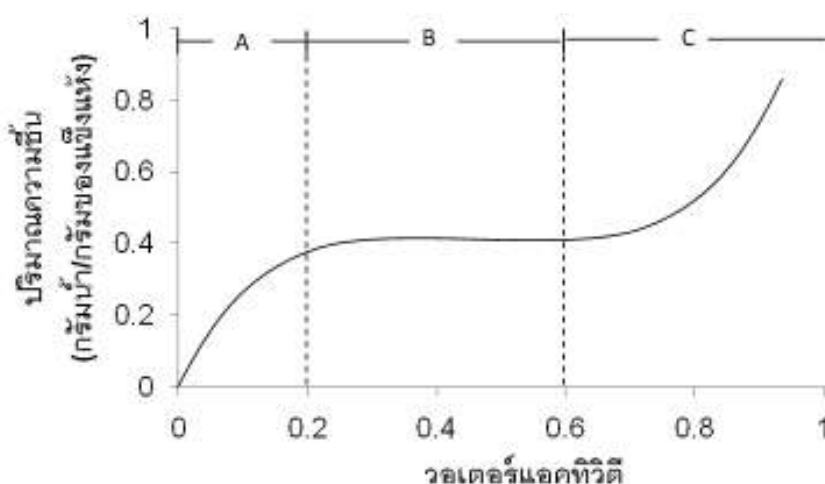
ภาพที่ 2.8 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทอรัม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Al-Muhtaseb และคณะ (2002)

การสร้าง MSI ที่อุณหภูมิต่าง ๆ สามารถใช้เป็นแนวทางในการหาภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร และการเลือกบรรจุภัณฑ์ รวมถึงการปรับปรุงส่วนผสมของอาหาร (Fennema, 1996) นอกจากนี้สำหรับอาหารแห้งและอาหารกึ่งแห้งการสร้าง MSI ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ยังช่วยในการเลือกปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่เหมาะสมได้อีกด้วย (Mathlouthi, 2001)

MSI สามารถแบ่งได้ 3 ช่วงตามชนิดของน้ำในอาหาร (ภาพที่ 2.9) ได้แก่ A, B และ C (Mathlouthi, 2001)

ช่วงกราฟ A แสดงถึง monolayer water ซึ่งเป็นน้ำที่เกิดพันธะไฮโดรเจนอย่างแข็งแรงกับโมเลกุลของสารในผลิตภัณฑ์อาหาร ขณะที่ช่วงกราฟ B แสดงถึง multilayer water ซึ่งมีลักษณะเป็นโมเลกุลของน้ำที่จับกันอยู่ด้วยพันธะไฮโดรเจนและเรียงตัวหลายชั้น น้ำในชั้นนี้จะอยู่ติดกับ monolayer water ส่วนช่วงกราฟ C แสดงถึงน้ำอิสระในอาหาร



ภาพที่ 2.9 การแบ่งชนิดของน้ำในอาหารตามมอยส์เจอร์ชอร์พชันไอโซเทอรัม

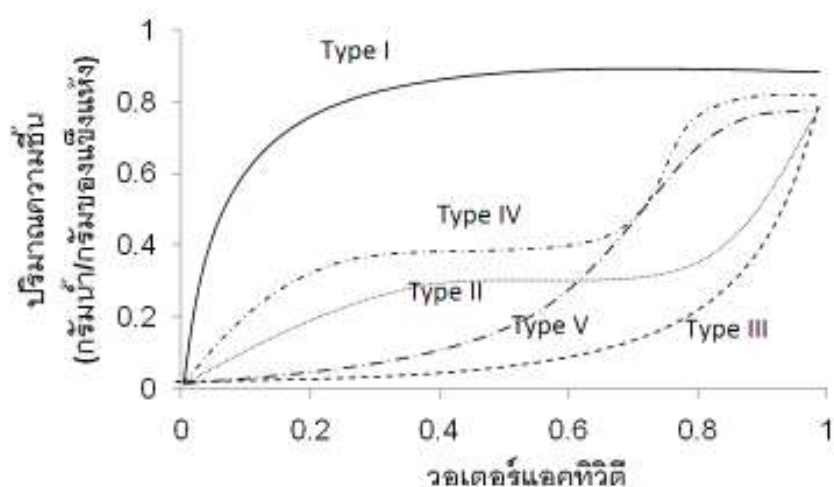
ที่มา: ดัดแปลงจาก Mathlouthi (2001)

รูปแบบของ MSI มีทั้งหมด 5 แบบ คือ Langmuir isotherm (Type I), Sigmoid isotherm (Type II), Flory-Higgins isotherm (Type III), Type IV และ BET multilayer adsorption-isotherm (Type V) (Basu, Shivhare and Mujumdar, 2006) แสดงดังภาพที่ 2.10 แต่โดยทั่วไปรูปแบบของ MSI ที่พบในอาหารมี 3 แบบ คือ Type I, Type II และ Type III รูปแบบของ MSI ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและองค์ประกอบของอาหาร

รูปแบบ Type I พบมากในสารกันการรวมตัวเป็นก้อน (anticaking agent) เช่น อลูมิเนียมซิลิเกต ซึ่งเป็นสารที่สามารถดูดความชื้นได้ดีตั้งแต่ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ดังนั้นปริมาณความชื้นของสารที่ภาวะสมดุลจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นในระบบสูงขึ้น

รูปแบบ Type II มีลักษณะกราฟแบบ sigmoidal shape พบในอาหารส่วนใหญ่ ซึ่งมีทั้งสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน รวมอยู่กับตัวถูกละลาย เช่น เกลือ น้ำตาล

รูปแบบ Type III มีลักษณะกราฟแบบ J shape พบในน้ำตาล เกลือ และอาหารที่มีน้ำตาลหรือเกลือในปริมาณสูง แต่มีพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ในปริมาณต่ำ พบได้ในผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ลูกกวาด แยม เป็นต้น เมื่อค่า a_w ในระบบมีค่าต่ำ อาหารกลุ่มนี้จะดูดความชื้นได้ช้า แต่เมื่อค่า a_w ในระบบมีค่าสูงถึงค่าหนึ่ง (ประมาณ 0.6-0.7) อาหารกลุ่มนี้จะสามารถดูดความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ลักษณะทางกายภาพของอาหารเปลี่ยนแปลง จนก่อให้เกิดการไม่ยอมรับของผู้บริโภค



ภาพที่ 2.10 รูปแบบของมอยส์เจอร์ซอร์พชั่นไอโซเทิร์ม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Basu และคณะ (2006)

วิธีการสร้าง MSI ที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ การเก็บตัวอย่างอาหารที่ทราบน้ำหนักแน่นอนในภาชนะปิดที่มีภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 10-90% รอให้เกิดการเคลื่อนย้ายความชื้นระหว่างอาหารกับอากาศภายในภาชนะจนเข้าสู่ภาวะสมดุล จากนั้นบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วนำน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงกับปริมาณความชื้นเริ่มต้นไปคำนวณปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุล เพื่อนำไปใช้ในการสร้าง MSI ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ (Spiess and Wolf, 1987)

ต่อมาจึงอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนาย MSI สำหรับอาหารชนิดนั้น ๆ ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนาย MSI สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองแบบ 2 ตัวแปร เช่น Brunauer-Emmett-Teller (BET) model (Brunauer, Emmett and Teller, 1938), modified Halsey model (Halsey, 1948), modified Oswin model (Oswin, 1946), modified Henderson model (Henderson, 1952) เป็นต้น แบบจำลองแบบ 3 ตัวแปร

เช่น Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) model (Van den berg, 1984) และแบบจำลองแบบ 4 ตัวแปร เช่น Peleg model (Peleg, 1993)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมในการทำนาย MSI คือ แบบจำลอง BET และแบบจำลอง GAB (สมการที่ 2.1 และ 2.2) แบบจำลอง BET มีความเหมาะสมในการทำนายรูปแบบ MSI ในช่วงค่า a_w ระหว่าง 0.05-0.50 ทำให้ไม่สามารถประยุกต์ใช้งานกับผลิตภัณฑ์อาหารทุกประเภทได้ จึงมีการพัฒนาแบบจำลอง GAB ขึ้นมา โดยแบบจำลอง GAB ครอบคลุมช่วง a_w ที่กว้างกว่าแบบจำลอง BET และใช้ได้ดีกับอาหารหลายชนิด (Timmermann, Chirife and Iglesias, 2001) แบบจำลองทั้ง 2 ประเภทสามารถใช้ในการทำนายค่า monolayer moisture content (M_o) ของอาหาร ซึ่งค่านี้แสดงถึงปริมาณความชื้นสูงสุดที่อาหารมีความเสถียร และใช้เป็นแนวทางในการเลือกภาวะการเก็บที่เหมาะสมของอาหารแต่ละชนิด

$$M = \frac{M_o C a_w}{(1 - a_w)(1 + C a_w - a_w)} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$M = \frac{M_o C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \dots\dots\dots(2.2)$$

เมื่อ M = ปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุล (กรัมน้ำ/กรัมของแข็งแห้ง)

M_o = monolayer moisture content (กรัมน้ำ/กรัมของแข็งแห้ง)

C, K = ค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.4.3 ลักษณะมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทิร์มของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมักมีรูปแบบ MSI เป็นแบบ J-shape (Type III) เนื่องจากผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทที่มีปริมาณน้ำตาลสูง (สูงกว่าร้อยละ 65 โดยน้ำหนักแห้ง) ในช่วงค่า a_w สูงกว่า 0.6-0.7 น้ำตาลในผลิตภัณฑ์เกิดการละลายเปลี่ยนจากรูปผลึกไปอยู่ในรูปอสัณฐาน ซึ่งน้ำตาลในรูปอสัณฐานสามารถดูดความชื้นได้ดีกว่าน้ำตาลในรูปผลึก (Falade, Adetunji and Aworh, 2003) ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถดูดความชื้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นเส้นกราฟจึงมีลักษณะโค้งสูงชันอย่างรวดเร็วในช่วงค่า a_w ดังกล่าว (ภาพที่ 2.10, Type III)

Chottanom และ Phoungchandang (2005) ศึกษา MSI ของมะม่วงอบแห้ง 2 ตัวอย่างที่ทำจากมะม่วงสดกับมะม่วงที่ผ่านการออกซิเดชันในสารละลายซูโครส 63% (w/w) ที่อุณหภูมิ 35

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งตัวอย่างทั้งหมดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้ตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นต่างกัน 8 ระดับ เพื่อแปรระดับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ จากนั้นจึงวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ด้วยมานอมิเตอร์ พบว่า ช่วงค่า a_w ต่ำกว่า 0.67 ปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของมะม่วงอบแห้งที่ทำจากมะละกอสดสูงกว่ามะม่วงอบแห้งที่ผ่านการอบสโมคก่อนการอบแห้ง ขณะที่ช่วงค่า a_w สูงกว่า 0.67 ปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของมะม่วงอบแห้งที่ผ่านการอบสโมคก่อนการอบแห้งกลับสูงกว่ามะม่วงอบแห้งที่ทำจากมะละกอสอด ทั้งนี้เนื่องจากที่ค่า a_w ต่ำ น้ำตาลในชิ้นผลไม้อยู่ในรูปผลึกซึ่งดูดความชื้นได้น้อย แต่ที่ค่า a_w สูง น้ำตาลจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอสัณฐาน ซึ่งมีความสามารถในการดูดความชื้นได้ดีกว่าในรูปผลึก ดังนั้นในมะม่วงอบแห้งที่ทำจากมะม่วงที่ผ่านการอบสโมคซึ่งมีน้ำตาลสูงกว่าจึงสามารถดูดความชื้นได้ดีกว่า รูปแบบ MSI ของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งสอดคล้องกับ MSI ของกล้วย plantain แช่อิ่มอบแห้ง (Falade *et al.*, 2003) และมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (Jain *et al.*, 2010) ที่มี MSI เป็นแบบ J-shape เช่นเดียวกัน

ปัจจัยของการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่มีผลต่อมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทอรั่มมีดังต่อไปนี้

2.4.3.1 ความสูงของผลไม้

องค์ประกอบทางเคมีของผลไม้จะเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกของผลไม้ Falade และ Aworh (2004) พบว่า เมื่อระดับการสุกของแอปเปิ้ลและมะม่วงแอฟริกาเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของผลไม้ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อนำมาทำผลไม้แช่อิ่มอบแห้งและสร้าง MSI พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัตถุดิบที่มีระดับความสุกสูง มีปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัตถุดิบที่มีระดับความสุกต่ำกว่าที่ค่า a_w เดียวกัน (ในช่วง 0.1-0.9) และค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง GAB ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัตถุดิบที่มีระดับความสุกสูง มีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัตถุดิบที่มีระดับความสุกต่ำกว่า

2.4.3.2 ชนิดของสารละลายออสโมติก

บุรฉัตร ศรีทองแท้ (2551) ศึกษาผลของการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ (ซอร์บิทอลและกลีเซอรอล) และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อ MSI ของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการทดแทนซูโครสในการอบสโมค พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตในการอบสโมคมีค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง BET สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอล และผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการทดแทน ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง BET สูง

ชี้ให้เห็นว่า สารละลายออสโมติกที่ใช้มีความสามารถในการจับโมเลกุลของน้ำได้ดี ผลของค่า M_0 ที่ได้สอดคล้องกับ ธีญววรรณ อยู่แก้ว (2551) ซึ่งพบว่า ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มที่ทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตในการออสโมซิสมีค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง BET สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยมอลโทเดกซ์ทริน และผลิตภัณฑ์ที่ไม่มี การทดแทนตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยทั้ง 2 ชิ้นชี้ให้เห็นว่า แบบจำลอง BET ใช้ทำนาย MSI ได้ดีในช่วงค่า a_w ระหว่าง 0.05-0.50 จึงควรมีการใช้แบบจำลอง GAB แทน Farahnaky, Ansari และ Majzooobi (2010) พบว่าผลมะเดื่อที่ผ่านการออสโมซิสแบบแห้งด้วยกลีเซอรอลมีค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง GAB สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลูโคสไซรัปในการออสโมซิส ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าความสามารถในการจับน้ำของสารออสโมติกแต่ละชนิดขึ้นกับโครงสร้างโมเลกุลของสารออสโมติก โดยโครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอลและซอร์บิทอลมีอัตราส่วนระหว่าง OH:C เป็น 1:1 น้ำตาลอินเวิร์ตและกลูโคสมีอัตราส่วนระหว่าง OH:C เท่ากับ 0.83:1 และมอลโทเดกซ์ทรินกับชูโครสมีอัตราส่วนระหว่าง OH:C เท่ากับ 0.67:1 ทำให้สารออสโมติกเหล่านี้มีส่วนชอบน้ำ (hydrophilic) มากกว่าชูโครส จึงมีความสามารถในการจับน้ำได้ดีกว่า (Sagiv and Marcus, 2003)

2.4.3.3 ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ผลของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกต่อค่า M_0 ของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งยังไม่ชัดเจน โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายชูโครสในการออสโมซิส ค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง GAB ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง โดยพบได้ในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง (Falade, Olukini and Adegoke, 2004) แอปเปิลและมะม่วงแอฟริกาแช่อิ่มอบแห้ง (Falade and Aworh, 2004) และมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง (Lemus-mondaca *et al.*, 2009) ขณะที่ Falade และคณะ (2003) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของชูโครสในการออสโมซิสทำให้ค่า M_0 ของผลิตภัณฑ์กล้วย plantain แช่อิ่มอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าค่า M_0 นอกจากจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกแล้วยังขึ้นกับโครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้แต่ละชนิดอีกด้วย อย่างไรก็ตามในกรณีที่ใช้กลีเซอรอลเป็นสารละลายออสโมติก Farahnaky, Ansari และ Majzooobi (2009) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลในการออสโมซิสผลมะเดื่อ ค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง GAB ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.4.3.4 วิธีการอบแห้ง

เนื่องจากวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกันทำให้ลักษณะโครงสร้างและปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ MSI ของผลิตภัณฑ์ต่างกันตามไปด้วย Klewicki

และคณะ (2009) พบว่า sour cherry และ black currant แครอทที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง GAB ต่ำกว่าผลไม้แครอทที่อบแห้งด้วยลมร้อน อย่างไรก็ตาม Phongsomboon และ Intipunya (2009) พบว่า แครอทแครอทที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง GAB ต่ำกว่าแครอทแครอทที่อบแห้งด้วยลมร้อน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าค่า M_0 นอกจากจะขึ้นกับวิธีการอบแห้งแล้วยังขึ้นกับโครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้แต่ละชนิดอีกด้วย

นอกจากนี้ Phongsomboon และ Intipunya (2009) พบว่า ในช่วงค่า a_w สูงกว่า 0.77 ผลิตภัณฑ์แครอทแครอทที่อบแห้งที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งอาจเกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีลักษณะภายในเป็นรูพรุนจึงสามารถดูดความชื้นได้ดี โดยผลของค่า M_0 และปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของแครอทแครอทที่อบแห้งสอดคล้องกับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งซึ่งมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยลมร้อน แต่สามารถดูดความชื้นได้ดีในภาวะบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ซื้อจากตลาดมหานาค กรุงเทพฯ ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2555 น้ำหนักผลประมาณ 2.5 – 3.0 กิโลกรัม เปลือกมีสีเขียวปนเหลือง เนื้อภายในผลมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล ระยะเวลาสุกหนึ่งในสอง (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2545)

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี

Acetic acid	J.T. Baker, NJ	AR grade
Acetonitrile	Fisher, UK	HPLC grade
Barium chloride	Univar, Australia	AR grade
Disodium hydrogen organophosphate	Univar, Australia	AR grade
Ethyl alcohol absolute	J.T. Baker, NJ	AR grade
D-(-)-Fructose	Fisher, UK	AR grade
D-(+)-Glucose	Univar, Australia	AR grade
Glutaraldehyde	Unilab, Australia	AR grade
Lithium chloride	Univar, Australia	AR grade
Magnesium chloride	Rankem, India	AR grade
Magnesium nitrate	Qrec, New Zealand	AR grade
n-Heptane	Fisher, UK	AR grade
Phenolphthalein	Merck, Germany	AR grade
Potassium acetate	Loba Chemie, India	AR grade
Potassium carbonate	Rankem, India	AR grade
Potassium chloride	Univar, Australia	AR grade
Potassium hexacyanoferrate trihydrate	Loba Chemie, India	AR grade
Potassium hydrogen phthalate	Univar, Australia	AR grade

Sodium bromide	Rankem, India	AR grade
Sodium chloride	Univar, Australia	AR grade
Sodium dihydrogen organophosphate	Univar, Australia	AR grade
Sodium hydroxide	Univar, Australia	AR grade
Strontium chloride	Univar, Australia	AR grade
Sucrose	Rankem, India	AR grade
Toluene	Qrec, New Zealand	AR grade
Zinc sulphate heptahydrate	Loba Chemie, India	AR grade

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

Peptone	Himedia, India	AR grade
Plate count agar	Merck, Germany	AR grade
Potato dextrose agar	Merck, Germany	AR grade
Tartaric acid	Univar, Australia	AR grade

สารเคมีและวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต

น้ำตาลทรายบริสุทธิ์	บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย	
Calcium chloride	Tokuyama, Co., Ltd., Tokyo, Japan	Food grade
Citric acid	Foodchem International, Co., Ltd., Shanghai, China	Food grade
Glycerol	CPLchemical, Co., Ltd., Johor Bahru, Malaysia	Food grade
Sorbitol	Tokuyama, Co., Ltd., Tokyo, Japan	Food grade

อุปกรณ์

Analytical Balances (Sartorius Model A200s, Bradford, Germany)

Analytical Balances (Sartorius Model CP 224s, Bradford, Germany)

Approximate Weighing Balances (Mettler Toledo Model ML 1602/01, Greifensee, Switzerland)

Autoclave (Tomy Autoclave Model ss-320, Tokyo, Japan)

ColorFlex[®] (HunterLab Reston Model 45/0-s, Reston, VA)

Critical Point Dryer (Balzers Model CPD 020, Furstentum, Liechtenstein)

Hand refractometer (Atago Model master3M, Tokyo, Japan)

High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Varian Prostar Model 335, Walnut Creek, CA) (วิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

Hot Air Oven (Heraeus Model ST5042, Postfach, Germany)

Incubator (Mettler Model 500, Schwabach, Germany)

Ion sputter (Balzers Model SCD 040, Vaduz, Liechtenstein)

Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (Oxford Instruments Model Varian[®] Inova, Palo Alto, CA) (วิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

pH meter (Eutech Model pH 2700, Queenstown, Singapore)

Scanning Electron Microscope (JEOL Model JSM-5410LV, Tokyo, Japan) (วิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

Spectrophotometer (Thermo Spectronic[®] Model Genesys 10UV, Waltham, MA)

Stomacher Circulator (Seward Stomacher Model Stomacher[®] 400, London, England)

Texture Analyser (Stable Micro System Model TA.XT2i, Godalming, UK)

Tray Dryer (Yeo heng Model HA-100S, Bangkok, Thailand)

Viscometer (Fungilab Model AlphaL, Bohemia, NY)

Vortex Mixers (Labnet Model VX100, Woodbridge, NJ)

Water activity meter (Novasina Model ms1 Set a_w , Lachen, Switzerland)

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะละกอสด

3.1.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1

3.1.2 ค่าสีในระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง Color Flex[®] แหล่งกำเนิดแสง D₆₅ มุมมอง 10° รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2

3.1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วย hand refractometer

3.1.4 ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก (AOAC, 2000) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.3

3.1.5 ความแข็งของเนื้อมะละกอด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้หัววัด cylindrical probe P/2 กำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้ Pre-test speed: 1.5 มิลลิเมตร/วินาที Test-speed: 1.5 มิลลิเมตร/วินาที Post-test speed: 10 มิลลิเมตร/วินาที Distance: 10 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลเพื่อใช้รายงานสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะละกอกที่ใช้ทดลอง

3.2 ศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

ล้างและปอกเปลือกมะละกอก หั่นมะละกอกตามขวางเป็นชิ้นขนาด 1.5 x 1.5 x 7.0 เซนติเมตร แช่มะละกอกในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยกรดซิตริก 1.0% (w/v) และ แคลเซียมคลอไรด์ 1.0% (w/v) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วต้มมะละกอกในน้ำเดือด 10 นาที จากนั้นจึงแช่มะละกอกในสารละลายซูโครสที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิเริ่มต้นของสารละลายซูโครส 55 องศาเซลเซียส (ใช้เวลา 3 ชั่วโมง 40 นาที อุณหภูมิของสารละลายออสโมซิสลดลงถึงอุณหภูมิห้อง) อัตราส่วนมะละกอกต่อสารละลายซูโครสเป็น 1:3 โดยแปรวิธีการออสโมซิส 2 วิธี ดังนี้

1. วิธี single step: แช่ตัวอย่างในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ โดยทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วน [10% (v/v)] ด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต เป็นเวลา 15 ชั่วโมง
2. วิธี multiple step: แช่ตัวอย่างในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 40, 50 และ 60 องศาบริกซ์ ตามลำดับ เวลาในการแช่ความเข้มข้นละ 5 ชั่วโมง โดยที่ระดับความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วน [10% (v/v)] ด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต

น้ำตาลอินเวิร์ตที่ใช้ในการทดลองเตรียมโดยเติมกรดซิตริก 5% (w/v) ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน เพื่อให้เกิดการไฮโดรไลส์อย่างสมบูรณ์ (Korsrilabut *et al.*, 2010)

ติดตามการถ่ายเทมวลสารของมะละกอกด้วยการออสโมซิสทั้ง 2 วิธี ตลอดการออสโมซิสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง คำนวณค่าการสูญเสียน้ำ (water loss, WL) ค่าการเพิ่มขึ้นของแข็ง

(solid gain, SG) และค่าการลดลงของน้ำหนัก (weight reduction, WR) ซึ่งคำนวณดังสมการที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ (Lombard *et al.*, 2008)

$$\text{water loss (\%)} = \frac{(M_o \times X_{wo}) - (M_t \times X_{wt})}{M_o} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\text{solid gain (\%)} = \frac{(M_t \times X_{st}) - (M_o \times X_{so})}{M_o} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{weight reduction (\%)} = \frac{(M_o - M_t)}{M_o} \times 100 \dots\dots\dots(3.3)$$

เมื่อ M_o = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

M_t = น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสแล้ว (กรัม)

X_{so} = องศาบริกซ์เริ่มต้นของตัวอย่าง

X_{st} = องศาบริกซ์สุดท้ายของตัวอย่างหลังการออสโมซิส

X_{wo} = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (% โดยน้ำหนักเปียก)

X_{wt} = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างหลังการออสโมซิส (% โดยน้ำหนักเปียก)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผล โดยแสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองที่เวลาการออสโมซิสเดียวกันในรูปร้อยละ

3.3 ศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

ล้างและปอกเปลือกมะละกอ หั่นมะละกอตามขวางเป็นชิ้นขนาด 1.5 x 1.5 x 7.0 เซนติเมตร แช่มะละกอในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยกรดซิตริก 1.0% (w/v) และแคลเซียมคลอไรด์ 1.0% (w/v) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วต้มมะละกอในน้ำเดือด 10 นาที จากนั้นเตรียมตัวอย่างมะละกอแช่จุ่มแบบ multiple step ดังวิธีการในข้อ 3.2 โดยทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนที่ระดับความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ด้วยการแปรชนิดของพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ 2 ชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล 10% (v/v) ใช้สัญลักษณ์ Su-Gly และซอร์บิทอล 10% (w/v) ใช้สัญลักษณ์ Su-Sor เปรียบเทียบกับการทดแทนซูโครสบางส่วน 10% (v/v) ด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต (Su-Inv) และชุดควบคุมที่ไม่มีการทดแทนน้ำตาลซูโครส (Su) ติดตามการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง คำนวณค่า WL, SG และ WR ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.4 ศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง

เตรียมตัวอย่างทั้ง 4 ชุดการทดลองเช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 3.3 หลังจากนั้นอบแห้งตัวอย่างที่ผ่านการอบสโมกซ์ทุกชุดการทดลองด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.3 เมตรต่อวินาที บนที่ก้นน้ำหนักของมะละกอตลอดการอบแห้ง จนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (± 0.01 กรัม) ในช่วงต้นของการอบแห้งจำนวนครั้งของการบันทึกน้ำหนักของมะละกอต่อกว่าช่วงท้ายการอบแห้ง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จากนั้นสร้างกราฟการอบแห้งระหว่างอัตราส่วนความชื้น (MR) กับเวลาการอบแห้ง โดยคำนวณค่า MR ได้จากสมการที่ 3.4 และสร้างกราฟระหว่าง $\ln MR$ กับเวลาการอบแห้งเพื่อหาค่าคงที่การอบแห้งจากความชันของกราฟ ($k_{cal. slope}$) โดยคำนวณอัตราการอบแห้งจากสมการที่ 3.5

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_o - M_e)} \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

- เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น
 M_t = ปริมาณความชื้นที่เวลาใด ๆ (โดยน้ำหนักแห้ง)
 M_o = ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (โดยน้ำหนักแห้ง)
 M_e = ปริมาณความชื้นที่สมดุล (โดยน้ำหนักแห้ง)

$$\begin{aligned} \text{Drying rate} &= -d(MR)/dt \cdot \text{dry solid} \\ &= -d[\exp(-kt)]/dt \cdot \text{dry solid} \\ &= k \cdot \exp(-kt) \cdot \text{dry solid} \quad \dots\dots\dots(3.5) \end{aligned}$$

- เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น
 t = เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)
 k = ค่าคงที่ของการอบแห้งคำนวณจากความชันของกราฟระหว่าง $\ln MR$ กับเวลาการอบแห้ง (1/ชั่วโมง) หรือเรียกว่า calculated drying constant from slope

จากนั้นเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 แบบ ดังสมการที่ 3.6-3.8

Page:

$$MR = \exp(-kt^n) \text{ (Page, 1949)} \dots\dots\dots(3.6)$$

Henderson and Pabis:

$$MR = a.\exp(-kt) \text{ (Henderson and Pabis, 1961)} \dots\dots\dots(3.7)$$

modified Henderson and Pabis:

$$MR = a.\exp(-kt) + b.\exp(-gt) + c.\exp(-ht) \text{ (Karathanos, 1999)} \dots\dots\dots(3.8)$$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น
 t = เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)
 k = ค่าคงที่ของการอบแห้งที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (1/ชั่วโมง)

หรือเรียกว่า calculated drying constant from mathematical model

a, b, c, n, g, h = ค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองแต่ละแบบจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r), ค่า Mean Residue Least Square (MRS) และค่า Root Mean-Square Error ($RMSE$) โดยแบบจำลองที่เหมาะสมจะต้องให้ค่า r สูง ค่า MRS และ $RMSE$ ต่ำ ซึ่งค่า MRS และ $RMSE$ คำนวณจากสมการที่ 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ (Korsrilabut *et al.*, 2010)

$$MRS = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - 1} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.10)$$

เมื่อ MRS = Mean Residue Least Square

$RMSE$ = Root Mean Square Error

$MR_{exp,i}$ = MR ที่ได้จากการทดลองของข้อมูลชุดที่ i

$MR_{pre,i}$ = MR ที่ได้จากแบบจำลองของข้อมูลชุดที่ i

N = จำนวนข้อมูลการทดลอง

3.5 ศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง

เตรียมตัวอย่างทั้ง 4 ชุดการทดลองเช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 3.3 อบแห้งตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วสุ่มตัวอย่างระหว่างการอบแห้งตลอดเวลา 16.5 ชั่วโมง ใช้ข้อมูลจากกราฟการอบแห้งที่ได้ในขั้นตอนที่ 3.4 ในการคัดเลือกจุดสุ่มตัวอย่าง จากนั้นวัดสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

3.5.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีด้วยเครื่อง Novasina รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5 และค่าสีในระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง Color Flex[®] แหล่งกำเนิดแสง D₆₅ มุมมอง 10° รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2 โดยเก็บตัวอย่างในชั่วโมงที่ 0, 2, 3.5, 5, 6.5, 8, 9.5, 11, 13.5, 15 และ 16.5 ของการอบแห้ง

