

การใช้มอลโทเดคซ์ทรินร่วมกับซูโครสเพื่อจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประคด้วยวิธีออสโมซิส



นาย ปิยะวิทย์ ทิพรส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

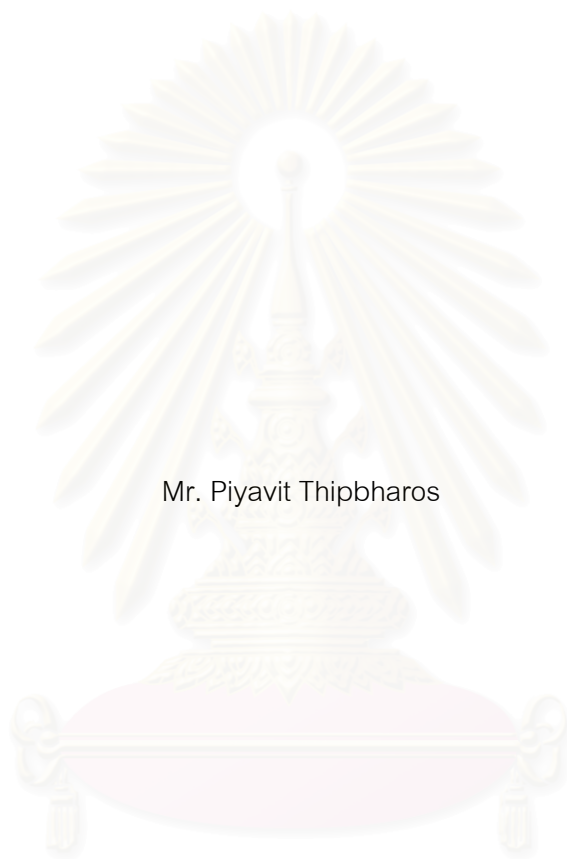
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0415-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OSMOTIC DEHYDRATION FOR REMOVING WATER FROM PINEAPPLE TISSUE IN
MALTODEXTRIN AND SUCROSE SYRUPS



Mr. Piyavit Thipbharos

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0415-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้มอลโทเดกซ์ทริનร่วมกับซูโครสเพื่อขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อ
สับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส

โดย

นาย ปิยะวิทย์ ทิพรส

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคส์ตฤศาสน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....รองคณบดีฝ่ายบริหาร รักษาரச-

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ การเที่ยง) การแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณฯ ตฤศัญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคส์ตฤศาสน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลหาสงคราม)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายรุฬฯ ชัยวานิชศิริ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. รมณี สวงนดิกุล)

ปิยะวิทย์ ทิพรส : การใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสเพื่อขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประคด้วยวิธีออสโมซิส. (OSMOTIC DEHYDRATION FOR REMOVING WATER FROM PINEAPPLE TISSUE IN MALTODEXTRIN AND SUCROSE SYRUPS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์, 197 หน้า. ISBN 974-17-0415-1.

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน **ส่วนที่ 1** วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของสับประคสด มอลโทเดกซ์ทรินผง(Maltodextrin powder : MD)ที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรส(Dextrose equivalent : DE) เท่ากับ 28 และน้ำตาลซูโครส(SU) พบว่า สับประคมีปริมาณความชื้น(MC) 85.31 %wb, ของแข็งทั้งหมด(TS) 14.69 %wb, ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(TSS) 13.5 °Brix, ความเป็นกรดในรูปกรดซิตริก 0.45 %wb, pH 3.95, Water activity(A_w) 0.998, ค่าสีตามระบบฮันเตอร์(L 71.06 a -2.33 b 13.41) และค่าแรงการตัดขาด(CF) 13.78 N ส่วน MD มี MC 3.86 %db, TS 96.14 %wb, A_w 0.238,ค่าสี(L 98.17 a -0.07 b 2.01) และความหนาแน่นทั้งหมด(BD) 602.71 kg/m³ และ SU มี MC 0.55 %db, TS 99.45 %wb, A_w 0.271,และBD 913.48 kg/m³ **ส่วนที่ 2** ศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้ MD ต่อ SU เป็น 0:55, 10:45, 30:25, 45:10 และ 55:0 %wb ตามลำดับ กับเวลาของการออสโมซิส(0 – 300 นาที)ที่มีต่ออัตราการถ่ายโอนมวลในเนื้อเยื่อสับประคและสารละลายออสโมติก(OS) โดยกำหนดให้ความเร็วในการกวนและอุณหภูมิของ OS เท่ากับ 500 rpm. และ $50 \pm 1^\circ\text{C}$ ตามลำดับ ภายใต้อากาศปิด พบว่า เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าอัตราของการขจัดน้ำ(WL), อัตราของการขจัดน้ำ/อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็ง(WL/SG ratios), อัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวม(MR), MC และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(RS) ในเนื้อเยื่อสับประคเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุล รวมทั้งค่า A_w และ ค่า DE ของ OS ก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันในทางกลับกัน เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ SG, น้ำตาลทั้งหมด, TSS, TS ในเนื้อเยื่อสับประคเพิ่มขึ้น จนเข้าสู่ภาวะสมดุล ในขณะที่ค่า A_w , RS ในเนื้อเยื่อสับประคลดลง รวมทั้งค่า TSS ของ OS ก็ลดลงเช่นเดียวกัน **ส่วนที่ 3** คัดเลือกสับประคที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ค่า A_w ในเนื้อเยื่อสับประคเป็นเกณฑ์มาอบแห้งด้วยลมร้อน โดยกำหนดอุณหภูมิและความเร็วของลมร้อน เป็น $60 \pm 2^\circ\text{C}$ และ 1 m/s ตามลำดับ และ แปรค่าเวลาของการอบแห้ง เป็น 0 - 18 ชั่วโมง พบว่า ที่ช่วงเวลาของการออสโมซิส 240 - 300 นาที SU55, MD10/SU45, MD30/SU25, MD45/SU10 และ MD55 ให้ช่วงค่า A_w เท่ากับ 0.954 - 0.952, 0.958 - 0.957, 0.960 , 0.964 - 0.963 และ 0.968 - 0.967 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตัวอย่างสับประคที่แช่ใน SU55, MD10/SU45 และMD30/SU25 ที่เวลาของการออสโมซิส 240 นาที พบว่า เมื่อใช้ปริมาณ MD กับเวลาของการอบแห้ง(ที่สภาวะอุณหภูมิ $60 \pm 2^\circ\text{C}$)เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณความชื้นอิสระ, MC, อัตราของการอบแห้ง และ ค่า A_w ในเนื้อเยื่อสับประคลดลง จนเข้าสู่ภาวะสมดุล ในขณะที่ค่า TS, CF, ค่าสี เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียว **ส่วนสุดท้าย** ศึกษาการยอมรับของผลิตภัณฑ์สับประคแห้งที่ผลิตได้ พบว่า สับประคที่ผ่านการแช่ใน MD10/SU45(เวลาของการอบแห้ง 17 ชั่วโมง ; A_w 0.650), SU55(เวลาของการอบแห้ง 18 ชั่วโมง ; A_w 0.740), และ MD30/SU25(เวลาของการอบแห้ง 16 ชั่วโมง ; A_w 0.652) มีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่นรส, รสชาติ และเนื้อสัมผัส อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เรียงจากมากไปหาน้อย ตามลำดับ

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2544.....

4172365123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS :OSMOTIC DEHYDRATION / MASS TRANSFER RATE / WATER ACTIVITY / MALTODEXTRIN POWDER
 PIYAVIT THIPBHAROS : OSMOTIC DEHYDRATION FOR REMOVING WATER FROM PINEAPPLE TISSUE IN
 MALTODEXTRIN AND SUCROSE SYRUPS. THESIS ADVISOR : SURAPONG NAVANKASATTUSAS, Ph.D., 197 pp.
 ISBN 974-17-0415-1

This research consisted of four experimental parts. The first part was analyses of chemical compositions and physical characteristics of fresh pineapples, maltodextrin powder (MD ; DE 28) and sucrose (SU). It was found that the moisture content (MC), total solid (TS), total soluble solid(TSS), titratable acidity as citric acid, pH, water activity(A_w), Hunter colour(L a b)and cutting force(CF) of the pineapple were 85.31 %wb, 14.69 %wb, 13.5°Brix, 0.45 %wb, 3.95, 0.998, 71.06 –2.33 13.41, and 13.78 N, respectively. Whereas, the MC, TS, A_w , L a b and bulk density(BD) of the MD were 3.86 %db, 96.14 %wb, 0.238, 98.17 –0.07 2.01, and 602.71 kg/m³, respectively. While, the MC, TS, A_w , and BD of the SU were 0.55 %db, 99.45 %wb, 0.271, and 913.48 kg/m³,respectively. In the second part , the effects of MD to SU ratios of the osmotic solution(OS) at 0:55, 10:45, 30:25, 45:10 and 55:0 %wb and the osmotic times on the mass transfer rate in the pineapple tissue and the OS have been evaluated. Osmotic dehydration was carried out at circulation speed and temperature of OS of 500 rpm and 50 ± 1°C ,respectively for 0 – 300 mins under atmospheric conditions. The experimental results found that increasing MD and osmotic time had significantly effected increasing profiles of rate of water loss(WL), rate of water loss/solid gain(WL/SG ratios), rate of net mass reduction(MR), MC, and reducing sugar(RS) in pineapple tissue as well as increasing profiles of A_w and DE of OS . On the other hand, increasing SU and osmotic time had significantly effected increasing profiles of SG, total sugar, TS, TSS in pineapple tissue in approaching equilibria, and decreasing profiles of A_w and RS in pineapple tissue as well as profiles of decreasing TSS of OS in approaching equilibria. In the third part, osmotically dehydrated pineapples under suitable conditions were selected on the basis of A_w values for further hot air drying temperature and velocity at 60 ± 2°C and 1 m/s, respectively. Over drying periods from 0 – 18 hrs. for osmotic dehydrating periods of 240-300 mins. in SU55, MD10/SU45, MD30/SU25, MD45/SU10 and MD55, accomplished ranges of A_w were 0.954 - 0.952, 0.958 - 0.957, 0.960, 0.964 - 0.963 and 0.968 - 0.967 ,respectively. Considering samples of pineapples in SU55, MD10/SU45 and MD30/SU25 over an osmotic dehydrating period of 240 mins. It was found that increasing MD and air drying time (at 60 ± 2 °C) would decrease free moisture, MC, drying rate and A_w of pineapple tissue in approaching equilibria. While, TS, CF, and L a b would increase. In the final part, sensory evaluation on the dried pineapples were studied. It was found that those obtained through application of MD10/SU45(drying time of 17 hrs ; A_w 0.650), SU55(drying time of 18 hrs ; A_w 0.740), and MD30/SU25(drying time of 16 hrs ; A_w 0.652) had scores of acceptance with respect to appearance, colour, flavour, taste and texture in decreasing order, respectively.

Department.....Food Technology..... Student's signature.....
 Field of study.....Food Technology..... Advisor's signature.....
 Academic year.....2001.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวคิดที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งถึงความเอื้ออาทรและความห่วงใยของอาจารย์ที่มีต่อผู้เขียนอย่างยิ่งมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณมา ตูลยชัย, รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลหาสงคราม, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ และอาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ และผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ซึ่งเป็นรากฐานอย่างยิ่งในการศึกษาค้นคว้า ทั้งยังให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้เขียน

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่อง Mechanical slicer ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัทไทยฟู้ด แอนด์ เคมิคอล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณฉัตรฉนิชา จิตชื่น และครอบครัว ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านอย่างดียิ่ง รวมทั้ง คุณนิวัฒน์ คุรุศาสตร์, คุณสุพัตรา งามอรุเลิศ และคุณวรลักษณ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าช่วยเหลือในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องส ารบรรณ และห้องปฏิบัติการต่างๆทุกท่าน ที่ให้ความอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆตั้งแต่เริ่มเข้าจนสำเร็จการศึกษาด้วยดีเสมอมา

สุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณพระปลัด คำพันธ์ พรหมจาโร, คุณพ่อเอี่ยม-คุณแม่แต๋นคำ ทิพรส, คุณลุงจรัญ เกษมรติ, พี่ชาย, พี่สาว รวมทั้งหลานๆทุกคน ที่รอคอยสนับสนุนช่วยเหลือ และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมาตลอดการศึกษาจนจบปริญญาโท

ปิยะวิทย์ ทิพรส

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฅ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	6
3. การทดลอง	37
4. ผลการทดลอง	54
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง	126
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	141
รายการอ้างอิง	145
ภาคผนวก	158
ก วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบหลัก สารละลาย ออกซิเมติก สับปะรดหลังผ่านกระบวนการออกซิเมซิส และสับปะรดหลังผ่านกระบวนการ การอบแห้งด้วยลมร้อน	159
ข สูตรที่ใช้ในการคำนวณอัตราของการถ่ายโอนมวลในเนื้อเยื่อสับปะรด	175
ค วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติ	176
ง แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสของสับปะรดแห้ง เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่ เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการออกซิเมซิส และผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ใน ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง.....	190
จ รูปภาพแสดงวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	192
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	197

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	องค์ประกอบทางต่างๆไปของสับปะรดสดที่แก่เต็มที่ในส่วนที่กินได้8
2	ประเภทและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสับปะรดสดที่แก่เต็มที่ในส่วนที่กินได้9
3	ค่า Water activity(A_w) วิถีการของการเปลี่ยนแปลงสภาวะมอลโทเดกซ์ทรินผงไป เป็นเจล35
4	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของสับปะรดสด54
5	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของ มอลโทเดกซ์ทรินผง($DE = 28$)55
6	องค์ประกอบทางเคมีของมอลโทเดกซ์ทรินผง($DE = 28$)56
7	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพ ของน้ำตาลซูโครส56
8	ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่าน กระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ57
9	ข้อมูลอัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการ การออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ60
10	ข้อมูลอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อเยื่อสับปะรดหลัง ผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ63
11	ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ในเนื้อเยื่อ สับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ66
12	ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ของสารละลายออสโมติก หลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ70
13	ข้อมูลปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรด หลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ74
14	ข้อมูลอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรด หลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ78
15	ข้อมูลปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่าน กระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ82

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
16	ข้อมูลปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลาย ออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ86
17	ข้อมูลปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลัง ผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ90
18	ข้อมูลปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายออสโมติกหลังผ่าน กระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ93
19	ข้อมูลปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดหลัง ผ่านการกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ96
20	ข้อมูลค่าสมมูลเดกซ์โทรส(DE)ของสารละลายออสโมติกหลัง ผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ99
21	ข้อมูลค่า WL/SG ratios ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการ ออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ102
22	ข้อมูลปริมาณความชื้นอิสระที่ระเหยออกจากเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการ การออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ106
23	ข้อมูลอัตราของการอบแห้งสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสในสภาวะ ที่เหมาะสมและนำมาผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ108
24	ข้อมูลปริมาณความชื้นในสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสในสภาวะ ที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่ อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ110
25	ข้อมูลปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส ในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ112
26	ข้อมูล ค่า Water activity ในเนื้อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสใน สภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ114

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
27	ข้อมูลค่าแรงการตัดขาดของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสใน สภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ116
28	ข้อมูลค่าความสว่าง (L) ของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีส ในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ ที่เวลาต่างๆ118
29	ข้อมูลค่าสีแดง(a)ของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะ ที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ120
30	ข้อมูลค่าสีเหลือง(b)ของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีส ในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ122
31	ผลคะแนนทางประสาทสัมผัสที่มีต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์สับประรดแห้งที่ผลิตได้..125
32	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสารเคมีที่เป็นแหล่งให้ความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ171
ค 1	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อ สับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผล ของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซีส176
ค 2	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อ สับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษา ผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซีส176
ค 3	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการขจัดน้ำในเนื้อเยื่อ สับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษา ผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ร่วมกับซูโครสกับเวลาการออสโมซีส177

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค 4	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อสัตว์แปรรูปหลังจากกระบวนการอบไมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับชูโครสกับเวลาของการอบไมซีส177
ค 5	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการเพิ่มขึ้นของแข็งในเนื้อเยื่อสัตว์แปรรูปหลังจากกระบวนการอบไมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับชูโครสกับเวลาของการอบไมซีส178
ค 6	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสัตว์แปรรูปหลังจากกระบวนการอบไมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับชูโครสกับเวลาของการอบไมซีส178
ค 7	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่า Water activity ของสารละลายอบไมซีสหลังจากกระบวนการอบไมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับชูโครสกับเวลาของการอบไมซีส179
ค 8	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อสัตว์แปรรูปหลังจากกระบวนการอบไมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับชูโครสกับเวลาของการอบไมซีส179
ค 9	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายอบไมซีสหลังจากกระบวนการอบไมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับชูโครสกับเวลาของการอบไมซีส180

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค 10	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อ ตับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของ อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส กับเวลาของการออสโมซีส180
ค 11	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อ ตับประรดที่ผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษา ผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วม กับซูโครสกับเวลาของการออสโมซีส181
ค 12	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของสาร ละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อ ศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซีส181
ค 13	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการขจัดน้ำต่ออัตราของการ เพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีส ที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้ มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับ เวลาของการออสโมซีส182
ค 14	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่าสมมูลเดกซ์โทรส(DE)ของสารละลาย ออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของ อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส กับเวลาของการออสโมซีส182
ค 15	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อตับประรด หลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผล ของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับ กับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน183

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค 16	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อ สับปะรดที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อ ศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน183
ค 17	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อ สับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อ ศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน184
ค 18	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการอบแห้งในเนื้อเยื่อ สับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อ ศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน184
ค 19	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรด หลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของ อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับ เวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน185
ค 20	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าแรงตึงผิวของเนื้อสับปะรดหลัง ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของ อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส กับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน185
ค 21	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่าความสว่าง(Lightness : L)ของเนื้อสับปะรด หลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของ อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน186
ค 22	วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่าสีแดง(Redness : a)ของเนื้อสับปะรด หลัง ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของ อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับ ซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน186

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่

หน้า

- ค 23 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่าสีเหลือง(Yellowness : b)ของเนื้อสับปะรด
หลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของ
อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วม
กับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน187
- ค 24 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติลักษณะปรากฏของเนื้อสับปะรดแห้ง
ที่ผลิตได้ เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง
และผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง
ด้วยลมร้อน187
- ค 25 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติสีของเนื้อสับปะรดแห้งที่ผลิตได้เมื่อศึกษา
ผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง และผลของสภาวะ
ที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน188
- ค 26 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติเนื้อสัมผัสของเนื้อสับปะรดแห้งที่
ผลิตได้เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง
และผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง
ด้วยลมร้อน188
- ค 27 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติกลิ่นรสของเนื้อสับปะรดแห้งที่ผลิตได้
เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง และผลของสภาวะ
ที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน189
- ค 28 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติรสชาติเนื้อสับปะรดแห้งที่ผลิตได้
เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง และผล
ของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน189

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	วิธีของการถ่ายโอนมวลในเนื้อเยื่อสะสมหรือเนื้อเยื่อพุงของพืช	13
2	การเข้าสู่ภาวะสมดุลของน้ำและของของแข็งในช่วงกระบวนการออสโมซิส	14
3	การถ่ายโอนมวลในช่วงกระบวนการออสโมซิส	15
4	กระบวนการออสโมซิสที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม	18
5	เครื่องวัดค่า Water activity ที่ใช้ในการทดลอง	41
6	แผนภูมิกระบวนการออสโมซิสเพื่อขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรด	44
7	แผนภูมิกระบวนการผลิตสับปะรดแห้งโดยการอบแห้งด้วยลมร้อน	49
8	เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด(ลักษณะอุโมงค์ลม).....	49
9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของ การออสโมซิส หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ	58
10	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของ การออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ	61
11	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อเยื่อสับปะรด กับเวลาของการออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ	64
12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Water activity ของเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของการ ออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ	67
13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Water activityของสารละลายออสโมติก กับเวลา ของการออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ	71
14	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของ การออสโมซิส หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ	75
15	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลา ของการออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ	79
16	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรด กับเวลาของการออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส ที่สภาวะต่างๆ	83

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
17	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายออสโมติก กับเวลาของการออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส ที่สภาวะต่างๆ87
18	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อตับประรดกับเวลาของการ ออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ92
19	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายออสโมติกกับเวลาของ การออสโมซิส หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ94
20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประรดกับเวลาของการ ออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ97
21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมมูลเดกซ์โทรส(DE)กับเวลาของการออสโมซิส หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ100
22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า WL / SG Ratios ในเนื้อเยื่อตับประรดกับเวลาของการ ออสโมซิส หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ103
23	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการ ออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งสับประรดด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส107
24	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการอบแห้งสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส ในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส109
25	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการ ออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส111
26	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประรดหลัง ผ่านกระบวนการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้ง ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส113

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
27	ความสัมพัทธ์ระหว่างค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส115
28	ความสัมพัทธ์ระหว่างค่าแรงการตัดขาดของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส117
29	ความสัมพัทธ์ระหว่างค่าความสว่าง(L)ของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส119
30	ความสัมพัทธ์ระหว่างค่าสีแดง(a)ของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส121
31	ความสัมพัทธ์ระหว่างค่าสีเหลือง(b)ของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส123
จ 1	สับประรดสด พันธุ์ “ศรีราชา”192
จ 2	มอลโทเดกซ์ทรินผง(DE เท่ากับ 28)193
จ 3	เครื่องหั่นสับประรดเป็นแว่น และชุดเจาะแกนสับประรดแบบใช้มือ (ทำขึ้นเฉพาะเพื่อใช้ในการทดลอง)194
จ 4	เครื่องวัดค่าสีของอาหาร Minolta chroma, CR-300 S.....195
จ 5	เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัสอาหาร Texture analyzer, XT2I.....196

บทที่ 1

1.1 บทนำ

กระบวนการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ด้วยแรงดันออสโมติก(Osmotic dehydration) หรือกระบวนการออสโมซิสเป็นกระบวนการแปรรูปผลไม้สดอีกวิธีหนึ่งเพื่อทำให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานๆ จึงเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากถูกความร้อนน้อยมาก(Ponting et al.,1966; Contreras and Smyrl,1981) ทั้งยังเพิ่มการรักษาสารระเหย(กลิ่นรส)และรงควัตถุตามธรรมชาติไว้(Flink and Karel,1970) นอกจากนี้ ยังปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายไว้ได้(Ray,1960 ; Ponting,1973) และเพื่อให้เกิดความเข้าใจความหมายตรงกันทั้งหมดผู้วิจัยขอใช้คำว่า”กระบวนการออสโมซิส” แทนคำว่า “กระบวนการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ด้วยแรงดันออสโมติก”เนื่องจาก สั้น เข้าใจง่าย และสื่อความหมายเดียวกัน

กระบวนการออสโมซิส เป็นกระบวนการแพร่ของน้ำที่เกิดขึ้นในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกันผ่านเยื่อเลือกผ่าน ที่เรียกว่า “Semi-permeable membrane” ซึ่งคุณสมบัติของเยื่อเลือกผ่านนี้จะกั้นสารละลายที่เจือจาง(บริเวณที่มีค่า Water activity สูง)ออกจากสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า(บริเวณที่มีค่า Water activity ต่ำ) ที่ล้อมรอบอยู่ โดยจะเกิดกระบวนการถ่ายโอนมวลยอมให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่จากสารละลายที่เจือจางผ่านเยื่อเลือกผ่านไปสู่ออสโมติกที่เข้มข้นกว่า เป็นผลให้บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูงกว่ามีความดันสถิต(Hydrostatic pressure)ของน้ำสูงขึ้น และถ้าให้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่ามีความดันสถิต ในขณะที่เริ่มต้นกระบวนการเท่ากับความดันสถิตที่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการแพร่ของน้ำได้ เรียกความดันสถิตของน้ำนี้ว่า “ความดันออสโมติก”(Osmotic pressure)(Ray,1960; Ponting,1973; Raoult-Wack et al.,1989; Rodriguez-Arce and Vega-Mercado,1991; Cheryan,1992; Jayaraman and Das Gupta,1992)