3.5.2 การหดตัวของตัวอย่าง โดยวิเคราะห์ปริมาตรของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปจากการอบแห้งด้วยวิธี n-heptane displacement (Yan, Sousa-Gallagher, and Oliveira, 2008) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6 โดยเก็บตัวอย่างก่อนและหลังการอบแห้ง 16.5 ชั่วโมง

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ผลและหาค่าเฉลี่ย เพื่อแสดงผลในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์กับเวลาในการอบแห้ง

3.6 ศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทิร์มของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้ง

ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งทั้ง 4 ชุดการทดลอง (ปริมาณความชื้นประมาณ 16%) ที่ผ่านการหั่นให้ละเอียดให้ได้ 2.000 กรัม จากนั้นเก็บตัวอย่างในถ้วยแก้วที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว โดยใส่ถ้วยแก้วที่บรรจุตัวอย่างในโถแก้วที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว ซึ่งให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงตั้งแต่ 10-90% (ตารางที่ ข.1) บรรจุสารละลายโกลูอินลงในแก้วขนาดเล็ก หุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ด้านบน เจาะรู 2-3 รู เพื่อให้ไอของโกลูอินระเหยได้ เก็บแก้วที่บรรจุโกลูอินลงในโถแก้วที่บรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว จากนั้นปิดปากโถแก้วที่บรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัวให้สนิท ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างทุก 2-3 วัน จนน้ำหนักคงที่ ทดลอง 2 ซ้ำ คำนวณปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ภาวะสมดุลจากน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปที่แต่ละระดับความชื้นสัมพัทธ์

ทำนายรูปแบบของมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทอรัม (Spiess and Wolf, 1987) โดยใช้แบบจำลอง BET และ GAB (สมการที่ 3.11 และ 3.12) และคำนวณค่า monolayer moisture content (M_o) ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 2 ชนิด

$$\text{BET: } M = \frac{M_o C a_w}{(1 - a_w)(1 + C a_w - a_w)} \quad (\text{Brunauer et al., 1938}) \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

$$\text{GAB: } M = \frac{M_o C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (\text{Van den berg, 1984}) \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

เมื่อ M = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ภาวะสมดุล (กรัมน้ำ/ 100 กรัมของแข็งแห้ง)

M_o = monolayer moisture content (กรัมน้ำ/ 100 กรัมของแข็งแห้ง)

C, K = ค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.7 ศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

เตรียมตัวอย่างทั้ง 4 ชุดการทดลองเช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 3.3 หลังจากนั้นอบแห้งตัวอย่างที่ผ่านการอบสโมคิซทุกชุดการทดลองด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นประมาณ 16% (โดยน้ำหนักเปียก) เก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ในถุงพอลิโพรพิลีน ขนาด 5 x 8 นิ้ว บรรจุตัวอย่างถุงละ 16 ชิ้น น้ำหนักรวมประมาณ 90 กรัม แล้วปิดผนึกถุงด้วยความร้อน เก็บรักษาตัวอย่างในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัสทุก 4 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยตรวจสอบคุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

3.7.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1

3.7.2 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ด้วยเครื่อง Novasina รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5

3.7.3 การเคลื่อนที่ของน้ำในมะละกอหลังอบสโมคิซและผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งเฉพาะสัปดาห์เริ่มต้นและสัปดาห์ที่ 8 ตามวิธีของ Sritongtae และคณะ (2011)

หั่นมะละกอแช่อบและมะละกอแช่อบแห้ง แล้วบรรจุลงในหลอด NMR ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร ให้ได้ความสูง 4 เซนติเมตร วัดค่า spin-lattice relaxation time ($^1\text{H NMR } T_1$) ด้วยเครื่อง nuclear magnetic resonance-

spectrometer ความถี่ 500 เมกะเฮิร์ต แปรค่า delay time 8 ค่า โดยให้ค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ในช่วง 300-1000 มิลลิวินาที

3.7.4 ค่าสี ในระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง Color Flex[®] แหล่งกำเนิดแสง D₆₅ มุมมอง 10° รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2

3.7.5 การเกิดสารสีน้ำตาล (Baloch, Buckle, and Edwards, 1973) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7

3.7.6 ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโทสในมะละกอสดและผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งเฉพาะสัปดาห์เริ่มต้น ด้วยเครื่อง HPLC คอลัมน์ Prevail Carbohydrate ES ขนาด 250 x 4.6 มิลลิเมตร เฟสเคลื่อนที่เป็นสารผสมระหว่างอะซีโตไนโตรล์ และน้ำปราศจากไอออน (69:31 v/v) อัตราการไหลของสาร 0.9 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้งโปรแกรมแบบ isocratic ควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ให้อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโดยวัดการกระเจิงแสงด้วย evaporative light scattering detector (ELSD) วิธีการเตรียมตัวอย่างดัดแปลงจาก AOAC (2000) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.8

3.7.7 ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง งานในการตัด และค่าความเหนียว ด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยใช้หัววัด BSK with knife และ texture profile analysis (TPA) โดยใช้หัววัด cylindrical probe P/100 จำนวนตัวอย่างชุดการทดลองละ 8 ชิ้น วัดขึ้นละ 1 ครั้ง รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4

กำหนดตัวแปรต่าง ๆ สำหรับการวัดเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง งานในการตัด และความเหนียว ดังนี้ Pre-test speed: 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที Test-speed: 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที Post-test speed: 10 มิลลิเมตรต่อวินาที Distance: 20.0 มิลลิเมตร

กำหนดตัวแปรต่าง ๆ สำหรับการวัดแบบ TPA ดังนี้ Pre-test speed: 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที Test-speed: 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที Post-test speed: 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที Distance: 30% strain

3.7.8 ลักษณะทางสัณฐานของเซลล์มะละกอสด มะละกอที่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมแคลเซียมคลอไรด์กับกรดซิตริก มะละกอที่ผ่านการอบสไมซิสจากข้อ 3.3 และผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งเฉพาะสัปดาห์เริ่มต้นและสัปดาห์ที่ 8 ด้วยเครื่อง scanning electron microscope ขนาดกำลังขยาย 150 เท่า ค่าศักย์ไฟฟ้าเร่งอิเล็กตรอน 15 กิโลโวลต์ (พงษ์พิสุทธิ คุณะวันทนิต, 2553) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.9

3.7.9 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์ และรา (Harrigan and McCance, 1976) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.10 และ ก.11

3.7.10 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เฉพาะสัปดาห์เริ่มต้น โดยทดสอบเชิงพรรณนาด้วยสเกลเส้นตรงระดับความเข้ม 0-10 (descriptive test with scaling) ประเมินลักษณะปรากฏด้านการเกิดผลึก การหดตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส และรสชาติของผลิตภัณฑ์ ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 20 คน โดยอธิบายรายละเอียดของแบบทดสอบ และให้ผู้ทดสอบได้ลองทดสอบผลิตภัณฑ์ทางการค้ากับตัวอย่างสดก่อนการทดสอบผลิตภัณฑ์จริง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในภาคผนวก ข.2

ข้อ 3.7.1 – 3.7.2, 3.7.4 – 3.7.5 และข้อ 3.7.7 วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ ข้อ 3.7.3 และ 3.7.6 วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ และข้อ 3.7.10 วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) ทดลอง 1 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะละกอสด

มะละกอสพันธุ์ฮอลแลนด์ที่ใช้ในงานวิจัยมีระยะการสุกหนึ่งในสอง น้ำหนักผลประมาณ 2.5-3.0 กิโลกรัม ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของมะละกอสด แสดงดังตารางที่ 4.1

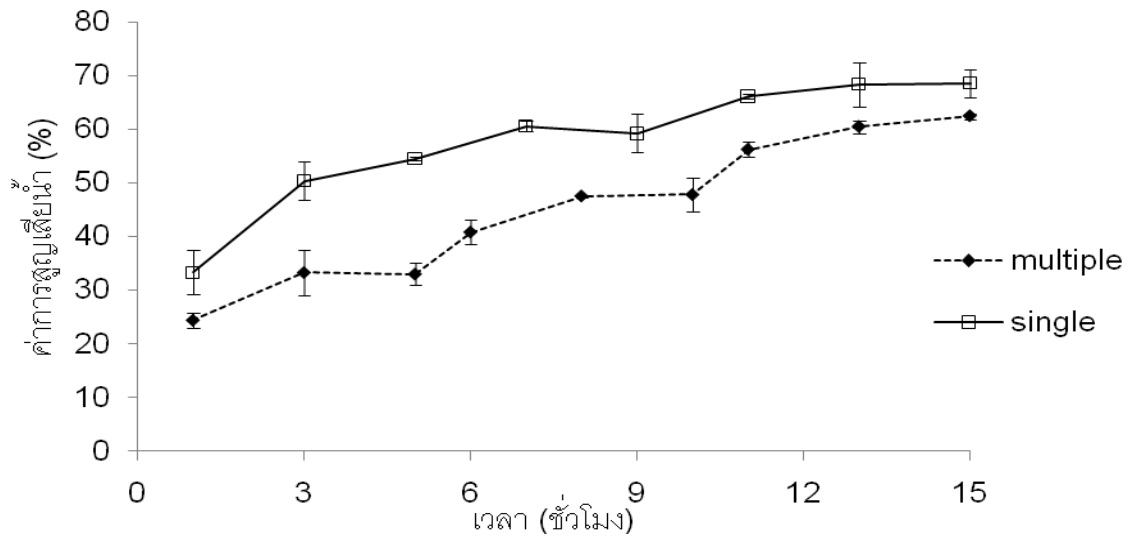
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของมะละกอสด

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก)	88.98 ± 0.56
ค่าสีของเนื้อมะละกอ	
L*	49.05 ± 2.47
a*	24.47 ± 1.97
b*	34.66 ± 2.23
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	9.08 ± 0.66
ค่าความเป็นกรด (% ในรูปกรดซิตริก)	0.04 ± 0.01
ค่าความแข็ง (hardness, g force)	554.01 ± 6.97

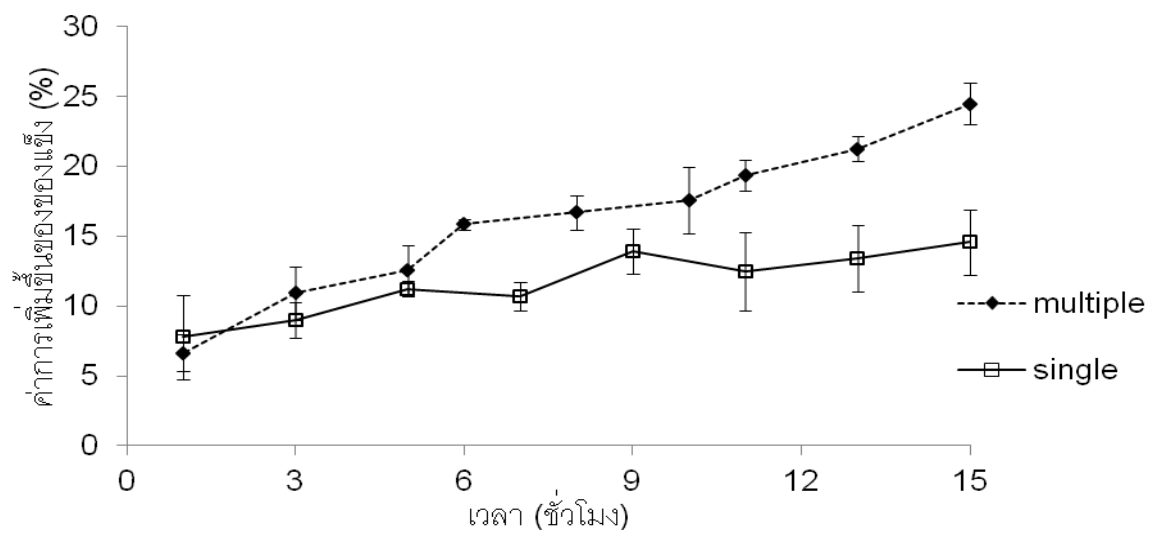
จากผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 4.1) พบว่า มะละกอสมีปริมาณความชื้นประมาณ 88-89% (โดยน้ำหนักเปียก) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับองค์ประกอบของมะละกอสที่รายงานโดย USDA (2011) นอกจากนี้พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 8-10 องศาบริกซ์ ค่า a* และ b* ของเนื้อมะละกออยู่ในช่วง 22-26 และ 32-36 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่า a* รวมถึงค่า b* ของเนื้อมะละกอสมีค่าใกล้เคียงกับ อافر ละออง (2547) และ วีรยา พรหมประเทศ (2551) ขณะที่ค่าความเป็นกรด (ในรูปกรดซิตริก) อยู่ในช่วง 0.03-0.05% ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับ Rodrigues และคณะ (2006)

4.2 ผลของวิธีการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

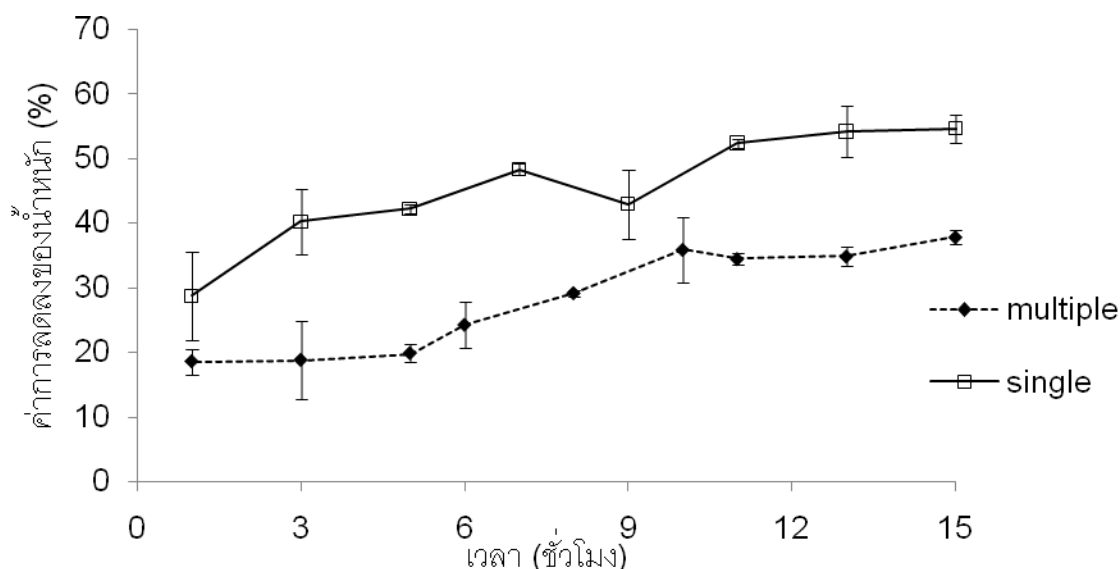
ผลการถ่ายเทมวลสารของมะละกอสด้วยวิธีการออสโมซิสแบบ single step และ multiple step ในช่วงการออสโมซิส 15 ชั่วโมง แสดงผลในรูปของค่าการสูญเสีย น้ำ (WL) ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) และค่าการลดลงของน้ำหนัก (WR) แสดงดังภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 ค่าการสูญเสียน้ำของมะละกอในระหว่างการอบสโมซิดด้วยวิธี single step และ multiple step



ภาพที่ 4.2 ค่าการเพิ่มขึ้นของแข็งของมะละกอในระหว่างการอบสโมซิดด้วยวิธี single step และ multiple step



ภาพที่ 4.3 ค่าการลดลงของน้ำหนักของมะละกอในระหว่างการออสมิซิสด้วยวิธี single step และ multiple step

จากภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 พบว่า ค่า WL, SG และ WR ของการออสมิซิสแบบ single step และ multiple step มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาในการออสมิซิส การออสมิซิสแบบ single step ทำให้ค่า WL ของตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 ชั่วโมงแรก จากนั้นค่า WL จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และค่อนข้างคงที่ ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่า SG และ WR ขณะที่การออสมิซิสแบบ multiple step ทำให้ค่า WL และ SG ของตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็นลำดับขั้นตามการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสมิติก เนื่องจากการออสมิซิสแบบ multiple step เป็นการเพิ่มความแตกต่างของแรงดันออสมิติกระหว่างชั้นผลไม้มักกับสารละลายออสมิติกแบบขั้นบันได ทำให้ความแตกต่างของแรงดันออสมิติกระหว่างชั้นผลไม้มักกับสารละลายออสมิติกเพิ่มขึ้นตลอดเวลาการออสมิซิส

แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า SG ระหว่างการออสมิซิสแบบ multiple step (ภาพที่ 4.2) สอดคล้องกับ Korsrilabut และคณะ (2010) ซึ่งรายงานว่าการแทรกตัวของน้ำตาลเข้าสู่ชั้นผลไม้มักระหว่างการออสมิซิสมักใช้เวลานาน จึงมีการใช้วิธีออสมิซิสแบบ stepwise หรือ multiple step โดยการแช่ชั้นผลไม้มักในสารละลายออสมิติกที่ความเข้มข้นสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งทำให้ค่า SG ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ในการผลิตผลไม้มักแช่อิ่มอบแห้งในระดับอุตสาหกรรมของประเทศไทย

เมื่อพิจารณาค่า WL, SG และ WR ของตัวอย่างระหว่างการอบหมักไมซีลทั้ง 2 แบบ พบว่า ค่า WL และ WR ของมะละกอที่ผ่านการอบไมซีลแบบ single step มีค่าสูงกว่ามะละกอที่ผ่านการอบไมซีลแบบ multiple step ตลอดการอบไมซีล (ภาพที่ 4.1 และ 4.3) และเมื่อพิจารณาดารางที่ 4.2 พบว่า ในระหว่างชั่วโมงที่ 1-5 ตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแต่ละวิธี มีแนวโน้มของร้อยละความแตกต่างของค่า WL เพิ่มขึ้นตามเวลาในการอบไมซีล อย่างไรก็ตามในระหว่างชั่วโมงที่ 11-15 ของการอบไมซีล ค่า WL ของตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแต่ละวิธี มีแนวโน้มใกล้เคียงกันมากขึ้นตามเวลาในการอบไมซีล ซึ่งความแตกต่างของค่า WR ระหว่างตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแต่ละวิธีในชั่วโมงที่ 1-5 และ 11-15 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า WL

ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 ของการอบไมซีลเป็นต้นไป ตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแบบ single step มีค่า SG ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแบบ multiple step (ภาพที่ 4.2) จากตารางที่ 4.2 พบว่า ในระหว่างชั่วโมงที่ 1-5 ตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแต่ละวิธี มีแนวโน้มของความแตกต่างของค่า SG ต่ำกว่าชั่วโมงที่ 11-15 ของการอบไมซีลอย่างมาก จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของของแข็งในตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแบบ multiple step เกิดได้จนถึงช่วงท้ายของการอบไมซีล เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแบบ single step ขณะที่การสูญเสียน้ำในตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแบบ single step เกิดได้ดีในช่วงต้นของการอบไมซีล เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการอบไมซีลแบบ multiple step สาเหตุที่มะละกอที่ผ่านการอบไมซีลแบบ multiple step มีค่า SG สูงกว่ามะละกอที่ผ่านการอบไมซีลแบบ single step อาจเนื่องมาจากวิธี multiple step มีการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายอบไมติกเป็นลำดับขั้น ทำให้ค่า SG ของตัวอย่างสูงขึ้น

การแปรรูปอาหารด้วยวิธีการอบไมซีลก่อนการอบแห้งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลง และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีลักษณะเฉพาะ โดยตัวถูกละลาย เช่น น้ำตาล จะเคลื่อนที่เข้าไปในผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบไมซีล ซึ่งมีส่วนช่วยในการป้องกันการสูญเสียของรงควัตถุ และสารระเหยได้ในอาหาร รวมถึงทำให้โครงสร้างของเนื้อเยื่อมีความคงรูปมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว (Raoult-Wack, 1994) จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า มะละกอที่ผ่านการอบไมซีลแบบ multiple step เป็นเวลา 15 ชั่วโมง มีค่า SG สูงกว่ามะละกอที่ผ่านการอบไมซีลแบบ single step ที่เวลาเดียวกัน คิดเป็นร้อยละ 68.12% ดังนั้นจึงเลือกวิธีการอบไมซีลแบบ multiple step ในการทดลองขั้นต่อไป

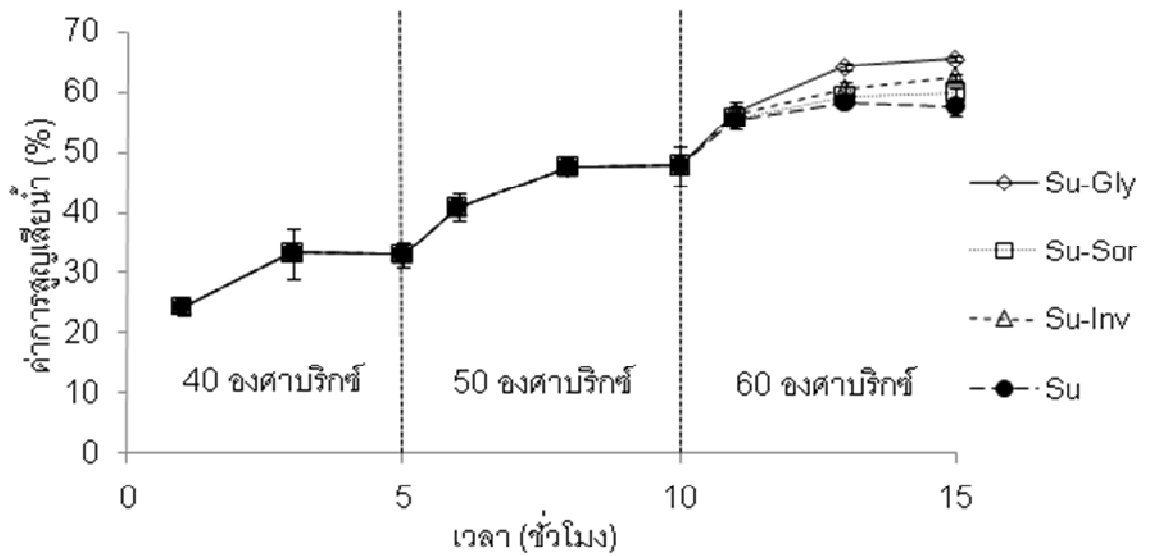
ตารางที่ 4.2 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของมะละกอรหว่างการอบสโมคิแบบ single step และ multiple step

ชั่วโมง	ค่าการสูญเสีย น้ำ (%)			ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (%)			ค่าการลดลงของน้ำหนัก (%)		
	single	multiple	% difference*	single	multiple	% difference*	single	multiple	% difference*
1	33.38 ± 4.11	24.38 ± 1.50	36.90	7.78 ± 3.03	6.63 ± 1.31	17.35	28.74 ± 6.81	18.58 ± 1.98	54.68
3	50.43 ± 3.53	33.25 ± 4.17	51.65	8.99 ± 1.29	10.95 ± 1.91	21.85	40.21 ± 5.14	18.79 ± 6.00	114.00
5	54.48 ± 0.31	32.96 ± 2.06	65.29	11.25 ± 0.53	12.54 ± 1.82	11.50	42.20 ± 0.75	19.84 ± 1.35	112.70
11	66.13 ± 0.37	56.18 ± 1.41	17.70	12.50 ± 2.79	19.40 ± 1.10	55.24	53.26 ± 0.70	34.49 ± 0.85	51.81
13	66.34 ± 4.54	60.42 ± 1.22	9.79	13.42 ± 2.36	21.27 ± 0.90	58.49	54.14 ± 3.97	34.89 ± 1.54	55.17
15	68.56 ± 2.65	62.38 ± 0.81	9.91	14.57 ± 2.36	24.49 ± 1.50	68.12	54.58 ± 2.19	37.88 ± 1.05	44.09

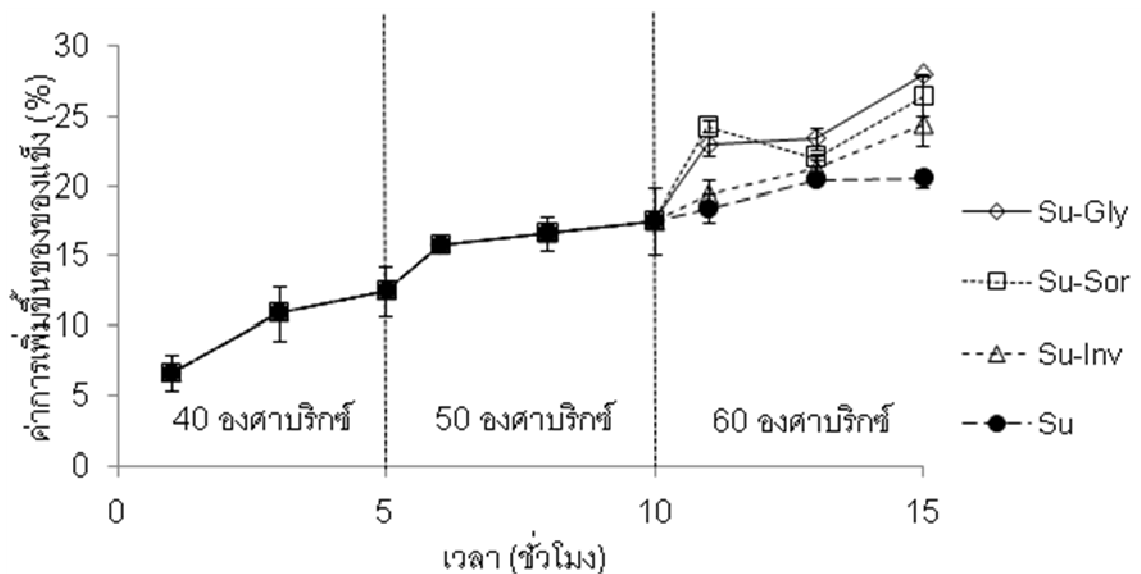
* % difference = $\frac{\text{ค่าเฉลี่ยตัวมาก} - \text{ค่าเฉลี่ยตัวน้อย}}{\text{ค่าเฉลี่ยตัวน้อย}} \times 100$

4.3 ผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

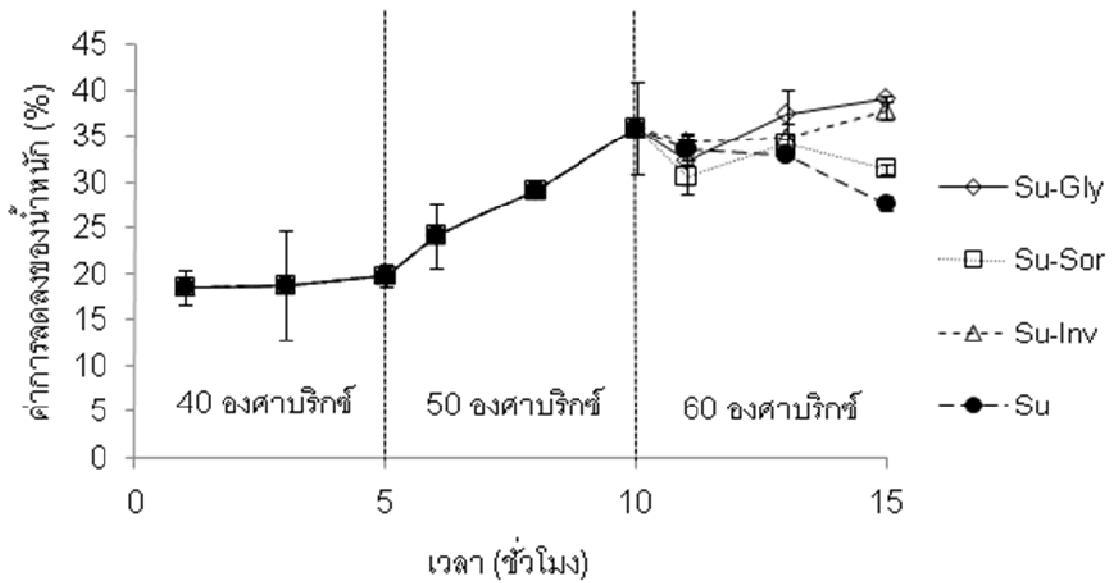
ผลการถ่ายเทมวลสารในรูปค่าการสูญเสียน้ำ (WL) ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) และค่าการลดลงของน้ำหนัก (WR) ของมะละกอด้วยสารละลายออสโมติกแต่ละชนิดระหว่างการออสโมซิสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 ค่าการสูญเสียน้ำของมะละกอดูดการออสโมซิส 15 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.5 ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งของมะละกอดูดการออสโมซิส 15 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.6 ค่าการลดลงของน้ำหนักของมะละกอตลอดการออสโมซิส 15 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาค่า WL ของมะละกอรหว่างการออสโมซิส (ภาพที่ 4.4) พบว่า ค่า WL ของมะละกอกที่แช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ ในช่วง 3 ชั่วโมงแรกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นค่า WL จะเพิ่มขึ้นช้าลงในชั่วโมงที่ 5 และเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเป็น 50 องศาบริกซ์ พบว่า ค่า WL จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงชั่วโมงที่ 8 จากนั้นค่า WL จะเพิ่มขึ้นช้าลงในชั่วโมงที่ 10 และเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเป็น 60 องศาบริกซ์ พบว่า ทุกชุดการทดลองจะมีค่า WL เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงชั่วโมงที่ 13 จากนั้นจะมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ในชั่วโมงที่ 15 เมื่อพิจารณาค่า WL ของทุกชุดการทดลองหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.3) พบว่า ชุดการทดลองที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดรอลิกลอสหรือน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่า WL มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.1) โดย Su-Gly มีค่า WL สูงสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ค่า a_w และมวลโมเลกุลของสารออสโมติกแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน

การทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล น้ำตาลอินเวิร์ต หรือซอร์บิทอลในการออสโมซิส ทำให้สารละลายออสโมติกมีค่า a_w ต่ำกว่าการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.4) ส่งผลให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในตัวอย่างกับสารละลายออสโมติกมีค่าสูงขึ้น จึงเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากตัวอย่างได้มากกว่าการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียวในการออสโมซิส เมื่อพิจารณามวลโมเลกุลของสารออสโมติกแต่ละชนิด พบว่า การเตรียมสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นเดียวกัน (ตารางที่ 4.4) สารออสโมติกที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะให้จำนวน

โมลสูง โดยกลีเซอรอล (มวลโมเลกุล 92.09 กรัม/โมล) ซอร์บิทอล (มวลโมเลกุล 182.17 กรัม/โมล) และน้ำตาลอินเวิร์ต (มวลโมเลกุลของกลูโคสและฟรุกโทส 180.16 กรัม/โมล) มีมวลหรือขนาดโมเลกุลน้อยกว่าซูโครส (มวลโมเลกุล 342.30 กรัม/โมล) ทำให้จำนวนโมลของสารออกซิเมติกสูงกว่าซูโครส ส่งผลให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างชั้นผลไม้กับสารละลายเพิ่มขึ้น จึงเกิดการกำจัดน้ำออกจากตัวอย่างได้ดี

ตารางที่ 4.3 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง ค่าการลดลงของน้ำหนัก และอัตราส่วนระหว่างค่าการสูญเสีย น้ำและค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งของมะละกอลดแต่ละชุดการทดลองหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง	ค่าการสูญเสีย น้ำ (%)	ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (%)	ค่าการลดลงของ น้ำหนัก (%)	อัตราส่วนระหว่างค่าการสูญเสีย น้ำและค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง
Su	57.50 ^d ± 1.48	20.61 ^c ± 0.64	27.74 ^c ± 0.92	2.84 ± 0.10
Su-Inv	62.38 ^b ± 0.81	24.49 ^b ± 1.50	37.88 ^a ± 1.05	2.55 ± 0.12
Su-Sor	59.82 ^c ± 0.85	26.53 ^{ab} ± 1.45	31.53 ^b ± 0.49	2.26 ± 0.13
Su-Gly	65.55 ^a ± 0.43	28.06 ^a ± 0.08	39.14 ^a ± 0.24	2.34 ± 0.02

a, b, c.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ความเป็นกรดต่าง และความหนืดของสารละลายออสโมติกแต่ละชนิดก่อนการออสโมซิส

ชนิดของสารละลายออสโมติก	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	วอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)	ความเป็นกรดต่าง (pH)	ความหนืด (cP)
Su	60.0 ± 0.0	0.891 ± 0.002	6.85 ± 0.00	35.2 ± 0.1
Su-Inv	60.1 ± 0.1	0.887 ± 0.000	2.58 ± 0.00	39.5 ± 0.0
Su-Sor	60.0 ± 0.0	0.880 ± 0.002	6.92 ± 0.00	37.2 ± 0.1
Su-Gly	62.8 ± 0.2	0.785 ± 0.000	6.53 ± 0.04	107.9 ± 0.2

ผลการลดลงของค่า WL ที่ได้สอดคล้องกับ Pattanapa และคณะ (2010) ซึ่งมีการแปรอัตราส่วนระหว่างสารละลายซูโครส 60% (w/w) กับสารละลายกลีเซอรอล 60% (w/w) ในการออสโมซิสส้ม และพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกลีเซอรอลในการออสโมซิส ส่งผลให้ค่า WL ของตัวอย่างส้มสูงขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าซูโครส เมื่อใช้กลีเซอรอลและซูโครส

ในปริมาณเท่ากัน โมลของกลีเซอรอลจะมากกว่าโมลของซูโครส ทำให้ความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมติกของกลีเซอรอลกับตัวอย่างสูงกว่าการใช้ซูโครสในการออสโมซิส อย่างไรก็ตามผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pereira และคณะ (2006) ที่ศึกษาการออสโมซิสมะละกอและงานวิจัยของ Chauhan และคณะ (2011) ที่ศึกษาการออสโมซิสแอปเปิล ซึ่งงานวิจัยทั้ง 2 ชิ้นรายงานว่าการใช้สารออสโมติกที่มีมวลโมเลกุลสูงในการออสโมซิสจะทำให้ตัวอย่างมีค่า WL สูง เนื่องจากสารออสโมติกโมเลกุลใหญ่จะเคลื่อนที่เข้าไปในชั้นตัวอย่างน้อย ส่งผลให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกยังมีค่าสูงในระหว่างการออสโมซิส และเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากชั้นผลไม่มากกว่าการใช้สารออสโมติกที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ทั้งนี้ความแตกต่างของผลการทดลองอาจเกิดจากโครงสร้างเนื้อเยื่อของผลไม้ที่มีลักษณะต่างกันในแต่ละชนิด

จากภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างมีค่า SG เพิ่มขึ้นเป็นลำดับขั้นตามการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก เมื่อพิจารณาค่า SG ของทุกชุดการทดลองหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.3) พบว่า ชุดการทดลองที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอลหรือน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่า SG สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.2) โดย Su-Gly มีค่า SG สูงสุด รองลงมาเป็น Su-Sor, Su-Inv และชุดควบคุมตามลำดับ เนื่องจากกลีเซอรอล (มวลโมเลกุล 92.09 กรัม/โมล) ซอร์บิทอล (มวลโมเลกุล 182.17 กรัม/โมล) และน้ำตาลอินเวิร์ต (มวลโมเลกุลของกลูโคสและฟรุกโทส 180.16 กรัม/โมล) มีมวลหรือขนาดโมเลกุลน้อยกว่าซูโครส (มวลโมเลกุล 342.30 กรัม/โมล) จึงเคลื่อนที่เข้าไปในชั้นผลไม่ได้ง่ายกว่าซูโครส ผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับ Behnillian และ Spiess (2006) ที่ศึกษาการออสโมซิสแครอทซึ่งแช่ในสารละลายออสโมติก ($a_w = 0.91$) ต่างชนิดกัน พบว่า แครอทที่แช่ในสารละลายกลีเซอรอล มีค่า SG สูงที่สุด รองลงมาเป็นกลูโคส ซอร์บิทอล และซูโครส ตามลำดับ โดยค่า SG มีความสัมพันธ์กับมวลโมเลกุล เนื่องจากสารออสโมติกที่มีมวลโมเลกุลต่ำมีความสามารถในการแพร่ผ่านเนื้อเยื่อดีกว่าสารออสโมติกที่มีมวลโมเลกุลสูง (Torreggiani, 1993)

จากตารางที่ 4.4 ชี้ให้เห็นว่า ค่า pH ของสารละลายออสโมติกที่ใช้ใน Su-Inv มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายออสโมติกชนิดอื่น ซึ่งความเป็นกรดของสารละลายออสโมติกชนิดนี้เกิดจากการเติมกรดซิตริกความเข้มข้น 5% (w/v) เพื่อไฮโดรไลส์ซูโครสให้กลายเป็นกลูโคสและฟรุกโทส (น้ำตาลอินเวิร์ต) อย่างสมบูรณ์ กลูโคสและฟรุกโทสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว มีมวลโมเลกุลต่ำเมื่อเทียบกับซูโครส ทำให้ Su-Inv มีค่า WL และ SG สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.1, ค.2)

เมื่อพิจารณาความหนืดของสารละลายออสโมติกแต่ละชนิด (ตารางที่ 4.4) พบว่า สารละลายออสโมติกที่ทดแทนซูโครส (60 องศาบริกซ์) บางส่วนด้วยกลีเซอรอลมีความหนืดสูงกว่าสารละลายออสโมติกชนิดอื่นอย่างมาก แต่มีค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่างอื่น จึงทำให้ค่า SG ของ Su-Gly สูงกว่าชุดการควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.2) ผลของค่า SG ที่ได้แตกต่างจาก Sritongtae และคณะ (2011) ซึ่งพบว่าตัวอย่างแคนตาลูปที่ทดแทนซูโครส (50 องศาบริกซ์) บางส่วนด้วยกลีเซอรอล มีค่า SG ต่ำกว่าตัวอย่างแคนตาลูปที่ใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียวในการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ความแตกต่างของผลการทดลองอาจเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก รวมถึงชนิดของผลไม้ซึ่งมีความเป็นรูปทรง และลักษณะของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารต่างกันตามไปด้วย (Lazarides, 2001)

เมื่อพิจารณาค่า WR ระหว่างการออสโมซิส (ภาพที่ 4.6) พบว่า เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก ค่า WR ของมะละกอก็เพิ่มขึ้นเป็นลำดับขั้น เช่นเดียวกับค่า WL และ SG เมื่อพิจารณาค่า WR ของทุกชุดการทดลองในชั่วโมงที่ 15 ของการออสโมซิส (ตารางที่ 4.3) พบว่า Su-Gly, Su-Sor และ Su-Inv มีค่า WR ของตัวอย่างสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.3) อัตราส่วนระหว่างค่า WL และ SG (WL/SG) เป็นดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการกำจัดน้ำของสารออสโมติก (dehydration efficiency index) โดยสารออสโมติกที่ทำให้ตัวอย่างมีค่านี้อาจสูง แสดงว่ามีความสามารถในการกำจัดน้ำได้ดี แต่มีการเคลื่อนที่ของน้ำตาลเข้าไปในชิ้นตัวอย่างน้อย (Lazarides, 2001) เมื่อพิจารณาค่า WL/SG ของทุกชุดการทดลองหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.3) พบว่า ชุดควบคุมมีค่า WL/SG สูงสุด รองลงมาเป็น Su-Inv, Su-Gly และ Su-Sor ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้ซูโครสเพียงชนิดเดียวมีความสามารถในการกำจัดน้ำระหว่างการออสโมซิสดีที่สุด

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า การทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์และน้ำตาลอินเวิร์ตมีผลต่อการถ่ายเทมวลสารของมะละกอในระหว่างการออสโมซิส โดยชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์หรือน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่า WL, SG และ WR สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.1-ค.3) แต่มีค่า WL/SG ต่ำกว่า ความแตกต่างของการถ่ายเทมวลสารที่แสดงจากค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นอาจส่งผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายซึ่งจะศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.4 ผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการอบแห้งของมะละกอแช่ส้ม (ภาพที่ 4.7 ก) แสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นของตัวอย่างในทุกชุดการทดลองจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 ชั่วโมงแรก (ลดลงประมาณ 73%) แล้วค่อย ๆ ลดลงจนมีค่าคงที่ในช่วงท้ายของการอบแห้ง (± 0.01 กรัม) เนื่องจากตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำที่แตกต่างกันระหว่างการออสโมซิส ทำให้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างในแต่ละชุดการทดลองไม่เท่ากัน โดยชุดควบคุม Su-Inv, Su-Sor และ Su-Gly มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 1.02, 1.01, 1.05 และ 0.91 กรัม/น้ำต่อกรัมของแข็งแห้ง ตามลำดับ ส่งผลให้ไม่สามารถเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในแต่ละชุดการทดลองได้ ดังนั้นจึงต้องคำนวณปริมาณความชื้นของตัวอย่างในรูปของอัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, MR) ด้วยสมการที่ 4.1 เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน (ภาพที่ 4.7 ข)

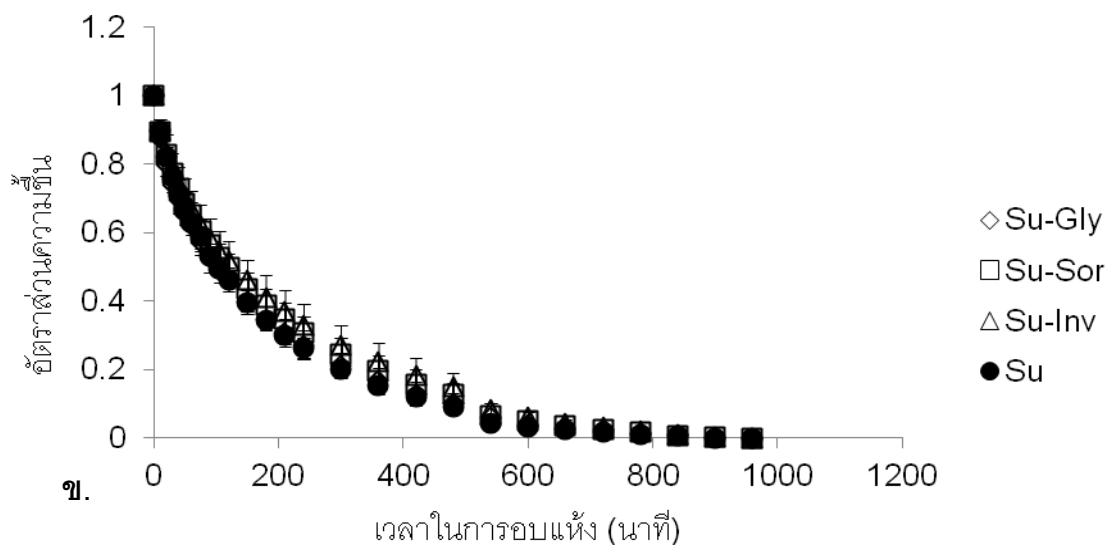
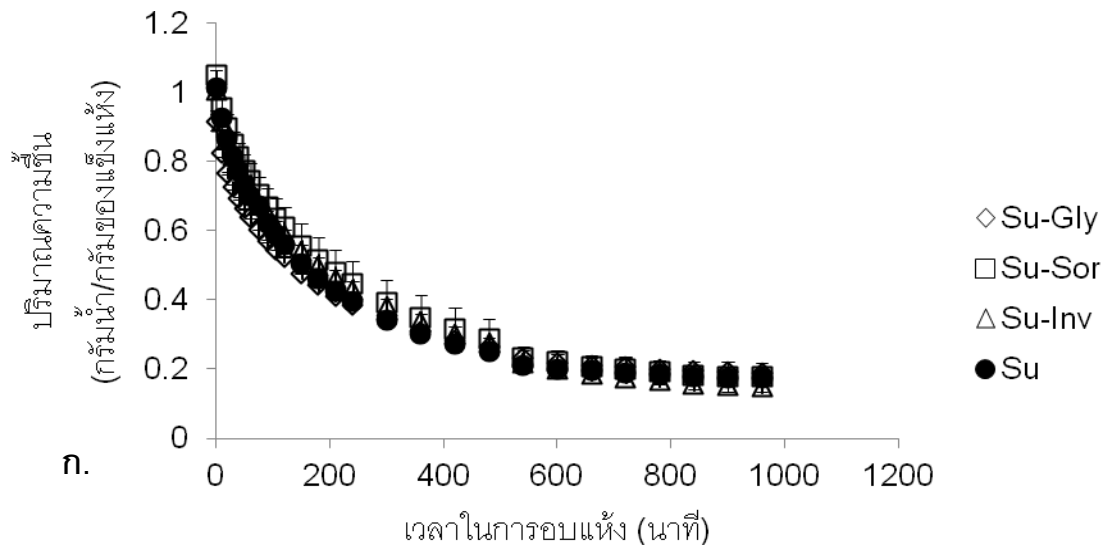
$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_o - M_e)} \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

- เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น
 M_t = ปริมาณความชื้นที่เวลาใด ๆ (โดยน้ำหนักแห้ง)
 M_o = ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (โดยน้ำหนักแห้ง)
 M_e = ปริมาณความชื้นที่สมดุล (โดยน้ำหนักแห้ง)

เนื่องจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของมะละกอแช่ส้ม มีลักษณะแบบ exponential จึงใช้สมการ exponential อย่างง่ายในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง และคำนวณหาอัตราการอบแห้งในรูปอนุพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง (สมการที่ 4.2)

$$\begin{aligned} \text{Drying rate} &= -d(MR)/dt \cdot \text{dry solid} \\ &= -d[\exp(-kt)]/dt \cdot \text{dry solid} \\ &= k \cdot \exp(-kt) \cdot \text{dry solid} \quad \dots\dots\dots(4.2) \end{aligned}$$

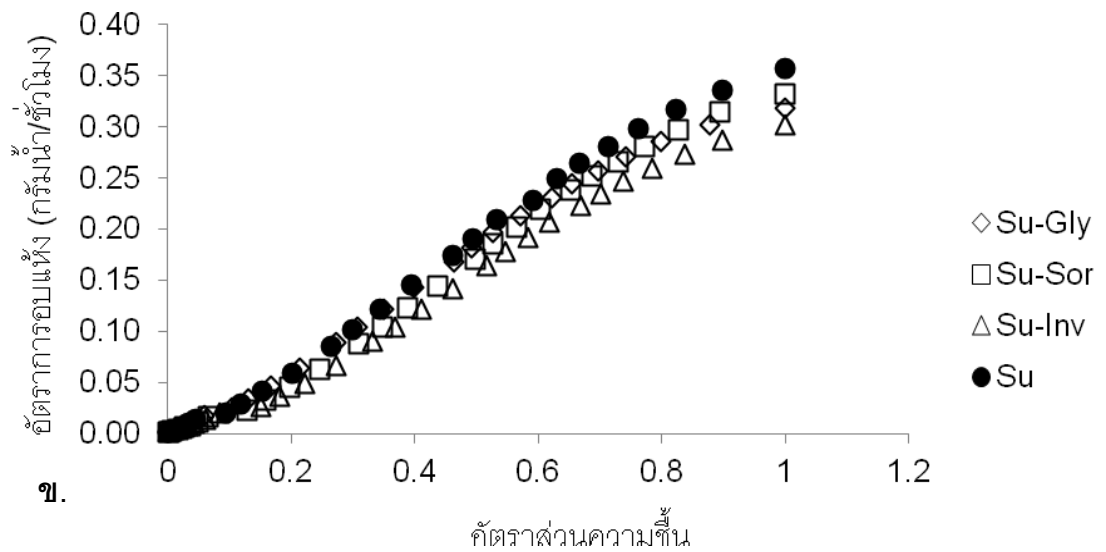
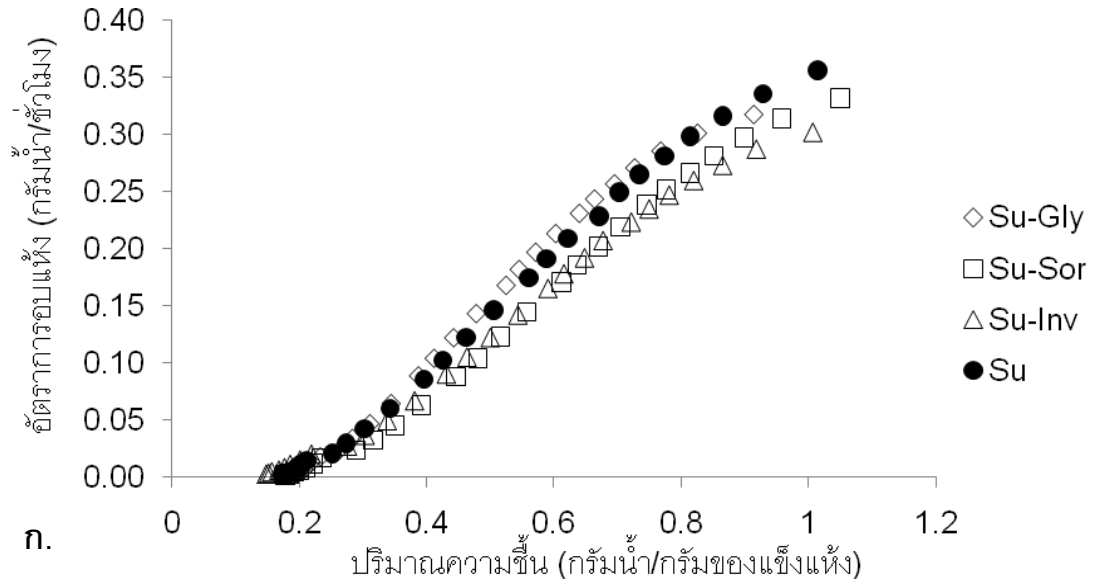
- เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น
 t = เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)
 k = ค่าคงที่ของการอบแห้งคำนวณจากความชันของกราฟระหว่าง $\ln MR$ กับ เวลาการอบแห้ง (1/ชั่วโมง) หรือเรียกว่า calculated drying constant from slope



ภาพที่ 4.7 กราฟการอบแห้งของมะละกอแช่ส้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ผ่านการอบสโมคซิส ในสารละลายอบสโมคซิสชนิดต่าง ๆ ก.) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการอบแห้งของมะละกอแช่ส้ม ข.) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของมะละกอแช่ส้ม

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับปริมาณความชื้น (ภาพที่ 4.8 ก) พบว่า จุดความชื้นวิกฤตซึ่งเป็นจุดที่อัตราการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็วของตัวอย่างทุกชุดการทดลอง มีค่าประมาณ 0.85 กรัมน้ำต่อกรัมของแข็งแห้ง ดังนั้นจึงอาศัยจุดนี้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกเวลาการสุ่มตัวอย่างระหว่างการอบแห้ง โดยสุ่มตัวอย่างที่จุดความชื้นเริ่มต้น จุดที่อยู่หลังจุดความชื้นวิกฤต และจุดที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) รวมทั้งหมด

11 จุด เพื่อวัดปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่า S และการหดตัวของตัวอย่างระหว่างการอบแห้งในขั้นตอนที่ 4.5 ต่อไป



ภาพที่ 4.8 กราฟการอบแห้งของมะละกอแช่ส้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายออสโมติกชนิดต่าง ๆ ก.) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับปริมาณความชื้นของมะละกอแช่ส้ม ข.) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นของมะละกอแช่ส้ม

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้น (ภาพที่ 4.8 ข) พบว่า ในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้งหรือช่วงที่ตัวอย่างมีอัตราส่วนความชื้นสูง อัตราการอบแห้งของชุดควบคุมมีค่าสูงกว่า Su-Sor, Su-Gly และ Su-Inv ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในช่วงท้ายของการอบแห้งหรือช่วงที่ตัวอย่างมีอัตราส่วนความชื้นต่ำ (อัตราส่วนความชื้นน้อยกว่า 0.3) อัตราการอบแห้งของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ผลที่ได้สอดคล้องกับ Sritongtae และคณะ (2011) ที่รายงานว่า ตัวอย่างแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (ซอร์บิทอลหรือกลีเซอรอล) มีอัตราการอบแห้งต่ำกว่าตัวอย่างแคนตาลูปที่ใช้ซูโครสในการออสโมซิสเพียงอย่างเดียว เนื่องจากพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์มีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีกว่าซูโครส ทำให้การระเหยของน้ำระหว่างการอบแห้งเกิดได้ยากกว่า

Riva และคณะ (2005) รายงานว่า ตัวอย่างแอปเปิ้ลที่ใช้ซูโครสในการออสโมซิสมีอัตราการอบแห้งต่ำกว่าชุดการทดลองที่ใช้ซอร์บิทอล เนื่องจากซูโครสมีมวลโมเลกุลสูง จึงแพร่เข้าไปในชั้นตัวอย่างเฉพาะบริเวณผิวหน้า ทำให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลที่ผิวหน้าของตัวอย่างระหว่างการอบแห้ง โดยชั้นน้ำตาลที่เกิดขึ้นอาจขัดขวางการระเหยของน้ำระหว่างการอบแห้ง ผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกับ ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์, ชาตรี มั่นกลาง และพีรยา โชติถนอม (2552) ที่พบว่า ตัวอย่างผลหม่อนที่ใช้ซอร์บิทอลในการออสโมซิสมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าตัวอย่างผลหม่อนที่ใช้ซูโครสและมอลโทส ความแตกต่างของผลการทดลองอาจเนื่องมาจากในงานวิจัยเหล่านี้ใช้พอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ทดแทนซูโครสทั้งหมดในการออสโมซิส ทำให้ผลของสารออสโมติกต่ออัตราการอบแห้งมีแนวโน้มแตกต่างจากการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์หรือน้ำตาลอินเวิร์ต

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับปริมาณความชื้น (ภาพที่ 4.8 ก) พบว่า ชุดควบคุมมีอัตราการอบแห้งสูงสุด แต่จากภาพ 4.8 ก ความแตกต่างของอัตราการอบแห้งของตัวอย่างแต่ละชุดการทดลองไม่ชัดเจน เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นในการพิจารณาไม่ใช่ที่ปริมาณความชื้นเดียวกัน จึงพิจารณาอัตราการอบแห้งของตัวอย่างโดยใช้ภาพ 4.8 ข แทน

เนื่องจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งของมะละกอแช่อิ่ม มีลักษณะแบบ exponential (ภาพที่ 4.7 ข) จึงใช้สมการ exponential อย่างง่ายหรือแบบจำลอง Lewis [$MR = \exp(-kt)$] ในการทำนายพฤติกรรมของการอบแห้ง และคำนวณค่าคงที่การอบแห้งจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln MR$ กับเวลาการอบแห้ง ($k_{cal. slope}$)

(ตารางที่ 4.5) พบว่า ชุดควบคุมมีค่าคงที่การอบแห้งสูงสุด รองลงมาเป็น Su-Sor, Su-Gly และ Su-Inv ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์และน้ำตาลอินเวิร์ตมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำในตัวอย่างได้ดีกว่าซูโครส ทำให้การระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เกิดได้ช้ากว่า (Sritongtae *et al.*, 2011)

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่การอบแห้งที่ได้จากการอบแห้ง (อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) ของมะละกอแช่ส้มซึ่งผ่านการอบสโมคในสารละลายอบสโมคชนิดต่าง ๆ

ชุดการทดลอง	$k_{cal. slope} (h^{-1})$	R^2
Su	0.357	0.963
Su-Sor	0.332	0.954
Su-Gly	0.318	0.988
Su-Inv	0.302	0.966

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 แบบ (แบบจำลอง Page, Henderson and Pabis และ modified Henderson and Pabis) เพื่อทำนายพฤติกรรมการอบแห้งของมะละกอแช่ส้ม พบว่า แบบจำลอง modified Henderson and Pabis มีความเหมาะสมในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นแบบจำลอง Page และแบบจำลอง Henderson and Pabis ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) ทั้งนี้เนื่องจากค่า correlation coefficient (r) ของแบบจำลองชนิดนี้มีค่าสูงสุด ขณะที่ค่า Root Mean Square Error ($RMSE$) และ Mean Residue Least Square (MRS) มีค่าต่ำที่สุด สาเหตุที่แบบจำลอง modified Henderson and Pabis มีความเหมาะสมในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งของมะละกอแช่ส้มมากที่สุด เนื่องจากแบบจำลองประเภทนี้มีการเพิ่มพจน์ต่าง ๆ เข้าไปในแบบจำลองเพื่ออธิบายปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง เช่น ชนิดของน้ำตาลที่มีความสามารถในการจับโมเลกุลของน้ำที่แตกต่างกัน รวมถึงการเกิดขึ้นของน้ำตาลบนผิวของผลิตภัณฑ์ที่ขัดขวางการระเหยของน้ำระหว่างการอบแห้ง อย่างไรก็ตามแบบจำลอง modified Henderson and Pabis เหมาะสมกับการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งของมะละกอแช่ส้มทั้ง 4 ชุดการทดลอง เมื่ออบแห้งตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเท่านั้น เนื่องจากการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งมีสมมติฐานจากการอบแห้งชั้นบาง (thin-layer drying) ที่ตั้งสมมติฐานว่าในระหว่างการอบแห้ง ตัวอย่างมีอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดชั้น โดยอุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อน (Erbay and Icier, 2009)

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของมะละกอเชื่อมแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์	Page	Henderson and Pabis	modified Henderson and Pabis
ชุดควบคุม	k	0.4508	0.3345	0.2887
	n	0.8092	-	-
	a	-	0.9222	0.8204
	b	-	-	0.0888
	g	-	-	2.4166
	c	-	-	0.0888
	h	-	-	2.4166
	MRS	1.45×10^{-4}	6.10×10^{-4}	5.38×10^{-5}
	RMSE	1.11×10^{-1}	2.42×10^{-2}	7.20×10^{-3}
	r	0.9994	0.9970	0.9997
Su-Sor	k	0.4133	0.286	0.2511
	n	0.7926	-	-
	a	-	0.9097	0.8251
	b	-	-	0.0864
	g	-	-	2.8131
	c	-	-	0.0864
	h	-	-	2.8131
	MRS	3.31×10^{-4}	7.90×10^{-4}	1.25×10^{-4}
	RMSE	1.78×10^{-1}	2.75×10^{-2}	1.09×10^{-2}
	r	0.9985	0.9960	0.9993
Su-Gly	k	0.4711	0.3189	0.2707
	n	0.7628	-	-
	a	-	0.8973	0.7947
	b	-	-	0.1011
	g	-	-	2.9518
	c	-	-	0.1011
	h	-	-	2.9518
	MRS	2.06×10^{-4}	9.02×10^{-4}	5.23×10^{-5}
	RMSE	1.41×10^{-1}	2.95×10^{-2}	7.10×10^{-3}
	r	0.9990	0.9954	0.9997

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของมะละกอแช่อิ่มแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์	Page	Henderson and Pabis	modified Henderson and Pabis
Su-Inv	k	0.3882	0.2639	0.2340
	n	0.7932	-	-
	a	-	0.9092	0.8314
	b	-	-	0.0833
	g	-	-	2.8212
	c	-	-	0.0833
	h	-	-	2.8212
	MRS	4.08×10^{-4}	8.24×10^{-4}	1.66×10^{-4}
	RMSE	1.98×10^{-2}	2.81×10^{-2}	1.26×10^{-2}
	r	0.9981	0.9958	0.9992

พงษ์พิสุทธิ คุณะวันทนิต (2553) ศึกษาผลของน้ำผึ้งและน้ำสับปะรดต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งของปีตรุตแช่อิ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า แบบจำลอง modified Henderson and Pabis มีความเหมาะสมในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลอง Page และ Henderson and Pabis ผลที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกับ Korsrilabut และคณะ (2010) ที่ศึกษาผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งของแคนตาลูปแช่อิ่ม โดยเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 6 ชนิด (Page, modified Page, Henderson and Pabis, modified Henderson and Pabis, Two-term exponential และ Verma) และพบว่า แบบจำลอง modified Henderson and Pabis มีความเหมาะสมในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งของแคนตาลูปแช่อิ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในทุกชุดการทดลองได้ดีที่สุด

จากตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 พบว่า ค่า $k_{cal. slope}$ กับค่า $k_{cal. model}$ มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากค่าทั้ง 2 มีการคำนวณมาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างประเภทกัน อย่างไรก็ตาม ชุดควบคุมมีค่า $k_{cal. model}$ ที่คำนวณจากแบบจำลอง modified Henderson and Pabis และค่า $k_{cal. slope}$ สูงสุด และ Su-Inv มีค่า $k_{cal. model}$ ที่คำนวณจากแบบจำลอง modified Henderson and Pabis และค่า $k_{cal. slope}$ ต่ำสุด

จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าชนิดของสารออสโมติกมีผลต่ออัตราการอบแห้งของมะละกอแช่ส้ม โดยการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์และน้ำตาลอินเวิร์ตในการออสโมซิสทำให้อัตราการอบแห้งของตัวอย่างลดลง อัตราการอบแห้งที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งและหลังการอบแห้งต่อไป

4.5 ผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง

สุ่มตัวอย่างทุกชุดการทดลองระหว่างการอบแห้ง โดยใช้ข้อมูลจากกราฟการอบแห้งที่ได้ในขั้นตอนที่ 4.4 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าสีของตัวอย่าง และวิเคราะห์การหดตัวของตัวอย่างหลังการอบแห้งโดยเปรียบเทียบกับปริมาตรของตัวอย่างก่อนอบแห้ง ได้ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งดังนี้

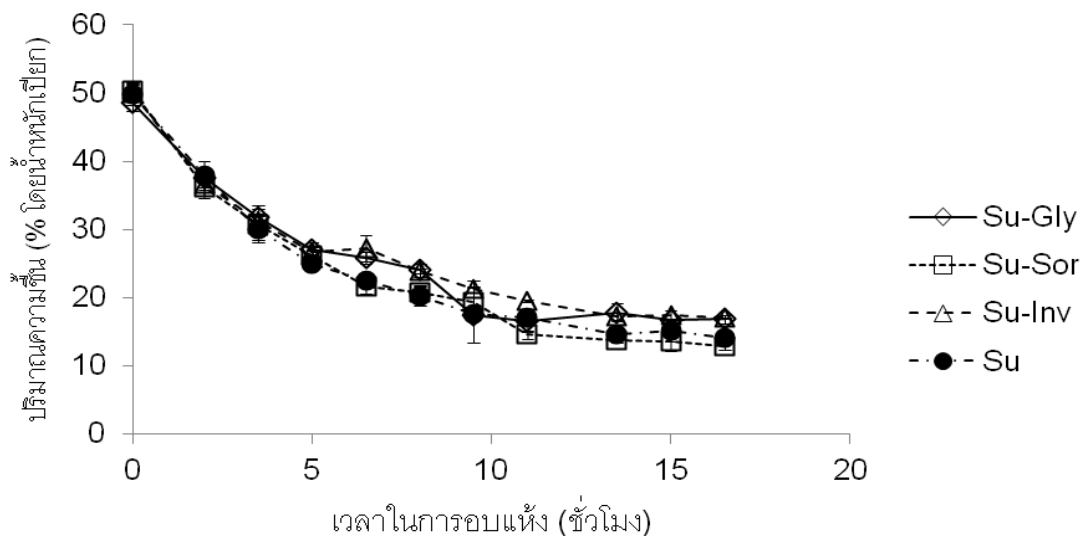
4.5.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง (ภาพที่ 4.9) พบว่า ผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง โดยในช่วงแรกของการอบแห้ง ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดในอัตราที่ช้าลงในช่วงหลัง จนกระทั่งปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์คงที่ เนื่องจากในช่วงแรกของการอบแห้งเกิดการระเหยของน้ำที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดี แต่เมื่อเวลาผ่านไปน้ำภายในผลิตภัณฑ์อาจเคลื่อนที่มายังผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ช้าลง ทำให้เกิดการระเหยของน้ำได้ช้าลง (Erbay and Icier, 2009) และพบว่า ชุดควบคุมมีแนวโน้มการลดลงของปริมาณความชื้นมากกว่า Su-Inv และ Su-Gly ซึ่งอาจเนื่องจากความสามารถของน้ำตาลอินเวิร์ตและกลีเซอรอลในการจับกับโมเลกุลของน้ำที่ดีกว่าซูโครส

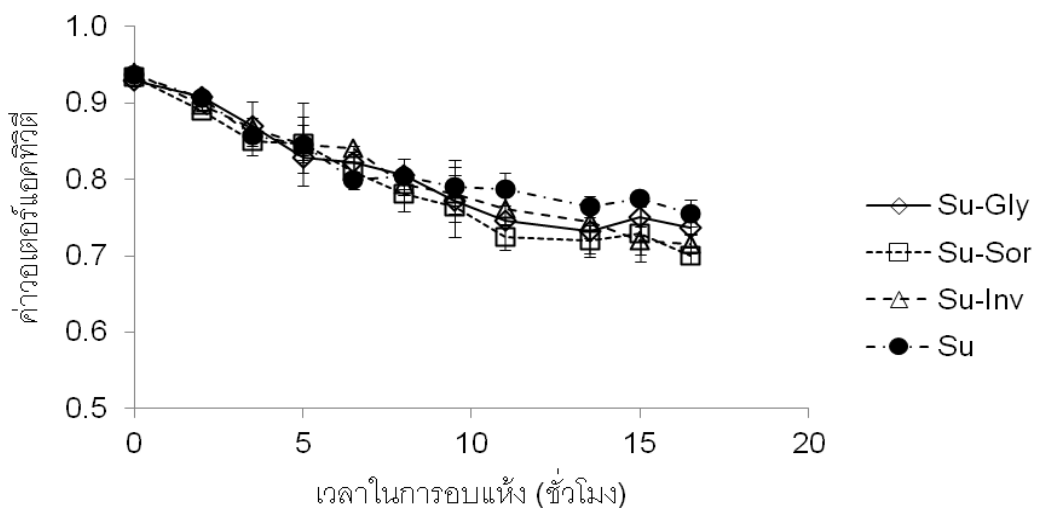
4.5.2 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง (ภาพที่ 4.10) พบว่า แนวโน้มการลดลงของค่า a_w ในแต่ละชุดการทดลองมีทิศทางตรงข้ามกับการลดลงของปริมาณความชื้น โดยตั้งแต่ชั่วโมงที่ 8 ของการอบแห้ง Su-Inv, Su-Gly และ Su-Sor มีการลดลงของค่า a_w สูงกว่าชุดควบคุม (ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีการลดลงประมาณ 20-24 % ในช่วงเวลา 16.5 ชั่วโมง) เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลอินเวิร์ตและพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์มีอัตราส่วนระหว่างจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (OH) และคาร์บอน (C) มากกว่า

ซูโครส โดยกลีเซอรอลและซอร์บิทอลมีอัตราส่วนระหว่าง OH:C เป็น 1:1 น้ำตาลอินเวิร์ตมีอัตราส่วนระหว่าง OH:C เป็น 0.83:1 และซูโครสมีอัตราส่วน OH:C เป็น 0.67:1 ทำให้สารออสโมติกเหล่านี้มีส่วนชอบน้ำ (hydrophilic) มากกว่าซูโครส จึงมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีกว่า ส่งผลให้ค่า a_w ของตัวอย่างลดลงมากกว่าการใช้ซูโครสเพียงชนิดเดียว (Sagiv and Marcus, 2003)



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าอวเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

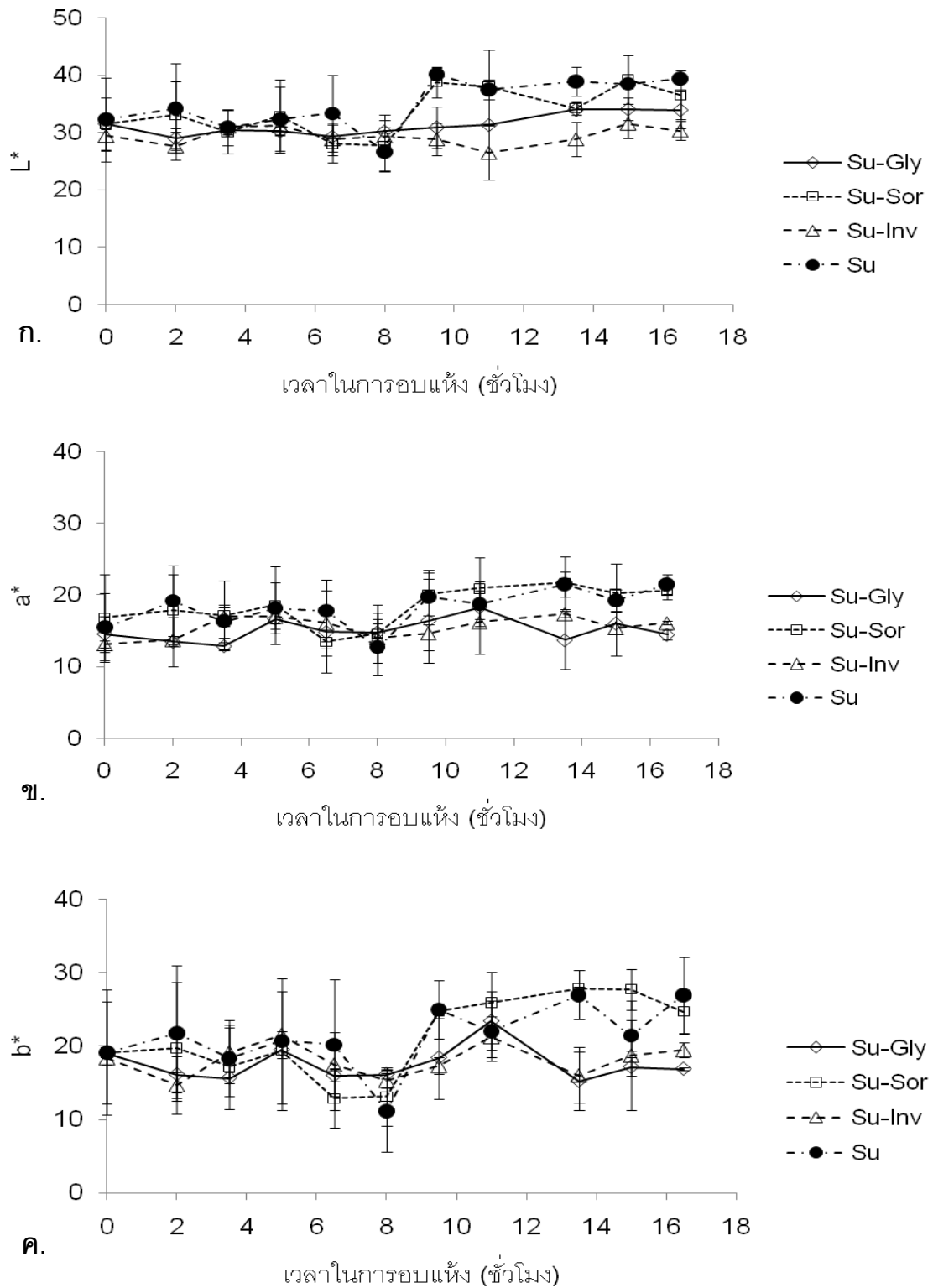
ผลการลดลงของค่า a_w ที่ได้สอดคล้องกับ บรู๊ตตร ศรีทองแท้ (2551) ที่พบว่า ตัวอย่าง แคนตาลูปแช่อิ่มที่ทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (w/v) และตัวอย่างที่ทดแทนชูโครสด้วยกลีเซอรอล 10% (w/v) ซึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มการลดลงของค่า a_w ระหว่างการอบแห้งต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ชูโครสเพียงอย่างเดียวในการอบสโมซิด

4.5.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง

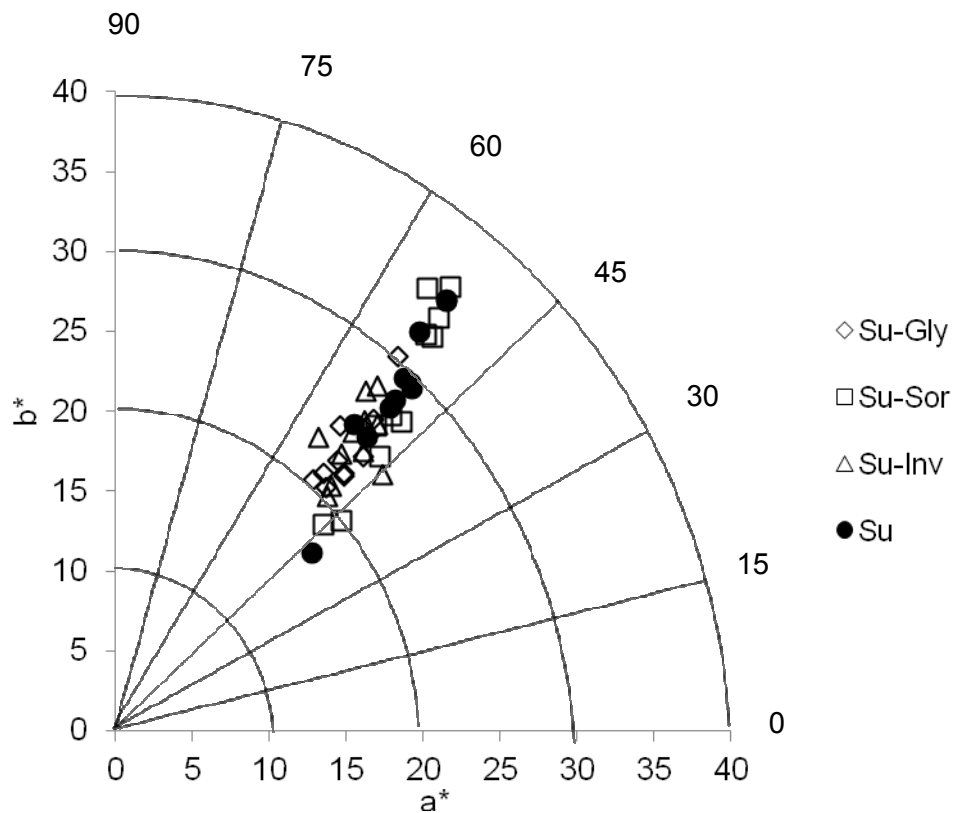
จากภาพที่ 4.11 พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ระหว่างการอบแห้ง เมื่อพิจารณาค่าความเข้มสี (chroma) และค่าเฉดสี (hue angle) ของตัวอย่างแต่ละชุดการทดลองระหว่างการอบแห้งจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* และ b^* (ภาพที่ 4.12) พบว่า ชุดควบคุมในระหว่างการอบแห้งมีค่าความเข้มสีแตกต่างกัน แต่มีค่าเฉดสีใกล้เคียงกัน โดยผลิตภัณฑ์มีสีในช่วงเฉดสีแดง และผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีค่าความเข้มสีและค่าเฉดสีในทำนองเดียวกันกับชุดควบคุม การอบแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีผลต่อการมองเห็นสี และค่าสีที่วัดได้

4.5.4 การหดตัวของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาการหดตัวของผลิตภัณฑ์โดยคำนวณจากปริมาตรของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการอบแห้งเป็นเวลา 16.5 ชั่วโมง ในแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.7) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล หรือน้ำตาลอินเวิร์ต มีค่าการหดตัวใกล้เคียงกัน และมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม ผลที่ได้อาจเกิดจากการที่ชุดควบคุมมีค่า SG ที่ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 4.3) ทำให้มีน้ำตาลแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์ของผลิตภัณฑ์น้อย ส่งผลให้ความสามารถในการคงรูปของเซลล์ต่ำ ผลิตภัณฑ์จึงเกิดการหดตัวมากในระหว่างการอบแห้ง



ภาพที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
 ก.) L* ข.) a* ค.) b*



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.7 การหดตัวของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งเป็นเวลา 16.5 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง	การหดตัว (%)
ชุดควบคุม	46.91 ± 1.83
Su-Inv	41.73 ± 1.65
Su-Sor	41.45 ± 1.91
Su-Gly	41.23 ± 0.20

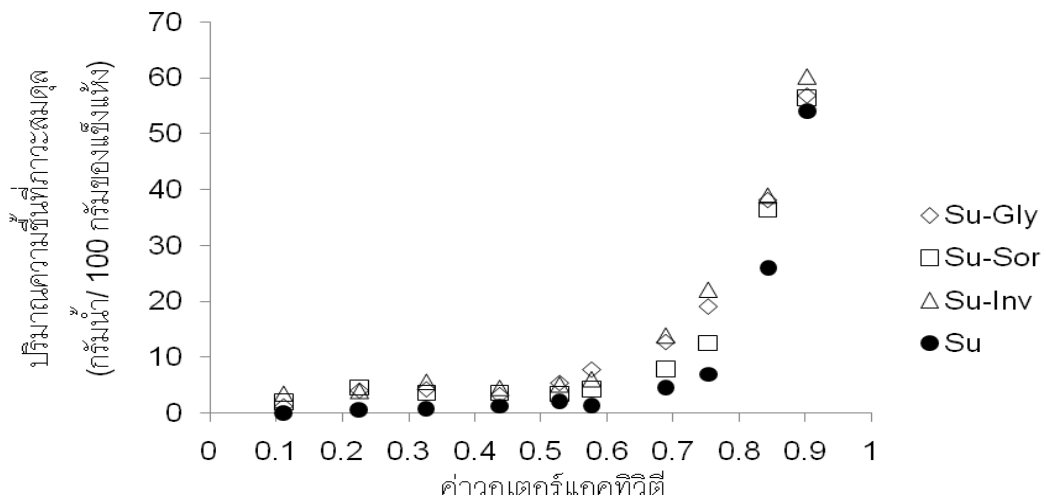
จากผลการทดลองทั้งหมดในขั้นตอนนี้อาจสรุปได้ว่า Su-Sor มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณความชื้นและค่า a_w สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองระหว่างการอบแห้งมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองระหว่างการอบแห้งมีค่าความเข้มสีแตกต่างกัน แต่มีเฉดสีใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ Su-Sor สามารถรักษาความคงรูปของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งได้มากกว่าชุดควบคุม ถึงแม้ว่าการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์และน้ำตาลอินเวิร์ตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างกรอบแห้ง อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพื่อคัดเลือกภาวะการผลิตที่เหมาะสมต่อไป

4.6 ผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อมอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทิร์มของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้ง

จากรูปแบบ MSI ของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นประมาณ 16% (โดยน้ำหนักเปียก) (ภาพที่ 4.13) พบว่า ในช่วงค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงค่า a_w สูงกว่า 0.6 ปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งรูปแบบ MSI ของผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นแบบ Type-III หรือ J-shape พบได้ทั่วไปในอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลหรือเกลือสูง สาเหตุที่ปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อค่า a_w สูงกว่า 0.6 เกิดจากในช่วง a_w ต่ำกว่า 0.6 น้ำตาลในชั้นผลไม้อยู่ในรูปผลึก ซึ่งมีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ แต่เมื่อค่า a_w สูงกว่า 0.6 น้ำตาลจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอสัณฐาน โดยน้ำตาลในรูปอสัณฐานมีความสามารถในการดูดความชื้นได้ดีกว่าในรูปผลึก ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการดูดความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Falade *et al.*, 2003) รูปแบบ MSI ของผลิตภัณฑ์ที่ได้สอดคล้องกับ MSI ของกล้วย plantain แช่อบแห้ง (Falade *et al.*, 2003) มะม่วงแช่อบแห้ง (Chottanom and Phoungchandang, 2005) และมะละกอแช่อบแห้ง (Jain *et al.*, 2010) ซึ่งล้วนมีรูปแบบ MSI เป็นแบบ J-shape เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาความชื้นของ MSI ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลอง (ภาพที่ 4.13) พบว่า Su-Sor และ Su-Gly มีความชื้นของ MSI สูงกว่าชุดควบคุม แต่น้อยกว่า Su-Inv และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองที่ค่า a_w เดียวกัน (ภาพที่ 4.13) พบว่า ชุดควบคุมมีปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลต่ำสุด โดย Su-Gly, Su-Sor และ Su-Inv มีปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.4) ในช่วง a_w ระหว่าง 0.6-0.9 เนื่องจากความสามารถในการดูดความชื้นของพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์และน้ำตาลอินเวิร์ตที่ดีกว่าซูโครส



ภาพที่ 4.13 มอยส์เจอร์ซอร์พชันไอโซเทอรั่มของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

จากนั้นนำค่าปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลและค่า a_w มาแทนค่าในแบบจำลอง BET (สมการที่ 4.3) และแบบจำลอง GAB (สมการที่ 4.4) เพื่อคำนวณหาค่า monolayer moisture content (M_o) ของผลิตภัณฑ์ โดยแบบจำลองที่เหมาะสมในการคำนวณหาค่า M_o จะมีค่า $RMSE$ และค่า MRS ต่ำ แต่มีค่า r สูง เมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น

$$BET: M = \frac{M_o C a_w}{(1 - a_w)(1 + C a_w - a_w)} \quad (Brunauer \textit{et al.}, 1938) \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

$$GAB: M = \frac{M_o C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (Van \textit{den berg}, 1984) \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

- เมื่อ M = ปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุล (กรัม/น้ำ / 100 กรัมของแข็งแห้ง)
- M_o = monolayer moisture content (กรัม/น้ำ / 100 กรัมของแข็งแห้ง)
- C, K = ค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากตารางที่ 4.8 พบว่า แบบจำลอง GAB มีความเหมาะสมในการทำนาย MSI ของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมากกว่าแบบจำลอง BET เนื่องจากมีค่า $RMSE$ และ MRS ต่ำกว่า แต่มีค่า r สูงกว่าในทุกชุดการทดลอง สาเหตุที่แบบจำลอง GAB มีความเหมาะสมในการทำนาย MSI ของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมากกว่าแบบจำลอง BET เนื่องจากแบบจำลอง GAB พัฒนาจากแบบจำลองของ BET โดยมีการเพิ่มค่าคงที่ K ในแบบจำลอง จึงสามารถทำนาย MSI

ครอบคลุมช่วงค่า a_w กว้างกว่าแบบจำลอง BET ที่เหมาะสมกับการทำนาย MSI ที่ช่วงค่า a_w ระหว่าง 0.05-0.50 (Timmermann *et al.*, 2001)

M_0 คือ ปริมาณน้ำสูงสุดที่อาหารมีความเสถียรในการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบค่า M_0 ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง GAB ของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.8) พบว่า Su-Sor และ Su-Gly มีค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง GAB สูงกว่าชุดควบคุมและ Su-Inv โดยสารออสโมติกที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า M_0 สูง แสดงว่า สารออสโมติกชนิดนั้นมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดี จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำส่วนที่เป็น monolayer water สูง

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณจากแบบจำลอง BET และแบบจำลอง GAB ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
BET	M_0	14.15	7.41	6.35	6.64
	C	0.07	0.35	0.98	1.04
	RMSE	1.27	2.71	1.86	2.18
	MRS	1.80	8.13	3.85	5.30
	r	0.9971	0.9883	0.9943	0.9930
GAB	M_0	16.71	24.09	19.16	16.35
	C	0.06	0.10	0.21	0.27
	K	1.00	0.94	0.92	0.93
	RMSE	1.27	2.52	1.45	1.91
	MRS	1.78	7.07	2.33	4.03
	r	0.9972	0.9900	0.9968	0.9953

Farahnaky และคณะ (2010) พบว่า ค่า M_0 ที่ทำนายได้จากแบบจำลอง GAB ของมะเดื่อแช่อิ่มอบแห้งที่ใช้กลีเซอรอลในการออสโมซิสมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ใช้กลูโคสไซรัป และตัวอย่างมะเดื่ออบแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรอลมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำมากกว่ากลูโคสไซรัป

จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า การทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์และน้ำตาลอินเวิร์ตส่งผลให้ค่า M_0 ที่คำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แตกต่างกัน โดยการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอลหรือกลีเซอรอลทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า M_0 ที่คำนวณจาก

แบบจำลอง GAB สูงกว่าชุดควบคุมและ Su-Inv ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าซูโครสและน้ำตาลอินเวิร์ต และจะมีการนำค่า M_0 ที่ได้เปรียบเทียบกับค่า spin-lattice relaxation time ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เพื่ออธิบายความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำในขั้นตอนที่ 4.7 ต่อไป

4.7 ผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล กลีเซอรอล และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

เก็บผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งทุกชุดการทดลอง (ปริมาณความชื้นประมาณ 16% โดยน้ำหนักเปียก) ในถุงพอลิโพรพิลีนปิดสนิทในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 56 % แล้ววิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ ผลของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีดังนี้

4.7.1 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นประมาณ 16% (โดยน้ำหนักเปียก) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเวลานานขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นลดลงเล็กน้อย โดยมีเพียง Su-Gly ที่มีปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.5) อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นของ Su-Gly ที่เวลาการเก็บต่าง ๆ มีค่าลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้พบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองที่เวลาการเก็บเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.6) ซึ่งการที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงระหว่างการเก็บเกิดจากการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์สู่ภาวะแวดล้อม อย่างไรก็ตามการเก็บผลิตภัณฑ์ในถุงพอลิโพรพิลีนที่มีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี อาจเป็นสาเหตุให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองลดลงเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.9 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก)			
	Su ^{ns}	Su-Sor ^{ns}	Su-Gly	Su-Inv ^{ns}
0 ^{ns}	15.93 ± 0.29	16.23 ± 1.12	15.76 ^a ± 0.25	16.72 ± 1.08
4 ^{ns}	15.14 ± 1.88	16.64 ± 0.19	16.10 ^a ± 0.81	16.08 ± 0.18
8 ^{ns}	14.14 ± 0.24	14.86 ± 0.33	14.40 ^b ± 0.37	14.22 ± 0.05

a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.7.2 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

ผลการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ระหว่างการเก็บรักษา แสดงดังตารางที่ 4.10 เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเวลานานขึ้น พบว่า ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยมีเพียง Su-Gly ที่มีค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.7) อย่างไรก็ตามค่า a_w ของ Su-Gly เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบค่า a_w ของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองที่เวลาการเก็บเดียวกัน พบว่า Su-Inv และ Su-Gly มีค่า a_w ต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.8) เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตและกลีเซอรอลมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีกว่าซูโครส ส่งผลให้ความสามารถของน้ำในการทำปฏิกิริยาลดลง ค่า a_w ของตัวอย่างจึงลดลง

ตารางที่ 4.10 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่िमอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	a_w			
	Su ^{ns}	Su-Sor ^{ns}	Su-Gly	Su-Inv ^{ns}
0	0.781 ^A ± 0.016	0.761 ^A ± 0.018	0.696 ^{bB} ± 0.022	0.693 ^B ± 0.009
4	0.790 ^A ± 0.011	0.772 ^A ± 0.007	0.729 ^{aB} ± 0.012	0.696 ^C ± 0.014
8	0.789 ^A ± 0.006	0.778 ^A ± 0.003	0.739 ^{aB} ± 0.008	0.701 ^C ± 0.014

a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B, C.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.7.3 ความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

จากตารางที่ 4.11 พบว่า ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งทุกชุดการทดลองมีค่า spin-lattice relaxation time ($^1\text{H NMR } T_1$) ต่ำกว่าตัวอย่างมะละกอหลังการอบสโมซิชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.9) โดยตัวอย่างที่มีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ สูงแสดงว่าน้ำในตัวอย่างมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ดี ขณะที่ตัวอย่างที่มีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ต่ำแสดงว่า น้ำในตัวอย่างมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้น้อย เมื่อผ่านสนามแม่เหล็กและคลื่นวิทยุสู่ตัวอย่าง โปรตอนของน้ำจะเกิดการเคลื่อนที่สู่ระดับพลังงานที่แตกต่างกัน จากนั้นเมื่อหยุดการให้คลื่นวิทยุ โปรตอนของน้ำจะเกิดการคายพลังงานกลับสู่ภาวะสมดุล หากโมเลกุลอื่นที่อยู่ใกล้กับโปรตอนของน้ำมีปริมาณน้อย การคายพลังงานของโปรตอนเพื่อกลับสู่ภาวะสมดุลจะเกิดขึ้นได้ช้า ทำให้โปรตอนใช้เวลานานในการเคลื่อนที่กลับมาในสภาวะปกติ แต่หากในกรณีที่มีโมเลกุลอื่นที่อยู่ใกล้กับโปรตอนของน้ำมีปริมาณมาก การคายพลังงานของโปรตอนของน้ำจะเกิดขึ้นได้เร็ว ทำให้โปรตอนใช้เวลา

น้อยในการเคลื่อนที่กลับมาในภาวะสมดุล (ธนจันทร์ มหาวนิช, 2554) ซึ่งการที่ผลิตรกัณฑ์หลังการอบแห้งมีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างหลังอบสโมซีส อาจเกิดจากการอบแห้งทำให้ปริมาณน้ำอิสระในผลิตรกัณฑ์ลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตรกัณฑ์ต่ำลง และเมื่อเปรียบเทียบค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ของตัวอย่างหลังการอบสโมซีสแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.11) พบว่า ชุดควบคุมมีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.10) โดยอาจมีสาเหตุมาจากการที่ซูโครสมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของน้ำน้อยกว่าน้ำตาลอินเวิร์ตและพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ทั้ง 2 ชนิด การที่ชุดควบคุมมีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ สูง สอดคล้องกับค่าคงที่การอบแห้ง (ตารางที่ 4.5) ที่มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่น

ตารางที่ 4.11 ค่า spin-lattice relaxation time ของตัวอย่างมะละกอหลังการอบสโมซีสผลิตรกัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บ และผลิตรกัณฑ์หลังเก็บ