สำหรับกระบวนการออสโมซิสที่เกิดขึ้นได้โดยนำขึ้นผลไม้ (ไม่จำเป็นจะต้องเป็นผลไม้ อย่างเดียวอาจเป็นอาหารชนิดอื่นได้ เช่น ผัก เนื้อ เป็นต้น แต่งานวิจัยนี้ทดลองกับขึ้นลับประดอ ใช้คำว่า”ผลไม้”) ไปแช่ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงกว่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายทั้งหมดที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อขึ้นผลไม้ ตัวถูกละลายที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมี 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาล(ซูโครส) เกลือ และกลีเซอรอล โดยชนิดของสารเหล่านี้มีคุณสมบัติใน

การขจัดน้ำได้ดี(Palmer,1970; Chandrasekaran and King,1972; Ponting,1973 ; Hawkes and Flink,1978 ; Moy, Lau, and Dollar, 1978 ; Lericci et al.,1985 ; Contreras and Smyrl,1981 ; Bolin et al.,1983;)

ในช่วงกระบวนการออสโมซิส จะเกิดกระบวนการไหลแบบสวนทางกันที่เกิดขึ้นพร้อมกันภายใต้ความแตกต่างทางศักย์ภาพเคมี(Chemical potential gradients)ที่มีอยู่ตรงรอยต่อระหว่างเนื้อเยื่อผลไม้กับสารละลายออสโมติก ผลก็คือ เกิดการแพร่ของน้ำจากภายในเนื้อเยื่อของขึ้นผลไม้มายังสารละลายออสโมติก ขณะเดียวกันตัวถูกละลายก็จะถูกถ่ายโอนจากสารละลายออสโมติกมาสู่เนื้อเยื่อผลไม้ และยังสามารถเกิดการถ่ายโอนสารต่างๆตามธรรมชาติ(เช่น กรดน้ำตาล แร่ธาตุ และวิตามิน)ภายในเนื้อเยื่อผลไม้มาที่สารละลายออสโมติกได้อีก ถึงแม้ว่าจะมีในปริมาณเล็กน้อย แต่ก็ถือว่ามีความจำเป็นต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติในเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ (Ponting et al.,1966 ; Ponting,1973; Raoult-Wack ,1994)

โมเลกุลของน้ำที่แพร่ออกมาจากเนื้อเยื่อผลไม้ นั้น ออกมาด้วยค่า Water activity ที่สูงกว่าจากภายในเซลล์ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านออกมายังบริเวณภายนอกเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะเกิดการแพร่ของน้ำจากบริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์มายังสารละลายออสโมติก ด้วยแรงดันออสโมติก เนื่องจาก ความแตกต่างของความเข้มข้น ขอบเขตของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้โดยอาศัยกระบวนการออสโมซิสถูกควบคุมโดยความแตกต่างของแรงดันออสโมติกของสารละลายภายนอกเนื้อเยื่อของผลไม้ ซึ่งถ้าแรงดันออสโมติกของสารละลายภายนอกเนื้อเยื่อมีมากกว่าภายในเนื้อเยื่อจะทำให้น้ำภายในเนื้อเยื่อผลไม้มีมากกว่าภายนอกเนื้อเยื่อ ส่งผลทำให้น้ำภายในเนื้อเยื่อของผลไม้เคลื่อนที่ออกมาภายนอกเนื้อเยื่อ จนกระทั่งเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำได้อีก(Ponting,1966;Karel,1975; Conway et al.,1983; Lericci et al.,1985; Beristain et al.,1990)

ผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีนี้ ได้กลายเป็นสินค้าส่งออกอีกประเภทหนึ่งที่มีผู้ทราในการขยายการผลิตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั่นก็คือ เมื่อปี พ.ศ. 2544 สับปะรดที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครสมีปริมาณการส่งออกประมาณ 13,819,113 กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าปีที่ผ่านมา(พ.ศ.2543)ประมาณ 19.41 เปอร์เซ็นต์ของการส่งออกทั้งหมด คิดเป็นมูลค่า 656,830,336

บาท จากการศึกษาที่ส่งไปจำหน่ายทั้งหมด 44 ประเทศทั่วโลก(ศุลกากร,กรม.2544) และ นุซจรินทร์ (2544) ได้รายงานการค้าผลไม้ทำแห้งด้วยวิธีนี้ในประเทศฮ่องกง พบว่า ความต้องการบริโภคผลไม้ทำแห้งมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นมาก โดยเฉพาะอัตราการเติบโตอยู่ที่ 3.6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพและให้คุณค่าเป็นยารักษาโรคกำลังจะกลายมาเป็นสิ่งสำคัญสำหรับชาวฮ่องกง เช่น ลูกพลัม บรเวทอาหารเจ็บคอ บางรายผสมผลไม้ทำแห้งลงไปนึ่ง เพราะเชื่อว่าจะช่วยบำรุงเลือด ทำให้ผลไม้ทำแห้งเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ผู้บริโภคนิยมรับประทานเป็นอาหารว่างเพื่อทดแทนการบริโภคขนมอบกรอบอื่น ๆ ที่มีปริมาณไขมันและโคเลสเตอรอลสูง แต่กลับสังเกต พบว่า แนวโน้มการบริโภคสับปะรดทำแห้งมีแนวโน้มคงที่ เพราะว่าความต้องการบริโภคไม่เปลี่ยนแปลงจากปีที่ผ่านมา เนื่องจาก นิยมบริโภคสดมากกว่า อาจเป็นไปได้ว่า รสชาติหวานมากเกินไป เพราะเนื้อเยื่อสับปะรดมีความพรุนสูง ทำให้โมเลกุลของน้ำตาลซูโครสแพร่เข้าไปได้มาก(Shi, Fito, and Chiralt, 1995)

นอกจากนี้ แผนพัฒนาระบบการผลิต การตลาด และการสร้างงานของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 ได้กำหนดให้ผลไม้ที่ทำแห้งด้วยวิธีนี้เป็นสินค้าประเภทหนึ่งที่มีลู่ทางขยายการผลิตและการตลาดอย่างครบวงจร เพื่อให้สามารถทดแทนสินค้าหลักดั้งเดิมที่ได้รับความกระทบกระเทือนจากการผันแปรของตลาดโลก นอกจากนั้นแล้ว การแปรรูปผลไม้สดเป็นผลไม้แปรรูปที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสยังช่วยให้ราคาผลไม้สดมีเสถียรภาพ และเป็นตลาดรองรับผลไม้สดส่วนเกินได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมแปรรูปในลักษณะผลไม้แห้งด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า ปัญหาหนึ่งในการพัฒนาอุตสาหกรรมผลไม้แห้งด้วยวิธีนี้ ก็คือ ปัญหาด้านเทคนิคการผลิต เพราะนอกจากจะต้องพยายามผลิตให้ได้ขนาด สี กลิ่น และรสชาติ ตามความต้องการแล้ว ยังต้องควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ด้วย(มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน, 2531) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตระหนักถึงความสำคัญในเรื่องดังกล่าว จึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้ทำแห้งขึ้น เมื่อประมาณต้นปี พ.ศ.2532 เพื่อเป็นการส่งเสริมการผลิตผลไม้ทำแห้งด้วยวิธีนี้ให้มีคุณภาพได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และปัญหาสุดท้าย ก็คือ การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีนี้มีปริมาณน้ำตาล(ซูโครส)ในผลิตภัณฑ์ค่อนข้างมาก ทำให้หวานมากเกินไป และ สมยศ จรรยา-วิลาส(2540) ยังได้ให้ข้อคิดเห็นว่า นอกจากผลิตภัณฑ์จะหวานมากเกินไปแล้วยังมีสีค่อนข้างคล้ำ เขียว ย่น ไม่เต่ง และเกิดผลึกสีขาวซูโครสรอบๆชิ้นผลไม้ อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการบางรายเชื่อว่าสามารถขยายตลาดเพิ่มขึ้นได้ถ้าหากมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตที่สามารถคงคุณภาพและ

รสชาติของความหวานของผลไม้แห้งวิธีนี้ไว้ได้ โดยทำผลิตภัณฑ์ไม่ให้หวานมากเกินไป ทั้งนี้ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลง(ส่งเสริมการส่งออก, กรม, 2540)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเอามอลโทเดกซ์ทรินผง(Maltodextrin powder)ที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรส(Dextrose equivalent : DE) เท่ากับ 28 ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวละลายที่มีคุณสมบัติในการขจัดน้ำ, ป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล, ช่วยควบคุมการเกิดผลึกของน้ำตาลซูโครส, มีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ดี เป็นต้น มาใช้ร่วมกับน้ำตาลซูโครสในการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดด้วยวิธีออสโมซิส ขณะเดียวกันคาดว่าจะทำให้ได้สับประรดที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสไม่หวานมากเกินไป เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสหวาน หรือหวานได้เล็กน้อย(ในกรณีค่าสมมูลเดกซ์โทรสมากกว่า 20) จัดเป็นสารที่ไม่มีอันตรายแก่ร่างกาย นอกจากนี้ มอลโทเดกซ์ทรินยังมีคุณสมบัติในด้านอื่นๆอีกมากมายที่จะทำให้ได้สับประรดหรือผลไม้ชนิดอื่นๆที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสมีคุณภาพตรงความต้องการของผู้บริโภค และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของสับประรดสด นอกจากจะจำหน่ายในรูปผลไม้สดหรืออื่นๆ จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับประเทศอื่นที่ไม่มีผลไม้สดสมบูรณ์(มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม,สำนักงาน,2531; Knight,1969; Murray and Luft, 1973; Hawkes and Flink, 1978; Pancoast and Junk, 1980; Macrae, Robinson, and Sadler, 1993)

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

- 1.2.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส ที่มีต่ออัตราการถ่ายโอนมวล(มอลโทเดกซ์ทริน ซูโครส และน้ำ) ในเนื้อเยื่อสับประรดและสารละลายออสโมติกด้วยวิธีกระบวนการออสโมซิส
- 1.2.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส(ที่คัดเลือกแล้ว)และเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีต่อการเคลื่อนย้ายของความชื้นหรือน้ำและประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับประรดแห้งในด้านการวัดสีและวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือเฉพาะ

- 1.2.3 ศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการออกซิเมซิสและสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับอิทธิพลของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส กับเวลาของการออกซิเมซิสที่มีผลการเคลื่อนย้ายของน้ำและของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดด้วยวิธีออกซิเมซิส
- 1.3.2 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับอิทธิพลของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส กับเวลาการอบแห้งที่มีต่อการเคลื่อนย้ายของความชื้นและประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่ผลิตได้ในด้านการวัดสีและวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือเฉพาะ
- 1.3.3 ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งและผลไม้อื่นๆให้ เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้งต่อไป

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสับปะรด

สับปะรดเป็นผลไม้ชนิดหนึ่ง บางครั้งเรียกว่า “ราชาแห่งผลไม้”(King of fruit)มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus* ตระกูล “Bromeliaceae” มีถิ่นกำเนิดเริ่มต้นที่ทวีปอเมริกาใต้ (ประเทศบราซิล และปารากวัย)(Dull, 1971)

สับปะรดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกไม้เนื้ออ่อน ที่มีอายุหลายปี สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆได้ดี ชอบอากาศร้อนชื้นขึ้น ปลูกได้ง่ายในดินแทบทุกแห่งในประเทศไทย ซึ่งดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกสับปะรด คือ ดินที่ระบายน้ำดี เช่น ดินร่วนปนทราย ดินปนลูกรัง ดินทรายทะเล และชอบที่ลาดเท สภาพความเป็นกรด-ด่าง ควรเป็นกรดเล็กน้อย คือ ตั้งแต่ 4.5 – 5.5 แต่ไม่เกิน 6.0 มีช่อดอกที่ส่วนยอดของลำต้น ซึ่งเมื่อเจริญเติบโตเป็นผลแล้วจะเจริญต่อไป โดยตาที่ลำต้นจะเจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ได้อีก(เกตุอร ทองเครือ, 2536) นอกจากนี้ สามารถปลูกครั้งเดียวเก็บผลได้ถึง 3 ปี ระยะเวลาปลูก 10 เดือน จึงจะออกผล(ส่งเสริมการเกษตร, กรม, 2520)

แหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญของไทยอยู่ในบริเวณพื้นที่อยู่ใกล้ทะเล ได้แก่ จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ชลบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา จันทบุรี ตราด และจังหวัดต่างๆในภาคใต้ เช่น ภูเก็ต พังงา ชุมพร ซึ่งนิยมปลูกในสวนยาง ปัจจุบัน มีการปลูกสับปะรดในจังหวัดต่างๆในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณริมแม่น้ำโขง และอีกหลายจังหวัดในภาคเหนือ

พันธุ์ที่นิยมปลูกมากในประเทศไทย แบ่งออกได้ 5 พันธุ์ โดยถือตามลักษณะของต้นที่ได้ ขนาดโตเต็มที่ และแข็งแรงสมบูรณ์เป็นบรรทัดฐาน (ส่งเสริมการเกษตร, กรม, 2520 ; เกตุอร ทองเครือ, 2536) ดังนี้ คือ

1. พันธุ์ปัตตาเวีย หรือ Smooth Cayenne(ชื่อเรียกกันในเกาะฮาวาย) พันธุ์นี้รู้จักแพร่หลายในนามสับปะรดพันธุ์ศรีราชา และชื่ออื่นๆ เช่น ปราณบุรี สามร้อยยอด ปลูกกันมากเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร แหล่งปลูกที่สำคัญ คือ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชลบุรี เพชรบุรี

ลำปาง และการเพาะปลูกกันทั่วไปเพื่อขายผลสด เพราะมีรสชาติหวานฉ่ำ มีน้ำมาก น้ำหนักผล อยู่ระหว่าง 2 – 6 กิโลกรัม แต่น้ำหนักโดยเฉลี่ยจะเท่ากับ 2.5 กิโลกรัม เปลือกผลเมื่อดิบสีเขียว คัด้า เมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มทางด้านล่างของผลประมาณครึ่งผล ก้านผลสั้นมีแกน ใหญ่เนื้อเหลืองอ่อน แต่จะเปลี่ยนเป็นสีเข้มในฤดูร้อน รสชาติดี

2. **พันธุ์อินทรีหรือ พันธุ์เทพรส** เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่เก่าแก่ที่สุดในประเทศไทย ปลูกกัน กระจุกกระจายทั่วไป แหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทรา ผลมีขนาดเล็กกว่าพันธุ์ บัตตาเวีย น้ำหนักเฉลี่ย 1 กิโลกรัม รสชาติหวานอ่อนถึงจัด มีตะเกียงติดอยู่ที่ก้านผล เปลือกผล เหนียวแน่น ทนทานต่อการขนส่ง ผิวเปลือกมีสีแดงคล้ำ เนื้อสีทองหรือเหลืองจัด เหมาะสำหรับ บริโภคสด

3. **พันธุ์ขาว** เป็นพันธุ์พื้นเมือง เกษตรกรนิยมปลูกพันธุ์นี้ร่วมกับพันธุ์อินทรี เข้าใจว่าจะ กลายพันธุ์มาจากพันธุ์อินทรี แหล่งปลูกที่สำคัญ คือ จังหวัดฉะเชิงเทรา เนื้อผลสีเหลืองทอง รสชาติหวานอ่อน ผลมักมีหลายจุด คุณภาพของเนื้อไม่ค่อยดีนัก ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนัก เฉลี่ย 0.85 กิโลกรัม มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีตาเล็กทำให้ผลพาม่งง่าย

4. **พันธุ์ภูเก็ท หรือ พันธุ์สวี** ปลูกกันมากในสวนยางจังหวัดภูเก็ต ชุมพร นครศรีธรรมราช และตรัง โดยปลูกมากระหว่างแถวยางรุ่นที่ยังมีอายุน้อยเพื่อเก็บผลขายก่อนกรีดยาง ผลมีขนาด เล็กกว่าทุกพันธุ์ที่กล่าวมา ตาเล็ก เปลือกหนา รสชาติหวานกรอบสีเหลืองเข้ม เยื่อใยน้อย มีกลิ่น หอม เหมาะสำหรับบริโภคสด เป็นที่นิยมในภาคใต้

5. **พันธุ์นางแล หรือ พันธุ์น้ำผึ้ง** ปลูกมากในจังหวัดเชียงราย คล้ายคลึงกับพันธุ์บัตตาเวีย แต่มีรูปร่างของผลทรงกลม ตาหนา เปลือกบาง และรสชาติหวานจัดกว่าพันธุ์บัตตาเวียหรือพันธุ์ศรี- ราชฯ ผลแก่มีเนื้อในสีเหลืองเข้ม มีเยื่อใยน้อยเหมาะสำหรับบริโภคสด เป็นที่นิยมมากในภาคเหนือ ผลมีเปลือกบางมากจึงไม่เหมาะในการขนส่งทางไกล

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดสด

Dull (1971) ได้แบ่งแยกองค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดสด ได้เป็น องค์ประกอบทั่วไป, คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, โปรตีน, สารประกอบอนินทรีย์, และอื่นๆ เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้ผู้เขียน ต้องการนำเสนอในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมากที่สุด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่กระชับและสำคัญต่อ งานวิจัย จึงขอนำเสนอในส่วนองค์ประกอบทั่วไป และคาร์โบไฮเดรต ดังต่อไปนี้

2.2.1 **องค์ประกอบทั่วไป** เป็นองค์ประกอบทั่วไปจากการวิเคราะห์ทางเคมีในสับปะรดสด ที่แก่เต็มที่ในส่วนที่กินได้ ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทั่วไปของสับปะรดสดที่แก่เต็มที่ในส่วนที่กินได้

องค์ประกอบ	ร้อยละ(โดยน้ำหนักสด)
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	10.8 – 17.5
ความเป็นกรดในรูปกรดซิตริก	0.60 – 1.62
เถ้า	0.30 – 0.42
น้ำ	81.2 – 86.2
เส้นใย	0.30 – 0.61
ไนโตรเจน	0.045 – 0.115
อีเทอร์	0.2
เอสเทอร์(p.p.m.)	1 – 250
รงควัตถุ(ในรูปแคโรทีน)	0.2 – 2.5

ที่มา : Dull (1971)

2.2.2 **คาร์โบไฮเดรต** ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในผลไม้จะเปลี่ยนไปตาม Metabolic activity เมื่อผลไม้แก่หรือสุก ปริมาณแป้งจะลดลง เพราะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล รสชาติหวานของผลไม้เกิด จากกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ซึ่งจะหวานมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของน้ำตาล แต่ละชนิด อีกส่วนหนึ่งของคาร์โบไฮเดรต คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารพวกเพคตินที่มีอยู่

ตามผนังเซลล์ ซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยได้ จึงไม่มีความสำคัญในแง่ที่ให้คุณค่าทางอาหาร แต่มีประโยชน์ต่อการขั้บถ่ายและสำคัญต่อลักษณะเนื้อของผลไม้ สำหรับคาร์โบไฮเดรต ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประเภทและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสับปะรดสดที่แก่เต็มที่ในส่วนที่กินได้

ประเภทคาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ(โดยน้ำหนักสด)
กลูโคส(Glucose)	1.0 – 3.2
ฟรุคโตส(Fructose)	0.6 – 2.3
ซูโครส(Sucrose)	5.9 – 12.0
สตาร์ช(Starch)	< 0.002
เซลลูโลส(Cellulose)	0.43 – 0.54
เฮกโซแซน(Hexosans)	0.10 – 0.15
เพนโตแซน(Pentosans)	0.33 – 0.43
เพคติน(Pectin)	0.06 – 0.16

ที่มา : Dull (1971)

2.3 โครงสร้างของระบบเนื้อเยื่อผลิตผลพืช

โครงสร้างของระบบเนื้อเยื่อผลิตผลพืช เริ่มต้นจากเซลล์ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของโครงสร้างพืช ถ้ามีหลายเซลล์กำเนิดมาจากแหล่งเดียวกัน ทำหน้าที่อย่างเดียวกันและรวมตัวกัน ก็สามารถจัดเป็นเนื้อเยื่อขึ้น ระบบของเนื้อเยื่ออาจแบ่งได้เป็น 4 ระบบ ดังนี้

2.3.1 เนื้อเยื่อพื้นผิว (Dermal tissue) หรือ เนื้อเยื่อป้องกัน(Protective tissue)

เนื้อเยื่อนี้ทำหน้าที่ ปกคลุมและป้องกันผิวจากส่วนต่างๆของพืช ระบบเนื้อเยื่อนี้ประกอบด้วยชั้นของอีพิเดอร์มิส(Epidermis layer), เพอริเดิร์ม(Periderm), คิวติเคิล(Cuticle),

ปากใบ(Stomata), ไตรโคมส์(Trichomes) และเลนติเซล(Lenticel) เป็นต้น อีพิเดอร์มิสและเพอริเดิร์ม เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นนอกสุด มีหน้าที่สำคัญในการปกป้องเนื้อเยื่อภายในจากการสูญเสียน้ำจากการสัมผัสกับเชื้อโรคและศัตรูพืชต่างๆที่อยู่ในอากาศ การซึมผ่านของสารเคมีเข้าต้นพืช ความต้านทานต่อความเครียดอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ ความต้านทานต่อการเกิดบาดแผล การควบคุมการแลกเปลี่ยนแก๊ส การระเหยของสารที่ให้ออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัส และการสูญเสียกลินรัส เป็นต้น แต่ในขณะเดียวกัน ก็ต้องยอมให้มีการถ่ายเทอากาศได้พอเพียงกับความ ต้องการออกซิเจนสำหรับการหายใจ และคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการสังเคราะห์แสง จะเห็นได้ว่า ผลิตผลบางชนิดมีชั้นของอีพิเดอร์มิสค่อนข้างแข็งแรง มีคิวติเคิลปกคลุมอยู่หนา มีปากใบน้อย เช่น ในมะเขือเทศ ทำให้มีการสูญเสียน้ำค่อนข้างน้อย ทนทานต่อการเกิดบาดแผล เก็บไว้ได้นาน(Baker, 1975 ; Sterling, 1975 ; Burton, 1982)

2.3.2 เนื้อเยื่อท่อน้ำท่ออาหาร(Vascular tissue)

เนื้อเยื่อท่อน้ำท่ออาหารประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ประเภท คือ ไซเลม(Xylem) ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำ และเกลือแร่จากรากสู่ส่วนอื่นๆของพืช และโฟลเอ็ม(Phloem) ทำหน้าที่ในการลำเลียงอาหารอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจากใบสู่ส่วนอื่นๆ โดยปกติเนื้อเยื่อท่อน้ำท่ออาหารนี้ไม่ค่อยเกี่ยวข้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว(Pantastico, 1975 ; Burton, 1982) ลักษณะของเซลล์ในระบบเนื้อเยื่อแบบนี้ มีลักษณะเป็นท่อยาว ซึ่งมีผนังเซลล์เป็นสารพวกเซลลูโลส และลิกนิน(Lignin) ทำให้เกิดลักษณะเป็นเยื่อใยที่ทำให้อาหารมีความเหนียวและแน่น(Stringiness) เนื้อเยื่อระบบนี้เป็นระบบต่อเนื่องผ่านไปในทุกส่วนของต้นพืช รวมทั้งเป็นโครงสร้างของพืชด้วย(Mohsenin, 1970 ; Sterling, 1975)