ช่วงการเก็บตัวอย่าง	spin-lattice relaxation time (ms)			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
หลังการอบสโมซีส	916.55 ^{aA} ± 12.23	848.75 ^{aBC} ± 17.47	801.10 ^{aC} ± 13.44	855.90 ^{aB} ± 28.00
สัปดาห์เริ่มต้น	559.80 ^{bB} ± 11.60	557.80 ^{bB} ± 6.79	502.75 ^{bC} ± 1.48	630.25 ^{bA} ± 32.46
เก็บเป็นเวลา 8 สัปดาห์	526.67 ^{cB} ± 7.14	496.90 ^{cC} ± 2.26	488.90 ^{bC} ± 9.76	590.85 ^{bA} ± 12.66

a, b, c.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B, C.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ของผลิตรกัณฑ์แต่ละชุดการทดลองในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บ (ตารางที่ 4.11) พบว่า Su-Inv มีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ สูงสุด ส่วนชุดควบคุมมีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ไม่แตกต่างกับ Su-Sor อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.10) แต่สูงกว่า Su-Gly อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.10) โดยผลที่ได้สอดคล้องกับค่า a_w ของ Su-Gly ที่ต่ำกว่าชุดควบคุม (ตารางที่ 4.10) และค่า M_0 ที่คำนวณจากแบบจำลอง GAB ของ Su-Gly ที่สูงกว่าชุดควบคุม (ตารางที่ 4.8) ผลของค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ในชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอลหรือกลีเซอรอลเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Sritongtae และคณะ (2011) ซึ่งพบว่า การทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอลหรือกลีเซอรอล (10% w/v) ในการอบสโมซีส ทำให้แคนตาลูปแช่อบแห้งมีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ต่ำกว่าแคนตาลูปแช่อบแห้งที่แช่ในซูโครสเพียงอย่างเดียว

เมื่อพิจารณาค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ของน้ำในผลิตรกัณฑ์ระหว่างการเก็บ (ตารางที่ 4.11) พบว่าค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ของผลิตรกัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บ ขณะที่

ค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ของ Su-Gly และ Su-Inv หลังเก็บ ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่สัปดาห์เริ่มต้นในชุดการทดลองเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ ค.9) โดยการลดลงของค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ในผลิตภัณฑ์อาจเกิดจากการที่ปริมาณความชื้นของของผลิตภัณฑ์ลดลงระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.9) ทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง และส่งผลให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่ำลง

ผลของค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ในชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตเมื่อเทียบกับชุดควบคุมไม่สอดคล้องกับ Duangmal, Kunawantanit และ Mahawanich (2011) ที่พบว่า ปัตรูทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v) มีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ต่ำกว่าปัตรูทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ในปัตรูทแช่อิ่มอบแห้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลูโคสและฟรุกโตส (น้ำตาลรีดิวิซ์) ในผลิตภัณฑ์ โดยปัตรูทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตมีปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสสูงกว่าปัตรูทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสจึงมีค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่วัดได้ในปัตรูทแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน จึงอาจเป็นไปได้ว่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว แต่อาจขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณและชนิดของสารออสโมติกที่แพร่เข้าไปในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงหาปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอธิบายในขั้นตอนที่ 4.7.6

4.7.4 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองในระหว่างการเก็บ (ตารางที่ 4.12-4.14) พบว่า ค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) (ตารางที่ ค.11) ยกเว้น Su-Inv ที่มีค่า L^* ค่อนข้างคงที่ ($p>0.05$) (ตารางที่ ค.11) ขณะที่ค่า a^* และค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยค่า a^* ของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) (ตารางที่ ค.12) เมื่อพิจารณาค่าความเข้มสี (chroma) และค่าเฉดสี (hue angle) ของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองระหว่างการเก็บรักษาจากภาพที่ 4.14 พบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ทุกชุดการทดลองมีค่าเฉดสีใกล้เคียงกัน แต่ค่าความเข้มสีจะค่อย ๆ ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ในมะละกอ

ตารางที่ 4.12 ค่า L* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่िमอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	L*			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv ^{ns}
0 ^{ns}	40.05 ^b ± 2.97	40.10 ^b ± 2.58	39.78 ^b ± 2.68	35.48 ± 1.97
4 ^{ns}	50.52 ^a ± 2.88	51.39 ^a ± 3.66	50.24 ^a ± 5.62	42.69 ± 4.46
8	50.98 ^{aA} ± 0.45	54.96 ^{aA} ± 1.01	52.48 ^{aA} ± 5.27	42.25 ^B ± 2.00

a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ค่า a* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่िमอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	a*			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
0	20.26 ^{aB} ± 1.34	19.81 ^{aB} ± 0.58	20.69 ^{aB} ± 2.30	23.66 ^{aA} ± 0.36
4	13.55 ^{bB} ± 1.45	14.00 ^{bB} ± 1.22	14.47 ^{abB} ± 3.20	19.54 ^{bA} ± 1.68
8	12.88 ^{bB} ± 1.29	9.69 ^{cB} ± 0.72	11.84 ^{bB} ± 3.46	19.27 ^{bA} ± 2.48

a, b, c.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

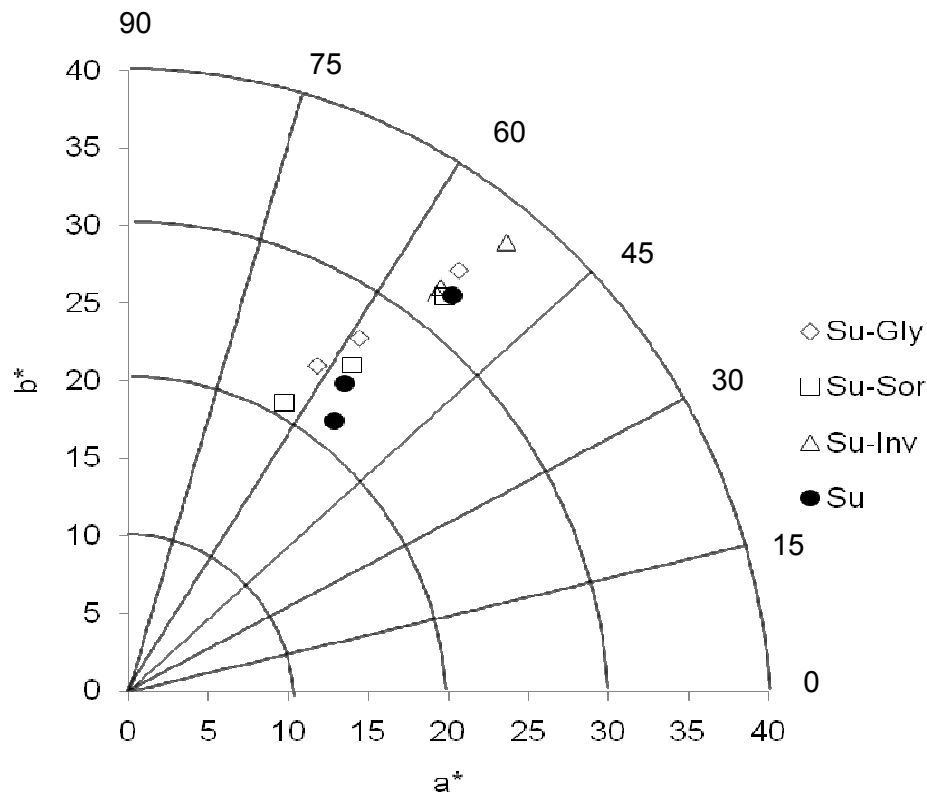
ตารางที่ 4.14 ค่า b* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่िमอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	b*			
	Su ^{ns}	Su-Sor	Su-Gly ^{ns}	Su-Inv
0 ^{ns}	25.55 ± 5.25	25.44 ^a ± 2.42	27.13 ± 3.31	28.96 ^a ± 1.39
4	19.87 ^C ± 1.54	21.04 ^{abBC} ± 1.87	22.77 ^B ± 0.42	26.02 ^{bA} ± 1.30
8	17.43 ^C ± 0.32	18.61 ^{bBC} ± 0.40	20.99 ^{AB} ± 1.82	25.66 ^{bA} ± 0.70

a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B, C.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อเปรียบเทียบค่าสีในระบบ CIELAB ของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บ (ตารางที่ 4.12-4.14) พบว่า Su-Inv มีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* น้อยที่สุด การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล การเพิ่มขึ้นของผลึกน้ำตาลที่ผิวของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการสลายตัวของเบตาแคโรทีนและไลโคปีน ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักของมะละกอ

4.7.5 การเกิดสารสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

ในงานวิจัยนี้ติดตามการเกิดสารสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ โดยใช้สารละลายกรดอะซิติกสกัดสารสีน้ำตาลจากผลิตภัณฑ์ แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร (A_{420}) จากตารางที่ 4.15 พบว่า ค่า A_{420} ของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาในการเก็บ โดย Su-Gly และ Su-Inv มีการเพิ่มขึ้นของค่า A_{420} อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.15) อย่างไรก็ตามค่า A_{420} ที่วัดได้ในทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำมาก (ต่ำกว่า 0.1) จึงอาจเป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าการเกิดสีน้ำตาลมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์รวมทั้งระหว่างการเก็บเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้น้อย

ตารางที่ 4.15 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ของสารสกัดจากผลิตภัณฑ์มะละกอแช่िमอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	A_{420}			
	Su ^{ns}	Su-Sor ^{ns}	Su-Gly	Su-Inv
0	0.068 ± 0.009	0.035 ± 0.015	0.044 ^b ± 0.009	0.031 ^b ± 0.008
4	0.072 ± 0.008	0.045 ± 0.008	0.062 ^{ab} ± 0.007	0.050 ^b ± 0.007
8	0.088 ± 0.004	0.068 ± 0.004	0.073 ^a ± 0.005	0.075 ^a ± 0.006

a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.7.6 ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโทสของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่िमอบแห้ง

ผลการวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโทส ซูโครส และน้ำตาลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 4.16 เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลในมะละกอสด พบว่า ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโทส และซูโครสที่วัดได้ใกล้เคียงกับ USDA (2011) และเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ชุดควบคุมมีปริมาณน้ำตาลซูโครสและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.16) เนื่องจากมีการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียวในการออสโมซิส ขณะที่ Su-Inv มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.16) เนื่องจากชุดการทดลองนี้มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต (กลูโคสและฟรุกโทส) ในการออสโมซิส ซึ่งน้ำตาลชนิดนี้มีมวลโมเลกุลต่ำสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าซูโครส ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสสูงขึ้น การที่ Su-Sor และ Su-Gly มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำกว่าชุดควบคุมอาจเกิดจากการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอลหรือกลีเซอรอล ทำให้ซอร์บิทอลหรือกลีเซอรอลเคลื่อนที่เข้าไปในชั้นมะละกอแทนที่ซูโครส นอกจากนี้การที่ Su-Inv มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมาก ทำให้น้ำตาลที่สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์มีน้อย จึงส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ดีและมีปริมาณ monolayer moisture content (M_0) ต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปของค่า $^1\text{H NMR } T_1$ ที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมาก (ตารางที่ 4.11) ขณะที่ค่า M_0 ที่คำนวณจากแบบจำลอง GAB มีค่าต่ำ (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.16 ปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำตาล (กรัม/ 100 กรัมตัวอย่าง)				
	กลูโคส	ฟรุกโทส	ซูโครส	กลูโคส+ฟรุกโทส	น้ำตาลทั้งหมด
มะละกอสด	3.64 ^a ± 0.10	2.90 ^b ± 0.13	nd	6.54 ^b ± 0.23	6.54 ^e ± 0.23
Su	2.52 ^b ± 0.05	2.21 ^c ± 0.04	38.67 ^a ± 1.07	4.74 ^c ± 0.08	43.41 ^a ± 0.98
Su-Sor	1.95 ^c ± 0.23	1.67 ^d ± 0.09	34.64 ^b ± 0.52	3.63 ^d ± 0.33	38.27 ^c ± 0.86
Su-Gly	2.88 ^b ± 0.29	2.44 ^c ± 0.25	36.31 ^b ± 0.51	5.32 ^c ± 0.54	41.62 ^b ± 1.05
Su-Inv	3.81 ^a ± 0.15	3.56 ^a ± 0.14	26.22 ^c ± 0.40	7.38 ^a ± 0.29	33.60 ^d ± 0.69

a, b, c.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

nd ตรวจไม่พบ

4.7.7 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็ง ค่างานในการตัด และค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งวัดด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยใช้หัววัด BSK with knife แสดงในตารางที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความแข็ง (N)			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
0	73.49 ^{cA} ± 3.74	54.49 ^{cC} ± 3.35	62.50 ^{cB} ± 1.22	53.90 ^{cC} ± 5.06
4	127.82 ^{ba} ± 3.45	105.06 ^{bC} ± 1.70	122.92 ^{bB} ± 0.85	62.50 ^{bD} ± 1.45
8	149.74 ^{aa} ± 5.30	124.17 ^{ab} ± 1.18	147.31 ^{aa} ± 5.19	105.53 ^{ac} ± 3.93

a, b, c.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B, C.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 ค่างานในการตัดของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่างานในการตัด (N.s)			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
0	184.34 ^{cA} ± 1.88	181.83 ^{cA} ± 1.01	184.30 ^{cA} ± 4.05	170.52 ^{cB} ± 5.79
4	347.17 ^{ba} ± 4.98	297.93 ^{bB} ± 4.79	350.18 ^{ba} ± 5.34	198.21 ^{bB} ± 4.33
8	388.02 ^{aa} ± 2.80	335.80 ^{ab} ± 3.11	391.49 ^{aa} ± 0.84	302.14 ^{ac} ± 5.01

a, b, c.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B, C.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความเหนียว (N.s)			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
0 ^{ns}	0.79 ^a ± 0.11	0.90 ^a ± 0.14	0.90 ^a ± 0.07	0.89 ^a ± 0.09
4 ^{ns}	0.34 ^b ± 0.03	0.34 ^b ± 0.04	0.33 ^b ± 0.09	0.45 ^b ± 0.09
8 ^{ns}	0.30 ^b ± 0.04	0.29 ^b ± 0.04	0.32 ^b ± 0.03	0.40 ^b ± 0.09

a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.17-4.19 พบว่า เมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งและค่างานในการตัดของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.17 และ ค.18) ซึ่ง Su-Inv มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง และค่างานในการตัดน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น ขณะที่ Su-Sor มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง และค่างานในการตัดใกล้เคียงกับ Su-Inv ส่วนค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.19) อย่างไรก็ตามค่าความเหนียวมีค่าต่ำมาก ดังนั้นค่าความแข็งจึงเป็นสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์นี้

เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง และค่างานในการตัดของผลิตภัณฑ์ที่เวลาการเก็บเดียวกัน (ตารางที่ 4.17, 4.18) พบว่า ค่าความแข็งของ Su-Sor และ Su-Inv ต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.20) ส่วนค่างานในการตัดของ Su-Inv ต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.20) Farahnaky และคณะ (2010) พบว่า ผลิตภัณฑ์มะเดื่อแช่อิ่มอบแห้งที่ใช้กลีเซอรอลความเข้มข้น 40% (w/w) ในการออสโมซิสมีค่าความแข็งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลูโคสในการออสโมซิส และผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ตามลำดับ ผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นไปในทิศทางเดียวกับ Duangmal และคณะ (2005) ที่พบว่า ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตในการออสโมซิส มีค่างานในการตัดต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียวในการออสโมซิสตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ได้กับผลิตภัณฑ์ทางการค้า (ตารางที่ 4.20) พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับผลิตภัณฑ์

ทางการค้า อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีค่าความเหนียวต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าตลอดการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.20 ค่าความแข็ง ค่างานในการตัด และค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ทางการค้า

	ค่าความแข็ง (N)	ค่างานในการตัด (N.s)	ค่าความเหนียว (N.s)
ตราสินค้า A	63.06 ± 2.65	161.28 ± 11.07	1.36 ± 0.18
ตราสินค้า B	73.13 ± 1.48	252.14 ± 8.78	2.92 ± 0.35

ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยึดติด (gumminess) ค่าการเคี้ยว (chewiness) และค่าความเกาะติดกัน (cohesiveness) ของผลิตภัณฑ์ โดยวัดแบบ texture profile analysis (TPA) แสดงในตารางที่ 4.21, 4.22, 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความแข็ง (N)			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
0	52.85 ^{CA} ± 3.67	47.54 ^{CA} ± 4.49	46.66 ^{CA} ± 4.59	18.90 ^{CB} ± 1.05
4	65.65 ^{BA} ± 1.24	62.09 ^{BB} ± 2.04	60.51 ^{BB} ± 0.58	60.57 ^{BB} ± 0.15
8	126.53 ^{AA} ± 3.58	75.01 ^{AB} ± 2.82	121.28 ^{AA} ± 4.54	69.87 ^{AB} ± 5.98

a, b, c.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.22 ค่าความเหนียวยึดติดของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความเหนียวยึดติด (N)			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
0	20.03 ^{CA} ± 0.43	19.99 ^{CA} ± 2.51	19.62 ^{CA} ± 2.31	15.02 ^{CB} ± 0.21
4	26.30 ^{BA} ± 2.08	28.47 ^{BA} ± 1.82	27.50 ^{BA} ± 1.04	22.71 ^{BB} ± 1.34
8	39.27 ^{AA} ± 1.03	35.61 ^{AA} ± 1.97	38.37 ^{AA} ± 0.04	28.06 ^{AB} ± 2.34

a, b, c.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.23 ค่าการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าการเคี้ยว (N)			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
0 ^{ns}	13.07 ^b ± 2.63	14.36 ^b ± 0.94	12.66 ^b ± 0.21	10.58 ^b ± 1.10
4 ^{ns}	16.45 ^b ± 1.67	15.91 ^b ± 2.94	17.57 ^b ± 2.73	10.76 ^b ± 1.04
8 ^{ns}	25.38 ^a ± 0.88	25.42 ^a ± 0.82	23.93 ^a ± 2.34	21.00 ^a ± 1.72

a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.24 ค่าความเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความเกาะติดกัน			
	Su	Su-Sor	Su-Gly ^{ns}	Su-Inv
0	0.45 ^{aB} ± 0.04	0.48 ^{aB} ± 0.04	0.44 ^B ± 0.04	0.64 ^{aA} ± 0.09
4	0.36 ^{bB} ± 0.03	0.36 ^{bB} ± 0.03	0.38 ^B ± 0.03	0.44 ^{cA} ± 0.02
8	0.37 ^{bB} ± 0.02	0.38 ^{bB} ± 0.02	0.39 ^B ± 0.01	0.48 ^{bA} ± 0.01

a, b, c.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

A, B.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.21-4.23 พบว่า เมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยึดติด และค่าการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.21-ค.23) เนื่องจากในระหว่างการเก็บ ผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียความชื้นและมีการเพิ่มขึ้นของผลึกน้ำตาลบนผิว อย่างไรก็ตาม Su-Inv มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าทั้ง 3 น้อยกว่าชุดการทดลองอื่น ขณะที่ค่าความเกาะติดของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4.24)

แนวโน้มของค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยึดติด และค่าการเคี้ยวที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าความแข็งและค่างานในการตัด (ตารางที่ 4.17, 4.18) ที่วัดด้วยหัววัด BSK with knife อย่างไรก็ตามการที่ค่าความแข็งที่วัดได้จากทั้ง 2 วิธี มีค่าแตกต่างกันอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากเทคนิคการวัดที่แตกต่างกัน โดยการวัดเนื้อสัมผัสด้วยหัววัด BSK with knife เป็นการตัดตัวอย่างให้ขาด ขณะที่การวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA เป็นการวัดที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์

เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยึดติดและค่าการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์ที่เวลาการเก็บเดียวกัน (ตารางที่ 4.21-4.24) พบว่า Su-Sor และ Su-Inv มีค่าความแข็งต่ำกว่าชุด

ควบคุม โดย Su-Inv มีค่าความแข็งต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญตลอดเวลาการเก็บ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.25) นอกจากนี้พบว่า ค่าความเหนียวยืดติดของ Su-Inv ต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.25) ขณะที่ค่าการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองที่เวลาการเก็บเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.25)

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่วัดด้วยวิธี TPA กับผลิตภัณฑ์ทางการค้า (ตารางที่ 4.25) พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าความแข็งไม่อยู่ในช่วงเดียวกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า โดย Su-Inv มีค่าความแข็งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า ขณะที่ชุดการทดลองอื่นมีค่าความแข็งสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า อย่างไรก็ตามค่าความเหนียวยืดติดและค่าการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า และ Su-Inv มีค่าความเกาะติดกันใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้ามากกว่าชุดการทดลองอื่น

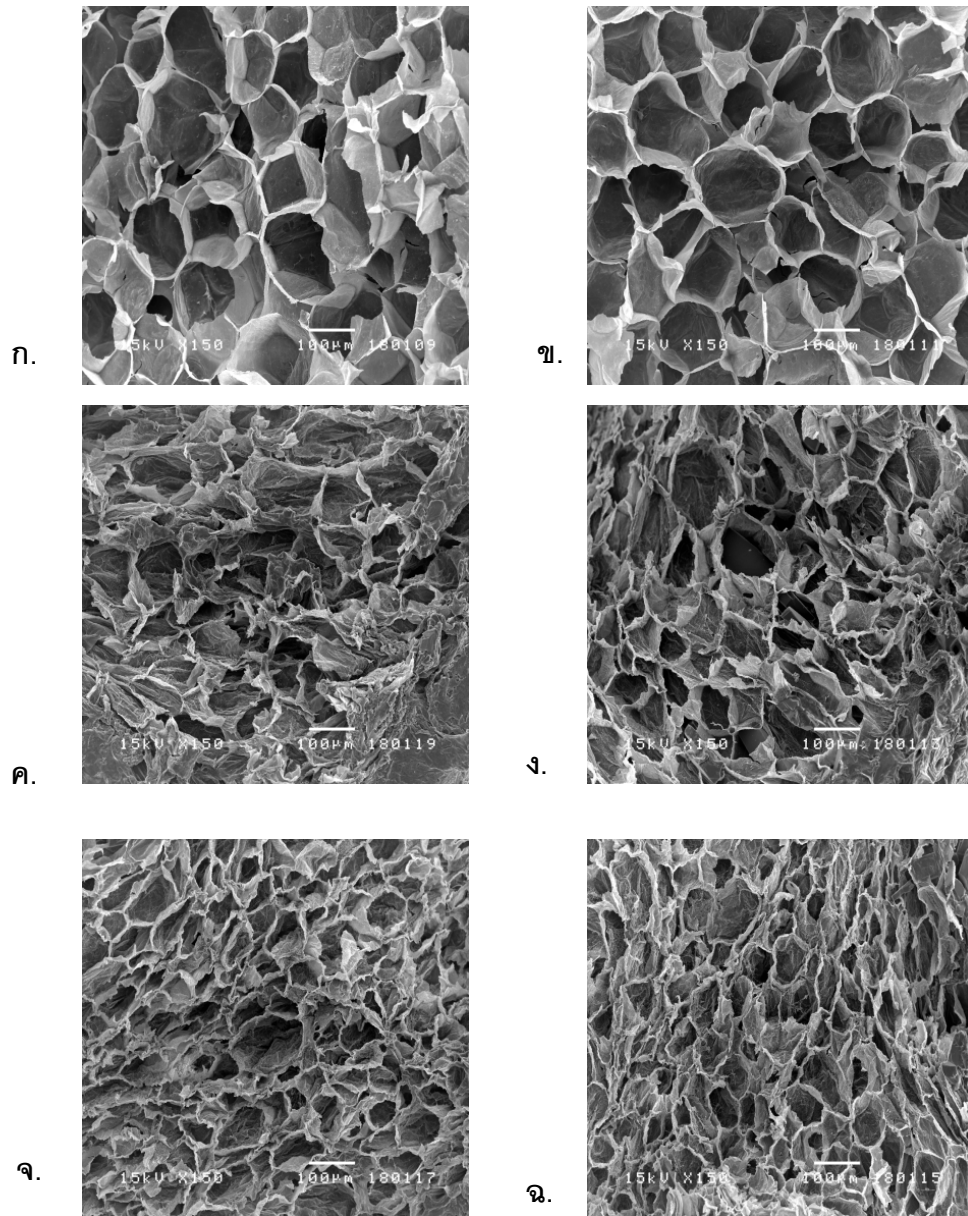
ตารางที่ 4.25 ค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยืดติด ค่าการเคี้ยว และค่าความเกาะติดกัน ของผลิตภัณฑ์ทางการค้า

	ค่าความแข็ง (N)	ค่าความเหนียวยืดติด (N)	ค่าการเคี้ยว(N)	ค่าความเกาะติดกัน
ตราสินค้า A	25.42 ± 4.79	17.98 ± 4.93	12.48 ± 1.60	0.69 ± 0.06
ตราสินค้า B	31.45 ± 3.38	21.37 ± 0.38	15.42 ± 1.14	0.68 ± 0.04

4.7.8 ลักษณะทางสัณฐานของเซลล์มะละกอ

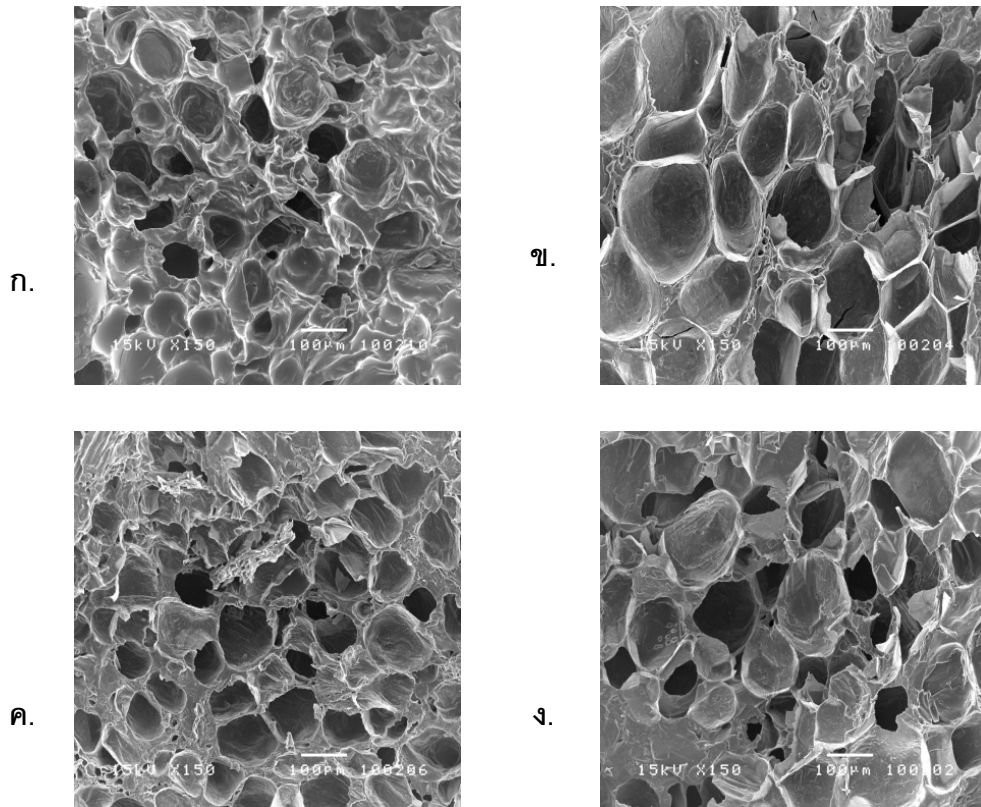
ลักษณะทางสัณฐานของเซลล์มะละกอสด มะละกอลังการแช่ในสารละลายผสมระหว่าง แคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริก มะละกอที่ผ่านการออสโมซิส ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเก็บ ซึ่งส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเซลล์ของมะละกอสดและมะละกอลังการแช่ในสารละลายผสมระหว่าง แคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริก (ภาพที่ 4.15 ก, ข) พบว่า เซลล์ของมะละกอที่พบเป็นเซลล์พาราเอนไคมาที่มีหน้าที่ในการสะสมอาหารของเซลล์พืช มีลักษณะกลมรี ไม่หดตัว มีช่องว่างระหว่างเซลล์น้อย และเห็นขอบเขตของเซลล์ชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ของมะละกอสดกับเซลล์ของมะละกอที่ผ่านการออสโมซิส (ภาพที่ 4.15 ก, ค-ง) พบว่า เซลล์ของมะละกอที่ผ่านการออสโมซิสมีการหดตัวมากกว่ามะละกอสด เนื่องจากการแช่ตัวอย่างในสารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงทำให้เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากเซลล์มะละกอ ส่งผลให้ผนังเซลล์มีลักษณะเหี่ยวลง โดยลักษณะที่เกิดขึ้นเรียกว่า พลาสโมไลซิส



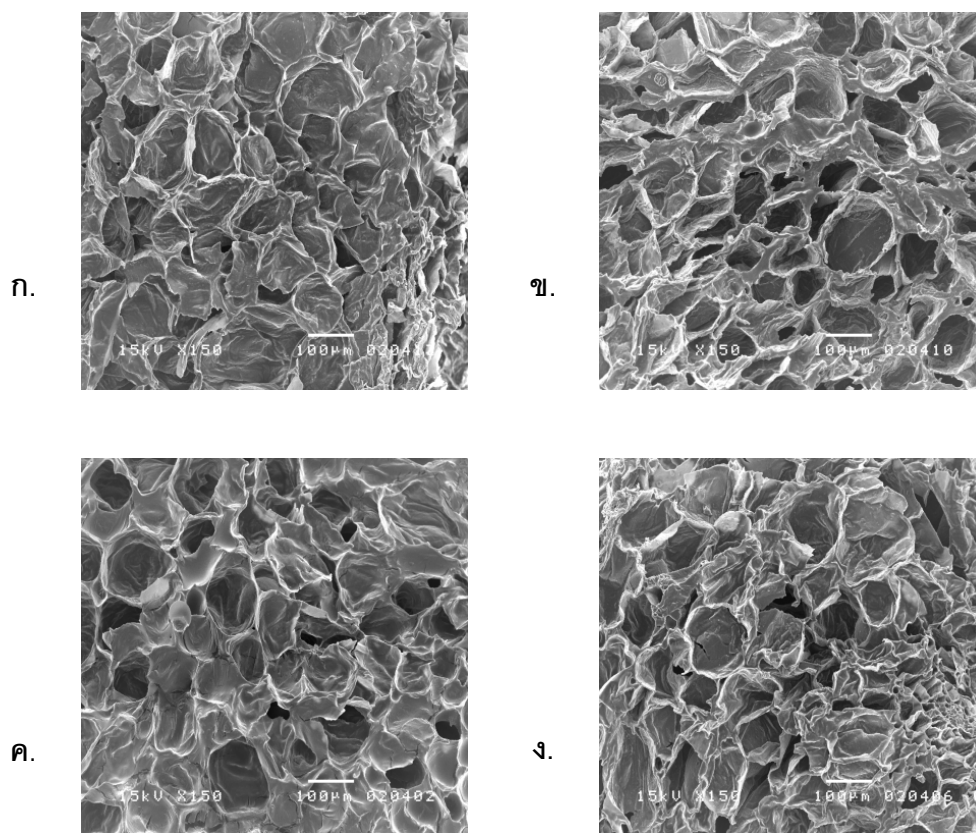
ภาพที่ 4.15 ลักษณะเซลล์มะละกอสด มะละกอกที่ผ่านการพรีทรีตเมนต์ และมะละกอกที่ผ่านการออกซิโมซิสในแต่ละชุดการทดลองจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 150 เท่า

- ก. มะละกอสด (วัตถุดิบ)
- ข. มะละกอกที่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมแคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริก (พรีทรีตเมนต์)
- ค. มะละกอกที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลายซูโครสโดยไม่มีการทดแทน (ชุดควบคุม)
- ง. มะละกอกที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลายซูโครสที่ทดแทนด้วยซอร์บิทอล 10% (Su-Sor)
- จ. มะละกอกที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลายซูโครสที่ทดแทนด้วยกลีเซอรอล 10% (Su-Gly)
- ฉ. มะละกอกที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลายซูโครสที่ทดแทนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (Su-Inv)



ภาพที่ 4.16 ลักษณะเซลล์ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บจากห้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 150 เท่า

- ก. มะละกอที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสโดยไม่มีการทดแทน และอบแห้ง (ชุดควบคุม)
- ข. มะละกอที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่ทดแทนด้วยซอร์บิทอล 10% และอบแห้ง (Su-Sor)
- ค. มะละกอที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่ทดแทนด้วยกลีเซอรอล 10% และอบแห้ง (Su-Gly)
- ง. มะละกอที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่ทดแทนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% และอบแห้ง (Su-Inv)



ภาพที่ 4.17 ลักษณะเซลล์ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งที่ผ่านการเก็บ 8 สัปดาห์ ซึ่งส่งผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 150 เท่า

- ก. มะละกอที่ผ่านการอบสโมซิมในสารละลายซูโครสโดยไม่มีการทดแทน และอบแห้ง (ชุดควบคุม)
- ข. มะละกอที่ผ่านการอบสโมซิมในสารละลายซูโครสที่ทดแทนด้วยซอร์บิทอล 10% และอบแห้ง (Su-Sor)
- ค. มะละกอที่ผ่านการอบสโมซิมในสารละลายซูโครสที่ทดแทนด้วยกลีเซอรอล 10% และอบแห้ง (Su-Gly)
- ง. มะละกอที่ผ่านการอบสโมซิมในสารละลายซูโครสที่ทดแทนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% และอบแห้ง (Su-Inv)

Moreno และคณะ (2004) รายงานว่า เซลล์ของมะละกอที่ผ่านการอบสโมซิมมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและมีขนาดของเซลล์เล็กลง ซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำระหว่างการอบสโมซิม นอกจากนี้ Pereira, Carmello-Guerreiro และ Hubinger (2009) รายงานว่า เซลล์พาราไควมาของฝรั่งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสหรือมอลโทสที่ความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ มีการหดตัวและมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเกิดพลาสโมไลซิส

เมื่อพิจารณาเซลล์ของมะละกอหลังการอบสโมซิมแต่ละชุดการทดลอง (ภาพที่ 4.15 ค-ง) พบว่า ในชุดควบคุมมีการหดตัวของเซลล์และเห็นขอบเขตของเซลล์ไม่ชัดเจนเมื่อเทียบกับชุดการ

ทดลองอื่น ซึ่งอาจเกิดจากการที่ตัวอย่างมีค่า SG น้อยกว่าชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 4.3) ทำให้ชุดควบคุมมีน้ำตาลเคลื่อนที่เข้าไปในเซลล์ระหว่างการออสโมซิสน้อย และส่งผลให้ความสามารถในการคงรูปของเซลล์ต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเซลล์ของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งในสัปดาห์เริ่มต้น (ภาพที่ 4.16 ก-ง) พบว่า ผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองมีลักษณะเซลล์ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม Su-Sor และ Su-Inv มีลักษณะเซลล์กลมรีที่มีขนาดใหญ่กว่าชุดควบคุม ซึ่งอาจเกิดจากการที่ซอร์บิทอลและน้ำตาลอินเวิร์ตมีขนาดเล็กกว่าซูโครส ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เข้าไปในผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าซูโครสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ส่งผลให้สารออสโมติกช่วยรักษาโครงสร้างของเซลล์ได้มาก และทำให้ในระหว่างการอบแห้งเซลล์ของผลิตภัณฑ์มีการหดตัวน้อยกว่าชุดควบคุม ผลที่ได้เป็นไปในทำนองเดียวกับ บุรฉัตร ศรีทองแท้ (2551) ที่พบว่า ตัวอย่างแคนตาลูปแช่อบที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v) ตัวอย่างที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v) และตัวอย่างที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (w/v) ซึ่งทุกตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะมีค่า a_w ประมาณ 0.65 มีลักษณะของเซลล์ที่คงรูปมากกว่าแคนตาลูปแช่อบแห้งที่ใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียวในการออสโมซิส

การที่ Su-Sor และ Su-Inv มีการหดตัวของเซลล์น้อยกว่าชุดควบคุมสอดคล้องกับค่าการหดตัวของตัวอย่างระหว่างการอบแห้งที่พบว่า ชุดควบคุมมีการหดตัวมากกว่าชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 4.7) เมื่อพิจารณาลักษณะเซลล์ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งหลังผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (ภาพที่ 4.16 ก-ง, 4.17 ก-ง) พบว่า เซลล์มีการหดตัวมากขึ้นในทุกชุดการทดลองและเห็นขอบเขตของเซลล์ไม่ชัดเจน เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ในสัปดาห์เริ่มต้น ทั้งนี้ อาจเกิดจากการที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษามีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4.9) ทำให้เซลล์ของผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียน้ำและหดตัวมากขึ้น อย่างไรก็ตามหลังผ่านการเก็บ Su-Sor ยังมีขนาดของเซลล์ใหญ่กว่าชุดควบคุม

4.7.9 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์ และราของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

จากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า Su-Gly และ Su-Inv มีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 300 CFU/g และตรวจไม่พบยีสต์และรา ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมผลไม้แห้งที่กำหนดให้ ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 CFU/g ปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 1×10^2 CFU/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) ทั้งนี้เนื่องจากมาจากผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้มีปริมาณน้ำตาลสูง และมีค่า a_w ต่ำ

4.7.10 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง ในด้านการเกิดผลึก การหดตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส และรสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 20 คน แสดงดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 คะแนนความเข้มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
การเกิดผลึก	7.99 ^A ± 0.97	5.98 ^B ± 0.91	6.38 ^B ± 0.49	1.47 ^C ± 0.38
ความคงรูป	3.19 ^C ± 0.82	5.30 ^B ± 0.96	3.21 ^C ± 0.57	7.03 ^A ± 0.99
ความแข็ง	6.54 ^A ± 1.40	5.00 ^{BC} ± 0.92	5.61 ^B ± 1.59	4.23 ^C ± 1.19
ความเหนียว	2.44 ^B ± 0.72	3.52 ^A ± 0.91	2.64 ^B ± 0.80	2.99 ^{AB} ± 0.97
ความชุ่มน้ำ	3.48 ^B ± 0.84	4.23 ^{AB} ± 1.05	3.41 ^B ± 1.23	5.18 ^A ± 1.11
รสหวาน	6.12 ^A ± 1.26	6.15 ^A ± 1.42	5.84 ^A ± 0.95	4.70 ^B ± 0.61
รสแปลกปลอม ^{ns}	1.50 ± 0.33	1.30 ± 0.40	0.93 ± 0.24	1.06 ± 0.29

A, B, C.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไว้ต่างกันตามแนวอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาการเกิดผลึกของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองด้วยวิธีทดสอบเชิงพรรณนา (ตารางที่ 4.26) พบว่า Su-Sor, Su-Gly และ Su-Inv มีคะแนนความเข้มด้านผลึกน้ำตาลบนผิวผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.26) โดย Su-Inv มีคะแนนความเข้มด้านผลึกน้ำตาลบนผิวผลิตภัณฑ์ต่ำสุด ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.26) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าสีของ Su-Inv (ตารางที่ 4.12, 4.13) ที่พบว่า Su-Inv มีค่า L^* ต่ำ แต่มีค่า a^* สูงกว่าชุดการทดลองอื่น Duangmal และคณะ (2005) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตในการอบแห้ง มีค่า L^* ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตลดการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวของผลิตภัณฑ์ และจากตารางที่ 4.26 พบว่า Su-Inv และ Su-Sor มีคะแนนความเข้มด้านความคงรูปสูงกว่า Su-Gly และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.26)

เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้มด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีทดสอบเชิงพรรณนา (ตารางที่ 4.26) พบว่า Su-Sor และ Su-Inv มีคะแนนความเข้มด้านความแข็งต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.26) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าความแข็งของ

ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่วัดด้วยเครื่อง Texture analyzer (ตารางที่ 4.17) ที่พบว่า ค่าความแข็งของชุดควบคุมสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.20) และเมื่อพิจารณาความเหนียวของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.26) พบว่า Su-Sor มีคะแนนความแข็งด้านความเหนียวสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.26) แต่ไม่แตกต่างจาก Su-Inv อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.26) จากตารางที่ 4.26 พบว่า Su-Inv มีคะแนนความแข็งด้านความชุ่มน้ำสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.26) แต่ไม่แตกต่างจาก Su-Sor อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.26)

จากการพิจารณาคะแนนความแข็งด้านรสหวานของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.26) พบว่า Su-Inv มีคะแนนความแข็งด้านรสหวานน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.26) ซึ่งโดยทั่วไปน้ำตาลฟรุกโทสที่เป็นองค์ประกอบของน้ำตาลอินเวิร์ตมีรสหวานมากกว่าซูโครส อย่างไรก็ตามผลที่ได้ อาจเกิดจากการที่ Su-Inv มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 4.16) และจากตารางที่ 4.26 พบว่า รสแปลกปลอมของผลิตภัณฑ์แต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.26)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่างคะแนนความแข็งและคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีทดสอบเชิงพรรณนา (ตารางที่ 4.27) พบว่า Su-Inv มีอัตราส่วนระหว่างคะแนนความแข็งและคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังด้านความคงรูป ความชุ่มน้ำและรสหวานใกล้เคียงกับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า Su-Inv มีลักษณะด้านความคงรูป ความชุ่มน้ำและรสหวานใกล้เคียงกับลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการมากกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างไรก็ตาม Su-Sor ยังมีอัตราส่วนระหว่างคะแนนความแข็งและคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังด้านความคงรูปและความชุ่มน้ำใกล้เคียงกับ Su-Inv นอกจากนี้พบว่า Su-Sor มีอัตราส่วนระหว่างคะแนนความแข็งและคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังด้านความแข็ง และความเหนียวใกล้เคียงกับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า Su-Sor มีลักษณะด้านความแข็งและความเหนียวใกล้เคียงกับลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ

ตารางที่ 4.27 อัตราส่วนระหว่างคะแนนความเข้มและคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่ใ้หมอบแห้ง

	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ความคงรูป	0.32 ± 0.08	0.53 ± 0.10	0.32 ± 0.05	0.70 ± 0.10
ความแข็ง	1.31 ± 0.28	1.00 ± 0.18	1.12 ± 0.32	0.85 ± 0.24
ความเหนียว	0.49 ± 0.14	0.70 ± 0.18	0.53 ± 0.16	0.60 ± 0.19
ความชุ่มน้ำ	0.70 ± 0.17	0.85 ± 0.21	0.68 ± 0.25	1.04 ± 0.22
รสหวาน	1.22 ± 0.25	1.23 ± 0.28	1.17 ± 0.19	0.94 ± 0.12

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในด้านกระบวนการผลิต พบว่า การทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล (Su-Sor) หรือกลีเซอรอล (Su-Gly) ทำให้ตัวอย่างมีค่าการสูญเสีย น้ำ (WL) และค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) ระหว่างการอบสโมคซิงสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีค่าคงที่การอบแห้งต่ำกว่าชุดควบคุม ขณะที่ในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอลและกลีเซอรอลทำให้ตัวอย่างมีแนวโน้มการลดลงของค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) สูงกว่าชุดควบคุม รวมถึงมีการหดตัวน้อยกว่าชุดควบคุม และ Su-Sor กับ Su-Gly มีค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง GAB สูงกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้พบว่า Su-Gly มีค่า a_w ต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วน Su-Sor มีค่าความแข็งและค่างานในการตัดต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บ รวมถึงมีการหดตัวของเซลล์หลังผ่านการเก็บน้อยกว่าชุดควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีทดสอบเชิงพรรณนา พบว่า Su-Sor สามารถลดการเกิดผลึก รักษาความคงรูป รวมถึงปรับปรุงลักษณะด้านความแข็ง ความเหนียว และความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าชุดควบคุม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการทดแทนชูโครสด้วยพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์มีแนวโน้มในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการใช้ชูโครสเพียงอย่างเดียวในการอบสโมคซิง

เมื่อเปรียบเทียบผลในด้านกระบวนการผลิตและคุณภาพระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอลหรือกลีเซอรอลกับผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต (Su-Inv) ในการอบสโมคซิง พบว่า ในด้านกระบวนการผลิต Su-Gly มีค่า WL และ SG สูงกว่า Su-Inv อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ Su-Sor มีค่า WL ต่ำกว่า Su-Inv อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีค่า SG ไม่แตกต่างจาก Su-Inv อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ Su-Sor และ Su-Gly มีค่าคงที่การอบแห้งสูงกว่า Su-Inv ในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Su-Sor และ Su-Gly มีแนวโน้มการลดลงของค่า a_w ใกล้เคียงกับ Su-Inv และจากค่า M_0 ที่คำนวณจากแบบจำลอง GAB พบว่า Su-Gly และ Su-Sor มีค่า M_0 ที่คำนวณจากแบบจำลอง GAB สูงกว่า Su-Inv แสดงให้เห็นว่า การทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอลหรือซอร์บิทอลในการอบสโมคซิงทำให้ผลิตภัณฑ์มี monolayer water สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนชูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาล

อินเวิร์ต เมื่อพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ พบว่า Su-Sor มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งและค่างานในการตัด รวมถึงมีการหดตัวของเซลล์ที่ผ่านการเก็บซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนใกล้เคียงกับ Su-Inv และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า Su-Sor มีลักษณะด้านความแข็งกับความเหนียวใกล้เคียงกับลักษณะที่ผู้บริโภคคาดหวังมากกว่าชุดการทดลองอื่น รวมถึงมีลักษณะด้านการเกิดผลึก ความคงรูปและความชุ่มน้ำใกล้เคียงกับ Su-Inv

จากผลการทดลองทั้งในด้านกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า การทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอลอาจเป็นทางเลือกในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์แทนการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต ซึ่งมีใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง เนื่องจากในด้านกระบวนการผลิต Su-Sor มีค่า SG ใกล้เคียงกับ Su-Inv และมีค่าคงที่การอบแห้งสูงกว่า Su-Inv ในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Su-Sor มีค่า M_0 ที่ทำนายจากแบบจำลอง GAB มากกว่า Su-Inv นอกจากนี้พบว่า Su-Sor มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง ค่างานในการตัด รวมถึงลักษณะทางสัณฐานของเซลล์ในระหว่างการเก็บใกล้เคียงกับ Su-Inv และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า Su-Sor มีลักษณะด้านความแข็งกับความเหนียวใกล้เคียงกับลักษณะที่ผู้บริโภคคาดหวังมากกว่าชุดการทดลองอื่น รวมถึงมีลักษณะด้านการเกิดผลึก ความคงรูปและความชุ่มน้ำใกล้เคียงกับ Su-Inv

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาผลของการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับซอร์บิทอลต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

5.2.2 ควรศึกษาปริมาณของเบตาแคโรทีนและไลโคปีนในผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่ออธิบายสาเหตุที่ค่า L^* และค่า a^* ของ Su-Inv มีความแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างมาก

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จริงแท้ ศิริพานิช. 2552. มะละกอไทย สถานภาพด้านสายพันธุ์ ระบบการผลิต และการตลาด. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์, ชาตรี มั่นกลาง และ พีรยา โชติถนอม. 2552. ผลของการพรีทรีทเมนต์ด้วยสารละลายเคมีและสารละลายออสโมติกที่มีต่อจุลนพลศาสตร์การอบแห้งผลหม่อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40: 477-480.
- ธนจันทร์ มหาวนิช. 2554. การใช้นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีเพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของน้ำในระบบอาหาร. วารสารวิทยาศาสตร์ มช. 39: 409-420.
- ธัญวรรณ อยู่แก้ว. 2551. ผลของมอลโทเดกซ์ทรินต่อการทำแห้งและคุณภาพของแคนตาลูปแช่อบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุรฉัตร ศิริทองแท้. 2551. ผลของพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ต่อการทำแห้งและคุณภาพของแคนตาลูปแช่อบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงษ์พิสุทธิ์ คุณะวันทนิต. 2553. ผลของน้ำผึ้งและน้ำส้มประดต่อการอบแห้งและคุณภาพของปิตูทแช่อบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง. มอก. 919-2532. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2546. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง. มผช. 136-2546. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- วีรยา พรหมประเทศ. 2551. ผลของน้ำตาลอินเวิร์ตและการอบแห้งแบบสองขั้นตอนต่อคุณภาพของมะละกอ *Carica papaya* L. แช่อบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศักดิ์สิทธิ์ ศิริวิชัย. 2545. คู่มือการปลูกมะละกอ. กรุงเทพมหานคร: เกษตรศาสตร์.
- อาพร ละออกอ. 2547. ผลของแคลเซียมคลอไรด์และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อคุณภาพของมะละกอ *Carica papaya* L. ที่ทำแห้งโดยการออสโมซิส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Allali, H., Marchal, L. and Vorobiev, E. 2010. Effects of vacuum impregnation and ohmic heating with citric acid on the behaviour of osmotic dehydration and structural changes of apple fruit. Biosystems Engineering 106: 6-13.
- Al-Muhtaseb, A. H., Mccinn, W. A. M. and Magee, T. R. A. 2002. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. Food and Bioproducts Processing 80: 118-128.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Washington, DC: The Association of Official Analytical Chemists.
- Azoubel, P. M., El-Aouar, A. A., Tonon, R. V., Kurozawa, L. E., Antonio, G. C., Murr, F. E. X. and Park, K. J. 2009. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. International Journal of Food Science and Technology 44: 980-986
- Baloch, A. K., Buckle, K. A. and Edwards, R. A. 1973. Measurement of non enzymatic browning of dehydrated carrot. Journal of Science of Food and Agriculture 24: 389-398.
- Basu, S., Shivhare, U. S. and Mujumdar, A. S. 2006. Models for sorption isotherms for foods: A Review. Drying Technology 24: 917-930.
- Bchir, B., Besbes, S., Attia, H. and Blecker, C. 2009. Osmotic dehydration of pomegranate seeds: Mass transfer kinetics and differential scanning calorimetry characterization. International Journal of Food Science and Technology 44: 2208-2217.
- Behnilian, D. and Spiess, W. E. L. 2006. Osmotic dehydration of fruits and vegetables. In IUFoST World Congress 13th World Congress of Food Science and Technology, pp. 1857-1869.
- Brunauer, S., Emmett, P. H. and Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemical Society 60: 309-319.
- Cánovas, G. V. B. and Mercado, H. V. 1996. Dehydration of Foods. New York: Chapman & Hall.

- Chauhan, O. P., Singh, A., Singh, A., Raju, P. S. and Bawa, A. S. 2011. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. International Journal of Food Properties 14: 1037-1048.
- Chottanom, P., and Phoungchandang, S. 2005. Moisture desorption isotherms for fresh and osmotically treated mango. Pakistan Journal of Biological Sciences 8: 239-243.
- Cohen, J. S. and Yang, T. C. S. 1995. Progress in food dehydration. Trends in Food Science and Technology 6: 20-25.
- Duangmal, K. and Khachonsakmetee, S. 2009. Osmotic dehydration of guava: Influence of replacing sodium metabisulphite with honey on quality. International Journal of Food Science and Technology 44: 1887-1894.
- Duangmal, K., Kunawantanit, P. and Mahawanich, T. 2011. Drying of osmosed beetroot: Effect of honey and pineapple juice on drying rate and water availability. In 6th International CIGR Technical Symposium. 18–20 April Nantes, France (Oral presentation).
- Duangmal, K., Laorko, A. and Tattiyakul, J. 2005. Effects of invert sugar on quality changes in osmotically dehydrated papaya. In Fito, P. and Toldra, F. (eds.), Proceeding of Innovations in Traditional Foods (INTRADFOOD 2005), pp. 113-116. London: Elsevier.
- El-Aouar, Â. A., Azoubel, P. M., Barbosa, J. L. Jr. and Merr, F. E. X. 2006. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). Journal of Food Engineering 75: 267-274.
- Erbay, Z. and Icier, F. 2009. A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 50: 441-464.
- Escobar, M. P., Galindo, F. G., Wadso, L., Najera, J. R. and Sjolholm, I. 2007. Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots (*Daucus carota* L. cv. Nerac). Journal of Food Engineering 81: 313-317.

- Falade, K. O. and Aworh, O. C. 2004. Adsorption isotherms of osmo-oven dried african star apple (*Chrysophyllum albidum*) and african mango (*Irvingia gabonensis*) slices. European Food Research and Technology 218: 278-283.
- Falade, K. O. and Igbeka, J. C. 2007. Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables. Food Reviews International 23: 373-405.
- Falade, K. O. and Shogaolu, O. T. 2010. Effect of pretreatments on air-drying pattern and color of dried pumpkin (*Cucurbita maxima*) slices. Journal of Food Process Engineering 33: 1129-1147.
- Falade, K. O., Adetunji, A. I., and Aworh, O. C. 2003. Adsorption isotherm and heat of sorption of fresh- and osmo-oven dried plantain slices. European Food Research and Technology 217: 230-234.
- Falade, K. O., Igbeka, J. C. and Ayanwuyi, F. A. 2007. Kinetic of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. Journal of Food Engineering 80: 979-985.
- Falade, K. O., Olukini, I., and Adegoke, G. O. 2004. Adsorption isotherm and heat of sorption of osmotically pretreated and air-dried pineapple slices. European Food Research and Technology 218: 540-543.
- Farahnaky, A., Ansari, S. and Majzoobi, M. 2009. Effect of glycerol on the moisture sorption isotherms of figs. Journal of Food Engineering 93: 468-473.
- Farahnaky, A., Ansari, S. and Majzoobi, M. 2010. The effect of glucose syrup and glycerol on some physical properties of dried figs. Journal of Texture Studies 41: 633-650.
- Feeters, R. F. and Tang, H. C. L. 1983. Relation among cell wall constituents, calcium and texture during cucumber fermentation and storage. Journal of Food Science 48: 66-70.
- Fellows, P. 2000. Food Processing Technology Principles and Practices. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Fennema, O. R. 1996. Water. In Principles of Food Science, pp. 109-154. New York: Marcel Decker.

- Halsey, G. 1948. Physical adsorption on non-uniform surfaces. Journal of Chemical Physics 16: 931-937.
- Harrigan, W. F. and McCance, M. E. 1976. Laboratory Methods in Foods and Dairy Microbiology. London: Academic Press.
- Hawaii Papaya Industry Association. 2011. Papaya information. [Online]. Available from: <http://www.hawaiipapaya.com/info.htm>. [2011, November 27]
- Henderson, S. M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. Agricultural Engineering 33: 29-32.
- Henderson, S. M. and Pabis, S. 1961. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. Journal of Agricultural Engineering Research 6:169-174.
- Jain, S. K., Verma, R. C., Sharma, G. P., and Jain, H. K. 2010. Studies on moisture sorption isotherms for osmotically dehydrated papaya cubes and verification of selected models. Journal of Food Science and Technology 47: 343-346.
- Janjai, S., Precoppe, M., Lamlert, N., Mahayothee, B., Kala, B. K., Nagle, M. and Muller, J. 2011. Thin-layer drying of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Food and Bioprocess Processing 89: 194-201.
- Karathanos, V. T. 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. Journal of Food Engineering. 39: 337-344
- Klewicki, R., Konopacka, D., Uczciwek, M., Irzyniec, Z., Piasecka, E. and Bonazzi, C. 2009. Sorption isotherms for osmo-convectively-dried and osmo-freeze-dried apple, sour cherry, and blackcurrant. Journal of Horticultural Science & Biotechnology ISAFRUIT Special Issue 75-79.
- Korsrilabut, J., Borompichaichartkul, C. and Duangmal, K. 2010. Effect of invert sugar on the drying kinetics and water mobility of osmosed-air dried cantaloupe. International Journal of Food Science and Technology 45: 1524-1531.
- Kowalska, H. and Lenart, A. 2001. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. Journal of Food Engineering 49: 137-140.

- Labuza, T. P., and Altunakar, B. 2007. Water activity prediction and moisture sorption isotherm. In Water Activity in Foods - Fundamentals and Applications, pp. 109-154. Oxford: Blackwell Publishing.
- Lazarides, H. N. 2001. Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. In Fito, P., Chiralt, A., Barat, J. M., Spiess, W. E. L. and Behnlian, D. (eds.), Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation, pp. 33-42. Pennsylvania: Technomic Publishing.
- Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Andres Grau, A., Briones, V., Villalobos, R. and Vega-Galvez, A. 2009. Effect of osmotic pretreatment on hot air drying kinetics and quality of chilean papaya (*Carica pubescens*). Drying Technology 27: 1105-1115.
- Lombard, G. E., Oliveira, J. C., Fito, P. and Andres, A. 2008. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. Journal of Food Engineering 85: 277-284.
- Mahayothee, B., Udomkun, P., Nagle, M., Haewsungcharoen, M., Janjai, S. and Mueller, J. 2009. Effects of pretreatments on colour alterations of litchi during drying and storage. European Food Research and Technology 229: 329-337.
- Mahmud, T. M. M., Al Eryani-Raqeeb, A., Syed Omar, S. R., Mohamed Zaki, A. R. and Al Eryani, A. R. 2008. Effects of different concentrations and applications of calcium on storage life and physicochemical characteristics of papaya (*Carica papaya* L.). American Journal of Agricultural and Biological Sciences 3: 526-533.
- Mandala, I. G., Anagnostaras, E. F. and Oikonomou, C. K. 2005. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. Journal of Food Engineering 69: 307-316.
- Mathlouthi, M. 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. Food Control 12: 409-417.
- Moreno, J., Bugueno, G., Velasco, V., Petzold, G. and Tabilo-munizaga, G. 2004. Osmotic dehydration and vacuum impregnation on physicochemical properties of chilean papaya (*Carica candamarcensis*). Journal of Food Science 69: 102-106.

- Naknean, P. 2012. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. International Food Research Journal 19: 7-18.
- O' Neil, M. J., Smith, A., Heckelman, P. E., Obenchain, J. R., Gallipeas, J. A. R., D'Arecca, M. A. and Budavari, S. 2001. The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. New Jersey: Whitehouse Station.
- Oswin, C. R. 1946. The kinetics of package life. III. Isotherm. Journal of Society Chemical Industry 65: 419-421.
- Page, G. E. 1949. Factors influencing the maximum rate of air drying shelled corn in thin-layers. M.S.Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Pan, Y. K., Zhao, L. J., Zhang, Y., Chen, G. and Mujumdar, A. S. 2003. Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables. Drying Technology 21: 1101-1114.
- Pattanapa, K., Therdthai, N., Chantraporncha, W. and Zhou, W. 2010. Effect of sucrose and glycerol mixtures in the osmotic solution on characteristics of osmotically dehydrated mandarin cv. (Sai-Namphaung). International Journal of Food Science and Technology 45: 1918-1924.
- Peleg, M. 1993. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. Journal of Food Process Engineering 16: 21-37.
- Pereira, L. M., Carmello-Guerreiro, S. M. and Hubinger, M. D. 2009. Microscopic features, mechanical and thermal properties of osmotically dehydrated guavas. LWT - Food Science and Technology. 42: 378-384.
- Pereira, L. M., Ferrari, C. C., Mastrantonio, S. D. S., Rodrigues, A. C. C. and Hubinger, M. D. 2006. Kinetics aspects, texture, and color evaluation of some tropical fruits during osmotic dehydration. Drying Technology 24: 475-484.
- Phongsomboon, P., and Intipunya, P. 2009. Comparative study on drying of osmotic treated carrot slices. Asian Journal of Food and Agro-Industry 2: 448-456.
- Raoult-Wack, A. L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of food. Trends in Food Science and Technology 5: 255-260.