2.3.3 เนื้อเยื่อพื้นฐาน(Ground tissue)

เนื้อเยื่อนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อประเภทพาราเอนไคมา(Parenchyma) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บางรูปทรงหลายด้าน(Polyhedral) มีช่องว่างระหว่างเซลล์มาก(ในผลไม้จะมีประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในใบมีมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์) เป็นแหล่งสะสมอาหารของผลิตผลและเป็นส่วนที่มนุษย์รับประทานเป็นส่วนใหญ่ แต่เซลล์พาราเอนไคมาก็อาจพัฒนาไปมีลักษณะพิเศษอื่นๆได้

เช่น ต่อมไขมันในเปลือกส้ม นอกจากนั้นยังเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง การสमानแผล และการเกิดหน่อหรือรากใหม่ด้วย

2.3.4 เนื้อเยื่อพอง(Supporting tissue)

ประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชนิด ได้แก่ คอลเลนโคมา(Collenchyma) และสเคลอเรนโคมา (Sclerenchyma) ซึ่งทำหน้าที่ที่ช่วยให้พืชคงรูปร่างอยู่ได้ ดังนี้

2.3.4.1 **คอลเลนโคมา** เป็นเซลล์ที่มีความสัมพันธ์กับเซลล์พARENโคมา มาก บางครั้งก็ถูกจัดว่าพัฒนามาจากเซลล์พARENโคมา มีลักษณะพิเศษคือ เป็นเซลล์ที่ยืดยาวออก มีผนังเซลล์หนาไม่เท่ากัน มักจะหนาในบริเวณมุมของเซลล์ มักเกิดขึ้นเป็นกลุ่มๆบริเวณผิวของลำต้นหรือ ก้านใบ ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับส่วนต่างๆของพืชนั้นๆ ได้แก่ เลี่ยนในก้านใบของขึ้นฉ่ายฝรั่ง (Celery) เป็นต้น แต่เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการของผู้บริโภค

2.3.4.2 **สเคลอเรนโคมา** เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์หนา และมักเป็นเซลล์ที่ตาย แล้วเมื่อโตเต็มที่ มีอยู่สองรูปแบบ คือ สเคลอริด(Sclereid) และไฟเบอร์สเคลอริด(Fiber sclereid) มีรูปร่างต่างกันทั้งที่เป็น Polyhedral หรือเป็นเส้นยาว และบางทีก็แตกกิ่งก้านสาขาด้วย สเคลอเรนโคมาจะทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ส่วนของพืช อาจเกิดรวมเป็นกลุ่มหรือกระจายอยู่กับเซลล์ชนิดอื่น เช่น ไฟเบอร์ที่พบเป็นเส้นในถั่วลิ้นเต่า ส่วนสเคลอริดนั้นจะพบได้ในเนื้อเยื่อของผลไม้หลายชนิด เช่น ฝรั่ง สับปะรด สาลี่ ละมุด เป็นต้น ซึ่งทำให้ผลไม้ดังกล่าวมีลักษณะเป็นเนื้อทราย หรือพบได้ที่เปลือกของผลมังคุดและมะตูม ซึ่งทำให้ผิวของผลไม้ทั้งสองชนิดนี้ค่อนข้างแข็ง

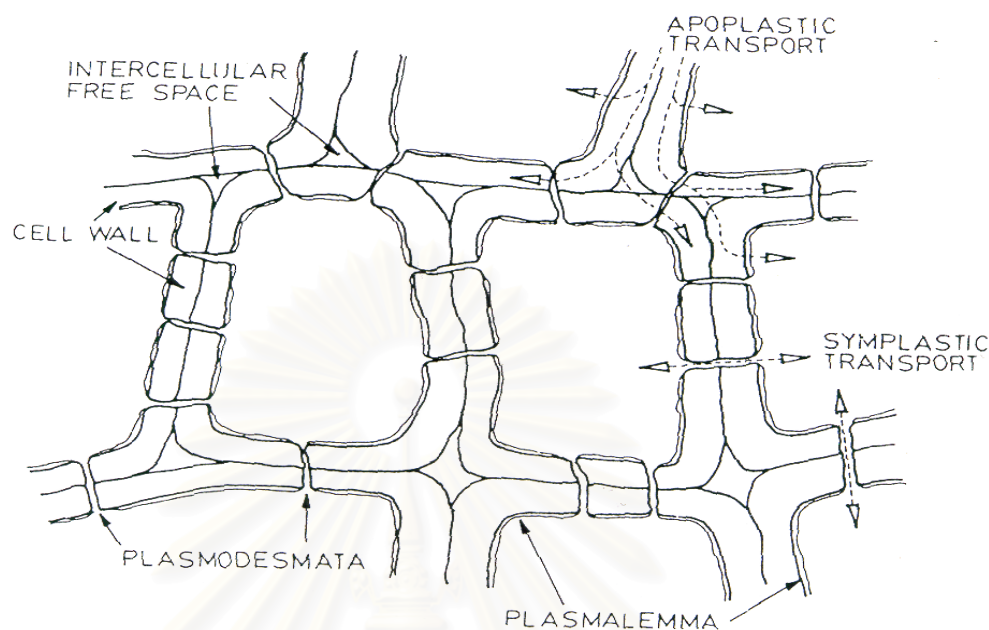
เซลล์เหล่านี้เป็นเซลล์ที่มีชีวิตจึงมีความสามารถในการเติบโตและแบ่งเซลล์ และยังเป็นเซลล์ที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานส่วนใหญ่ในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการรับประทานของผักผลไม้

การจัดเรียงตัวของพARENโคมา มักจะมีการจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์(Intercellular spaces) หรือ รู(Pores) ที่บริเวณนี้มักจะมีน้ำและอากาศบรรจุอยู่ในเนื้อเยื่อแอบเปิดบริเวณนี้มีปริมาตรถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมดของเนื้อเยื่อ สารที่

เชื่อมประสานระหว่างเซลล์(Cementing agent)อาจจะเป็นสารประกอบเพกติน ลิกนิน หรือองค์ประกอบอื่นๆที่อยู่บริเวณมิดเดิลลามลลา(Middle lamella)ของเซลล์ในผลไม้ สารเชื่อมประสานที่มีบทบาทมากที่สุด คือ สารประกอบเพกติน เป็นสารพอลิเมอร์สายตรงในขณะที่ผลไม้ยังไม่สุก สารประกอบเพกตินจะอยู่ในรูปของโปรโตเพกติน(Protopectin) จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบเพกตินที่สามารถละลายน้ำได้ การเปลี่ยนแปลงนี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น (Mohsenin, 1970 ; Forni et al., 1986)

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพกตินนี้ มักจะเกิดขึ้นที่มิดเดิลลามลลา ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเซลล์ที่ผนังเซลล์ จึงทำให้ผลไม้ที่แก่จัดนั้นมีความหนาแน่นของโครงสร้างเนื้อเยื่อลดลง ลักษณะปรากฏจึงนิ่มและเมื่อแก่จัดเกินไป(Mohsenin, 1970)

เมื่อนำขึ้นผลไม้ไปแช่ในสารละลายออสโมติกจะเกิดการแพร่ของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำสูง(ค่า Water activity สูง)ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำน้อยกว่า(Water activityต่ำ) และการแพร่ของสารละลายออสโมติกก็เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน ส่วนใหญ่แล้วการแปรรูปผลไม้ด้วยกระบวนการออสโมซิส มักจะให้สารละลายออสโมติกภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นของสารละลายภายในขึ้นผลไม้ และโมเลกุลของสารละลายออสโมติกก็เกิดการเคลื่อนที่จากสารละลายเข้าไปยังขึ้นผลไม้ (Moy et al., 1978 ; Gianggiacomo, Torregiani, and Abbo, 1987 ; Torregiani, 1993) เพราะว่า เนื้อเยื่อผลไม้นั้นส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์พาราไคมา(รูปที่1) การเคลื่อนที่ของน้ำและตัวถูกละลาย(สารละลายออสโมติก) สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ได้ดีกว่าเนื้อเยื่อที่มีเซลล์สเคลอเรนไคมา และคอลเลินไคมาอยู่เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจาก มีช่องว่างระหว่างเซลล์มากกว่า นอกจากนี้ เนื้อเยื่อที่มีเซลล์ส่วนใหญ่เป็นเซลล์พาราไคมาจะทำให้ตัวถูกละลายเคลื่อนที่เข้าไปในเนื้อเยื่อได้มากขึ้น เมื่อผลไม้นั้นมีความสุกมากขึ้น เพราะว่า มีความหนาแน่นของโครงสร้างเนื้อเยื่อลดลง ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์เพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้างเช่นนี้จะทำให้การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้(Conway et al., 1983 ; Magee, Hassaballah, and Murphy, 1983)



รูปที่ 1 วิธีของการถ่ายโอนมวลในเนื้อเยื่อสะสมหรือเนื้อเยื่อพุงของพืช

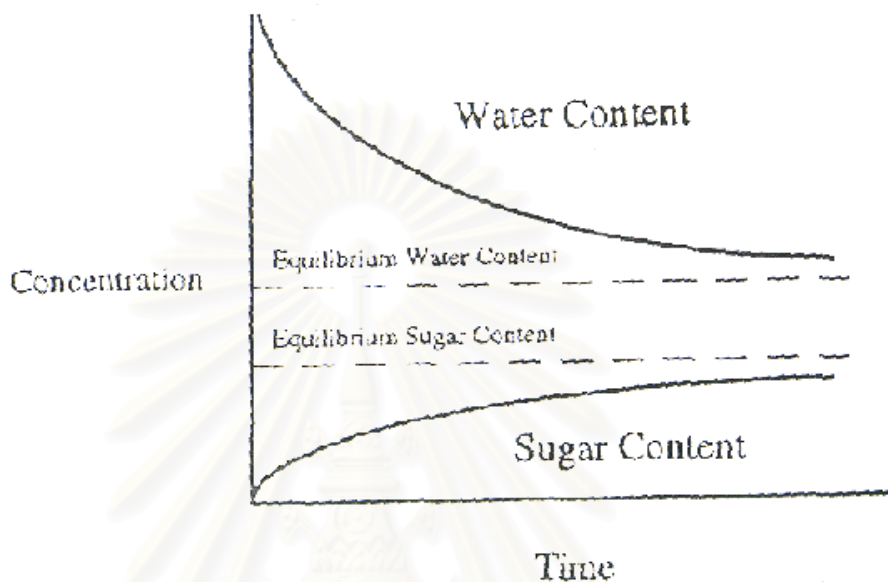
ที่มา : Toupin, Marcotte, และ LeMaguer (1989)

2.4 ความก้าวหน้าทางด้านกระบวนการออสโมซิส

กระบวนการออสโมซิส หมายถึง กระบวนการขจัดน้ำบางส่วน(Partial water removal) ออกจากเซลล์หรือเนื้อเยื่อของอาหาร เช่น ผักผลไม้ เป็นต้น โดยอาศัยหลักการการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากสารละลายที่เจือจางไปยังสารละลายที่เข้มข้นกว่า ผ่านเยื่อเลือกผ่าน ที่เรียกว่า "Semi-permeable membrane" จนกระทั่งเข้าสู่จุดสมภาวะสมดุล(Ray, 1966) ดัง **รูปที่ 2**

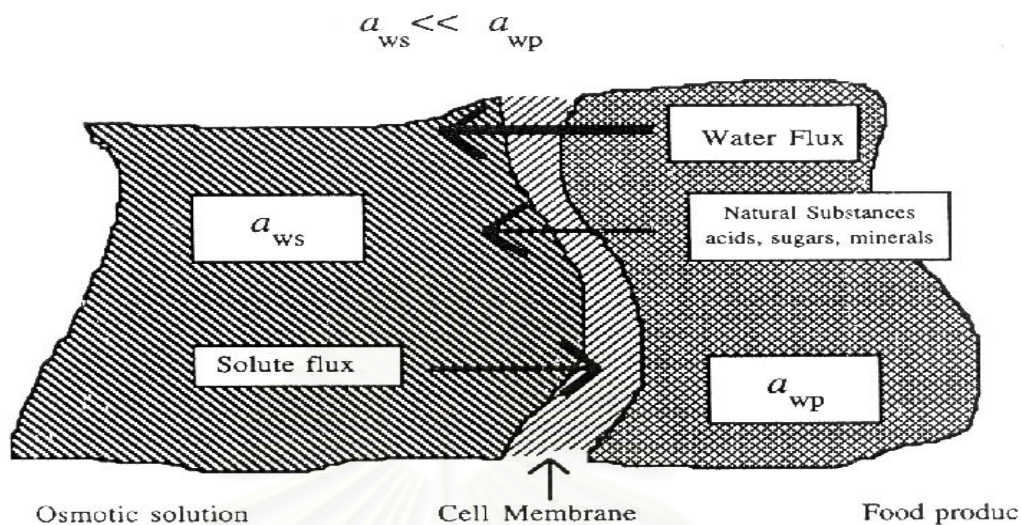
Semi - permeable membrane จะกั้นอยู่ระหว่างสารละลายที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากัน ซึ่งตามปกติแล้วน้ำในสารละลายเจือจาง และตัวถูกละลายในสารละลายเข้มข้นจะมีพลังงานอิสระสูงกว่าน้ำในสารละลายเข้มข้นและตัวถูกละลายในสารละลายเจือจาง น้ำหรือตัวทำละลายที่พลังงานอิสระสูง จะพยายามเปลี่ยนไปเป็นสภาพที่มีพลังงานต่ำกว่า เพื่อที่จะกำจัดพลังงานอิสระทั้งหมดในกระบวนการนี้ ดังนั้นในความเป็นจริง กระบวนการออสโมซิสเป็นกระบวนการที่มีการแพร่กระจาย(Diffusion)ของน้ำในวัตถุคิบ(ที่มีค่า Water activity สูง : a_{wp})และตัวถูกละลาย(ที่มีค่า

Water activity ต่ำ : a_{ws}) ในเวลาเดียวกัน (Hawkes and Flink, 1978 ; Islam and Flink, 1982) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การเข้าสู่ภาวะสมดุลของน้ำและของของแข็งในช่วงกระบวนการออสโมซิส
ที่มา : Toupin, Marcotte, and LeMaguer (1989)

ในช่วงกระบวนการออสโมซิสจะมีแรงดัน ซึ่งเรียกว่า “แรงดันออสโมติก” (Osmotic pressure) เป็นแรงดันจำนวนหนึ่ง ซึ่งเกิดในสารละลายด้านที่มีความเข้มข้นสูงจนถึงจุดสมดุลจะสามารถที่จะหยุดการไหลของน้ำได้พอดี แรงดันออสโมติกจะมีค่าแตกต่างกัน เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิแตกต่างกันไป เมื่อใดที่แรงดันออสโมติกของสารละลายออสโมติกเข้มข้นมากกว่าแรงดันออสโมติก โมเลกุลของน้ำก็จะไหลกลับไปในทิศทางตรงกันข้าม เรียกว่า “Reverse osmosis”



a_{ws} คือ ค่า Water activity ของสารละลายออสโมติก

a_{wp} คือ ค่า Water activity ของตัวอย่างวัตถุดิบ

รูปที่ 3 การถ่ายโอนมวลในช่วงกระบวนการออสโมซิส

ที่มา : ดัดแปลงจาก Raoult-Wack และคณะ (1989)

อาหารที่นำมาทำแห้งแบบออสโมซิสนี้ส่วนใหญ่จะเป็นประเภทที่เสื่อมเสียได้ง่าย เช่น ผักผลไม้ ที่มีน้ำอยู่ภายในค่อนข้างสูงและมีสารพวกน้ำตาล แป้ง และสารอื่นๆรวมอยู่ในสภาพของสารละลายเจือจาง โดยที่เปลือกหรือผิวนอกจะทำหน้าที่เป็น Semi-permeable membrane ที่มีประสิทธิภาพ โดยให้ชั้นของผักผลไม้อยู่ในสภาวะที่ความเข้มข้นภายนอกมากกว่าภายใน โมเลกุลของน้ำก็จะไหลออกมานอกชั้นผักผลไม้ ทำให้ความชื้นภายในเนื้อเยื่อผักผลไม้ลดลงไปได้ถึงร้อยละ 50 ถึง 60 ของน้ำหนักเริ่มต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นภายนอก(วันวิสาข์ กระแสร์คุปต์, 2535)

2.5 ระบบของกระบวนการออสโมซิส(อ้างถึงใน วันวิสาข์ กระแสร์คุปต์)

ระบบของกระบวนการออสโมซิส แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ระบบแห้ง และ ระบบสารละลาย

2.5.1 กระบวนการออสโมซิสโดยระบบแห้ง

กระบวนการออสโมซิสโดยระบบแห้ง หมายถึง การขจัดความชื้นในเนื้อเยื่อผลไม้โดยการออสโมซิสใน “Osmotic medium” ที่แห้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการใช้น้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทรายโดยตรง โดยการโรยน้ำตาลทรายสลับกันเป็นชั้นๆกับชั้นผลไม้ ตัวอย่างเช่น โรยน้ำตาลทรายสลับกับชั้นผลไม้แต่ละชั้นหนาประมาณ 1 นิ้ว ใช้อัตราส่วนผลไม้ ต่อน้ำตาลซูโครส ประมาณ 1 ต่อ 1 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 48 ถึง 50 องศาเซลเซียส หรือที่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง น้ำหนักผลไม้จะลดลงประมาณร้อยละ 50 Osmotic medium ที่แห้งนี้จะละลายกับน้ำที่ถูกขับออกมาจากเนื้อเยื่อผลไม้(Exosmosis) วิธีการออสโมซิสแบบระบบแห้งจะมีอัตราการออสโมซิสช้ากว่าระบบสารละลาย และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะไม่ดี เพราะถูกผลึกของ Osmotic medium กัดทำให้ซ้าที่ผิวไม่รับประทาน จึงมักไม่ค่อยนิยมกัน กระบวนการออสโมซิสวิธีนี้มีวิธีการทำที่แตกต่างกันออกไปอีกหลายวิธี เช่น Static treatment, Tumbling and Mixing , Fluidized bed เป็นต้น

2.5.1.1 Static treatment เป็นวิธีที่ไม่อาศัยการกวนใดๆช่วยผลไม้ และ Osmotic medium จะอยู่กับที่ตลอดเวลาโดยไม่มีการเคลื่อนย้ายขึ้นผลไม้แต่อย่างใด ขึ้นผลไม้จึงมีการแตกซ้าน้อยกว่าวิธีอื่น แต่ผิวของขึ้นผลไม้โดยเฉพาะที่มีผิวอ่อนนุ่ม เช่น กัลวีย ก็เสียหายไปบ้าง หลังจากออสโมซิสเกิดขึ้นจนได้น้ำหนักลดลงประมาณร้อยละ 50 แล้วแยกชั้นผลไม้จากจาก Osmotic medium ซึ่งได้กลายเป็นสารละลายไปแล้ว จากนั้นอาจนำไปล้าง Osmotic medium ที่เคลือบผิวออกโดยจุ่มในน้ำหรือจะไม่ล้างก็ได้ แล้วนำไปทำแห้งด้วยวิธีอื่นต่อไป

2.5.1.2 Tumbling and Mixing เป็นกระบวนการซึ่งอาศัยการกวนหรือการคลุกเคล้าผลไม้กับ Osmotic medium ในระหว่างกระบวนการออสโมซิส อัตราของการขจัดน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการกวนหรือทำให้ขึ้นผลไม้เคลื่อนไหวใน Osmotic medium เมื่อขึ้นผลไม้ยู่นิ่งกับที่ในขณะการออสโมซิส บริเวณรอบๆขึ้นผลไม้จะมีความเข้มข้นของ Osmotic medium ลดลงเนื่อง-จากปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อผลไม้ไหลออกมาภายนอก ทำให้อัตราการขจัดน้ำช้าลง ดังนั้นการกวนหรือการเคลื่อนไหวขึ้นผลไม้จึงเป็นการกระจายความเข้มข้นภายนอกขึ้นผลไม้ ช่วยให้การถ่ายโอนมวลเร็วขึ้น การกวนจำเป็นต้องทำอย่างเบาๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ขึ้นผลไม้แตก วิธีนี้มี

ประโยชน์มากในการขจัดความชื้นออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ที่ต้องการใช้เวลานสั้นๆ และดำเนินการที่
อุณหภูมิสูง

2.5.1.3 **Fluidized bed** เป็นกระบวนการออสโมติกที่ใช้อากาศร้อนใน Fluidized bed ของ Osmotic medium อย่างเดียว หรือ Osmotic medium ผสมกับสารอื่น เช่น แป้ง ซึ่งจะเป็นตัวช่วยชะลออัตราของการขจัดน้ำลง วิธีนี้ยังไม่มีแพร่หลายนัก แต่มีผลดีคือ เร็ว และสามารถทำได้ต่อเนื่องกันไป Ponting และคณะ(1966) รายงานว่า ข้อเสียที่เป็นปัญหาใหญ่ คือ การจับตัวเป็นก้อนแข็งของ Osmotic medium รอบๆ ขึ้นผลไม้ ปัญหานี้แก้ไขได้โดยใช้ ส่วนผสมของ Osmotic medium เหมาะสม โดยทำให้ Fluidized bed มีแรงดันออสโมติกต่ำ ซึ่งทำได้โดยการเติมแป้งลงไป ทั้งนี้เพราะการเกาะตัวของ Osmotic medium จะเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อน้ำถูกขับออกจากเนื้อเยื่อผลไม้อย่างรวดเร็วในตอนแรก จะทำให้โมเลกุลของ Osmotic medium บริเวณผิวนอกของขึ้นผลไม้เมื่อเติมแป้งผสมลงไป ใน Osmotic medium และให้ความร้อนจาก Air dryer จึงทำให้แป้งที่ได้รับความร้อนเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นเจลและมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะหน่วงเหนี่ยวและสกัดกั้นโมเลกุลของ Osmotic medium ให้เคลื่อนที่เข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ได้ช้าลง ทำให้อัตราของการถ่ายโอนมวลช้าลงด้วย

2.5.2 กระบวนการออสโมติกโดยระบบสารละลาย

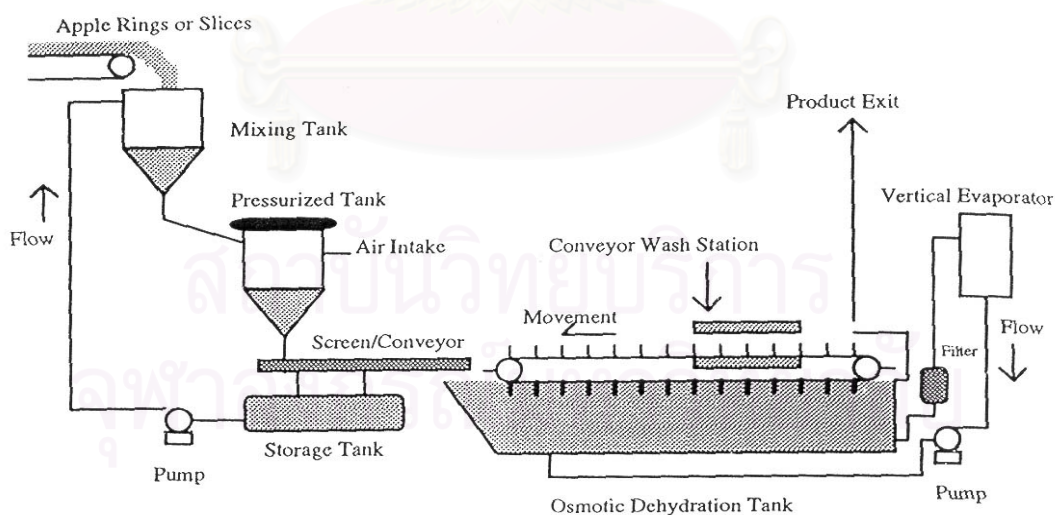
การใช้สารละลายเป็นสารละลายออสโมติก เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ระบบแห้ง และสะดวกในการที่จะนำสารละลายกลับมาใช้อีก สารละลายที่นิยมใช้มีความเข้มข้นประมาณ 68 ถึง 75 องศาบริกซ์ ถ้ามีความเข้มข้นสูงกว่า 67 องศาบริกซ์ ซึ่งเป็นจุดอิ่มตัวของน้ำตาลซูโครสแล้วควรใช้น้ำตาลอินเวิร์ท(Invert sugar) ด้วย เพราะจะช่วยทำให้น้ำตาลซูโครสละลายได้มากขึ้น วิธีการละลายโดยระบบสารละลายนี้มีหลายวิธีการซึ่งแตกต่างกันไป เช่น Static method, Mechanical-agitated method และ Reconcentration of syrup