- Riva, M., Campolongo, S., Leva, A. A., Maestrelli, A. and Torreggiani, D. 2005. Structure-property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. Food Research International 38: 533-542.
- Rodrigues, A. C. C., Pereira, L. M., Sarantopoulos, C. I. G. L., Bolini, H. M. A., Cunha, R. L., Junqueira, V. C. A. and Hubinger, M. D. 2006. Impact of modified atmospheric packaging on the osmodehydrated papaya stability. Journal of Food Processing and Preservation 30: 563-581.
- Sagiv, A. E. and Marcus, Y. 2003. The connection between in vitro water uptake and in vivo skin moisturization. Skin Research and Technology 9: 306-311.
- Spiess, W. E. L. and Wolf, W. 1987. Critical evaluation of method to determine moisture sorption isotherms. In L. B. Rockland and L. R. Beuchat (eds.), Water activity: theory and applications to food, pp. 216-232. New York: Marcel Dekker.
- Sreenivas, K. M., Singhal, R. S. and Lele, S. S. 2011. Chemical pretreatments and partial dehydration of ash gourd (*Benincasa hispida*) pieces for preservation of its quality attributes. LWT - Food Science and Technology 44: 2281-2284.
- Sritongtae, B., Mahawanich, T. and Duangmal, K. 2011. Drying of osmosed cantaloupe: effect of polyols on drying and water mobility. Drying Technology 29: 527-535.
- Timmermann, E. O., Chirife, J. and Iglesias, H. A. 2001. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters ?. Journal of Food Engineering 48: 19-31.
- Torreggiani, D. 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. Food Research International 26: 59-68.
- Torreggiani, D. and Bertolo, G. 2004. Present and future in process control and optimization of osmotic dehydration. Advances in Food and Nutrition Research. 48: 173-238.
- Tortoe, C. 2010. A review of osmodehydration for food industry. African Journal of Food Science 4: 303-324.

- USDA., 2011. National Nutrient Database for Standard Reference. [Online]. Available from: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl [2011, November 27]
- Van den Berg, C. 1984. Desorption of water activity of foods for engineering purposes by means of the GAB model of sorption. In Mckenna, B. M. (ed.), Engineering and Foods, pp. 311–321. London: Elsevier.
- Wolever, T. M. S., Piekarz, A., Hollands, M. and Younker, K. 2002. Sugar alcohols and diabetes:a review. Canadian Journal of Diabetes 26: 356-362.
- Yan, Z., Sousa-Gallagher, M. J. and Oliveira, F. A. R. 2008. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. Journal of Food Engineering 84: 430–440.
- Zenoozian, M. S., Feng, H., Razavi, S. M. A., Shahidi, F. and Pourreza, H. R. 2008. Image analysis and dynamic modeling of thin-layer drying of osmotically dehydrated pumpkin. Journal of Food Processing and Preservation 32: 88-102.
- Zhao, Y. and Xie, J. 2004. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. Trends in Food Science & Technology 15: 434-451.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

ก.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

ตามวิธี AOAC (2000)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างมะละกอกที่หั่นเป็นชิ้นละเอียดแล้ว 5.000 กรัม ใส่ในจานอะลูมิเนียม (ซึ่งอบแห้งและรู้น้ำหนักที่แน่นอนแล้ว)
2. อบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วรอให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ทำซ้ำจนน้ำหนักคงที่ คำนวณปริมาณความชื้นของตัวอย่างด้วยสมการ ต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักมะละกอกก่อนอบ} - \text{น้ำหนักมะละกอกหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักมะละกอกก่อนอบ}}$$

ก.2 การวัดค่าสีในระบบ CIELAB โดยใช้เครื่อง ColorFlex® (HunterLab Reston Model 45/0-s, Reston, VA)

วิธีการทดลอง

1. ดับเบิ้ลคลิกที่ไอคอนของ Spectrophotometer Universe
2. คลิกที่ Standardize บนเมนูหลัก
3. ใช้ port size ขนาด 0.50 นิ้ว แล้วเลือก port size ขนาด 0.50 นิ้ว จากนั้นกดปุ่ม OK
4. วางแผ่น calibrate สีดำ ให้ปุ่มสีขาวด้านบนแผ่น calibrate หันออกด้านนอก จากนั้นกดปุ่ม OK
5. วางแผ่น calibrate สีขาว ให้ปุ่มสีขาวด้านบนแผ่น calibrate หันออกด้านนอก จากนั้นกดปุ่ม OK รอจนเครื่องขึ้นว่า Sensor successfully standardized จากนั้นกดปุ่ม OK
6. อ่านค่าแผ่น calibrate สีขาว โดยคลิกที่ Read sample บนเมนูหลัก ค่าที่ได้ต้องอยู่ในช่วงดังนี้ $X=78.89\pm 0.3$ $Y=83.78\pm 0.3$ $Z=87.74\pm 0.3$ (ถ้าค่าสีไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดต้อง standardize ตามขั้นตอนที่ 4-5 ใหม่)
7. วางตัวอย่างมะละกอบนฐานของเครื่องให้ปิดช่อง port sizeสนิท ปิดตัวอย่างด้วยฝาครอบสีดำ จากนั้นคลิกที่ Read sample บนเมนูหลัก

8. วัดค่าสีชุดการทดลองละ 8 ซีน ซีนละ 6 ซ้ำ โดยค่าที่ได้รายงานในระบบ CIELAB แหล่งกำเนิดแสง D_{65} มุมการมอง 10°

9. การคำนวณค่า chroma และ hue angle สามารถทำได้ตามสมการ ดังนี้

$$\text{chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\text{hue angle} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

ก.3 การวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด (titratable acidity)

ตามวิธี AOAC (2000)

วิธีการเตรียมสารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N
 1. ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว 1000 มิลลิลิตร
 2. ใช้แท่งแก้วคนสารให้ละลายโดยพยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ
 3. ถ่ายสารละลายทั้งหมดลงในขวดพลาสติกที่มีจุกปิดแน่น หาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนก่อนใช้งาน
2. สารละลายมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
 1. อบแห้งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตชนิดรีเอเจนตีในตู้อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
 2. ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 30 นาที
 3. ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตให้ได้น้ำหนักระหว่าง 2.0-2.4 กรัม แล้วใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

วิธีหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 1-2 หยด
3. ไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนเห็นสีชมพูอ่อน (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

วิธีการทดลอง

1. หนักตัวอย่างมะละกอสดเป็นชิ้นขนาดเล็ก ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่หนักแล้ว 10 กรัม เติมน้ำเล็กน้อย แล้วต้มให้เดือด 2-3 นาที

2. รอให้เย็น แล้วเทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้น กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
3. ปิเปตส่วนที่กรองได้ 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. เติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด
5. ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน จนกระทั่งได้สีชมพูอ่อน (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการ ไตเตรท เพื่อคำนวณค่าความเป็นกรดในรูปกรดซิตริก ตามสมการต่อไปนี้

%ความเป็นกรด (ในรูปกรดซิตริก)

$$= \frac{\text{นอม่ลลิติของ NaOH} \times \text{ปริมาตรของ NaOH} \times \text{มิลลิอิควิวเลนต์ของกรดซิตริก} \times 100 \times 50}{\text{น้ำหนักตัวอย่างมะละกอ} \times 10}$$

มิลลิอิควิวเลนต์ของกรดซิตริก = 0.07

ก.4 การวัดค่าเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture analyzer (Stable Micro System Model TA-XTi, Godalming, UK)

ตามวิธีของ พงษ์พิสุทธิ คุณะวันทนิต (2553)

วิธีการทดลอง

1. Double click ที่ไอคอนของโปรแกรม Exponent lite express เพื่อเข้าสู่โปรแกรม
2. คลิกที่ T.A. บนแถบเมนูหลัก จากนั้นเลือก calibration force โดยไม่ให้มีหัววัดและตัวอย่างบนฐาน จากนั้นกดปุ่ม Next
3. พิมพ์น้ำหนักของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 1 กิโลกรัม จากนั้นจึงวางตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมบนฐานของเครื่อง แล้วกดปุ่ม Next
4. เมื่อเครื่อง calibrate เสร็จจะปรากฏสถานะ calibration complete จากนั้นให้กดปุ่ม finish
5. ติดตั้งหัววัดเข้ากับตัวเครื่อง
6. คลิกที่ T.A. บนแถบเมนูหลัก จากนั้นเลือก calibration height โดยไม่ให้มีสิ่งของวางอยู่บนฐาน จากนั้นกดปุ่ม OK. เลื่อนหัววัดให้เข้าใกล้ฐานมากที่สุด เพื่อลดเวลาในการ calibrate
7. กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

ระยะทางในการเคลื่อนที่ไปกลับของหัววัด (Return distance) โดยใช้ความสูงของตัวอย่างเป็นเกณฑ์ (30 มิลลิเมตร)

Return speed: 10 มิลลิเมตร/วินาที

Contact force: 10 กรัม

8. เมื่อกด OK หัววัดจะเคลื่อนที่ลงมาที่ฐาน และเคลื่อนที่กลับเมื่อแตะฐานแล้ว จากนั้นจะปรากฏข้อความ Height Calibration Successful

9. วางตัวอย่างมะละกอบนฐานเครื่อง คลิก T.A. บนแถบเมนูหลักแล้วเลือก T.A. Settings กดปุ่ม Library เพื่อเลือกวิธีวัด (option) สำหรับการวัด Hardness และ Adhesiveness/cutting work ให้เลือก Return to start ขณะที่การวัดแบบ Texture profile analysis ให้เลือก TPA

10. เลือก Advance Options ให้เป็น On แล้วกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Hardness:

หัว cylinder probe P/2.

Mode: Measure force in compression

Pre-test speed: 1.5 มิลลิเมตร/วินาที

Test-speed: 1.5 มิลลิเมตร/วินาที

Post-test speed: 10 มิลลิเมตร/วินาที

Distance: 10 มิลลิเมตร.

Adhesiveness/cutting work:

หัว BSK with knife

Mode: Measure force in compression

Pre-test speed: 2.0 มิลลิเมตร/วินาที.

Test-speed: 2.0 มิลลิเมตร/วินาที

Post-test speed: 10 มิลลิเมตร/วินาที

Distance: 20 มิลลิเมตร

Texture profile analysis:

หัว cylinder probe P/100.

Mode: Measure force in compression

Pre-test speed: 1.0 มิลลิเมตร/วินาที

Test-speed: 1.0 มิลลิเมตร/วินาที

Post-test speed: 1.0 มิลลิเมตร/วินาที

Distance: 30% strain

11. คลิกที่ T.A. บนแถบเมนูหลัก เลือก Runing a test

12. คลิกที่ปุ่ม Auto save เพื่อให้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ
13. เลือกหน้าจอ Probe selection เพื่อเลือกชนิดของหัววัดที่ใช้
14. คลิกที่ Apply
15. วัดตัวอย่างชุดการทดลองละ 8 ชิ้น แต่ละชิ้นวัดหนึ่งครั้ง
16. การคำนวณค่าต่าง ๆ สามารถทำได้ดังนี้

16.1 หัววัดแบบเจาะทะลุได้ค่าความแข็ง (hardness) จาก peak force ของกราฟ (ภาพที่ ก.1)

16.2 หัววัดแบบหัวตัดได้ค่าแรงการตัดขาด (peak force) ค่างานที่ใช้ในการตัด (พื้นที่ใต้กราฟ Area 1) และค่าความเหนียว (พื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นลบ) (ภาพที่ ก.1) โดยวางตัวอย่างตามแนวขวางกับหัววัด

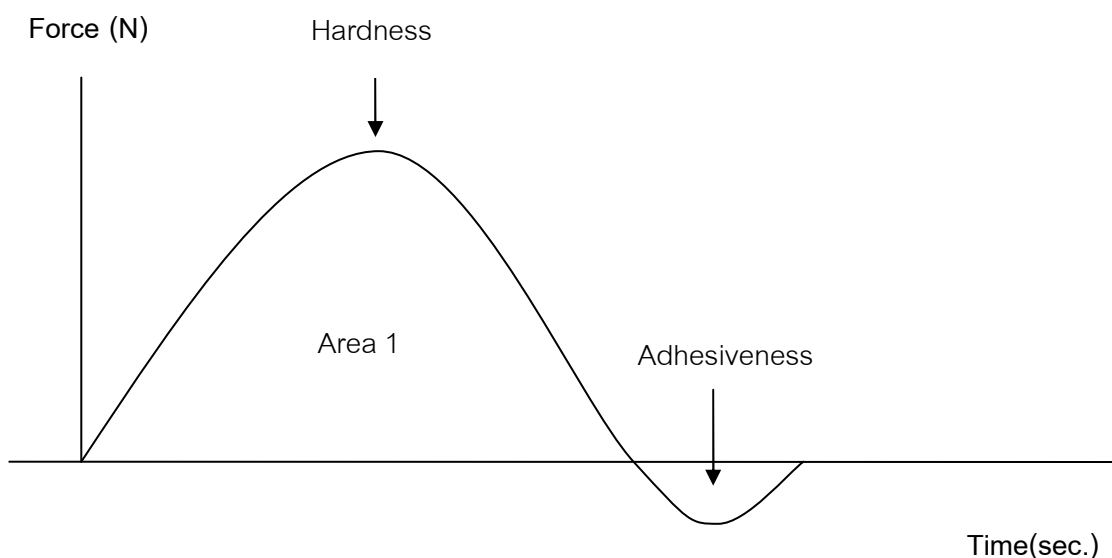
16.3 หัววัด TPA ได้ค่า hardness และ adhesiveness จากภาพที่ ก.2 ด้วยวิธีเดียวกับข้อ 16.1 และ 16.2 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณค่า springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness ของตัวอย่างได้ตามสมการดังนี้

$$\text{springiness} = \text{Length 2} / \text{Length 1}$$

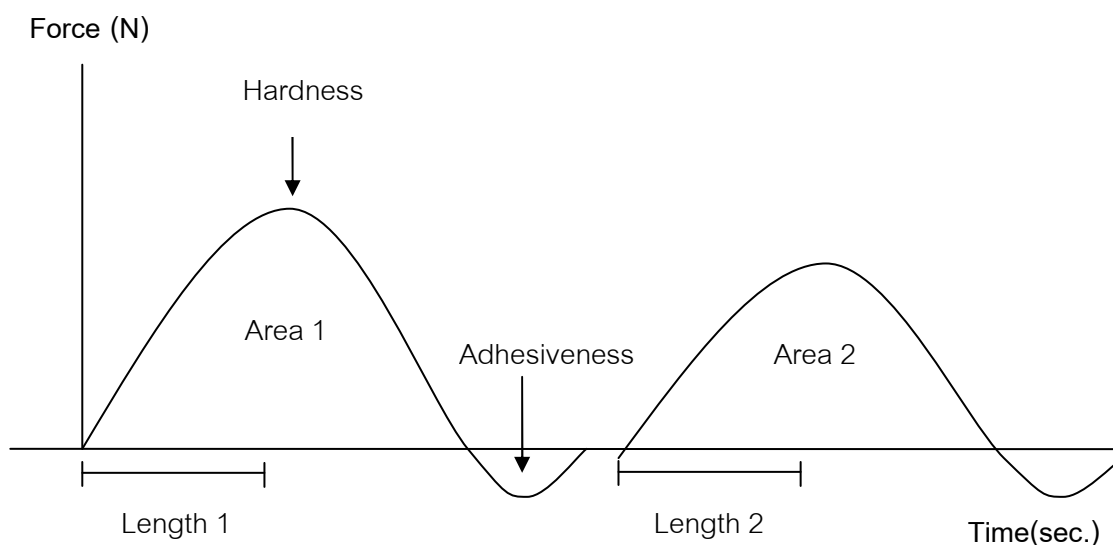
$$\text{cohesiveness} = \text{Area 2} / \text{Area 1}$$

$$\text{gumminess} = \text{hardness} \times \text{cohesiveness}$$

$$\text{chewiness} = \text{gumminess} \times \text{springiness}$$



ภาพที่ ก.1 ตัวอย่างลักษณะกราฟจากเครื่อง Texture Analyser ซึ่งวัดด้วยหัววัด BSK with knife



ภาพที่ ก.2 ตัวอย่างลักษณะกราฟจากเครื่อง Texture Analyser ซึ่งวัดด้วยวิธี texture profile analysis

ก.5 การวัดค่าอวเตอร์แอกทิวิตี (a_w) โดยใช้เครื่อง Water activity (Novasina Model ms1 Set a_w , Lachen, Switzerland)

วิธีการทดลอง

1. หั่นตัวอย่างมะละกอบนชิ้นละเอียดใส่ถ้วยตัวอย่าง ให้มีความสูงเท่ากับขีดด้านข้างของถ้วยตัวอย่าง ปิดฝาทิ้งไว้ให้เข้าสู่ภาวะสมดุลประมาณ 1 ชั่วโมง
2. เปิดเครื่อง MS1 AW เครื่อง Aw Data Logger และเครื่อง Printer ตามลำดับ
3. วางตลับเกลื่อมาตรฐานที่ต้องการปรับเทียบลงในช่องตัวอย่างของเครื่อง MS1 AW แล้วปิดฝาให้แน่น
4. รอจนกระทั่งตัวเลขที่อ่านได้ใกล้เคียงกับค่าของตลับเกลื่อมาตรฐานและอยู่ในภาวะนิ่ง (เวลาที่ใช้ประมาณ 3-8 นาที)
5. กดปุ่ม Select แล้วจอแสดงผลจะปรากฏ 75.3 CAL พร้อมกับมีการกระพริบ
6. กดปุ่ม MIN/MAX ค้างไว้จนตัวเลขหยุดกระพริบ
7. เมื่อ Calibrate แล้ว เครื่องจะอยู่ในสภาพ Standby mode พร้อมใช้งาน
8. กดปุ่ม Mode เพื่อเข้า Menu 1
9. กดปุ่มลูกศรเพื่อเลือก Menu 6 (Set System) แล้วกด Enter
10. กดปุ่มลูกศรเพื่อเลือกชื่อองค์กร แล้วกด Enter
11. กดปุ่มลูกศรเพื่อเลือกชื่อของตัวอย่าง แล้วกด Enter

12. กดปุ่มลูกศรจนได้ค่า 4.5 แล้วกด Enter
13. กดปุ่มลูกศรจนได้ค่า 0.0025 แล้วกด Enter
14. กดปุ่มลูกศรเพื่อเลือก Menu 8 (Printer) แล้วกดปุ่ม Yes จากนั้นกด Enter
15. กดปุ่ม Cancel เพื่อกลับมาที่หน้าจอหลัก
16. เปิดฝาถ้วยตัวอย่าง และใส่ในช่องวัดตัวอย่าง
17. กดปุ่ม Enter ค้างไว้จนปรากฏคำว่า Start
18. รอให้เครื่องอ่านค่าเสร็จ แล้วเครื่อง Printer จะพิมพ์ค่าที่วัดได้ออกมา

ก.6 การวิเคราะห์ค่าการหดตัว (n-heptane displacement method)

ตามวิธีของ Yan และคณะ (2008)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มและมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง
2. เติม n-heptane ปริมาตรครึ่งหนึ่งของกระบอกตวงปลายตัดขนาด 80 มิลลิลิตร
3. บรรจุตัวอย่างลงในกระบอกตวงที่มี n-heptane บรรจุอยู่ครึ่งหนึ่ง
4. เติม n-heptane จนพอดีปากกระบอกตวง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณปริมาตรของตัวอย่างด้วยสมการดังนี้

$$V = V_t - \frac{(M_{t+s} - M_f - M)}{\rho_s}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_t = ปริมาตรของกระบอกตวง (มิลลิลิตร)

M_{t+s} = น้ำหนักของกระบอกตวงที่บรรจุตัวอย่างและ n-heptane จนเต็ม (กรัม)

M_f = น้ำหนักของกระบอกตวง (กรัม)

M = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ρ_s = ความหนาแน่นของ n-heptane (0.683 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ก.7 การเกิดสารสีน้ำตาล

ตามวิธีของ Baloch และคณะ (1973)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่หั่นละเอียดแล้ว 20 กรัม จากนั้นใส่ตัวอย่างที่หั่นแล้วในปิកเกอร์

2. เติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 2.0% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ แช่ทิ้งไว้ 10 นาที ปั่นให้ละเอียดด้วย blender นาน 2 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
3. ปรับปริมาตรสารละลายที่กรองเป็น 200 มิลลิลิตร ด้วยกรดอะซิติกความเข้มข้น 2.0%
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร โดยใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 2.0% เป็น blank

ก.8 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโทส และซูโครส โดยใช้เครื่อง HPLC (Varian Prostar Model 335, Walnut Creek, CA)

ดัดแปลงจากวิธี AOAC (2000)

วิธีเตรียมสารมาตรฐาน

ละลายสารมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโทส และซูโครส ด้วยน้ำปราศจากอิออน (deionized water) ให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 2% (w/v) เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และเตรียม working solution ที่ระดับความเข้มข้น 0.0175-0.30% (v/v) โดยเจือจางด้วยน้ำปราศจากอิออน จากนั้นกรองผ่าน nylon syringe filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วฉีดเข้าเครื่อง HPLC คอลัมน์ Prevail Carbohydrate ES ขนาด 250 x 4.6 มิลลิเมตร เฟสเคลื่อนที่เป็นสารผสมระหว่างอะซิโตไนโตรล และน้ำปราศจากอิออน (69:31 v/v) อัตราการไหลของสาร 0.9 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้งโปรแกรมแบบ isocratic ควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ให้อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโดยวัดการกระเจิงแสงด้วย evaporative light scattering-detector (ELSD)

วิธีเตรียมสารเคมี

1. สารละลายโปแตสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอไรต์ ($K_4[Fe(CN)_6]$) ความเข้มข้น 15% (w/v) ซึ่ง $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$ 15 กรัม ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร
2. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) ความเข้มข้น 30% (w/v) ซึ่ง $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 30 กรัม ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 5-10 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำร้อน 50 มิลลิลิตร เขย่าแล้วนำไปใส่ในเครื่องอัลตราโซนิก 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติมสารละลาย $K_4[Fe(CN)_6]$ ความเข้มข้น 15% (w/v) 1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าและเติมสารละลาย $ZnSO_4$ ความเข้มข้น 30% (w/v) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเพื่อตกตะกอนโปรตีน
4. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
5. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำส่วนที่กรองได้กรองผ่าน nylon syringe filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร ให้ได้สารละลายปริมาตร 0.5-1.5 มิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในสารละลายที่กรองได้ด้วย HPLC เทียบกับสารละลายมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโทส และซูโครส

การคำนวณ

$$\text{น้ำตาลแต่ละชนิดที่วิเคราะห์ได้ (กรัม/100 กรัม)} = \frac{C \times V}{W} \times 100$$

เมื่อ C = ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่อ่านได้ (กรัม/มิลลิลิตร) เทียบจากกราฟมาตรฐาน

V = ปริมาตรที่ปรับครั้งสุดท้าย (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก.9 การตรวจดูโครงสร้างเซลล์ภายในผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (JEOL Model JSM-5410LV, Tokyo, Japan)

ตามวิธีของ พงษ์พิสุทธิ์ คุณะวันทนิต (2553)

วิธีการทดลอง

1. หั่นตัวอย่างมะละกอสด มะละกอแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มอบแห้งเป็นชิ้นขนาด กว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร
2. แช่ตัวอย่างในน้ำยากลูตารีลดีไฮด์ความเข้มข้น 2.5% ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.2 M (pH 7.2) นาน 2 ชั่วโมง
3. ล้างน้ำยากด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 2 ครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 1 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที
4. กำจัดน้ำออกจากตัวอย่างโดยการแช่ตัวอย่างในเอทานอลความเข้มข้น 30, 50, 70 และ 90% ตามลำดับ แช่ความเข้มข้นละ 30 นาที
5. แช่ตัวอย่างในเอทานอลบริสุทธิ์ 3 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง

6. ทำแห้งตัวอย่างภายใต้อุณหภูมิต่ำและความดันวิกฤต (อุณหภูมิต่ำวิกฤต 31 องศาเซลเซียส ความดันวิกฤต 73.8 บาร์) ด้วยเครื่อง Critical Point Dryer (Balzers Model CPD 020, Furstentum, Liechtenstein)

7. แห้ตัวอย่างในไนโตรเจนเหลวเพื่อให้ตัวอย่างแข็ง จากนั้นหักตัวอย่างด้วยที่คีบ

8. ติดตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่าง (stub) ด้วยเทปกาวสองหน้า โดยหันด้านที่หักขึ้น ด้านบน ฉาบทองตัวอย่างที่ติดบน stub ด้วยเครื่อง Ion sputter (Balzers Model SCD 040, Vaduz, Liechtenstein)

9. ส่องดูเนื้อเยื่อของตัวอย่างด้วย scanning electron microscope ที่กำลังขยาย 150 เท่า ค่าศักย์ไฟฟ้าเร่งอิเล็กตรอน 15 กิโลโวลต์

หมายเหตุ ตัวอย่างมะละกอสดทำตามขั้นตอนที่ 1-9 ตัวอย่างมะละกอแช่แข็งทำตามขั้นตอนที่ 4-9 โดยเริ่มแช่ตัวอย่างด้วยเอทานอลความเข้มข้น 50% และตัวอย่างมะละกอแช่แข็งอบแห้งทำตามขั้นตอนที่ 5-9

ก.10 การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

ตามวิธีของ Harrigan และ McCance (1976)

วิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar

ซึ่ง plate count agar 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1000 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพูปิดปากด้วยจุกสำลี ฆ่าเชื้อด้วย autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

วิธีการทดลอง

1. ชั่งมะละกอแช่แข็งอบแห้ง 10 กรัม ใส่ลงใน stomacher เติมน้ำ peptone ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ตีด้วยเครื่อง stomacher 10 นาที เจือจางความเข้มข้นเป็น 10^{-1} , 10^{-2} และ 10^{-3} กรัมต่อมิลลิลิตรด้วย peptone เข้มข้น 0.1%

2. ปิเปตสารละลายที่ dilution ต่าง ๆ มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ dilution ละ 2 จาน จากนั้นเท plate count agar (อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส) ลงในจานเลี้ยงเชื้อประมาณ จานละ 15-20 มิลลิลิตร หมุนจานไปมาเพื่อให้สารละลายและ plate count agar ผสมกัน ทิ้งให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง

3. บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส นาน 2-3 วัน ตรวจนับเชื้อแบคทีเรีย แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ก.11 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา

ตามวิธีของ Harrigan และ McCance (1976)

วิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar

ชั่ง potato dextrose agar 39.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1 ลิตร แล้วบรรจุในขวดรูปชมพู่ปิดปากด้วยจุกสำลี ฆ่าเชื้อด้วย autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นปรับ pH ด้วยกรดทาร์ทาริก (ที่ปลอดเชื้อ) ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตรต่อ potato dextrose agar 100 มิลลิลิตร (pH ประมาณ 3.74-4.0) เท potato dextrose agar ลงในจานเลี้ยงเชื้อจานละ 15-20 มิลลิลิตร แล้วทิ้งให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง

วิธีการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างที่ dilution 10^{-1} และ 10^{-2} กรัมต่อมิลลิลิตร
2. ปิเปตสารละลายที่ dilution ต่าง ๆ มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ dilution ละ 2 จาน แล้วใช้แท่งแก้วรูปตัว L จุ่มแอลกอฮอล์ ลนไฟ เกลี่ยสารละลายให้กระจายทั่วผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ
3. นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส นาน 2-3 วัน ตรวจนับเชื้อยีสต์ และรา แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ภาคผนวก ข
ตารางที่เกี่ยวข้องและแบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ ข.1 การเตรียมสารละลายเกลืออิมิตัวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เกลือ	a_w	ปริมาณสารที่เติม	
		เกลือ (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)
LiCl	0.11	150	85
CH ₃ COOK	0.23	200	65
MgCl ₂	0.32	200	25
K ₂ CO ₃	0.42	200	90
Mg(NO ₃) ₂	0.52	200	30
NaBr	0.57	200	80
SrCl ₂	0.69	200	50
NaCl	0.75	200	60
KCl	0.84	200	80
BaCl ₂	0.89	250	70

ข.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังการอบแห้งด้วยวิธีการ ทดสอบเชิงพรรณนา (descriptive analysis with scaling)

ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

โปรดกรอกข้อมูลและใส่เครื่องหมาย ✓ ในช่องที่ตรงกับท่านมากที่สุด

เพศ ชาย..... หญิง วันที่.....

อายุ น้อยกว่า 16..... 16-20..... 21-25..... 26-30..... 31-35..... มากกว่า 35.....

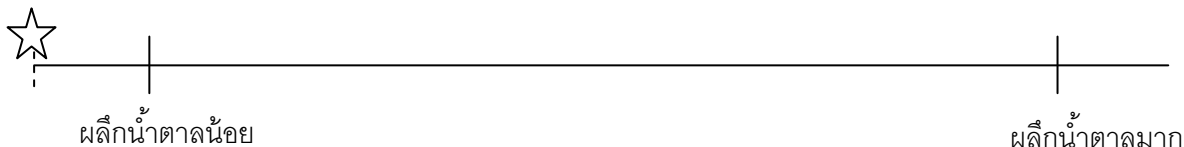
ประสบการณ์ในการรับประทานผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งหรือผลไม้แห้ง

เคยรับประทาน..... ไม่เคยรับประทาน.....