2.5.2.1 **Static method** เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด ขึ้นผลไม้จะแช่อยู่ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงระยะเวลาสั้น หรือความเข้มข้นต่ำระยะเวลาสั้น อาจเก็บที่อุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือเก็บที่อุณหภูมิต่ำก็ได้จนกว่าน้ำหนักของขึ้น

ผลไม้จะลดลงไปประมาณร้อยละ 50 แล้วนำขึ้นมาล้าง หรือไม่ล้างก็ได้ก่อนนำไปตากแห้งด้วยวิธีอื่นต่อไป

2.5.2.2 Mechanical-agitated method ทำเช่นเดียวกับการใช้ระบบแห้งเมื่อมีการหมุนเวียนของชิ้นผลไม้และสารละลายออสโมติก จะทำให้อัตราของการถ่ายโอนมวลเร็วขึ้นกว่าไม่มีการหมุนเวียน และในการใช้สารละลายนี้จะช่วยให้สะดวกในการปฏิบัติโดยชิ้นผลไม้ไม่บอบช้ำมาก แต่ก็ควรทำอย่างช้าๆและเบาๆเพื่อป้องกันชิ้นผลไม้ถูกทำลาย วิธีที่สะดวก คือ ใช้การปั๊มสารละลายออสโมติกให้หมุนเวียนอยู่ภายในภาชนะ

2.5.2.3 Reconcentration วิธีนี้เป็นกระบวนการออสโมซิสโดยที่รักษาความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกให้คงที่อยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ให้อัตราของการถ่ายโอนมวลดีขึ้นหรือเท่าเดิม โดยการปั๊มสารละลายในขณะออสโมซิสเข้าไปในเครื่องระเหยน้ำที่ความดันบรรยากาศปกติ(Atmospheric pressure evaporator) ซึ่งจะเป็นตัวระเหยน้ำออกจากสารละลายในอัตราเดียวกันกับน้ำที่ถูกขับออกมาจากชิ้นผลไม้ แล้วปั๊มสารละลายออสโมติกที่ได้ใหม่นี้ลงในถังทำการออสโมซิสอีก ดัง **รูปที่ 4**



รูปที่ 4 กระบวนการออสโมซิสที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

ที่มา : Bajema และคณะ(1993)

การใช้เครื่องระเหยน้ำจะใช้พลังงานเพียง ร้อยละ 25 ในการระเหยน้ำออกจากสารละลายออสโมติก เมื่อเทียบกับการใช้เครื่องทำแห้งด้วยลมร้อน เมื่อความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกคงที่เช่นนี้ก็สามารถใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นลดลง เช่น 65 องศาบริกซ์ ก็ได้ ทั้งนี้เพราะถ้าใช้ความเข้มข้นสูง โดยไม่มีการระเหยน้ำออกไป ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกจะลดลง จึงจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นสูงๆ Ponting (1973) รายงานว่า อัตราของการของการถ่ายโอนมวลโดยวิธีนี้เกือบจะเร็วเท่ากับในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง แต่การใช้สารละลายออสโมติกเจือจางจะสะดวกและง่ายกว่า เนื่องจาก มีความหนืดต่ำกว่า

2.6 ขั้นตอนของกระบวนการออสโมซิส(การผลิต)

2.6.1 การเตรียมชิ้นผลไม้

ล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก ตัด ผ่า และหั่นชิ้นผลไม้ที่จะนำไปผ่านกระบวนการออสโมซิส มีอยู่หลายวิธีโดยขึ้นอยู่กับ ชนิดของผลไม้ และความต้องการของตลาด อาทิ หั่นชิ้นตามยาว หั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดต่างๆ เช่น แบบลูกเต๋า บลูมา ซึ่งสนธิพร (2528) ผลิตมะม่วงแห้งโดยผ่านกระบวนการออสโมซิส โดยหั่นชิ้นมะม่วงให้มีขนาด ความหนา 0.5 เซนติเมตร มีความยาวเท่ากับความยาวของผลมะม่วง

2.6.2 การลวก

การลวกเป็นขั้นตอนการให้ความร้อนแก่ชิ้นผลไม้ เนื่องจาก ผลไม้อาจมีเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส(Peroxidase) และพอลิฟีนอลออกซิเดส(Polyphenol oxidase) ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ชนิดนี้ การลวกจะทำให้โครงสร้างของเนื้อเยื่อบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้อัตราการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้เกิดได้ดีและรวดเร็ว เพราะว่า การลวกเป็นการทำให้บริเวณเร่ง(Active site)ที่จะจับกับโมเลกุลของน้ำน้อยลง จึงเป็นผลทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ(Water holding capacity) ลดลงตามมา ระยะเวลาในการลวกจะขึ้นอยู่กับผลไม้แต่ละชนิด นอกจากนี้ ผลไม้บางชนิดจะต้องลวกในสารละลายต่างๆกัน เพื่อรักษาสีของชิ้นผลไม้ให้คงที่ตามต้องการ หลังจาก การลวกแล้ว จะต้องทำให้ผลไม้เย็นลงทันทีเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงกลิ่นไม่พึงประสงค์เนื่องมาจากความร้อน(Levi ,Gagel, and Juven, 1983)

2.6.3 การแช่ในสารละลายออสโมติก

การแช่ขึ้นผลไม้ออสโมติกเป็นขั้นตอนของการลดน้ำหนักรวมหรือลดความชื้นของขึ้นผลไม้ออสโมติกจะมีตัวถูกละลาย หรือ Osmotic medium เป็นตัวที่ช่วยทำให้เกิดแรงดันออสโมติก ตัวถูกละลายต่างชนิดกันก็จะให้ผลในการลดความชื้นหรือลดน้ำหนักได้แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่ในขั้นตอนนี้จะลดความชื้นของผลไม้ออสโมติกได้ประมาณร้อยละ 50 ถึง 60 ในสารละลายออสโมติกอาจมีการใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในช่วงการทำแห้งด้วยความร้อน และการเก็บรักษา ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ เช่น โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ($K_2S_2O_5$) ซึ่งจะแตกตัวให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สำหรับปริมาณที่ใช้จะแตกต่างกันไป เช่น Bongirwar and Sreenivasan (1977) ใช้โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ในการทำแห้งขึ้นผลไม้ออสโมติกด้วยความร้อนปริมาณร้อยละ 0.3 ในขณะที่ Jayaraman และคณะ (1976) ใช้กับขึ้นมะม่วงปริมาณร้อยละ 0.3 ร่วมกับกรดแอสคอร์บิกปริมาณ ร้อยละ 0.2

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการออสโมซิสของขึ้นผลไม้ออสโมติก

ปัจจัยในขั้นตอนนี้ถ้าให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น ก็คือ ตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นค่าที่ช่วยทำให้เราเข้าใจถึง Process analysis และ Modelling (Lazarides et al., 1999) ดังนั้น ก่อนที่เราจะศึกษาพื้นฐานของการถ่ายโอนมวลในเนื้อเยื่อผลไม้ออสโมติก เราจำเป็นต้องรู้ซึ่งถึงตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต หรือปัจจัยอะไรบ้างที่จะมีผลต่อกระบวนการออสโมซิสโดยมีดังต่อไปนี้

2.7.1 ลักษณะที่ขึ้นถึงผลิตภัณฑ์

2.7.1.1 ชนิด, พันธุ์, และระดับความแก่-อ่อน

ชนิด, พันธุ์, และระดับความแก่-อ่อน ของผลไม้ออสโมติกมีผลอย่างมากต่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อตามธรรมชาติของมัน เช่น โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์, อัตราส่วนของโปรโต-เพกตินต่อเพกตินที่ละลาย, ปริมาณของของแข็งที่ไม่ละลาย, ช่องว่างระหว่างเซลล์, ความอัดแน่นของเนื้อเยื่อ, อากาศที่ถูกกักไว้ เป็นต้น โดยโครงสร้างที่แตกต่างกันเหล่านี้ จะมีผลต่อการแลกเปลี่ยนมวล(การแพร่)ระหว่างขึ้นผลไม้ออสโมติกกับสารละลายออสโมติก(Lazarides et al., 1999)

นอกจากนี้ ยังมีการรายงานว่า ความสามารถในการแพร่กระจายของสารถูกละลายและน้ำ ในเนื้อเยื่อแอปเปิลและมันฝรั่งในช่วงกระบวนการออสโมซีส โดยสารถูกละลายที่ใช้ในการทดลองนี้คือ Corn syrup solids(CSS)ที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรส เท่ากับ 38 พบว่า มีความแตกต่างกันมาก (Lazarides et al., 1997) โดยที่เนื้อเยื่อแอปเปิลมีความพรุนระหว่างเซลล์ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งสูงมากเมื่อเทียบกับเนื้อเยื่อมันฝรั่งที่มีประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงทำให้เนื้อเยื่อแอปเปิลมีความสามารถในการแพร่กระจายของน้ำและสารถูกละลายในเนื้อเยื่อได้มากกว่า และภายใต้กระบวนการผลิตเดียวกัน มันฝรั่งพันธุ์ที่แตกต่างกันจะให้ค่าการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อแตกต่างกันเล็กน้อย(Hartal, 1967) สุดท้าย ความแน่นเนื้อของผลไม้ พบว่า ยังมีผลต่อลักษณะคุณภาพของผลไม้ที่ผ่านกระบวนการออสโมซีส(Torreggiani et al., 1991)

2.7.1.2 ตำแหน่งของเนื้อเยื่อ

Lazarides และคณะ (1999) รายงานว่า ตำแหน่งเนื้อเยื่อผลไม้มีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลในช่วงกระบวนการออสโมซีส นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของ Dehydration efficiency index(DEI) หรือ ค่า Water loss / Solid gain (WL/SG ratios) กรณีตำแหน่งเนื้อเยื่อภายในและภายนอกของเนื้อเยื่อพาเรนไคมาของแอปเปิล ในช่วงกระบวนการออสโมซีส คือ แซ่ในสารละลายซูโครส 50 เปอร์เซ็นต์ และ คุณสมบัติของสารละลายออสโมติก 40 และ 5 องศาเซลเซียส พบว่า คุณสมบัติทั้งสองค่า จะให้ค่า DEI ในส่วนภายนอกเนื้อเยื่อพาเรนไคมามีค่าสูงกว่าภายในตลอดช่วงกระบวนการออสโมซีส 3 ชั่วโมง เหตุที่เป็นเช่นนี้ คณะผู้วิจัยให้เหตุผลว่า เนื้อเยื่อแอปเปิลมีค่าความพรุนหรือช่องว่างระหว่างเซลล์สูง

2.7.2 การปรับสภาพผลไม้อ่อนกระบวนการออสโมซีส

การปรับสภาพผลไม้อ่อนกระบวนการออสโมซีส หรือการสร้างสภาวะการแปรรูป จะมีผลต่อความสมบูรณ์ของเนื้อเยื่อตามธรรมชาติของผลไม้ คือ มีผลมากต่อการแลกเปลี่ยนมวล เนื่องจาก เป็นการทำลาย Structure barrier จึงช่วยทำให้การแพร่ของน้ำและของแข็งดีขึ้น เป็นผลให้เข้าสู่ภาวะสมดุลเร็วขึ้น

การปรับสภาพผลไม้ ได้แก่ การลวก, การแช่แข็ง/การละลายน้ำแข็ง, Sulfating, Acidification และการให้อุณหภูมิ จะทำให้ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อผลไม้สูง (High solid gain) แต่ค่า WL / SG ratios มีค่าต่ำ (Ponting, 1973 ; Leric et al., 1985 ; Biswal and Le Maguer, 1989)

2.7.3 รูปร่างและขนาดของผลไม้

อิทธิพลของขนาดและรูปร่างของผลไม้จะมีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะต่อหน่วยน้ำหนัก ถ้าพื้นที่ผิวจำเพาะต่อหน่วยน้ำหนักมากขึ้นจะทำให้อัตราการถ่ายโอนมวลสูงขึ้นด้วย เพราะ Osmotic agent หรือ Dehydrating agent สามารถถ่ายโอนน้ำออกจากชิ้นผลไม้ได้มาก เนื่องจากสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวจำเพาะได้มากขึ้น (Lazarides et al., 1999) Leric และคณะ (1985) ได้รายงานว่าการตัดผลไม้แบบวงแหวน (เป็นลักษณะอัตราส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะต่อความหนาครั้งหนึ่งพื้นที่ผิวจำเพาะ) จะมีอัตราการขจัดน้ำออกจากผลไม้มากที่สุด รองลงมาเป็นแบบลูกเต๋า การที่แบบลูกเต๋ามีการขจัดน้ำน้อยในขณะที่มีค่าพื้นที่ผิวมากนั้น อาจเป็นผลมาจากการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่าน ซึ่งเป็นผลมาจากการมีปริมาณของแข็งเข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้สูง และภายใต้สภาวะกระบวนการออสโมซิสเดียวกัน ความแตกต่างของขนาดของผลไม้จะให้ผลผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่แตกต่างกันอีกด้วย ฉะนั้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกรูปร่างผลไม้เป็นแบบวงแหวน เนื่องจาก สับปะรดมีลักษณะค่อนข้างนิ่ม และในการเตรียมสับปะรดมีการตัดแกนของสับปะรดออก ดังนั้น การตัดแต่งสับปะรดเป็นรูปร่างวงแหวนจะทำให้ชิ้นสับปะรดคงรูปและมีการสูญเสียที่น้อยที่สุด

2.7.4 ชนิดของตัวถูกละลาย

Leric และคณะ (1985) ได้ให้จำกัดความของตัวถูกละลายที่ใช้เป็น Osmotic medium ไว้ว่า “เป็นสารที่ใช้สำหรับเป็นตัวทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนให้เกิดกระบวนการออสโมซิส (การถ่ายโอนมวล)”

ปัจจัยที่ใช้ในการเลือก Osmotic medium มีดังนี้

1. มีรสชาติดี สามารถทำให้ผลไม้แห้งน่ารับประทาน
2. ให้ค่า Water activity ต่ำ

3. ให้แรงดันออสโมติกและแรงขับเคลื่อนสูง

4. ไม่เป็นพิษ ง่าย และราคาถูก

Osmotic medium ที่ใช้กันมากกับผลไม้ 3 ชนิด ดังนี้คือ น้ำตาล, กรด(กรดอาหาร) และ กลีเซอรอล

2.7.4.1 **น้ำตาล** ในช่วงกระบวนการออสโมซิส อิทธิพลของน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มี 2 ประการ คือ ประการที่ 1 จะมีผลมากในการเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส(Polyphenol oxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่ง Oxidative browning ประการที่ 2 ใช้ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยไปได้ในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน แม้ว่าจะทำภายใต้สภาวะสุญญากาศ(Ponting,1973)

น้ำตาลที่ใช้เป็น Osmotic medium มีด้วยกันหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ น้ำตาลซูโครส เนื่องจาก เป็นน้ำตาลที่ให้แรงดันออสโมติกและแรงขับเคลื่อนสูง รสหวาน ทำให้เกิดน้ำหนัก(Weight gain) นอกจากนี้ ยังมีราคาถูกกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ

Contreras และ Smyrl (1981) ได้ทดลองใช้ High fructose corn syrup(HFCS) เป็น Osmotic medium พบว่า สามารถลดน้ำหนักรวมของชิ้นผลไม้ลงไปได้ถึงร้อยละ 70 ของน้ำหนักผลไม้เริ่มต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า Water activity น้อยกว่าเมื่อน้ำตาลซูโครส และยังมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าด้วย ทั้งนี้ เป็นเพราะ HFCS จะเข้าไปแทนที่น้ำในเซลล์ผลไม้ได้มากกว่า เนื่องจาก มีอัตราการแพร่ผ่านหรือการแทรกซึม(Penetration)สูงกว่าน้ำตาลซูโครส เพราะว่า มีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่า เนื่องจาก เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่า(Chandrasekaran and King, 1972) แต่เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสแล้ว พบว่า ชิ้นผลไม้ที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำตาลซูโครสมีการยอมรับมากกว่า HFCS (Bolin et al., 1983)

แต่การใช้ HFCS ร่วมกับน้ำตาลซูโครส จะช่วยเพิ่มแรงดันออสโมติก(Nicol, 1971) เป็นการเร่งอัตราการแพร่ผ่านของน้ำตาลซูโครส และยังช่วยให้น้ำตาลซูโครสมีการละลายได้สูงในสัดส่วนที่เหมาะสมอันหนึ่ง O'Mahony และคณะ(1986) ได้ใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับน้ำตาลฟรุคโตส โดยให้ความเข้มข้นร้อยละ 60 ถึง 75 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และมีฟรุคโตสปริมาณร้อยละ 40 ถึง

90 ส่วน Gianggiacomo และคณะ(1987) ใช้ Corn syrup ร่วมกับน้ำตาลซูโครสในปริมาณร้อยละ 50

นอกจากนี้ ยังมีการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับสารให้ความหวานชนิดอื่นๆ เช่น กลูโคสซีรัป, น้ำตาลอินเวิร์ต เป็นต้น กลูโคสซีรัปจะช่วยควบคุมไม่ให้น้ำตาลซูโครสตกผลึก และช่วยเพิ่มแรงดันออสโมติกให้แก่สารละลาย(Palmer, 1970) หรือใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับน้ำตาลอินเวิร์ต ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำตาลซูโครสมาทำอินเวอร์ชันด้วยกรดจะได้ น้ำตาลอินเวิร์ต ที่มีกลูโคสและฟรุคโตสในปริมาณเท่าๆกัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่โปร่งใสและยังช่วยเพิ่มน้ำหนักและเนื้อให้แก่ผลิตภัณฑ์ด้วย อัตราส่วนที่ใช้ไม่เกินปริมาณร้อยละ 25 - 35 ถ้าใช้มากกว่านี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เหนียวนิ่ม ติดมือ อบไม่แห้ง และจะทำให้เกิดสารสีน้ำตาลได้ เพราะว่ สารทั้งสองชนิดนี้มีสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนโตรเจนแล้วเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า Maillard reaction

Hawkes และ Flink (1978) ได้ทำการทดลองใช้น้ำตาลแลคโตส, มอลโตส และมอลโทเดกซ์ทริน(DE = 15) ร่วมกับน้ำตาลซูโครส พบว่า น้ำตาลแลคโตสสามารถใช้แทนที่น้ำตาลซูโครสบางส่วนได้ทั้งระบบแห้งและระบบสารละลาย แม้ว่า น้ำตาลแลคโตสจะมีความสามารถในการละลายต่ำ(ประมาณร้อยละ 25 ของการละลายทั้งหมด) ในระบบแห้ง น้ำตาลแลคโตสนี้ไม่สามารถใช้เดี่ยวๆได้ เพราะว่ จะเกิดผลึกของน้ำตาลแลคโตสรอบๆชิ้นผลไม้ ซึ่งจะขัดขวางการเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ในช่วงการอบแห้งด้วยลมร้อน สำหรับมอลโทเดกซ์ทรินสามารถใช้ร่วมกับน้ำตาลซูโครสได้ เนื่องจาก ให้ความหวานต่ำ กรณีต้องการให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งมีความหวานน้อย ยังไม่มีใครศึกษาเรื่องนี้อย่างจริงจัง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้มอลโทเดกซ์ทรินผงที่ให้ค่าสมมูลเดกซ์โทรสที่สูงขึ้นกว่าของผู้วิจัยที่กล่าวมาข้างต้นมาใช้ร่วมกับน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นร้อยละ 55 ของความเข้มข้นทั้งหมด พร้อมกับเปรียบเทียบเมื่อมอลโทเดกซ์ทรินและซูโครสเพียงอย่างเดียว

2.7.4.2 **กรด** การเติมกรดลงในสารละลายออสโมติกนั้น มีผลในการเพิ่มแรงดันออสโมติก เมื่อใช้น้ำตาลซูโครสเป็น Osmotic medium ร่วมกับกรดชนิดต่างๆ พบว่า กรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มอัตราของการขจัดน้ำได้มากกว่ากรดอินทรีย์ แต่ว่ากรดไฮโดรคลอริกนี้จะทำให้

ผลิตภัณฑ์เกิดสีดำคล้ำ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้ง ด้วยลมร้อน และการเก็บรักษา

ในบรรดากรดอินทรีย์ทั้งหลาย พบว่า กรดแลคติกจะมีผลต่ออัตราการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้มากที่สุด ส่วนกรดอะซิติกและกรดซิตริกจะมีผลรองลงมาตามลำดับ การที่กรดไปช่วยเพิ่มอัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ เพราะว่า กรดจะไปยับยั้งการเกิดเจลของสารประกอบเพคติน เช่น ในมะละกอ มีสารประกอบเพคตินมาก สารนี้เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเจลขึ้น โดยถ่ายโอนเอาน้ำตาลซูโครสเข้าไปด้วย ซึ่งจะทำให้อัตราของการขจัดน้ำน้อยลง เพราะว่า เจลจะขัดขวางการเคลื่อนที่ออกของน้ำจากเนื้อเยื่อผลไม้(Moy et al., 1978) แต่ถ้ามีกรดอยู่ในสารละลาย กรดจะยับยั้งการเกิดเจล ซึ่งจะช่วยให้อัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้เกิดได้ดีขึ้น

2.7.4.3 **กลีเซอรอล** ในด้านการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส ได้มีการใช้กลีเซอรอลเข้ามาช่วยในการทำให้ค่า Water activity ลดต่ำลง Jayaraman และคณะ(1977) ได้นำกลีเซอรอลมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของสารละลายออสโมติก โดยใส่ลงไปในการละลายออสโมติก ปริมาณร้อยละ 42.33 ของความเข้มข้นทั้งหมด เพื่อขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรด Ramanuja และ Jayaraman (1980) ได้รายงานไว้ว่า เทคนิคการเตรียมอาหารที่มีความชื้นปานกลาง หรืออาหารกึ่งแห้งโดยใช้วิธีออสโมซิสเพื่อทำให้เป็นผลไม้แปรรูปพร้อมที่จะบริโภคควรจะมีค่าความชื้น ปริมาณร้อยละ 20 ถึง 50 ของความชื้นทั้งหมด โดยการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลีเซอรอล และสารป้องกันการเจริญของเชื้อรา โดยได้ทดลองกับกล้วย ฝรั่ง มะม่วง และสับปะรด ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

2.7.5 ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่ใช้มีความสำคัญมาก เพราะว่า มีส่วนช่วยในการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ โดยจะมีผลต่อค่า Water activity ถ้าความเข้มข้นยิ่งมากขึ้น ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อผลไม้ที่ได้จะมีค่าน้อยลง(Lenart and Flink, 1984) และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้อัตราการถ่ายโอนมวลเร็วขึ้นด้วย(Hawkes and Flink, 1978) Jayaraman และคณะ(1977) ; Bongirwar และ Sreenivasan (1977) ได้ใช้