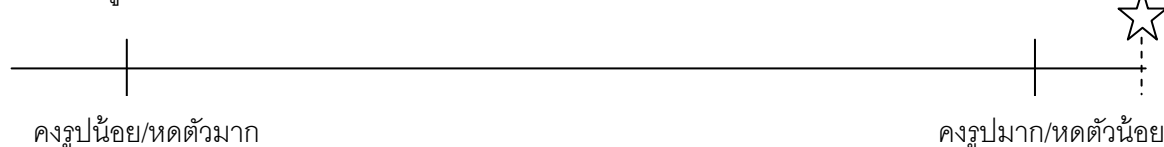
ข้อปฏิบัติ : กรุณาทดสอบตัวอย่างโดยพิจารณาลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของตัวอย่างทั้งหมด แล้วลากเส้นตั้งฉากกับเส้นสเกลในแนวนอนที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด พร้อมกับกรอกเลขรหัสตัวอย่างบนเส้นที่ท่านลาก

หมายเหตุ ☆ หมายถึง ลักษณะในอุดมคติของผลิตภัณฑ์

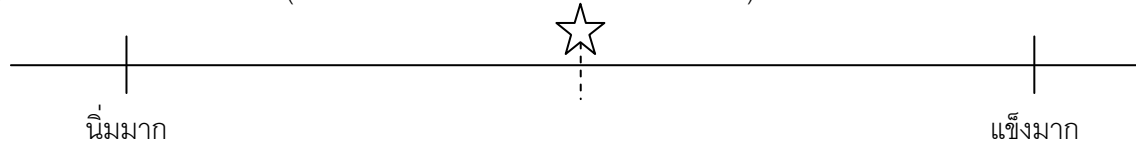
1. การเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวของผลิตภัณฑ์



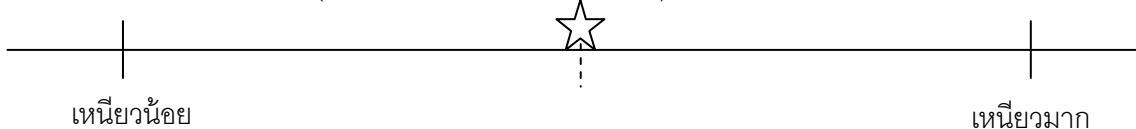
2. ความคงรูป/การหดตัวของผลิตภัณฑ์



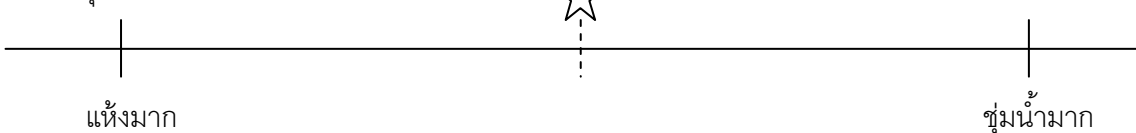
3. ความแข็งของผลิตภัณฑ์ (ประเมินจากแรงที่ใช้ในการกัดตัวอย่างขาด)



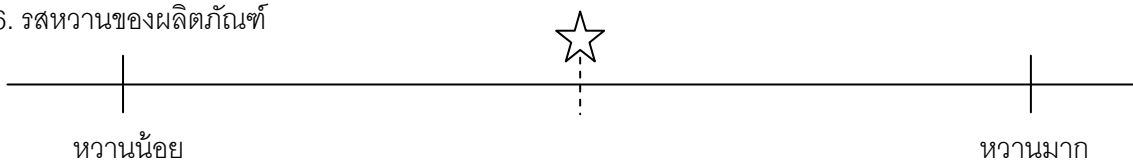
4. ความเหนียวของผลิตภัณฑ์ (ประเมินจากความเหนียวติดฟัน)



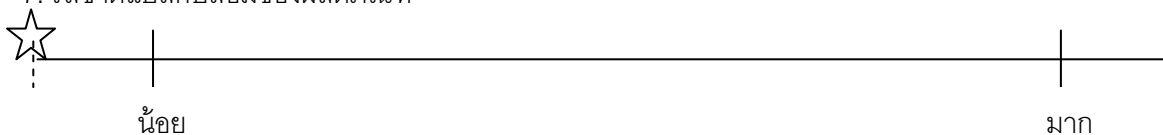
5. ความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์



6. รสหวานของผลิตภัณฑ์



7. รสชาติแปลกปลอมของผลิตภัณฑ์



ข้อปฏิบัติ : กรุณาทดสอบตัวอย่างโดยพิจารณาลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของตัวอย่างทั้งหมด จากนั้นกรอกเลขรหัสตัวอย่าง แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่างเพื่อประเมินการยอมรับผลิตภัณฑ์

	รหัสตัวอย่าง			
ยอมรับ				
ไม่ยอมรับ				

ข้อเสนอแนะ.....

ภาคผนวก ค
ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสีย น้ำของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มแต่ละชุดการทดลองในชั่วโมงที่ 15 ของการอบสโมค

SOV	df	MS
ชนิดของสารละลายอบสโมค	3	23.903*
Error	8	0.757

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มแต่ละชุดการทดลองในชั่วโมงที่ 15 ของการอบสโมค

SOV	df	MS
ชนิดของสารละลายอบสโมค	3	26.305*
Error	8	1.036

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการลดลงของน้ำหนักของตัวอย่างมะละกอแช่อิ่มในแต่ละชุดการทดลองในชั่วโมงที่ 15 ของการอบสโมค

SOV	df	MS
ชนิดของสารละลายอบสโมค	3	24.055*
Error	8	0.352

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งแต่ละชุดการทดลองที่ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเดียวกันที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

a_w	SOV	df	MS
0.11	trt	3	4.186*
	Error	4	0.728
0.23	trt	3	6.652
	Error	4	1.160
0.32	trt	3	8.019*
	Error	4	0.600
0.42	trt	3	3.751
	Error	4	4.603
0.52	trt	3	4.590*
	Error	4	0.569
0.57	trt	3	15.020*
	Error	4	0.064
0.69	Trt	3	36.679*
	Error	4	0.610
0.75	Trt	3	90.792*
	Error	4	1.827
0.84	Trt	3	72.031*
	Error	4	6.460
0.89	Trt	3	12.384*
	Error	4	0.627

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลองตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	1.949	1.781	2.165*	3.826
Error	6	1.817	0.663	0.209	0.591

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลองที่ช่วงเวลาเดียวกันตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการเก็บรักษา	SOV	df	MS
สัปดาห์ที่ 0	trt	3	0.524
	Error	8	0.641
สัปดาห์ที่ 4	trt	3	1.165
	Error	8	1.900
สัปดาห์ที่ 8	trt	3	0.208
	Error	8	0.087

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	0.000	0.000	0.002*	0.000
Error	6	0.000	0.000	0.000	0.000

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลองที่ช่วงเวลาเดียวกันตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการเก็บรักษา	SOV	df	MS
สัปดาห์ที่ 0	trt	3	0.006*
	Error	8	0.000
สัปดาห์ที่ 4	trt	3	0.005*
	Error	8	0.000
สัปดาห์ที่ 8	trt	3	0.004*
	Error	8	0.000

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า spin-lattice relaxation time ของตัวอย่างที่ผ่านการเก็บในชั้นตอนต่าง ๆ

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ช่วงการเก็บตัวอย่าง	2	101980.231*	70719.712*	62224.462*	40907.262*
Error	6	96.553	118.748	92.642	665.897

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า spin-lattice relaxation time ของมะละกอแช่อบแห้ง ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งในสัปดาห์เริ่มต้นของการเก็บ และผลิตภัณฑ์หลังเก็บเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	SOV	df	MS
หลังการอบสโมค	trt	3	4488.108*
	Error	4	354.818
หลังการอบแห้ง	trt	3	5459.610*
	Error	4	309.043
หลังการเก็บ 2 เดือน	trt	3	4286.255*
	Error	4	72.256

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L^* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	106.487*	159.180*	123.907*	46.542*
Error	6	6.907	8.233	21.078	10.327

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a^* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	45.186*	64.408*	53.650*	17.005*
Error	6	1.884	0.735	8.606	2.409

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b^* ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	45.093	30.572*	26.031	8.997*
Error	6	11.996	3.772	5.121	1.542

*แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลองที่ช่วงเวลาเดียวกันตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการเก็บรักษา	SOV	df	MS		
			L*	a*	b*
สัปดาห์ที่ 0	trt	3	15.261	9.115*	8.222
	Error	8	6.652	1.885	11.575
สัปดาห์ที่ 4	trt	3	49.028	23.352*	21.550*
	Error	8	18.313	4.165	1.934
สัปดาห์ที่ 8	trt	3	61.123*	33.603*	26.520*
	Error	8	8.252	4.943	1.020

*แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	0.001	0.001	0.001*	0.001*
Error	6	0.000	0.000	0.000	0.000

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

SOV	df	MS				
		กลูโคส	ฟรุกโทส	ซูโครส	กลูโคส+ฟรุกโทส	น้ำตาลทั้งหมด
ชุดการทดลอง	3	1.313*	1.046*	58.726*	4.603*	610.494*
Error	4	0.031	0.021	0.456	0.101	0.562

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดจนการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	3082.342*	3397.062*	8491.278*	1735.696*
Error	6	17.999	5.914	8.204	14.196

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่างานในการตัดของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดจนการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บ	2	23931.915*	13165.431*	24262.874*	38874.543*
Error	6	15.272	14.165	20.361	22.764

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดจนการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	0.158*	0.246*	0.218*	0.149*
Error	6	0.004	0.006	0.005	0.008

*แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลองด้านค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และค่างานในการตัดที่ช่วงเวลาเดียวกัน ตลอดจนการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการเก็บรักษา	SOV	df	MS		
			hardness	adhesiveness	cutting work
สัปดาห์ที่ 0	trt	3	195.416*	0.006	114.818*
	Error	8	12.947	0.011	17.610
สัปดาห์ที่ 4	trt	3	2297.621*	0.007	15097.469*
	Error	8	3.654	0.003	23.777
สัปดาห์ที่ 8	trt	3	874.139*	0.005	3722.192*
	Error	8	17.977	0.003	10.834

*แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดจนการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	3517.945*	377.588*	3524.205*	1882.273*
Error	6	8.579	10.765	15.757	9.510

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเหนียวยึดติดของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดจนการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	194.601*	122.442*	177.645*	107.800*
Error	6	2.477	4.196	1.876	1.827

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการเคี้ยวของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	82.410*	74.801*	64.047*	76.510*
Error	6	3.316	4.716	5.098	1.619

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

SOV	df	MS			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
ระยะเวลาการเก็บรักษา	2	0.007*	0.012*	0.003	0.032*
Error	6	0.001	0.001	0.001	0.000

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งแต่ละชุดการทดลองด้านค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยืดติด ค่าการเคี้ยว และค่าความเกาะติดกันที่ช่วงเวลาเดียวกัน ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการเก็บรักษา	SOV	df	MS			
			hardness	gumminess	chewiness	cohesiveness
สัปดาห์ที่ 0	trt	3	667.769*	15.799*	6.914	0.026*
	Error	8	12.492	2.387	2.048	0.001
สัปดาห์ที่ 4	trt	3	2240.358*	18.989*	20.335	0.004*
	Error	8	10.965	2.623	5.557	0.001
สัปดาห์ที่ 8	trt	3	1784.418*	51.741*	8.610	0.005*
	Error	8	19.298	2.604	2.465	0.000

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ค.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

SOV	df	MS						
		การเกิด ผลึก	ความคง ตัว	ความ แข็ง	ความ เหนียว	ความชุ่ม น้ำ	รสหวาน	รส แปลกปลอม
ชุดการ ทดลอง	3	92.269*	22.342*	11.663*	2.345*	5.145*	4.737*	0.267
ผู้ทดสอบ	19	0.474	0.602	2.666*	0.623	1.339	1.175	0.139
Error	57	0.522	1.453	1.310	0.770	1.122	1.337	0.094

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก ง
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนัก ของมะละกอแช่ต้มที่เวลาต่าง ๆ ระหว่างการอบสโมคซิสในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 40 และ 50 องศาบริกซ์

เวลา (ชั่วโมง)	ความ เข้มข้น	ค่าการสูญเสีย น้ำ (%)	ค่าการเพิ่มขึ้นของ ของแข็ง (%)	ค่าการลดลงของ น้ำหนัก (%)
1		24.38 ± 1.50	6.63 ± 1.31	18.58 ± 1.98
3	40 °B	33.25 ± 4.17	10.95 ± 1.91	18.79 ± 6.00
5		32.96 ± 2.06	12.54 ± 1.82	19.84 ± 1.35
6		40.78 ± 2.26	15.84 ± 0.35	24.25 ± 3.53
8	50 °B	47.49 ± 0.32	16.69 ± 1.22	29.18 ± 0.50
10		47.76 ± 3.14	17.55 ± 2.38	35.92 ± 5.06

ตารางที่ ง.2 ค่าการสูญเสีย น้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของมะละกอแช่ต้ม ระหว่างการอบสโมคซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการสูญเสีย น้ำ (%)	ค่าการเพิ่มขึ้นของ ของแข็ง (%)	ค่าการลดลงของ น้ำหนัก (%)
11	55.36 ± 0.55	18.48 ± 1.07	33.59 ± 1.60
13	58.17 ± 0.49	20.50 ± 0.27	32.92 ± 0.31
15	57.50 ± 1.48	20.61 ± 0.64	27.74 ± 0.92

ตารางที่ ง.3 ค่าการสูญเสียน้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของ
มะละกอแช่อิ่มระหว่างการอบสโมคซิสในสารละลายอบสโมคติกความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ที่
ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการสูญเสียน้ำ (%)	ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (%)	ค่าการลดลงของน้ำหนัก (%)
11	55.71 ± 1.79	24.33 ± 0.43	30.58 ± 1.85
13	59.30 ± 0.21	22.13 ± 0.23	34.25 ± 0.52
15	59.82 ± 0.85	26.53 ± 1.45	31.53 ± 0.49

ตารางที่ ง.4 ค่าการสูญเสียน้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของ
มะละกอแช่อิ่มระหว่างการอบสโมคซิสในสารละลายอบสโมคติกความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ที่
ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการสูญเสียน้ำ (%)	ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (%)	ค่าการลดลงของน้ำหนัก (%)
11	56.45 ± 2.07	22.97 ± 0.76	32.36 ± 2.45
13	64.23 ± 0.62	23.44 ± 0.77	37.48 ± 2.67
15	65.55 ± 0.43	28.06 ± 0.08	39.14 ± 0.24

ตารางที่ ง.5 ค่าการสูญเสียน้ำ ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง และค่าการลดลงของน้ำหนักของ
มะละกอแช่อิ่มระหว่างการอบสโมคซิสในสารละลายอบสโมคติกความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ที่
ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการสูญเสียน้ำ (%)	ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (%)	ค่าการลดลงของน้ำหนัก (%)
11	56.18 ± 1.41	19.40 ± 1.10	34.49 ± 0.85
13	60.42 ± 1.22	21.27 ± 0.90	34.89 ± 1.54
15	62.38 ± 0.81	24.49 ± 1.50	37.88 ± 1.05

ตารางที่ ง.6 ปริมาณความชื้น (กรัมน้ำ/กรัมของแข็งแห้ง) ของมะละกอแช่อิ่มในแต่ละชุดการทดลอง ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ชุดการทดลอง			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
0	1.02 ± 0.00	1.05 ± 0.02	0.91 ± 0.02	1.01 ± 0.06
10	0.93 ± 0.01	0.96 ± 0.03	0.83 ± 0.01	0.92 ± 0.02
20	0.87 ± 0.02	0.90 ± 0.04	0.77 ± 0.00	0.86 ± 0.01
30	0.81 ± 0.01	0.85 ± 0.04	0.73 ± 0.01	0.82 ± 0.01
40	0.77 ± 0.01	0.81 ± 0.04	0.70 ± 0.00	0.78 ± 0.00
50	0.73 ± 0.01	0.78 ± 0.05	0.66 ± 0.00	0.75 ± 0.00
60	0.70 ± 0.01	0.75 ± 0.05	0.64 ± 0.01	0.72 ± 0.00
75	0.67 ± 0.00	0.70 ± 0.05	0.60 ± 0.00	0.68 ± 0.01
90	0.62 ± 0.01	0.67 ± 0.06	0.57 ± 0.00	0.65 ± 0.01
105	0.59 ± 0.01	0.64 ± 0.06	0.55 ± 0.00	0.61 ± 0.01
120	0.56 ± 0.00	0.61 ± 0.06	0.52 ± 0.00	0.59 ± 0.01
150	0.51 ± 0.00	0.56 ± 0.06	0.48 ± 0.00	0.54 ± 0.02
180	0.46 ± 0.00	0.52 ± 0.07	0.44 ± 0.00	0.50 ± 0.02
210	0.43 ± 0.00	0.48 ± 0.07	0.41 ± 0.00	0.46 ± 0.03
240	0.40 ± 0.00	0.45 ± 0.07	0.39 ± 0.00	0.43 ± 0.02
300	0.34 ± 0.01	0.39 ± 0.07	0.34 ± 0.00	0.38 ± 0.02
360	0.30 ± 0.01	0.35 ± 0.07	0.31 ± 0.00	0.34 ± 0.02
420	0.27 ± 0.01	0.31 ± 0.06	0.28 ± 0.00	0.30 ± 0.02
480	0.25 ± 0.01	0.29 ± 0.06	0.26 ± 0.01	0.28 ± 0.01
540	0.21 ± 0.01	0.23 ± 0.03	0.23 ± 0.02	0.22 ± 0.00
600	0.20 ± 0.01	0.22 ± 0.03	0.22 ± 0.02	0.20 ± 0.00
660	0.19 ± 0.02	0.21 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.19 ± 0.01
720	0.18 ± 0.01	0.20 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.18 ± 0.01
780	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.03	0.20 ± 0.03	0.17 ± 0.01

ตารางที่ ง.6 (ต่อ) ปริมาณความชื้น (กรัมน้ำ/กรัมของแข็งแห้ง) ของมะละกอแช่อบในแต่ละชุดการทดลองระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ชุดการทดลอง			
	Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
840	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.03	0.20 ± 0.03	0.16 ± 0.02
900	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.03	0.19 ± 0.03	0.15 ± 0.02
960	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.03	0.19 ± 0.03	0.15 ± 0.01

Su แทน ผลิตกัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตกัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตกัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตกัณฑ์มะละกอแช่อบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ตารางที่ ง.7 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก) a_w และค่าสีในระหว่างการอบแห้งของชุดควบคุม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น	a_w	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0	49.78 ± 1.50	0.938 ± 0.021	32.34 ± 7.31	15.53 ± 4.81	19.15 ± 8.56
2	37.97 ± 2.11	0.907 ± 0.004	34.23 ± 7.91	19.21 ± 4.95	21.75 ± 9.20
3.5	30.04 ± 1.99	0.858 ± 0.001	30.93 ± 3.07	16.38 ± 2.28	18.37 ± 5.22
5	24.88 ± 0.56	0.845 ± 0.036	32.42 ± 5.60	18.22 ± 3.52	20.72 ± 8.51
6.5	22.47 ± 0.44	0.800 ± 0.007	33.43 ± 6.67	17.82 ± 4.33	20.22 ± 8.89
8	20.30 ± 1.43	0.804 ± 0.023	26.68 ± 3.33	12.74 ± 3.90	11.14 ± 5.55
9.5	17.53 ± 4.05	0.791 ± 0.035	40.27 ± 1.09	19.76 ± 3.80	24.98 ± 3.99
11	17.10 ± 0.89	0.787 ± 0.021	37.59 ± 1.70	18.79 ± 3.10	22.05 ± 4.13
13.5	14.56 ± 0.03	0.765 ± 0.013	38.98 ± 2.51	21.55 ± 1.77	26.98 ± 3.35
15	15.18 ± 1.60	0.775 ± 0.009	38.58 ± 0.85	19.28 ± 1.48	21.46 ± 2.10
16.5	14.04 ± 0.55	0.755 ± 0.018	39.45 ± 0.09	21.56 ± 1.38	26.93 ± 5.18

ตารางที่ ง.8 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก) a_w และค่าสีในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น	a_w	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0	50.25 ± 1.16	0.934 ± 0.012	31.54 ± 4.64	16.94 ± 5.98	19.07 ± 6.94
2	36.09 ± 1.55	0.890 ± 0.001	33.04 ± 5.97	17.92 ± 4.97	19.73 ± 8.93
3.5	30.75 ± 2.33	0.850 ± 0.006	30.14 ± 3.81	17.21 ± 4.80	17.19 ± 5.76
5	26.25 ± 1.11	0.847 ± 0.024	32.89 ± 6.40	18.61 ± 5.41	19.38 ± 8.13
6.5	21.61 ± 0.98	0.811 ± 0.023	28.08 ± 3.32	13.56 ± 4.41	12.88 ± 4.04
8	20.67 ± 0.86	0.781 ± 0.023	27.71 ± 4.54	14.65 ± 4.05	13.13 ± 3.99
9.5	19.35 ± 2.03	0.765 ± 0.040	38.82 ± 2.63	20.16 ± 3.02	24.81 ± 1.05
11	14.55 ± 0.63	0.725 ± 0.016	37.97 ± 6.44	20.98 ± 4.33	25.87 ± 4.29
13.5	13.82 ± 0.47	0.720 ± 0.021	34.27 ± 1.18	21.75 ± 3.70	27.81 ± 0.33
15	13.52 ± 1.35	0.729 ± 0.036	39.28 ± 4.24	20.30 ± 4.14	27.70 ± 2.83
16.5	12.90 ± 0.55	0.700 ± 0.011	36.57 ± 4.24	20.63 ± 1.18	24.68 ± 2.99

ตารางที่ ง.9 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก) a_w และค่าสีในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น	a_w	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0	48.53 ± 1.15	0.929 ± 0.006	31.62 ± 0.97	14.60 ± 2.48	19.08 ± 0.79
2	37.47 ± 1.29	0.908 ± 0.001	29.06 ± 1.79	13.50 ± 3.45	16.16 ± 2.45
3.5	31.81 ± 0.56	0.871 ± 0.011	30.46 ± 0.80	12.89 ± 0.57	15.69 ± 0.74
5	27.06 ± 1.09	0.829 ± 0.003	30.30 ± 0.80	16.73 ± 0.71	19.54 ± 1.20
6.5	25.81 ± 0.86	0.822 ± 0.011	29.36 ± 2.08	14.86 ± 2.25	16.00 ± 0.87
8	24.02 ± 0.96	0.806 ± 0.004	30.26 ± 2.93	14.82 ± 2.69	16.15 ± 0.64
9.5	17.36 ± 0.53	0.772 ± 0.006	30.99 ± 3.60	16.44 ± 5.88	18.44 ± 5.71
11	16.48 ± 1.56	0.746 ± 0.005	31.39 ± 0.01	18.32 ± 0.26	23.46 ± 4.01
13.5	17.85 ± 1.38	0.733 ± 0.029	34.09 ± 1.28	13.72 ± 4.05	15.25 ± 3.99
15	16.77 ± 0.14	0.751 ± 0.025	34.15 ± 1.91	16.07 ± 1.57	17.19 ± 1.24
16.5	16.85 ± 0.64	0.737 ± 0.008	34.01 ± 3.30	14.47 ± 0.66	16.91 ± 0.19

ตารางที่ ง.10 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก) a_w และค่าสีในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสของชุดการทดลองที่ทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น	a_w	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0	49.94 ± 1.68	0.940 ± 0.004	29.48 ± 2.40	13.17 ± 0.46	18.40 ± 0.91
2	36.70 ± 1.81	0.897 ± 0.006	27.67 ± 2.43	13.76 ± 0.53	14.69 ± 1.74
3.5	31.28 ± 2.22	0.867 ± 0.035	31.14 ± 0.74	17.01 ± 1.28	19.19 ± 3.37
5	26.62 ± 1.54	0.846 ± 0.053	31.24 ± 1.59	17.03 ± 1.69	21.55 ± 0.43
6.5	27.23 ± 1.85	0.840 ± 0.004	28.88 ± 2.84	16.12 ± 4.60	17.52 ± 4.37
8	23.83 ± 0.34	0.794 ± 0.007	29.40 ± 1.53	14.05 ± 1.94	15.32 ± 1.04
9.5	21.27 ± 1.31	0.781 ± 0.036	28.90 ± 2.86	14.71 ± 2.44	17.34 ± 1.15
11	19.58 ± 0.15	0.761 ± 0.021	26.51 ± 4.74	16.25 ± 4.38	21.27 ± 2.77
13.5	17.24 ± 0.51	0.745 ± 0.023	28.89 ± 2.96	17.38 ± 0.44	16.02 ± 3.80
15	17.45 ± 0.74	0.720 ± 0.018	31.63 ± 2.53	15.45 ± 3.83	18.73 ± 7.40
16.5	17.01 ± 0.14	0.716 ± 0.012	30.41 ± 1.61	16.15 ± 0.29	19.46 ± 1.02

ตารางที่ ง.11 ปริมาณความชื้นสมดุล (กรัมน้ำ/ 100 กรัมของแข็งแห้ง) ของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง ในระบบที่มีสารละลายเกลืออิมตัวที่ให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่าง ๆ

เกลือ	a_w	ปริมาณความชื้นสมดุล (กรัมน้ำ/100 กรัมของแข็งแห้ง)			
		Su	Su-Sor	Su-Gly	Su-Inv
LiCl	0.11	0.10 ± 0.03	2.04 ± 0.27	1.26 ± 0.53	3.55 ± 0.40
CH ₃ COOK	0.23	0.67 ± 0.09	4.68 ± 0.54	4.08 ± 1.67	4.03 ± 0.92
MgCl ₂	0.32	0.90 ± 0.14	3.67 ± 0.17	4.32 ± 0.18	5.66 ± 0.33
K ₂ CO ₃	0.42	1.33 ± 0.50	3.73 ± 0.60	3.29 ± 0.76	4.56 ± 0.02
Mg(NO ₃) ₂	0.52	2.22 ± 0.75	3.50 ± 0.63	5.45 ± 0.72	5.18 ± 0.89
NaBr	0.57	1.43 ± 0.01	4.39 ± 0.29	7.84 ± 0.14	6.15 ± 0.81
SrCl ₂	0.69	4.72 ± 0.41	7.99 ± 0.12	12.78 ± 0.48	13.93 ± 1.42
NaCl	0.75	7.06 ± 0.17	12.64 ± 2.52	19.14 ± 0.95	22.12 ± 0.11
KCl	0.84	26.07 ± 0.29	36.51 ± 2.29	38.21 ± 1.40	39.96 ± 4.31
BaCl ₂	0.89	54.20 ± 0.78	56.60 ± 0.38	56.93 ± 0.05	60.25 ± 1.32

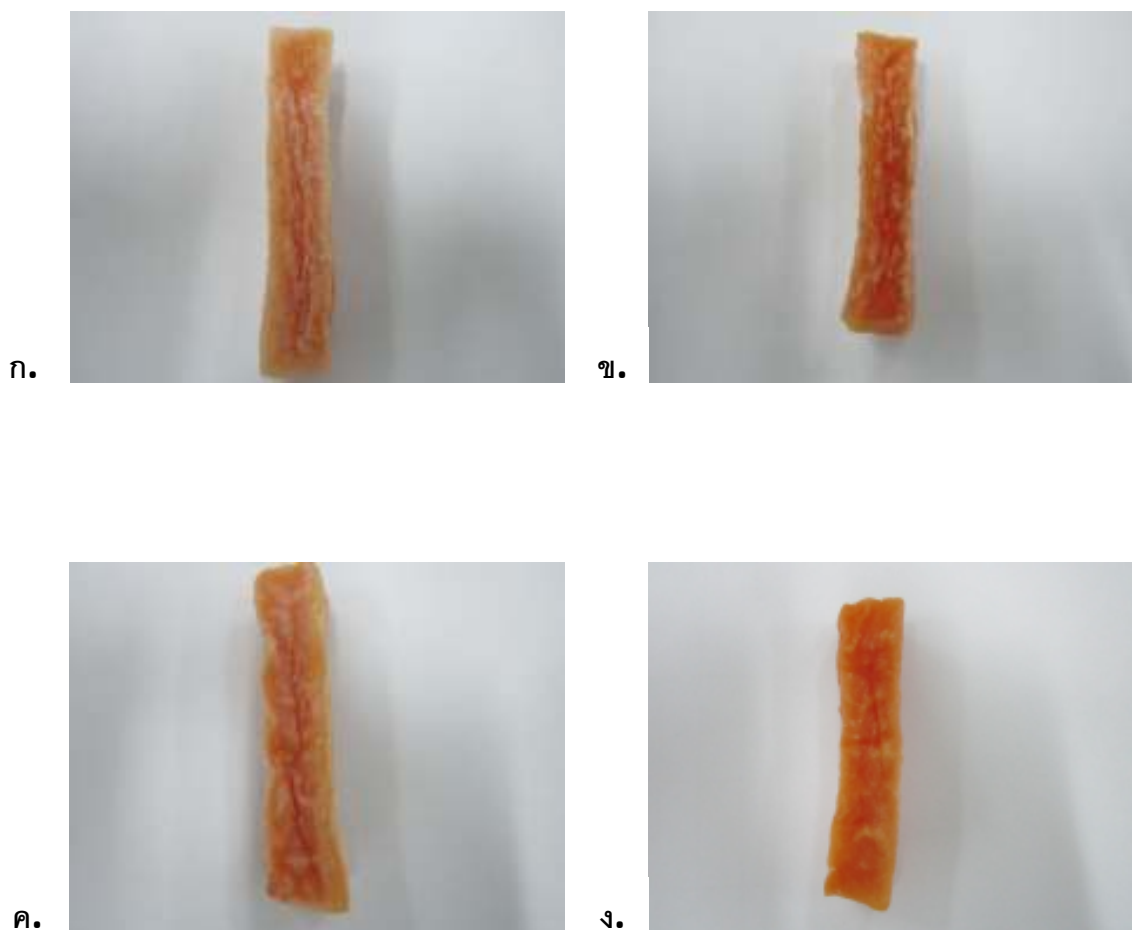
Su แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์

Su-Sor แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)

Su-Gly แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)

Su-Inv แทน ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ภาคผนวก จ
ภาพผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง



ภาพที่ จ.1 ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง

- ก. ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมพอลิไฮดรริกแอลกอฮอล์
- ข. ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยซอร์บิทอล 10% (w/v)
- ค. ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยกลีเซอรอล 10% (v/v)
- ง. ผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่มีการทดแทนซูโครสบางส่วนด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 10% (v/v)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสิทธิโชค เถลิงนวชาติ เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม 2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 1 สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคต้นปีการศึกษา 2553

ในระหว่างการศึกษาได้เข้าร่วมเสนอผลงานภาคบรรยายในการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 50 ระหว่างวันที่ 31 มกราคม ถึง 3 กุมภาพันธ์ 2555 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ ในหัวข้อเรื่อง “ผลของพอลิไฮดรริกแอลกอฮอล์และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการถายเทมวลสารระหว่างการอบสไมซิสและจลนพลศาสตร์การอบแห้งของมะละกอแช่ส้ม” โดยงานวิจัยได้รับการตีพิมพ์ในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ของการประชุม