สารละลายออสโมติกทำให้ความเข้มข้นร้อยละ 70 ของความเข้มข้นทั้งหมด ในการแช่แบบขั้นตอนเดียว เช่นเดียวกับ Nanjundaswamy และคณะ(1976) และ Baldy และคณะ(1976) ส่วน Moy และคณะ (1978) ทำการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้เขตร้อนด้วยสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 60 ของความเข้มข้นทั้งหมด สุจินดา นิมนานิตย์ (2521) ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 40 ของความเข้มข้นทั้งหมด ต่อมา บุญมา ซึ่งสนธิพร (2528) ได้ดัดแปลงวิธีการออสโมซิส โดยการแช่แบบ 2 ขั้นตอน คือ เริ่มต้นด้วยการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกความเข้มข้นร้อยละ 30 ก่อน แล้วตามด้วยความเข้มข้นร้อยละ 50 ของความเข้มข้นทั้งหมด ทำนองเดียวกับ เหมภรณ์ กำแพงเศรษฐ (2530)

นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Farkas และ Lazar (1969) ในการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อแอปเปิลขนาดความหนา 1.2 เซนติเมตร ด้วยวิธีออสโมซิส โดยการแช่ในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 ถึง 70 ของความเข้มข้นทั้งหมด อุณหภูมิ 30 ถึง 60 องศาเซลเซียส พบว่า ความเข้มข้นร้อยละ 70 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุด เนื่องจากสามารถลดน้ำหนักรวมลงได้ร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้น สำหรับความเข้มข้นร้อยละ 75 จากรายงานการวิจัยของ Ponting และคณะ(1966) รายงานว่า มีความหนืดมากเกินไป เป็นผลให้อัตราการถ่ายโอนมวลเกิดได้น้อยลง ดังนั้น สารละลายน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมสำหรับการออสโมซิสผลไม้ไม่ควรให้มีความเข้มข้นเกินร้อยละ 70 ของความเข้มข้นทั้งหมด ต่อมา กรุณา วงษ์กระจ่าง (2535) ศึกษาผลของการแช่ชิ้นสับประรดรูปวงแหวนขนาดความหนา 1.2 เซนติเมตร ในสารละลายน้ำตาล 3 ชนิด ที่มีความเข้มข้นต่างกัน โดยใช้กลูโคสเหลว ซึ่งมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่(กลูโคส 45 % , ฟรุคโตส 40 % , และน้ำตาลอื่นๆ) สารละลายซูโครส และสารละลายกลูโคสซีรัป(DE = 40) ที่ประกอบด้วย กลูโคส มอลโตส 15 % และน้ำตาลอื่นๆที่มีขนาดโมเลกุลมวลโมเลกุลสูงเป็นส่วนใหญ่ พบว่า สับประรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสเหลว สารละลายซูโครส และสารละลายกลูโคสซีรัป มีค่าอัตราการขจัดน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในเนื้อเยื่อสับประรดสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกสูงขึ้น ผลของสารละลายน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด ในการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดด้วยวิธีออสโมซิส พบว่า สารละลายน้ำตาลซูโครสเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก กลูโคสเหลวจะให้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของแห้งในเนื้อเยื่อสับประรดสูงสุด แต่ทำให้ผลิตภัณฑ์สับประรดแห้งมีรสหวานมาก และอบแห้งได้ยากไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค จึงทำให้สารละลายซูโครสเป็นสารละลายที่เหมาะสมที่สุดโดยให้ความเข้มข้นร้อยละ 65 ของความเข้มข้นทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่า WL / SG ratios ก็มี

ความสำคัญ เพราะว่า จากการศึกษที่อัตราส่วนต่างๆกันของ WL / SG ratios ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครสต่อการยอมรับในด้านคุณภาพ พบว่า เมื่อสภาวะในการออสโมติกที่ให้ค่าอัตราส่วนสูงขึ้น จะมีผลทำให้คะแนนเฉลี่ยของผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงขึ้น

2.7.6 อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติก ต่อ ขึ้นผลไม้

จากการศึกษาของ Bongirwar และ Sreenivasan (1977) พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 1.5 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ที่ทำให้เกิดแรงดันออสโมติกสูงสุดในเนื้อเยื่อผลไม้ ในขณะที่ Lenart และ Flink (1984) กล่าวว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ ใช้สารละลายออสโมติก 2 ส่วน ต่อ ขึ้นผลไม้ 1 ส่วน ส่วนผู้วิจัยอื่นๆ ส่วนใหญ่นิยมใช้ 1 ต่อ 4 (Moy et al., 1978 ; Bolin et al., 1983) โดย Hawkes และ Flink (1978) ให้เหตุผลของการใช้สารละลายออสโมติกในปริมาณที่มากกว่าขึ้นผลไม้(ขึ้นผลไม้ 1 ส่วน ต่อ สารละลายออสโมติก 4 ส่วน) ว่า เพื่อเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกไม่ให้เจือจาง เนื่องจาก น้ำที่ถูกขจัดออกมาจากเนื้อเยื่อผลไม้ในการระหว่างกระบวนการออสโมติก

2.7.7 อุณหภูมิและเวลาของการออสโมติก

Bongirwar และ Sreenivasan (1977) รายงานว่า อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก(สารละลายซูโครส 70 องศาเซลเซียส) 50 องศาเซลเซียส เวลา 3.5 ชั่วโมง เหมาะสมที่สุดต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยที่ได้ ถึงแม้ว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความหนืดของสารละลายน้ำตาลซูโครสลดลง แล้วเป็นผลให้เกิดการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อกล้วยได้ดีกว่า แต่อุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลกระทบต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสได้ และจากการศึกษาของ Contreras และ Smyrl (1981) รายงานว่า อุณหภูมิของสารละลายออสโมติกมากกว่า 45 องศาเซลเซียส ควรมีการเติมกรดแอสคอร์บิกในสารละลายน้ำตาลซูโครส เพื่อรักษาสีตามธรรมชาติของผลไม้ไว้ เนื่องจาก กรดแอสคอร์บิกสามารถทำหน้าที่เป็น Reducing agent โดยยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้(Lenart and Lewicki, 1988 ผลจากการศึกษาของ Levi และคณะ(1983) รายงานว่า เมื่อแช่ขึ้นมะละกอในสารละลายออสโมติกที่มีอุณหภูมิสูง จะให้ค่าอัตราของการขจัดน้ำมากกว่าเมื่อแช่ในสารละลายออสโมติกที่มีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจาก อุณหภูมิสูง(70 ถึง 90 องศาเซลเซียส)ยังเป็นการลวกขึ้นผลไม้ไปพร้อมๆกันด้วย จึงทำให้โครงสร้างเนื้อเยื่อบางส่วนเกิดการ

เปลี่ยนสภาพไป คือ เยื่อหุ้มอ่อนตัวลง จึงมีผลทำให้ความแน่นของเนื้อผลไม้เปลี่ยนไปด้วย ทำให้ อัตราการซึมผ่านของน้ำ และของของแข็งเป็นไปได้ดีกว่าและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ (Ponting et al., 1966 ; Lenart and Lewicki, 1988) ในการทดลองนี้ พบว่า อุณหภูมิของสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมในการแช่ คือ 20 ถึง 45 องศาเซลเซียส แม้ว่า อัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ก็มีข้อจำกัดไม่ให้ใช้อุณหภูมิสูงเกิน 50 องศาเซลเซียส เพราะว่า ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้จะเกิด Enzymatic browning ได้ และเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสขึ้นตามมา (Lerici, Mastrocola, and Pinnavaia, 1986)

สำหรับเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ จากผลการศึกษาของ Farkas และ Lazar (1969) รายงานว่า กระบวนการออสโมซิสขึ้นแอมป์เปิดในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุด จากการศึกษาของ Lenart และ Lewicki (1988) พบว่า ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อแอมป์เปิดจนเข้าสู่ภาวะสมดุลใช้เวลา 1 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลามากกว่า 3 ชั่วโมง จึงจะเข้าสู่ภาวะสมดุล และจากการศึกษาของ Ravindran (1989) รายงานว่า สำหรับการออสโมซิสสับปะรดรูปวงแหวนที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) การแลกเปลี่ยนมวลสารของน้ำและของแข็งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 8 ถึง 10 ชั่วโมง และจากการวิจัยของ กรุณาวงษ์กระจ่าง (2535) รายงานว่า เวลาที่ใช้ในการออสโมซิสสับปะรด คือ 6 ถึง 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะให้ค่าอัตราของการขจัดน้ำ และอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดที่เหมาะสมที่สุด แต่การใช้อุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส และเวลา 8 ชั่วโมงนั้น อาจทำให้ผนังเซลล์ของสับปะรดเกิดการสูญเสียสภาพได้ ดังนั้น ถ้าต้องการใช้อุณหภูมิสูงในการออสโมซิส จำเป็นต้องลดเวลาในการออสโมซิสให้น้อยลงด้วย ทำให้เกิดวิธีใหม่ที่เรียกว่า High temperature short time osmosis (HTST osmosis) Lirici และคณะ (1986) ใช้วิธีออสโมซิสแบบ HTST อุณหภูมิ 65 หรือ 85 องศาเซลเซียส เวลา 1 ถึง 20 นาที กับแอมป์เปิด พบว่า อัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้หลังการออสโมซิสแบบ HTST 1 ถึง 3 นาที จะมีค่าเท่ากับที่ได้จากการออสโมซิสที่อุณหภูมิปกติไปแล้ว 2 ชั่วโมง และวิธีนี้ยังยับยั้งเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์ด้วย

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส รายงานว่า อุณหภูมิต่ำสุดที่นิยมศึกษา คือ อุณหภูมิห้อง จนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ 90 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิสูง

จะช่วยเร่งการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ให้เร็วขึ้น แต่อาจมีผลเสียต่อสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ ในขณะที่ใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ต้องใช้เวลานานกว่า แต่มีข้อดีในแง่การประหยัดพลังงาน และมีผลกระทบต่อลักษณะปรากฏน้อยมาก ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกศึกษาเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส 0 ถึง 300 นาที (0 ถึง 5 ชั่วโมง) อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก 50 องศาเซลเซียส เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิส

2.7.8 การกวนสารละลายออสโมติก

ในขณะที่เกิดกระบวนการออสโมซิส ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกบริเวณรอบๆ ชิ้นผลไม้จะเจือจางลง ทำให้ประสิทธิภาพของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ลดต่ำลงด้วย Ponting และคณะ (1966) รายงานว่า เหตุผลที่มีการกวนหรือคนสารละลายออสโมติก ก็เพราะว่า เพื่อต้องการกระจายความเข้มข้นภายนอกชิ้นผลไม้ ซึ่งเดิมเจือจางลงเนื่องจากน้ำในเนื้อเยื่อผลไม้แพร่ผ่านออกมา ทำให้เจือจางไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง หรือสารละลายที่เข้มข้นกว่าไหลมาแทนที่สารละลายที่เจือจาง เป็นการเพิ่มอัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ให้เร็วขึ้น Bongirwar และ Sreenivasan (1977) รายงานว่า การกวนสารละลายออสโมติกจะช่วยลดเวลาในการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ได้

ในการทำให้สารละลายออสโมติกหมุนเวียน อาจทำได้โดยการบรรจุชิ้นผลไม้ในคอล์มน์ แล้วปล่อยให้สารละลายออสโมติกไหลเวียนในอัตราที่เหมาะสม (Farkas and Lazar, 1969) Hawkes และ Flink (1978) ศึกษาผลการกวนสารละลายออสโมติกในระหว่างกระบวนการออสโมซิส พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่ำ การกวนมีผลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล แต่ที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลก็เพิ่มขึ้น และในงานวิจัยนี้ทำการกวนสารละลายออสโมติกที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที

2.8 กลไกการเคลื่อนที่ของสารละลายผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะมีโครงสร้างทางกายภาพที่ช่วยแยกระบบภายในเซลล์ออกจากสิ่งแวดล้อม โครงสร้างนั้นคือ เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งช่วยรักษาองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทาง

กายภาพของเซลล์ให้แตกต่างจากสิ่งแวดล้อม ในขณะที่เดียวกันต้องสามารถทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนของสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและกิจกรรมของเซลล์ได้ และจากคุณสมบัติข้อนี้จึงทำให้สารที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ อากาศ สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้อย่างอิสระ ในขณะที่สารอื่นๆ ก็สามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกภายใต้ข้อจำกัด ซึ่งทำให้เกิดลักษณะของการแพร่ที่แตกต่างกัน(Weissmann and Claiborne, 1975) ดังนี้

2.8.1 การแพร่ทั่วไป

การแพร่ทั่วไปเป็นการแพร่ของสารที่ผ่านเข้าออกเซลล์ส่วนใหญ่ โดยอัตราของการแพร่ของสารแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายในชั้นของโปรตีนและไขมันที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และขนาดของโมเลกุล เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์มีบางบริเวณที่เป็นรูพรุนอยู่ด้วย

2.8.2 การแพร่แบบอสิระ(Facilitated diffusion)

เป็นการแพร่ของสารบางชนิดที่ไม่มีข้อจำกัดดังเช่นการแพร่ทั่วไป การแพร่แบบนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าการแพร่ทั่วไป และเกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารบริเวณภายในกับบริเวณภายนอกเซลล์ และการแพร่จะดำเนินไปจนกระทั่งความเข้มข้นทั้งสองบริเวณเท่ากัน โดยไม่อาศัยพลังงานเพื่อทำให้เกิดการแพร่ ดังนั้น กระบวนการแพร่จะเกิดขึ้นเสมอเมื่อมีความแตกต่างของความเข้มข้นถึงแม้ว่าเซลล์จะหยุดกิจกรรมอื่นๆ สารที่สามารถเกิดการแพร่แบบอสิระ ได้แก่ ยูเรีย กลูโคส และกรดอะมิโนบางชนิด เนื่องจาก สารเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต และกิจกรรมของเซลล์ กล่าวคือ กลูโคสเป็นสารที่สามารถย่อยสลายแล้วเกิดพลังงานในการดำเนินกิจกรรมของเซลล์ และยูเรียเป็นของเสียที่เกิดจากการย่อยสลายของโปรตีน ซึ่งสามารถทำให้เซลล์เกิดสภาวะเป็นพิษถ้ามีปริมาณสูงเกินไป

2.8.3 การแพร่แบบแอกทีฟทรานสปอร์ต(Active transport)

เป็นการแพร่ของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงกว่า โดยอาศัยการปั๊มผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ การแพร่ในลักษณะนี้จำเป็นต้องใช้

พลังงานในการทำให้เกิดการแพร่ ดังนั้น กระบวนการนี้จึงเกิดขึ้นในขณะที่เซลล์ยังมีชีวิต และดำเนินกิจกรรมของเซลล์สารที่จะเกิดการแพร่ในลักษณะนี้ คือ โซเดียม และโปแตสเซียม การแพร่ที่เกิดขึ้นเพื่อรักษาความเข้มข้นของอิออนภายในเซลล์

ดังนั้น ในกระบวนการออสโมซิส ซึ่งมีความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างชั้นผลไม้และสารละลายออสโมติก กระบวนการแพร่ที่เกิดขึ้นจะมีการแพร่ของสารถูกละลายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำตาลกลูโคสจากสารละลายภายนอกไปยังเนื้อเยื่อผลไม้ ซึ่งจะเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ จากนั้น ถ้ามีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสที่บริเวณนี้สูงกว่าภายในเซลล์จะเกิดกลไกการแพร่แบบออสโมซิสของน้ำตาลกลูโคสผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในเซลล์ จนกระทั่ง ไม่เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นทั้งสองบริเวณ อย่างไรก็ตาม อัตราการแพร่ของน้ำตาลกลูโคสย่อมช้ากว่าอัตราการแพร่ของน้ำ เนื่องจาก ขนาดโมเลกุลของน้ำเล็กกว่าขนาดโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส(Frakas and Lazar, 1969 ; Contreras and Smyrl, 1981 ; Beristain et al, 1990 ; Torreggiani, 1993)

2.9 การแพร่ของโมเลกุล

การถ่ายเทมวลสารโดยอาศัยการแพร่ของโมเลกุล เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านตัวกลางที่ไม่เคลื่อนที่ การแพร่อาจเกิดขึ้นจากความแตกต่างของสภาวะ(Crank, 1975)ดังนี้

2.9.1 การแพร่ของโมเลกุล เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้น เรียกว่า การแพร่ธรรมดา(ordinary diffusion)

2.9.2 การแพร่ของโมเลกุล เกิดจากระบบมีความแตกต่างของความดันทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความดันสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำกว่า เรียกว่า การแพร่เนื่องจากความดัน(Pressure diffusion) เช่น ในการแยกสารโดยใช้เครื่องปั่นแยก

2.9.3 การแพร่ของโมเลกุล เกิดจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิ เรียกว่า การแพร่เนื่องจากความร้อน(Thermal diffusion) ใช้ประโยชน์ในการแยกไอโซโทปของ He^{+3} จาก He^{+4}

2.9.4 การแพร่ที่เกิดจากระบบถูกแรงภายนอกกระทำ เช่น แรงเคลื่อนไฟฟ้า แรงแม่เหล็ก ตัวอย่างเช่น การแยกสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้กระแสไฟฟ้า, การแยกของผสมของแร่ธาตุโดยใช้แรงแม่เหล็ก

2.9.5 การแพร่ของโมเลกุลอันเป็นผลเนื่องมาจาก ความแตกต่างของความเข้มข้นเป็นกลไกที่พบมากกว่าการแพร่แบบอื่นๆ ปริมาณซึ่งเป็นที่สนใจ คือ มวลต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา และความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ขึ้นกับ ตำแหน่ง เวลา อุณหภูมิ ความดัน และลักษณะอื่นๆ ของระบบ(Crank, 1975 ; Sherwood, Pigford, and Wilke, 1975 ; Treybal, 1981)

2.10 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมอลโทเดกซ์ทริน

มอลโทเดกซ์ทริน คือ ผลิตภัณฑ์แบ่งดัดแปรประเภทหนึ่งประเภทเดียวกับกลูโคสซีรัป ได้จากการย่อยสลายโมเลกุลสตาร์ช(Starch)ด้วยกรดและ/หรือเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส มีอะมิโลสไซท์ตรงและอะมิโลเพกตินไซท์กึ่งอยู่ในโมเลกุล มีค่าสมมูลเดกซ์โทรสอยู่ในระดับต่ำ(ไม่เกิน 20) ในกรณีที่มีค่า DE มากกว่า 20 จะเรียกว่า Syrup solidsหรือเดกซ์ทริน ปกติจะมีขนาดของโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่างโอลิโกเมอร์(Oligomers) ถึง แมคโครโมเลกุล มอลโทเดกซ์ทรินอาจอยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นคล้ายน้ำเชื่อม หรือรูปผงสีขาว ละลายน้ำได้ง่าย ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสหวาน หรือหวานได้เล็กน้อย(ขึ้นอยู่กับค่า DE ในตัวอย่าง) จัดเป็นสารที่ไม่มีอันตรายแก่ร่างกาย(Knight, 1969 ; Brooks and Griffin, 1987 ; Mora-Gutierrez and Baianu, 1990 ; Macrae, et al., 1993 ; Chronakis, 1998) โดยทั่วไป การจำแนกประเภทของมอลโทเดกซ์ทรินมักพิจารณาที่ค่า DE เป็นหลัก ซึ่งค่า DE ที่ต่างกันจะทำให้มอลโทเดกซ์ทรินมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่ต่างกัน นอกจากนี้ใช้ค่า DE แสดงถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ เป็นดัชนีในการบ่งชี้คุณสมบัติของมอลโทเดกซ์ทรินแล้ว การวัดปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า Degree of polymerization(DP)ต่ำชนิดต่างๆ เป็นวิธีการวัดอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกประเภทของมอลโทเดกซ์ทริน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของมอลโทเดกซ์ทรินนั้น ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆด้วยเช่นกัน โดยทั่วไป เมื่อค่า DE ของมอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้น สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆที่มีค่า DP ต่ำๆจะสูงขึ้น ทำให้การละลายน้ำของมอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้น(Brooks and Griffin, 1987) การวัดปริมาณคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆในมอลโทเดกซ์ทริน ปัจจุบัน นิยมใช้เทคนิค High performance liquid chromatography(HPLC) ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพ ในสมัยก่อนมอลโท-เดกซ์ทรินจะผลิตในลักษณะของเหลวเข้มข้นคล้ายน้ำเชื่อม(Harjes and Wermer, 1976) ต่อมา ได้พัฒนารูปแบบการผลิต โดยนำมอลโทเดกซ์ทรินเหลวที่ได้มาทำแห้งด้วยวิธีการต่างๆ เช่น Spray drying, Extrusion, และ Freeze drying(Flink and Geji-Hansen, 1972 ; Lee and Kim, 1990) ได้ออกมาเป็นรูปผงแห้ง มีสีขาวคล้ายแป้ง สามารถละลายได้ดีในน้ำร้อนและน้ำเย็น

อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติที่แตกต่างกันของมอลโทเดกซ์ทรินนั้น พบว่า อยู่ที่ความแตกต่างของปริมาณ DP ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DP สูง หรือน้ำตาลที่มีค่าน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีผลต่อการละลายและความคงตัวของสารละลาย ส่วนมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DP ต่ำ จะมีคุณสมบัติในด้านความสามารถในการดูดซับความชื้น, ความหนืด, การหมัก, ความหวาน, การตกผลึก, การเกิดเจล, ความสามารถในการถ่ายโอนมวลในกระบวนการออสโมซิส, ความเสถียรภาพ และความสามารถในการดูดซึ่มของร่างกาย(Marchal, Beeftink, and Tramper, 1999) นอกจากนี้ Griffin และ Brooks(1989) ยังได้กล่าวว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในมอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตขึ้น ปรากฏว่า ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายมากกว่าขึ้นอยู่กับค่า DE ในตัวอย่าง ดังนั้น ค่าน้ำตาลรีดิวซ์และค่า DE สูง จึงไม่จำเป็นเสมอไปที่จะส่งผลให้ตัวอย่างมอลโทเดกซ์ทรินนั้นมีส่วนที่เป็นโครงสร้างน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอยู่ในปริมาณมากด้วย

2.11 คุณสมบัติที่สำคัญบางประการของมอลโทเดกซ์ทรินในการประยุกต์ใช้ในอาหาร

2.11.1 **ช่วยขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ในกระบวนการออสโมซิส** Hawkes และ Flink (1978) ได้ทดลองใช้มอลโทเดกซ์ทรินเหลวที่มีค่า DE เท่ากับ 15 ร่วมกับซูโครส ในการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อแอปเปิล พบว่า ได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล เท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที และได้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด 40.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกับเมื่อใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว(มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล และ ปริมาณของแข็งทั้งหมด 1.2 เมตรต่อวินาที และ 39.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่า มอลโทเดกซ์ทรินสามารถขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อและเพิ่มปริมาตรให้กับเนื้อเยื่อแอปเปิลได้ แล้วยังสามารถทำหน้าที่ลดความหวานของซูโครสลงมาในระดับที่เหมาะสม และในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำมาทำวิจัยเพิ่มเติมกับการทดลองในเนื้อเยื่อสับปะรด โดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินผง ที่มีค่า DE เท่ากับ 28(เนื่องจาก เป็นค่า DE ที่สูงขึ้นไปกว่าเดิม ประกอบกับการสอบถามหลายโรงงานที่ผลิตหรือผู้แทนจำหน่าย พบว่า มีค่าน้ำตาลที่มีค่า DE มากกว่า 20 จึงตัดสินใจเลือกใช้ DE นี้ DE เพียง ในการทดลอง ไม่มีการแปรค่าระดับ DE ในการทดลอง เพราะว่า มีเวลาการทดลองที่จำกัด)ร่วมกับซูโครส เพื่อขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรด มีการตรวจติดตามการเคลื่อนย้ายของน้ำโดยการวัดค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรด และ สารละลายออสโมติก หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

2.11.2 **ความสามารถในการดูดซับความชื้น** เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากในการกำหนดอายุการเก็บ และ ความคงตัวในช่วงการเก็บรักษาของมอลโทเดกซ์ทรีน(Chronakis, 1998) มอลโทเดกซ์ทรีนมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่า DE โดยค่าการดูดความชื้นจากอากาศจะเพิ่มขึ้นตามค่า DE ที่สูงขึ้น เนื่องจาก ถ้าค่า DE ต่ำ ก็จะมี ความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ต่ำ เพราะมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่น้อยหรือมี น้ำหนักโมเลกุลมากนั่นเอง จึงเป็นลักษณะเป็นผงแห้งที่เทไหลได้ดี(Free flowing) จึงเหมาะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่แห้ง(Kenyon and Anderson, 1988) Donnely, Fruin, และ Scallet(1973) แนะนำว่า การที่มอลโทเดกซ์ทรีนมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้มากหรือน้อย เป็นเพราะว่า ความแตกต่างของ D-glucose polymers และยังบอกอีกว่า ถ้ามอลโทเดกซ์ทรีนมีน้ำตาล Maltotriose และ Maltotetraose จะมีส่วนทำให้มอลโทเดกซ์ทรีนมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้สูง Kearsley และ Birch (1975) แนะนำว่า มอลโทเดกซ์ทรีนดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง และน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะเข้าสู่ภาวะสมดุลความชื้นได้เร็วกว่าน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำแต่ไม่ได้บอกว่าเพราะอะไร จากการศึกษาของ Raja และคณะ(1989) ได้ศึกษาความสามารถการดูดซับความชื้นของมอลโทเดกซ์ทรีนผง โดยแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ตั้งแต่ 40 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มอลโทเดกซ์ทรีนผงมีลักษณะเนื้อสัมผัส Pastry(Sorption gel)หลังจากเก็บไว้ 6 วัน ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ตลอด 18 วันหลังการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Radosta และคณะ(1989) พบว่า ถ้าเก็บมอลโท-เดกซ์ทรีนผงไว้ในสภาวะค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤต(Critical water activity)(ตารางที่ 3) จะทำให้มอลโทเดกซ์ทรีนผงเปลี่ยนแปลงสภาวะ(Transition state) จากผงที่เทไหลได้ดีไปเป็นเจล(Sorption gel) ถึงแม้ว่า มอลโทเดกซ์ทรีนจะเปลี่ยนสภาวะไป แต่ก็ได้รับการยอมรับว่ายังนำไปใช้ได้เช่นเดิม อย่างไรก็ตาม ยังไม่ชัดเจนเหตุผลที่ดีในการคิดแก้ไข ยังต้องศึกษาและวิเคราะห์เพิ่มเติม(Raja et al., 1989)

ตารางที่ 3 ค่า Water activity(A_w) วิฤฤตของการเปลี่ยนแปลงสภาวะมอลโทเดกซ์ทรินผงไปเป็นเจล

Pn	Critical water activity			
	0.45	0.66	0.79	0.93
240	P	P	P	P→G
16	P	P	P→G	G
9	P	P→G	G	S

ที่มา : ดัดแปลงจาก Radosta et al. (1989)

หมายเหตุ : Pn = Molecular composition ของมอลโทเดกซ์ทรินผง

P = Powder

G = Sorption gel

P→G = Transition from powder to sorption gel

2.11.3 **ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล** Murray และ Luft (1973) ทดลองนำขึ้นแอปเปิลจุ่มลงในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน(DE = 15) ความเข้มข้นร้อยละ 40 ที่อุณหภูมิห้อง (27 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำไปอบแห้งข้ามคืนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าขึ้นแอปเปิลส่วนใหญ่ไม่เกิดสีน้ำตาล ยกเว้นบริเวณใกล้ส่วนแกนของผลจะเกิดสีน้ำตาลอ่อนๆ ซึ่งผลที่ได้นี้ดีกว่าการจุ่มลงในสารละลายกรดแอสคอร์บิคความเข้มข้นร้อยละ 2

2.11.4 **เกิดเป็นฟิล์มที่มันวาวและป้องกันการผ่านเข้าออกของออกซิเจน** นิยมใช้ในการทำ Encapsulation ของสารให้กลิ่นรส เพราะช่วยลดการสูญเสียสารให้กลิ่นรส เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยพบว่า มอลโทเดกซ์ทรินชนิดที่มีค่า DE สูง จะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้ดีกว่าชนิดที่มีค่า DE ต่ำ เพราะว่า มอลโทเดกซ์ทรินชนิดที่มีค่า DE ต่ำ จะมีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำอยู่ปริมาณมากกว่า ซึ่งแซคคาไรด์เหล่านี้จะไปรบกวนการเกิดฟิล์ม ทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้เกิดความไม่ต่อเนื่อง(Anandaraman and Reineccius, 1986 ; Inglett et al., 1988 ; Kenyon, 1995 ; Whorton and Reineccius, 1995)

2.11.5 **ช่วยในการกระจายและการละลาย** มอลโทเดกซ์ทรินชนิดที่มีค่า DE สูงจะกระจาย และละลายน้ำได้ดีกว่าชนิดที่มีค่า DE ต่ำ เนื่องจาก มอลโทเดกซ์ทรินชนิดที่มีค่า DE ต่ำ จะมีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำอยู่จำนวนมากกว่าพวกที่มีค่า DE สูง(Chronakis, 1998)

2.11.6 **ช่วยให้ความหนืด** มอลโทเดกซ์ทรินจะแสดงความหนืดเป็นแบบ Newtonian กล่าวคือ เมื่อสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ความหนืดมีค่าลดลง โดยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินชนิดที่มีค่า DE ต่ำ จะมีความหนืดสูง เนื่องจาก มีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ(น้ำหนักโมเลกุลสูง)อยู่มากกว่า ซึ่งความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น(Kenyon and Anderson, 1988)

2.11.7 **ช่วยควบคุมการเกิดผลึกของน้ำตาลซูโครส** โดยมอลโทเดกซ์ทรินจะไปขัดขวางไม่ให้น้ำตาลซูโครสที่มีปริมาณมากเกินจุดอิ่มตัว เกิดการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง เนื่องจาก มอลโทเดกซ์ทรินมีแซคคาไรด์น้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่มากกว่า(Pancoast and Junk, 1980)

บทที่ 3 การทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์หลักที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 **สับประรดสด** พันธุ์ “ศรีราชา”(Ananas comosus) ที่จากร้านท็อปส์ซูเปอร์มาร์เก็ต (Tops supermarket) ที่นำมาวางจำหน่ายโดยบริษัท โดล ประเทศไทย จำกัด(มหาชน) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์(แสดงรูปในภาคผนวก จ 1) เนื่องจาก บริษัทฯได้ทำการคัดเลือกผลที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยสังเกตจากสีเปลือกของสับประรดจะมีสีเขียวปนเหลืองเล็กน้อย น้ำหนักและราคาต่อผลอยู่ในช่วง 2.0 ถึง 2.5 กิโลกรัม และ 19 ถึง 25 บาท ตามลำดับ ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหารโดยรถประจำทาง ซึ่งในช่วงเดินทางนั้นผลสับประรดจะห่อหุ้มด้วยพลาสติกโฟม เพื่อป้องกันการกระแทกทางกล ใช้เวลาการเดินทางประมาณ 10 ถึง 15 นาที เมื่อมาถึงห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหารจะทำการทดลองทันที

3.1.2 **มอลโทเดกซ์ทรินผง** (DE = 28) ที่ได้จากการย่อยสลายจากแป้งมันสำปะหลัง มีสีขาว ไม่มีกลิ่น และมีรสหวานเล็กน้อย ที่ได้จากบริษัท สยามพีริเชียร์ฟู้ด สเปเชียลตี้ จำกัด อำเภอมหาชัย จังหวัดสมุทรสาคร(แสดงรูปในภาคผนวก จ 2) บรรจุในถุง High density polyethylen(HDPE) พร้อมกับห่อหุ้มด้วยกระดาษคาร์บอน้ำตาล อีก 2 ชั้น น้ำหนักสุทธิถุงละ 25 กิโลกรัม ๗ละ 20 บาท อายุการเก็บ 1 ปี และขนส่งมายังห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหารโดยรถยนต์

3.1.3 **น้ำตาลซูโครส** ตรามิตรผล ที่จากร้านสหกรณ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในราคา กิโลกรัมละ 15 บาท

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

กรดซิตริก($C_6H_8O_7$)	เกรดอาหาร
กรดเกลือ(HCl)	เกรดวิเคราะห์
กรดซัลฟูริก(H_2SO_4)	เกรดวิเคราะห์
กรดอะซิติก(CH_3COOH)	เกรดวิเคราะห์
กลูโคสมาตรฐาน(Standard $C_6H_{12}O_6$)	เกรดวิเคราะห์

แคลเซียมคลอไรด์(CaCl ₂)	เกรดอาหาร
ซูโครสมาตรฐาน(Standard C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	เกรดวิเคราะห์
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	เกรดวิเคราะห์
โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์(Na ₂ S ₂ O ₅)	เกรดอาหาร
โซเดียมคาร์บอเนต(Na ₂ CO ₃)	เกรดวิเคราะห์
โซเดียมไธโอซัลเฟต(Na ₂ S ₂ O ₃)	เกรดวิเคราะห์
โบโรโมครีซอลกรีน(C ₂₁ H ₁₄ Br ₄ O ₅ S)	เกรดวิเคราะห์
โปแตสเซียมไอโอไดด์(KI)	เกรดวิเคราะห์
โปแตสเซียมโซเดียมทาร์เตรต(KNaC ₄ H ₄ O ₆)	เกรดวิเคราะห์
โปแตสเซียมไฮโดรเจนพาทาเรท(C ₈ H ₅ KO ₄)	เกรดวิเคราะห์
เมธิลีนบลู(C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S)	เกรดวิเคราะห์
เมธิลเรด(C ₁₃ H ₁₈ N ₃ O ₂)	เกรดวิเคราะห์
ฟรุคโตสมาตรฐาน((Standard C ₆ H ₁₂ O ₆)	เกรดวิเคราะห์
ฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์	เกรดวิเคราะห์
ไอโอดีน(I ₂)	เกรดวิเคราะห์
แบเรียมคลอไรด์(BaCl ₂)	เกรดวิเคราะห์
โซเดียมคลอไรด์(NaCl)	เกรดวิเคราะห์
แมกนีเซียมคลอไรด์(MgCl ₂)	เกรดวิเคราะห์
แมกนีเซียมไนเตรท(Mg(NO ₃) ₂)	เกรดวิเคราะห์
มอลโทสมาตรฐาน(Standard C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	เกรดวิเคราะห์
โปแตสเซียมไดโครเมต(K ₂ Cr ₂ O ₇)	เกรดวิเคราะห์
ลิเทียมคลอไรด์(LiCl)	เกรดวิเคราะห์

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องหั่นสับปะรดเป็นวงแหวน(Mechanical slicer)	(Krupps, GO-85) (ภาคผนวก จ 3)
ชุดเจาะแกนสับปะรดด้วยมือ	(ทำขึ้นเฉพาะเพื่อใช้ในการทดลอง) (ภาคผนวก จ 3)
เครื่องชั่งชนิดละเอียด ทศนิยม 3 ตำแหน่ง	(Satorious, BP-310S)
เครื่องชั่งชนิดละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง	(Mettler Toledo, AB-204)
เครื่องบดอาหารด้วยไฟฟ้า(Electric blender)	(Moulinex, S588)

เตาอบลมร้อน(Hot air oven)	(WTB Binder,E-53)
เครื่องอบแห้งแบบถาด(ลักษณะอุโมงค์ลม)(Tunnel -Tray drier)	(Labotex,HD-5002) (รูปที่ 8)
เครื่องวัดความชื้น(Moisture analyzer)	(Sartorius, MA-30)
โถดูดความชื้น(Desiccator)	(Wertheim,GL)
เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า(Magnetic stirrer)	(Framo, M 21/1)
เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH Meter)	(Schott-Gerate, CG-840)
เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัสอาหาร(Texturometer)	(TA, XT2i) (ภาคผนวก จ 5)
เครื่องวัดค่าWater activity(A_w Sprint)	(Novasina, TH-500)(รูปที่ 5)
เครื่องวัดค่าสี(Colourimeter)	(Minolta, CR-300 S) (ภาคผนวก จ 4)
เครื่องวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(Digital thermometer refractometer)	(Atago, 1 T)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพของสับปะรดสด

3.4.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

- 3.4.1.1.1 **ปริมาณความชื้น** ดัดแปลงวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C.,934.06 (1995) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 2
- 3.4.1.1.2 **ปริมาณของแข็งทั้งหมด** วิเคราะห์โดยการคำนวณกลับ วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 4
- 3.4.1.1.3 **ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด** วัดโดยเครื่อง Digital thermometer refractometer,Atago,1 T(หน่วยเป็นองศาบริกซ์)
- 3.4.1.1.4 **ความเป็นกรดในรูปกรดซิตริก** (Titratable acidity as citric) ดัดแปลงวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C.,942.15 A (1995) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 5
- 3.4.1.1.5 **ความเป็นกรด-ด่าง** วัดโดยใช้เครื่อง pH meter , Schott-Gerate, CG 840 วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 9
- 3.4.1.1.6 **ค่า Water activity** วัดโดยใช้เครื่อง A_w Sprint , Novasina,TH-500 (รูปที่ 5) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 10

3.4.1.2 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

- 3.4.1.2.1 **ค่าสี**(Hunter colour : L , a, b) วัดโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta chroma, CR -300 S วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 11
- 3.4.1.2.2 **ค่าแรงการตัดขาด**(Cutting force) วัดโดยใช้เครื่อง Texture analyzer XT2i, HDP-Knife/Guillotine blade หน่วยเป็นนิวตัน วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 12



รูปที่ 5 เครื่องวัดค่า Water activity ที่ใช้ในการทดลอง A_w Sprint, Novasina TH-500

ที่มา : ห้องปฏิบัติการประกันคุณภาพอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพของมอลโทเดกซ์-ทรินผง

3.4.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.4.2.1.1 ปริมาณความชื้น วัดโดยใช้เครื่อง Moisture analyzer Sartorius, MA-30 วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 3

3.4.2.1.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมด วิเคราะห์โดยการคำนวณกลับ วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 4

3.4.2.1.3 ปริมาณน้ำตาลเดกซ์โทรส* ข้อมูลจาก บริษัทฯ ผู้ผลิต

3.4.2.1.4 ปริมาณน้ำตาลมอลโทส* ข้อมูลจากบริษัท ฯ ผู้ผลิต

3.4.2.1.5 ปริมาณน้ำตาลมอลโทไตรโอส* ข้อมูลจากบริษัท ฯ ผู้ผลิต

3.4.2.1.6 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์* ข้อมูลจากบริษัท ฯ ผู้ผลิต

3.4.2.1.7 **ค่า Water activity** วัดโดยใช้เครื่อง A_w Sprint, Novasina, TH-500 วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 10

หมายเหตุ * บริษัท Cerestar Iberica SA, Barcelona, SPAIN ในงานวิจัยของ Herrera, Pastoriza และ Nesvada(2000)

3.4.2.2 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

3.4.2.2.1 **ค่าสี**(Hunter colour : L , a, b) วัดโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta chroma,CR - 300 S วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 11

3.4.2.2.2 **ความหนาแน่นทั้งหมด**(Bulk density) วิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนัก(Gravimetric method)

3.4.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพของน้ำตาลซูโครส

3.4.3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี(วิเคราะห์เหมือนกับมอลโทเดกซ์ทรินผง)

3.4.3.1.1 ปริมาณความชื้น

3.4.3.1.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมด

3.4.3.1.3 ค่า Water activity

3.4.3.2 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ(วิเคราะห์เหมือนกับมอลโทเดกซ์ทรินผง)

3.4.3.2.1 ความหนาแน่นทั้งหมด

3.4.4 หาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิส

3.4.4.1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส ที่มีต่ออัตราการถ่ายโอนมวลในเนื้อเยื่อสับปะรดและสารละลายออสโมติก ด้วยวิธีออสโมซิส

โดยปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้

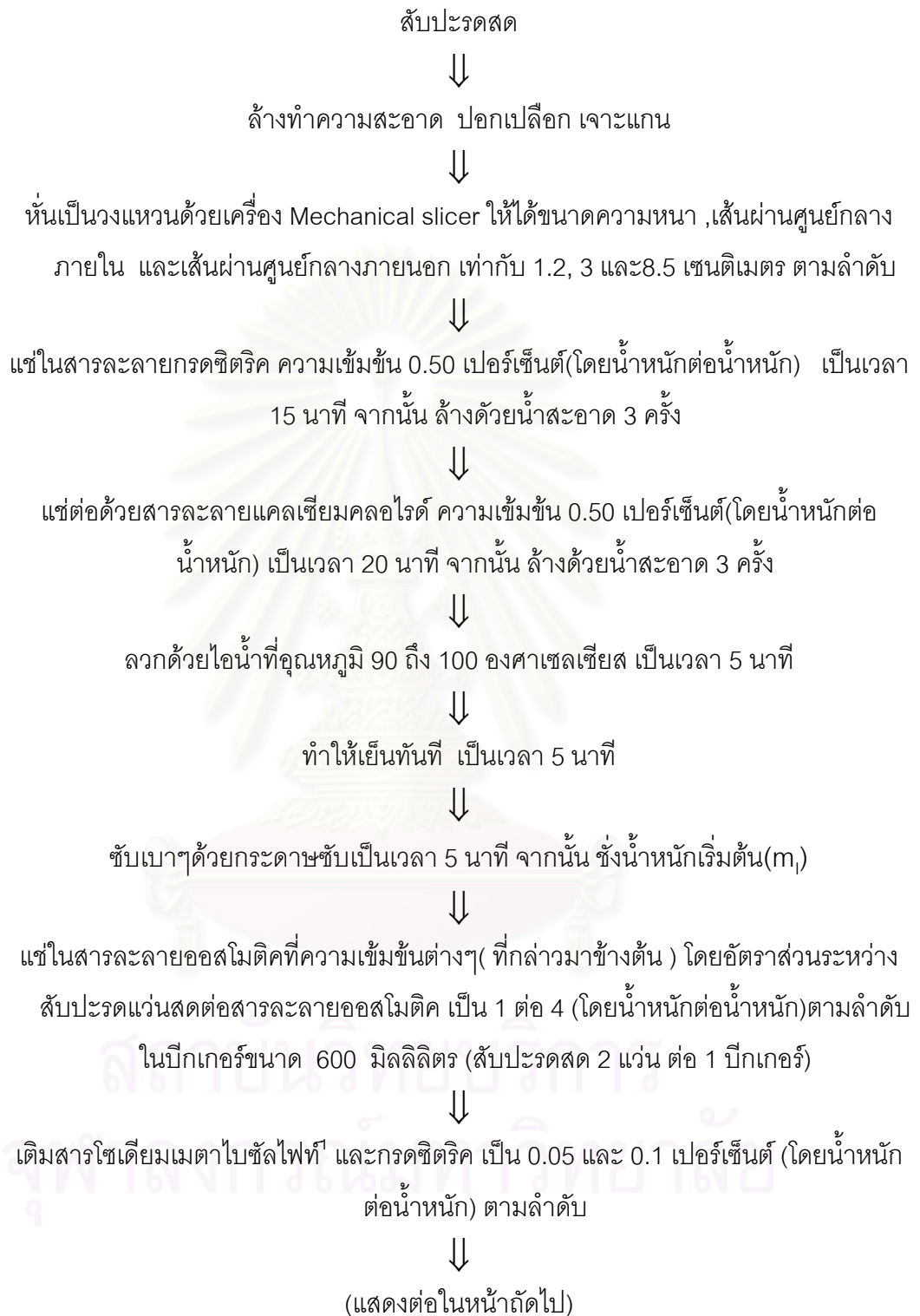
3.4.4.1.1 อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครส(โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) แบ่งได้ทั้งหมด 5 ระดับ ดังนี้

1. สารละลายซูโครส 55 เปอร์เซ็นต์ (Control treatment) (SU55)
2. สารละลายมอลโทเดกซ์ทรีน 55 เปอร์เซ็นต์ (Control treatment) (MD55)
3. สารละลายมอลโทเดกซ์ทรีน 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อ ซูโครส 45 เปอร์เซ็นต์ (MD10/SU45)
4. สารละลายมอลโทเดกซ์ทรีน 30 เปอร์เซ็นต์ ต่อ ซูโครส 25 เปอร์เซ็นต์ (MD30/SU25)
5. สารละลายมอลโทเดกซ์ทรีน 45 เปอร์เซ็นต์ ต่อ ซูโครส 10 เปอร์เซ็นต์ (MD45/SU10)

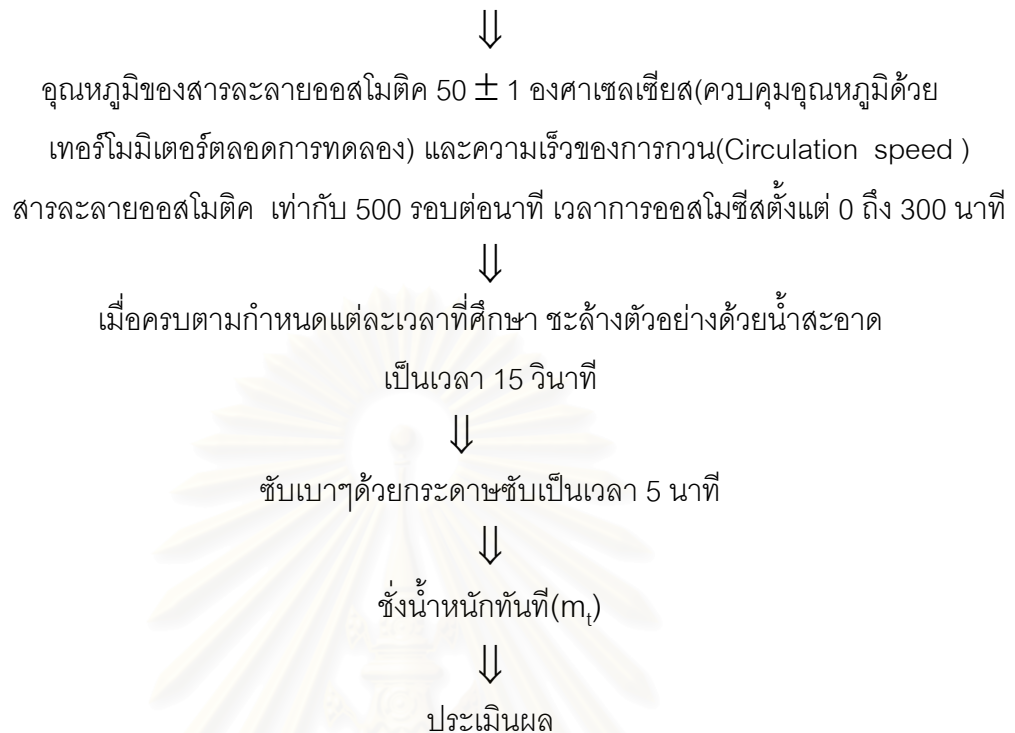
3.4.4.1.2 เวลาของการออสโมซิส

แปรค่าเวลาของการออสโมซิส ทุกๆ 30 นาที จนเข้าสู่ภาวะสมดุล (Equilibrium state) ทั้งหมด 10 ระดับ ดังนี้ 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, และ 300 นาที

วัตถุประสงค์ข้อนี้ดำเนินการผลิตตามกระบวนการออสโมซิสเพื่อخذน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรด ดัง รูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิกระบวนการออกซิมาติกเพื่อขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรด



รูปที่ 6 แผนภูมิกระบวนการออสโมซิสเพื่อจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรด(ต่อ)

ที่มา ดัดแปลงจาก Silveira, Rahman, and Buckle(1996) ; สมชาย ประภาวัต และ มัณฑนา
ร่วมรักษ์ (2541)

¹ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง 919-2532 กำหนดว่า ต้องไม่เกิน 0.1
เปอร์เซ็นต์ (หรือ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

การประเมินผล

1. วิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของความชื้น(Moisture movement) ในเนื้อเยื่อ
สับปะรดและสารละลายออสโมติก หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

โดยการสุ่มตัวอย่างมาเพื่อวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1.1 ปริมาณความชื้น ที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรด ดัดแปลงวิธีวิเคราะห์ของ
A.O.A.C., 934.06(1995) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 2

- 1.2 อัตราของการขจัดน้ำ(Rate of water loss : ω) วิเคราะห์ตามวิธีของ Silveira และคณะ(1996) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข
- 1.3 อัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวม(Rate of net mass reduction : μ) ของเนื้อสัตว์ประรด วิเคราะห์ตามวิธีของ Silveira และคณะ(1996) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข
- 1.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสัตว์ประรดและสารละลายออสโมติก วัดโดยใช้เครื่อง A_w Sprint, Novasina TH-500(รูปที่ 5)วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 10

2. วิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของของแข็ง(Solid movement)ในเนื้อเยื่อสัตว์ประรดและสารละลายออสโมติก

โดยการสุ่มตัวอย่างมาเพื่อวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

- 2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ในเนื้อเยื่อสัตว์ประรด วิเคราะห์โดยการคำนวณกลับ วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 4
- 2.2 อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็ง(Rate of solid gain : δ) ในเนื้อเยื่อสัตว์ประรด วิเคราะห์ตามวิธีของ Silveira และคณะ(1996) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข
- 2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในเนื้อเยื่อสัตว์ประรดและสารละลายออสโมติก วัดโดยใช้เครื่อง Digital thermometer refractometer Atago, 1T (หน่วยเป็นองศาบริกซ์)
- 2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในเนื้อเยื่อสัตว์ประรดและสารละลายออสโมติก ดัดแปลงวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C.,923.09(1995) วิเคราะห์โดยฝ่ายบริการทดสอบ สถาบันอาหาร วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 6
- 2.5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ในเนื้อเยื่อสัตว์ประรด ดัดแปลงวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C., 977.20, 982.14(1995) วิเคราะห์โดยฝ่ายบริการทดสอบ สถาบันอาหาร วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 8

2.6 **ค่าสมมูลเดกซ์โทรส** ในสารละลายออกซิโมติก วิเคราะห์ตามวิธีของ มอก. 268(2521) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 7

3. **วิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างอัตราของการขจัดน้ำ ต่อ อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับประรด(WL / SG ratios)**

- 3.1 **อัตราของการขจัดน้ำ** วิเคราะห์ตามวิธีของ Silveira และคณะ(1996) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข
- 3.2 **อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็ง** ในเนื้อเยื่อสับประรด วิเคราะห์ตามวิธีของ Silveira และคณะ(1996) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จัดการทดลองแบบ Asymmetric factorial ขนาด 5×10 วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design(CRD) ทดลอง 2 ซ้ำ และ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA)ของข้อมูลทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test(Cochran and Cox,1992) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

3.4.5 **หาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน** โดย

3.4.5.1 **ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส(ที่เลือกแล้ว) และเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของความชื้นหรือน้ำ และประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับประรดแห้งในด้านการวัดสีและวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือเฉพาะ**

โดยนำสับประรดที่ผ่านขั้นตอนกระบวนการออกซิมีซิสใน ข้อ 3.4.4 ที่สภาวะเหมาะสม โดยใช้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับประรดเป็นเกณฑ์(ตารางที่ 11)

จะเห็นว่า สับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติก SU55, MD10/SU45 และ MD30/SU25 ที่เวลาของการออสโมซิส 240 นาที จึงเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก จากการวิเคราะห์ ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ที่เวลานี้ไม่แตกต่างจากที่เวลา 270 และ 300 นาที ดังนั้น เพื่อเป็นการ ประหยัดเวลาและพลังงานจึงเลือกที่เวลานี้ในการออสโมซิสที่จะนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้ เครื่องอบแห้งแบบถาด(ลักษณะอุโมงค์ลม)

ดังนั้น ปัจจัยที่ศึกษา มีดังต่อไปนี้

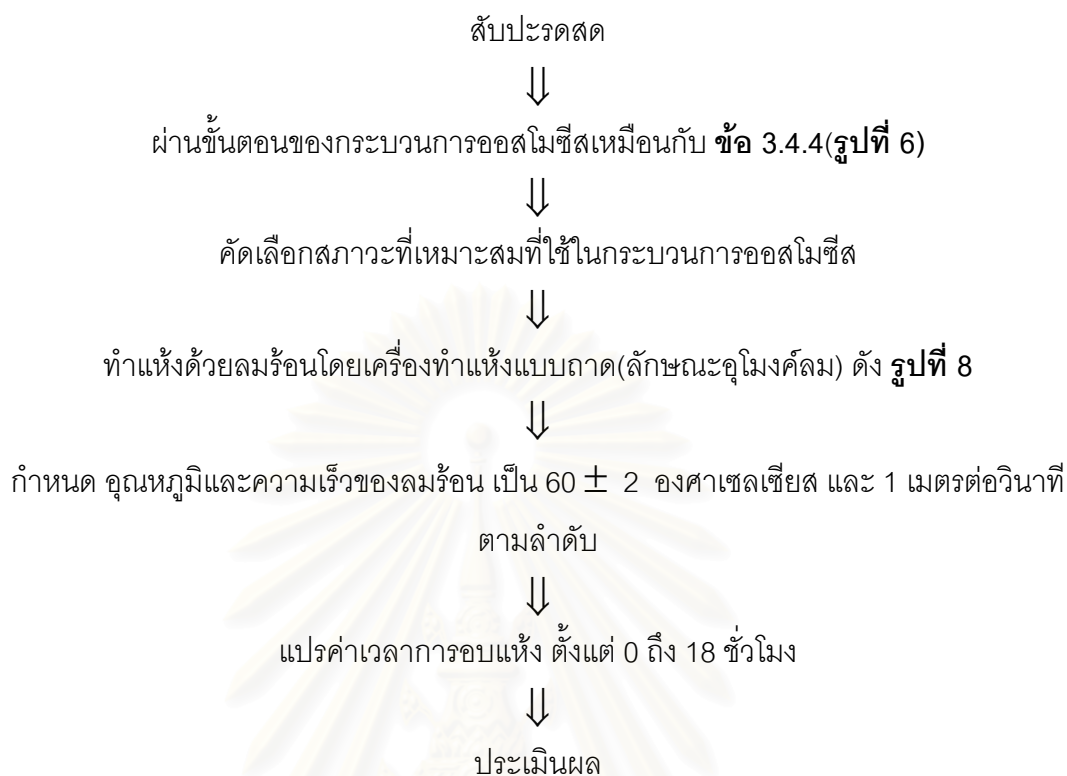
3.4.5.1.1 อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส(โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) เลือกมาทั้งหมด 3 ระดับ ดังนี้

1. สารละลายซูโครส 55 เปอร์เซ็นต์ (SU55)
2. สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อ ซูโครส 45 เปอร์เซ็นต์(MD10/SU45)
3. สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน 30 เปอร์เซ็นต์ ต่อ ซูโครส 25 เปอร์เซ็นต์(MD30/SU25)

3.4.5.1.2 เวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน

แปรค่าตั้งแต่ 0.5 ถึง 18 ชั่วโมง โดยการอบแห้งเพิ่มทุกๆ 30 นาที ในช่วงแรกและ30 นาที ในช่วงเข้าใกล้เวลาสุดท้าย

โดยวัตถุประสงค์ข้อนี้ ดำเนินกระบวนการผลิตสับปะรดที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสที่ สภาวะเหมาะสม ด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนธรรมดา ดัง รูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภูมิกระบวนการผลิตสับปะรดแห้งโดยการอบแห้งด้วยลมร้อน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Silveira และคณะ(1996)



รูปที่ 8 เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด(ลักษณะอุโมงค์ลม) Labotex, HD-5002

ที่มา : ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหารเฉพาะหน่วย ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประเมินผล

1. ปริมาณความชื้นอิสระ (Free moisture contents ; X) ที่เวลา t ใดๆ ที่พึงขจัดได้ในสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส (คำนวณได้จากการทดลอง)

$$\text{ปริมาณความชื้นอิสระ} = X_t - X^*$$

$$\text{เมื่อ } X_t = (W_t - W_s) / W_s$$

$$X^* = \text{ปริมาณความชื้นสมดุล (กิโลกรัม น้ำ ต่อ กิโลกรัม สับปะรดแห้ง)}$$

$$W_t = \text{น้ำหนักของของเปียกที่เวลา } t \text{ ใดๆ (กิโลกรัม)}$$

$$W_s = \text{น้ำหนักของของแห้ง (กิโลกรัม) ที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ } 105 \text{ องศาเซลเซียส}$$

2. อัตราของการอบแห้ง (Rate of drying ; R) ที่เวลา t ใดๆ (คำนวณได้จากการทดลอง)

$$R = \{-(L_s) / A\} \times \{dx / dt\}$$

$$\text{เมื่อ } R = \text{อัตราของการอบแห้ง (กรัม น้ำ ต่อ ชั่วโมง ต่อ ตาราง-เซนติเมตร)}$$

$$L_s = \text{น้ำหนักของของแห้งที่ใช้จริงๆ (กรัม)}$$

$$A = \text{พื้นที่ผิวทั้งหมดของสับปะรดแวนที่สัมผัสลมร้อน (ตาราง-เซนติเมตร)}$$

3. ปริมาณความชื้น ดัดแปลงวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C., 934.06(1995) วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 2

4. ปริมาณของแข็งทั้งหมด โดยการคำนวณกลับ วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 4

5. ค่า water activity วัดโดยใช้เครื่อง A_w Sprint, Novasina, TH-500 วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก 10

6. **ค่าสี** (Hunter colour : L, a, b) วัดโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta chroma meter, CR -300 S วิธีวิเคราะห์ที่แสดงในภาคผนวก ก 11
7. **ค่าแรงการตัดขาด** วัดโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer-XT2i , HDP-Knife/Guillotine blade หน่วยเป็นนิวตัน วิธีวิเคราะห์ที่แสดงในภาคผนวก ก 12

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จัดการทดลองแบบ Asymmetric factorial ขนาด 3×18 วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design(CRD) ทดลอง 2 ซ้ำ และ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA)ของข้อมูลทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test(Cochran and Cox,1992) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

3.4.6 ศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบสโมคซี่ร่วมกับผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง*

วัตถุประสงค์ข้อนี้ ดำเนินการทดลองโดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบสโมคซี่และสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่เลือกแล้วของวัตถุประสงค์ ข้อที่ 3.4.4 และ ข้อที่ 3.4.5 ตามลำดับ

หมายเหตุ * โดยขั้นตอนของกระบวนการผลิตของวัตถุประสงค์ข้อนี้ จะเหมือนกับ รูปที่ 6 และ รูปที่ 7 โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆคงที่เหมือนเดิม

การประเมินผล(อ้างถึงใน กรุณา วงษ์กระจ่าง, 2535)

ประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบ

ทดสอบผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่ผลิตได้โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึก-
ฝน จำนวน 10 คน ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยี-
ทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้วิธีให้คะแนนแบบ Scoring test(ตั้ง
แสดงในภาคผนวก ง) ตามลักษณะดังต่อไปนี้

1. ลักษณะปรากฏ

ลักษณะปรากฏของสับปะรดแห้งมีคะแนนเต็ม 20 คะแนน โดยเมื่อมีลักษณะ
ภายนอกเปียกชื้น หรือเมื่อมีลักษณะภายนอกแห้ง จะมีคะแนนอยู่ในช่วงต่ำ และจะมีคะแนนสูงขึ้น
ตามลำดับ เมื่อมีการยอมรับมากขึ้น

2. สี

สีของสับปะรดแห้งมีคะแนนเต็ม 20 คะแนน โดยมีสีน้ำตาลคล้ำ หรือมีสี
เหลืองซีด จะมีคะแนนอยู่ในช่วงต่ำ และจะมีคะแนนสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อมีการยอมรับมากขึ้น

3. กลิ่นรส

กลิ่นรสของสับปะรดแห้งมีคะแนนเต็ม 30 คะแนน โดยเมื่อมีกลิ่นรส
แปลกปลอมหรือกลิ่นรสไม่เป็นไปตามธรรมชาติ จะมีคะแนนอยู่ในช่วงต่ำ และจะมีคะแนนสูงขึ้น
ตามลำดับเมื่อมีการยอมรับมากขึ้น

4. รสชาติ

รสชาติของสับปะรดแห้งมีคะแนนเต็ม 30 คะแนน โดยเมื่อมีรสชาติหวานมาก
เกินไปหรือไม่หวานเลย จะมีคะแนนอยู่ในช่วงต่ำ และจะมีคะแนนสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อมีการ
ยอมรับมากขึ้น

5. เนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสของสับปะรดแห้งมีคะแนนเต็ม 30 คะแนน โดยเมื่อมีเนื้อสัมผัสนุ่ม เหนียวหรือแข็งกระด้างมากเกินไป จะมีคะแนนอยู่ในช่วงต่ำ และจะมีคะแนนสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อมีการยอมรับมากขึ้น

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Randomized completely block design(RCBD) ทดลอง 10 ซ้ำ และ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน(Analysis of variance : ANOVA)ของข้อมูลทางสถิติ และ เปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s new multiple range test (Cochran and Cox,1992) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ส่วนที่ 1

1.ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของสับปะรดสด มอลโทเดกซ์ทรินผง และน้ำตาลซูโครส

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของสับปะรดสด มอลโทเดกซ์ทรินผง และน้ำตาลซูโครส แสดงไว้ใน ตารางที่ 4, 5 และ 7 ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของสับปะรดสด

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น(ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	85.31 \pm 0.04
ปริมาณของของแข็งทั้งหมด(ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	14.69 \pm 0.04
ปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด($^{\circ}$ Brix)	13.50 \pm 0.41
ปริมาณความเป็นกรดในรูปกรดซิตริก(ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	0.45 \pm 0.08
ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)	3.95 \pm 0.03
ค่า Water activity	0.998 \pm 0.002
ลักษณะทางกายภาพ	
ค่าความสว่าง(Lightness ; L)	71.06 \pm 1.06
ค่าสีแดง(Redness ; a)	-2.33 \pm 1.75
ค่าสีเหลือง(Yellowness ; b)	13.41 \pm 2.21
ค่าแรงการตัดขาด(Cutting force)(นิวตัน)	13.78 \pm 0.24

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของมอลโทเดกซ์ทรีนผง(DE=28)

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น(ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	3.86 \pm 1.18
ปริมาณของของแข็งทั้งหมด(ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	96.14 \pm 0.46
ค่า Water activity	0.238 \pm 0.001
ลักษณะทางกายภาพ	
ค่าความสว่าง(Lightness ; L)	98.17 \pm 0.07
ค่าสีแดง(Redness ; a)	-0.07 \pm 0.03
ค่าสีเหลือง(Yellowness ; b)	2.01 \pm 0.10
ค่า Bulk density (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	602.71 \pm 0.08

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำผลข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของมอลโท-เดกซ์ทรีนผง(DE = 28) ในงานวิจัยของ Herrera และคณะ (2000) ดัง **ตารางที่ 6** เกี่ยวกับสัดส่วนคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นน้ำตาลสายยาวน้ำหนักโมเลกุลสูงบางตัว และงานวิจัยนี้ไม่ได้บอกว่าเป็นมอลโทเดกซ์ทรีนผงที่ผลิตจากแป้งอะไร แต่อาจเป็นประโยชน์ในแง่ที่ว่าให้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีตัวอื่นๆนอกเหนือจากที่ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ไว้ใน **ตารางที่ 5**

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของมอลโทเดกซ์ทรินผง(DE = 28)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง
น้ำตาลกลูโคส	1
น้ำตาลมอลโทส	16
น้ำตาลมอลโทไตรออส	23
พอลิแซคคาไรด์	60

ที่มา : Herrera และคณะ(2000)

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของน้ำตาลซูโครส

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย* \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น(ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.55 \pm 0.01
ปริมาณของแข็งทั้งหมด(ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	99.45 \pm 0.56
ค่า Water activity	0.271 \pm 0.34
ลักษณะทางกายภาพ	
ค่า Bulk density(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	913.48 \pm 1.81

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ส่วนที่ 2

1. วิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของน้ำ(Water movement)ในเนื้อเยื่อสับปะรด และสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส

การประเมินผลในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาการเคลื่อนย้ายของน้ำในเนื้อเยื่อสับปะรดและในสารละลายออสโมติก เมื่อสับปะรดผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ ดังการประเมินผลต่อไปนี

1.1 ปริมาณความชื้น ที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรด

การประเมินผลปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรด หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 8 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8 ข้อมูลปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณความชื้น ^L (กรัมความชื้น ต่อ 100กรัมสับปะรดสดเริ่มต้น)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
0	85.31±1.40 ^v	85.31±1.40 ^v	85.31±1.40 ^v	85.31±1.40 ^v	85.31±1.40 ^v
30	77.76±0.62 ^u	72.67±0.42 ^{qrs}	76.34±1.40 ^{tu}	77.48±1.24 ^u	78.03±2.12 ^u
60	75.40±0.47 ^t	68.71±0.01 ^{klmnop}	74.87±0.40 ^t	72.84±1.50 ^{rs}	75.29±0.19 ⁱ
90	74.79±0.28 ^t	67.84±0.28 ^{klmn}	72.29±2.38 ^{qr}	72.28±0.93 ^{qr}	74.43±0.64 st
120	70.75±0.01 ^{pq}	64.80±0.09 ^{efg}	68.32±0.69 ^{mnoqr}	70.72±0.01 ^{pq}	72.75±0.09 ^{rs}
150	69.38±0.26 ^{nop}	63.27±0.79 ^{de}	66.80±0.98 ^{hijk}	67.49±1.94 ^{ijklm}	69.98±0.01 ^{lmnop}
180	68.96±0.16 ^{lmnop}	61.13±1.07 ^{bc}	65.77±0.71 ^{fghi}	66.42±0.40 ^{ghij}	69.68±0.01 ^{lmnop}
210	68.33±0.17 ^{mnoqr}	60.10±0.08 ^{ab}	64.67±0.61 ^{efg}	65.42±0.72 ^{fgh}	69.05±0.01 ^{lmnop}
240	67.35±0.32 ^{ijklm}	59.96±0.74 ^{ab}	63.93±1.21 ^{def}	64.65±0.22 ^{efg}	68.99±0.01 ^{lmnop}
270	67.13±0.16 ^{hijkl}	59.11±0.46 ^a	62.48±0.08 ^{cd}	64.35±0.16 ^{def}	68.56±0.01 ^{klmno}
300	66.29±0.36 ^{ghij}	58.55±2.35 ^a	60.42±0.25 ^{ab}	63.62±0.24 ^{de}	65.99±0.01 ^{ghij}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) g,h, i, ...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

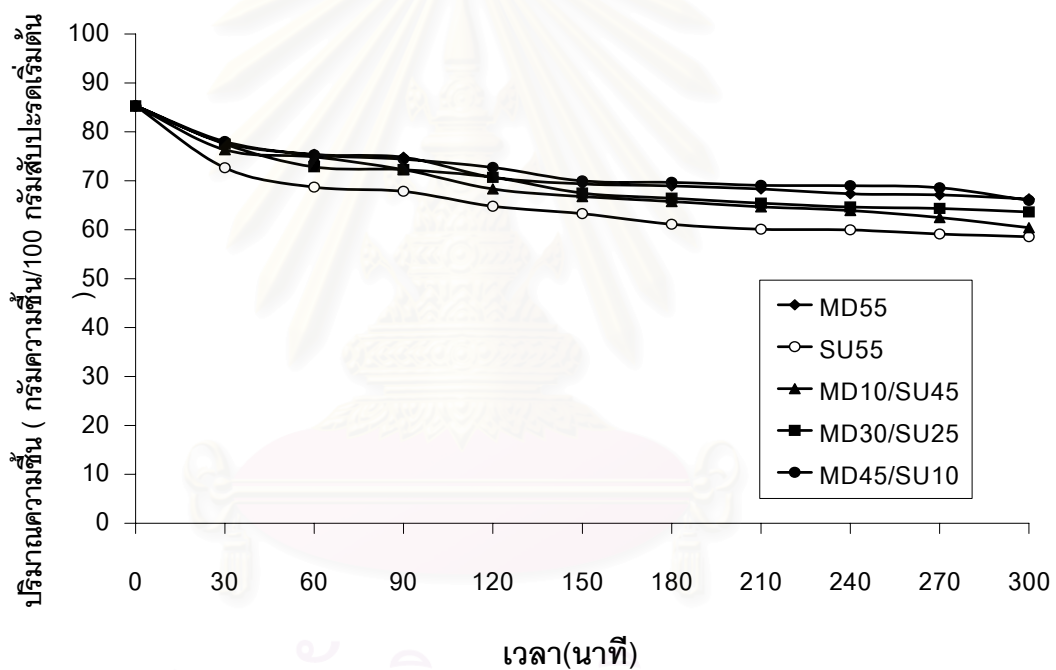
(SU55) a,b,c,...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

(MD10/SU45) a, b,c,...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

(MD30/SU25) d,e,f,...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

(MD45/SU10) g,h,i,...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

จาก ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรด โดยที่ สับปะรดนั้นได้ผ่านกระบวนการออสโมซีสในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 1)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครส กับเวลาของการออสโมซีสมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของน้ำจากเนื้อเยื่อสับปะรดมาที่สารละลาย ออสโมติก นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลง เปรียบเทียบกับเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรีนอย่าง เดียวที่ให้ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลงน้อยกว่า($p \leq 0.05$) จนมีแนวโน้ม เข้าสู่ภาวะสมดุลดังแสดงใน กราฟรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรด กับเวลาของการ ออสโมซีส หลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ

ที่เวลาเริ่มต้น(0นาที)ของการออสโมซีส สับปะรดมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 85.31 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาของการออสโมซีสเพิ่มขึ้น พบว่า สับปะรดที่ผ่านกระบวนการออสโมซีสใน สารละลายซูโครสมีค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรดต่ำกว่าสับปะรดที่ผ่านกระบวนการ ออสโมซีสในสารละลายออสโมติกอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) ค่าความชื้นที่ลดลงตั้งแต่เวลา 0 ถึง 180 นาที ในแต่ละเวลาแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความชื้นที่เวลา 210 ถึง 240 นาที และที่เวลา 270 ถึง

300 นาที นั้นไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) และพบอีกว่า ค่าความชื้นของเนื้อเยื่อสับปะรดที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลายซูโครส 55 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่เวลา 210 ถึง 300 นาที มีค่าเข้าใกล้ภาวะสมดุลชัดเจนที่สุด โดยที่เวลาสุดท้ายคือ 300 นาที มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 58.55 เปอร์เซ็นต์

ส่วนสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายออกซิโมติกที่ความเข้มข้นอื่นๆ พบว่า สับปะรดที่แช่ด้วย MD10/SU45, MD30/SU25, MD45/SU10 และMD55 โดยส่วนใหญ่มีค่าความชื้นในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลงในแต่ละเวลาจากมากไปหาน้อยตามลำดับ โดยเฉพาะที่เวลา 300 นาที เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่าความชื้นเท่ากับ 60.42, 63.62, 65.99 และ 66.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การใช้ MD10/SU45 และ MD30/SU25 นั้นค่าความชื้นในแต่ละเวลา(0 ถึง 300 นาที) ลดลง($p\leq 0.05$) ส่วน MD45/SU10 ที่เวลา 0 ถึง 180 นาที ค่าความชื้นก็ลดลง($p\leq 0.05$) เช่นเดียวกัน ส่วนที่เวลา 210 ถึง 240 นาทีไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) จนกระทั่งเมื่อเวลา 270 ถึง 300 นาทีค่าความชื้นที่ได้ลดลงอีก($p\leq 0.05$) ในขณะที่ MD55 นั้น ค่าความชื้นที่เวลา 0 ถึง 30 และที่ 120 ถึง 300 นาที แตกต่างกัน($p\leq 0.05$) แต่ที่เวลา 60 ถึง 90 นาทีไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วย MD55 ที่เวลา 210 นาที(68.33 เปอร์เซ็นต์) ได้ค่าความชื้นไม่แตกต่างกับสับปะรดที่แช่ด้วย MD10/SU45 ที่เวลา 120 นาที(68.32 เปอร์เซ็นต์)($p>0.05$) เช่นเดียวกัน สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วย MD30/SU25 ที่เวลา 30 นาที(77.48 เปอร์เซ็นต์) ได้ค่าความชื้นไม่แตกต่างกับสับปะรดที่แช่ด้วย MD45/SU10 ที่เวลา 30 นาที(78.03 เปอร์เซ็นต์) และMD55 ที่เวลา 30 นาที(77.46 เปอร์เซ็นต์) เช่นเดียวกัน ($p>0.05$) ส่วนสับปะรดที่แช่ด้วย MD10/SU45 ที่เวลา 60 นาที(74.87 เปอร์เซ็นต์) ได้ค่าความชื้นไม่แตกต่างกับที่แช่ด้วย MD45/SU10 ที่เวลา 60 นาที(75.29 เปอร์เซ็นต์) ($p>0.05$) ส่วนสับปะรดที่แช่ด้วย MD10/SU45 ที่เวลา 300 นาที(60.42 เปอร์เซ็นต์) ได้ค่าความชื้นไม่แตกต่างกับสับปะรดที่แช่ด้วย SU55 ที่เวลา 210 ถึง 240 นาที(60.10 ถึง 59.96 เปอร์เซ็นต์) ($p>0.05$)

1.2 อัตราของการขจัดน้ำ (Rate of water loss : ω) ออกจากเนื้อเยื่อสับปะรด

การประเมินผลอัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 9 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 9 ข้อมูลอัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	อัตราของการขจัดน้ำ * (กรัมของน้ำที่ถูกขจัด ต่อ 100 กรัมสับปะรดสดเริ่มต้น)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
30	25.17±1.32 ^w	11.65±0.58 ^{EF}	17.43±1.18 ^{zA}	28.41±0.74 ^{uv}	22.61±2.52 ^x
60	31.44±1.62 ^{qrs}	12.22±0.30 ^E	26.90±0.33 ^v	30.82±0.88 ^{rst}	29.19±0.06 ^{tu}
90	33.24±0.83 ^{op}	13.30±0.06 ^{DE}	30.01±0.11 ^{stu}	32.98±0.84 ^{pq}	32.73±0.59 ^q
120	34.73±0.32 ^{nop}	13.92±0.08 ^{CDE}	32.56±1.11 ^{qr}	37.83±0.21 ^{ijkl}	35.79±0.06 ^{mn}
150	34.99±0.52 ^{no}	14.36±0.06 ^{CD}	33.33±1.98 ^{op}	38.86±0.45 ^{ij}	40.72±0.09 ⁱ
180	36.91±0.29 ^{klm}	15.16±0.07 ^{BC}	34.87±0.85 ^{no}	42.99±1.83 ^{fg}	41.64±0.62 ^{gh}
210	38.46±0.93 ^{ijk}	16.42±0.03 ^{AB}	36.32±0.95 ^{lmn}	45.03±0.40 ^{de}	43.72±0.08 ^{ef}
240	43.27±1.58 ^{ef}	17.29±0.06 ^{zA}	38.17±0.36 ^{ijkl}	45.14±0.18 ^{de}	46.21±1.89 ^{cd}
270	44.80±0.89 ^{def}	18.73±0.03 ^Z	38.42±0.38 ^{ijk}	46.26±0.17 ^{cd}	48.69±0.33 ^{ab}
300	49.49±0.07 ^a	20.73±0.16 ^y	40.16±0.18 ^{hi}	46.20±0.06 ^{cd}	47.69±0.78 ^{bc}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) a,d,e, ...w ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

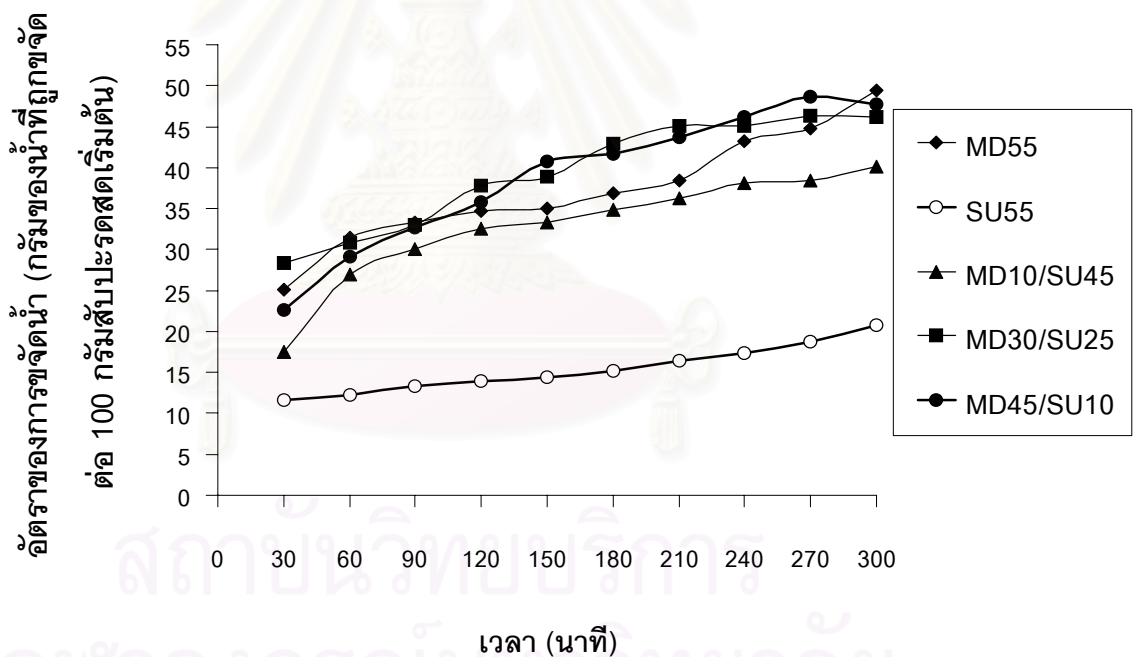
(SU55) x,y,z และ A,B,C,...F ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

(MD10/SU45) h,i,j,...z และ A ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

(MD30/SU25) c,d,e,...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

(MD45/SU10) b,c,d,...x ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 9 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 3)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสมีผลต่ออัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้อัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดน้อยกว่า) จนเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 10 พบว่า สับประรดที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายซูโครสที่เวลาของการออสโมซิสตั้งแต่เวลา 0 ถึง 300 นาที จะมีอัตราของการขจัดน้ำอยู่ในช่วง 11.65 ถึง 20.73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าเมื่อแช่ด้วย MD10/SU45, MD30/SU25 , MD45/SU10 และ MD55($p \leq 0.05$) และที่เวลา 30 นาทีเริ่มต้น สับประรดที่แช่ด้วยสารละลาย MD30/SU25 จะมีอัตราการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดสูงที่สุด คือ 28.41 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดกับเวลาของการออสโมซิสหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

และพบอีกว่า สับปะรดที่แช่ในสารละลาย MD10/SU45 จะมีอัตราของการขจัดน้ำตั้งแต่ 0 ถึง 300 นาที เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล($p \leq 0.05$) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 17.43 ถึง 40.16 เปอร์เซ็นต์

สับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลาย MD30/SU25 จะมีอัตราของการขจัดน้ำตั้งแต่เวลา 0 ถึง 180 นาที เพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 28.41 ถึง 42.99 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นที่เวลา 210 ถึง 240 นาที จะมีค่าไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 45.03 ถึง 45.14 เปอร์เซ็นต์ และที่เวลา 270 ถึง 300 นาที เป็นภาวะที่เข้าใกล้ภาวะสมดุลจะมีค่าไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 46.26 ถึง 46.20 เปอร์เซ็นต์

สับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลาย MD45/SU10 จะมีค่าอัตราของการขจัดน้ำตั้งแต่เวลา 0 ถึง 300 นาที เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p \leq 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 22.61 ถึง 47.69 เปอร์เซ็นต์ และพบอีกว่า ที่เวลาตั้งแต่ 150 ถึง 270 นาที จะมีค่าอัตราของการขจัดน้ำมากที่สุด($p \leq 0.05$) และมากกว่าเมื่อแช่ด้วยสารละลายออสโมติกอื่นๆ คือ อยู่ในช่วง 40.72 ถึง 48.69 เปอร์เซ็นต์

สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลาย MD55 จะมีค่าอัตราของการขจัดน้ำตั้งแต่เวลา 0 ถึง 300 นาที เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p \leq 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 25.17 ถึง 49.49 เปอร์เซ็นต์ และพบอีกว่า ที่เวลา 300 นาที จะมีค่าอัตราของการขจัดน้ำสูงที่สุด($p \leq 0.05$) คือ 49.49 เปอร์เซ็นต์ และสูงมากกว่าเมื่อแช่ด้วยสารละลายออสโมติกอื่นๆ

นอกจากนี้ ยังพบว่า สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วย MD55 ที่เวลา 90 นาที จะมีค่าอัตราของการขจัดน้ำ(33.24)ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ด้วย MD10/SU45 ที่เวลา 150 นาที(33.33 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$) ส่วนสับปะรดที่แช่ด้วย SU55 ที่เวลา 240 นาที จะมีค่าอัตราของการขจัดน้ำ(17.29 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ด้วย MD10/SU45 ที่เวลา 30 นาที(17.43 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วย MD45/SU10 ที่เวลา 210 นาที จะมีค่าอัตราของการขจัดน้ำ(43.72 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ด้วย MD55 ที่เวลา 240 นาที(43.27 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$)

1.3 อัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวม(Rate of net mass reduction : μ) ของเนื้อสับประรด

การประเมินผลอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซิสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 10 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10 ข้อมูลอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซิสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	อัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวม * (กรัมน้ำหนักรวมที่ลดลง ต่อ 100 กรัม สับประรดสดเริ่มต้น)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
30	21.30±0.41 ^{qrst}	-1.83±0.09 ^v	13.31±0.18 ^u	24.57±0.75 ^{nop}	19.58±1.16 ^t
60	26.74±1.08 ^{klm}	-6.46±0.39 ^w	20.10±1.07 st	26.09±0.95 ^{lmn}	25.37±0.01 ^{mno}
90	28.21±0.63 ^{jk}	-11.34±0.15 ^x	20.42±0.14 ^{rst}	27.60±0.24 ^{kl}	29.35±0.18 ^{ij}
120	29.51±0.23 ^{ij}	-12.58±0.03 ^{xy}	21.82±1.11 ^{qrs}	31.01±0.30 ^{hi}	31.57±0.72 ^h
150	28.35±0.35 ^{jk}	-14.15±0.05 ^{yz}	21.86±2.29 ^{qrs}	31.83±0.16 ^h	33.78±0.21 ^g
180	30.33±0.31 ^{hi}	-14.38±0.07 ^z	22.19±1.30 ^{qr}	35.86±2.04 ^{ef}	35.10±1.57 ^{fg}
210	31.88±0.95 ^h	-14.40±0.13 ^z	22.9±1.12 ^{pq}	37.86±0.41 ^{bcd}	36.15±0.07 ^{def}
240	36.61±1.55 ^{cdef}	-14.46±0.05 ^z	25.32±0.58 ^{mno}	37.90±0.19 ^{bcd}	38.74±1.65 ^b
270	38.0±0.86 ^{bc}	-14.64±0.07 ^z	24.86±0.39 ^{no}	38.77±0.18 ^b	41.24±0.38 ^a
300	42.25±0.03 ^a	-15.00±0.24 ^z	24.02±0.72 ^{op}	37.52±0.01 ^{bcde}	40.71±0.67 ^a

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) a,b,c, ...t ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(SU55) v,w,x,...z ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

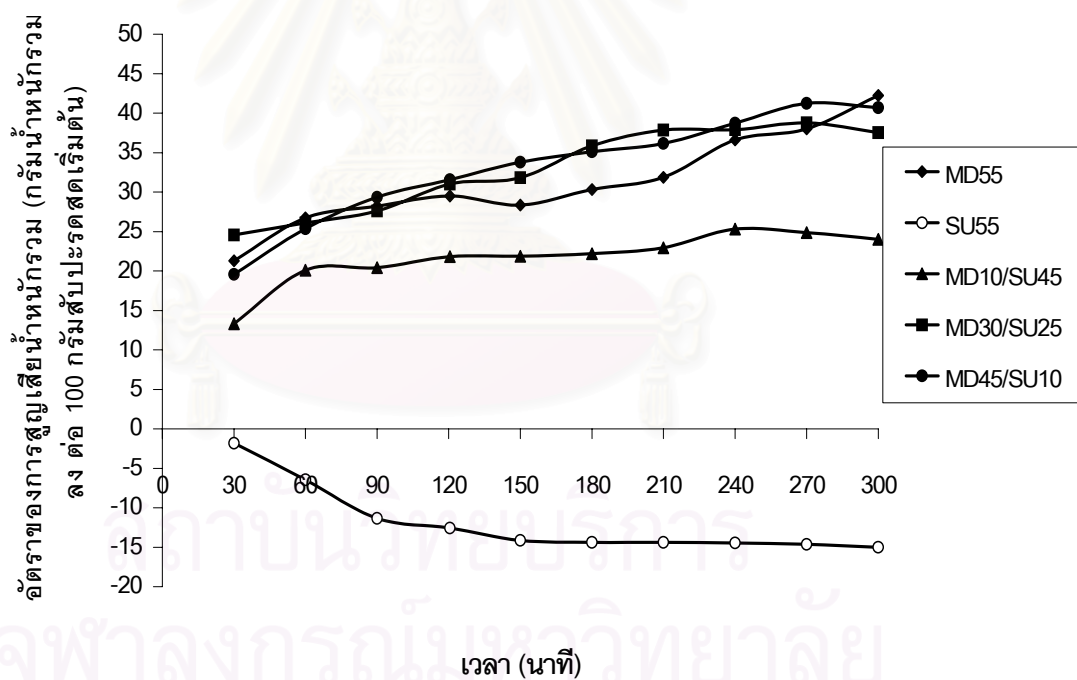
(MD10/SU45) m,n,o,...u ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD30/SU25) b,c,d,...p ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD45/SU10) a,b,d,...t ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 10 เป็นการศึกษอิทธิพลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโท-เดกซ์ทรินร่วมกับเวลาของการอบสโมคซีสที่มีต่ออัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อสัตว์หลังผ่านกระบวนการอบสโมคซีสที่สภาวะต่างๆ

จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 4)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโท-เดกซ์ทรินร่วมกับเวลาของการอบสโมคซีสมีผลต่ออัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อสัตว์ปกระด นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบสโมคซีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อสัตว์ปกระดเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้อัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมลดลงในเชิงลบ)จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 11



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อสัตว์ปกระด กับเวลาของการอบสโมคซีส หลังผ่านกระบวนการอบสโมคซีสที่สภาวะต่างๆ

สับปะรดเมื่อผ่านการแช่ด้วย MD10/SU45 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 30 ถึง 90 นาที และ 180 ถึง 300 นาที จะมีค่าอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้น($p>0.05$) โดยอยู่ในช่วง 13.31 ถึง 20.42 และ 22.19 ถึง 24.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแตกต่างจากเมื่อแช่ด้วย MD55 และ SU55 อย่างเดียว($p\leq 0.05$) ส่วนที่เวลา 120 ถึง 150 นาที ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) คืออยู่ในช่วง 21.82 ถึง 21.86 เปอร์เซ็นต์

สับปะรดเมื่อผ่านการแช่ด้วย MD30/SU25 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 30 นาที จะมีค่าอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมสูงที่สุด($p\leq 0.05$) คือ 24.57 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าเมื่อแช่ด้วยสารละลายอบสโมคชีสตัวอื่นๆ($p\leq 0.05$) หลังจากนั้น ที่เวลา 60 ถึง 180 นาที และ 270 ถึง 300 นาที จะมีค่าอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) โดยอยู่ในช่วง 26.09 ถึง 35.86 และ 38.77 ลดถึง 37.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 210 ถึง 240 นาที ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) และแตกต่างจากเมื่อแช่ด้วย MD55 และ SU55 อย่างเดียว($p\leq 0.05$) ยกเว้นที่เวลา 150 นาที(31.83 เปอร์เซ็นต์) จะไม่แตกต่างกับ MD55 ที่เวลา 210 นาที(31.88 เปอร์เซ็นต์)

สับปะรดเมื่อผ่านการแช่ด้วย MD45/SU10 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 30 ถึง 240 นาที จะมีค่าอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 19.58 ถึง 38.74 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เวลา 270 ถึง 300 นาที จะมีค่าไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) และจะมีค่าแตกต่างจากเมื่อใช้ MD55 และ SU55 อย่างเดียว($p\leq 0.05$) ยกเว้นที่เวลา 120 นาที(31.57 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ MD55 ที่เวลา 210 นาที(31.88 เปอร์เซ็นต์)($p>0.05$) และยกเว้นที่เวลา 270 ถึง 300 นาที(41.24 ลดถึง 40.71 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ MD55 ที่เวลา 300 นาที(42.25 เปอร์เซ็นต์)($p>0.05$)

สับปะรดเมื่อผ่านการแช่ด้วย MD55 อย่างเดียว ที่เวลาของการอบสโมคชีส 30 ถึง 300 นาที จะมีค่าอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$)

เช่นเดียวกัน สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วย SU55 อย่างเดียว ที่เวลาของการอบสโมคชีส 30 ถึง 150 นาที จะไม่มีการสูญเสียน้ำหนักรวม น้ำหนักรวมกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) จะเห็นว่า ที่เวลาการอบสโมคชีส 30 ถึง 150 นาที จะมีค่าน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้น

($p \leq 0.05$) ไปในทิศทางลบ ส่วนที่เวลาตั้งแต่ 180 ถึง 300 นาที(จนเข้าสู่ภาวะสมดุล) ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$) คือ อยู่ในช่วง -14.38 ถึง -15.0 เปอร์เซ็นต์

1.4 การเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรด

การประเมินผลการเปลี่ยนแปลงของค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 11 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 11 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	Water activity *				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
0	0.998±0.001 ^a	0.998±0.001 ^a	0.998±0.001 ^a	0.998±0.001 ^a	0.998±0.001 ^a
30	0.975±0.021 ^c	0.974±0.005 ^c	0.974±0.006 ^c	0.974±0.000 ^c	0.972±0.01 ^{def}
60	0.978±0.023 ^b	0.968±0.013 ^{ghij}	0.973±0.011 ^{cde}	0.973±0.036 ^{cde}	0.967±0.056 ^{ijkl}
90	0.975±0.006 ^c	0.964±0.001 ^{mno}	0.970±0.018 ^{defg}	0.970±0.025 ^{defg}	0.967±0.042 ^{ghijk}
120	0.975±0.008 ^c	0.962±0.003 ^{mn}	0.970±0.071 ^{defg}	0.970±0.051 ^{defg}	0.966±0.013 ^{hijk}
150	0.973±0.006 ^{cde}	0.959±0.042 ^{nop}	0.965±0.013 ^{ijkl}	0.970±0.012 ^{defg}	0.965±0.071 ^{ijkl}
180	0.970±0.040 ^{defg}	0.956±0.065 ^{qrs}	0.963±0.045 ^{lm}	0.970±0.071 ^{defg}	0.965±0.001 ^{ijkl}
210	0.968±0.041 ^{fghi}	0.956±0.025 ^{qrs}	0.960±0.035 ^{no}	0.968±0.005 ^{fghi}	0.964±0.041 ^{lm}
240	0.968±0.012 ^{fghi}	0.952±0.028 st	0.957±0.026 ^{op}	0.960±0.006 ^{no}	0.964±0.038 ^{lm}
270	0.967±0.023 ^{fghi}	0.952±0.003 st	0.957±0.081 ^{op}	0.960±0.016 ^{no}	0.964±0.001 ^{lm}
300	0.967±0.036 ^{fghi}	0.952±0.004 st	0.957±0.015 ^{op}	0.960±0.034 ^{no}	0.963±0.012 ^{lm}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) a,b,c, ...i ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

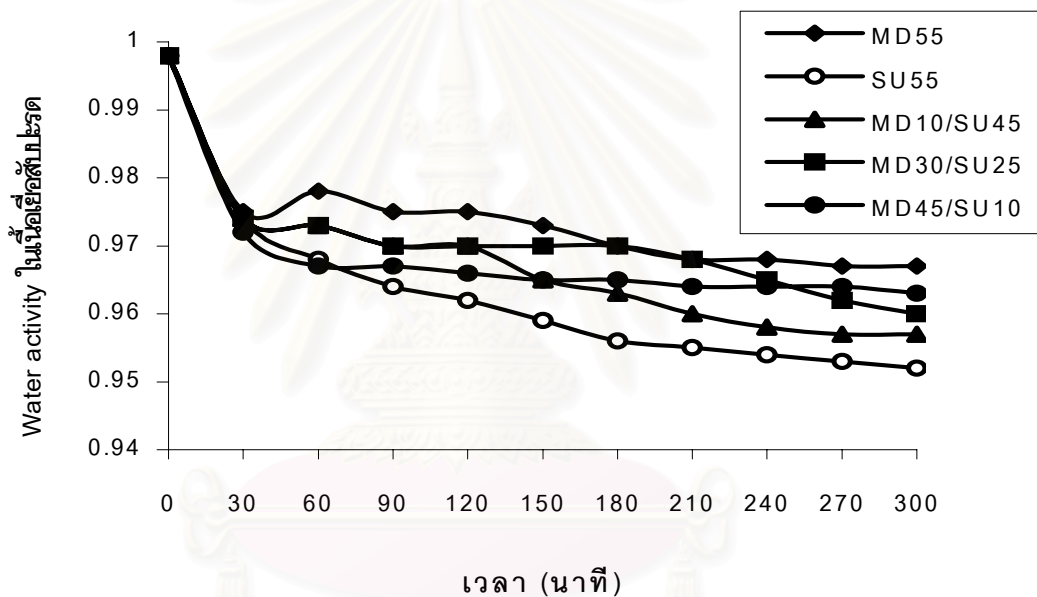
(SU55) a,c,g,...t ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD10/SU45) a,c,d,...p ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD30/SU25) a,c,d,...o ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD45/SU10) a,d,e,...m ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลองใน ตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 6)ระหว่าง อัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบสโมชีสมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการอบสโมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลง(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรีนอย่างเดียวที่ให้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลงน้อยกว่า) จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 12 โดยสับปะรดสดมีค่า Water activity เริ่มต้นเท่ากับ 0.998



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Water activity ของเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของการอบสโมชีสหลังผ่านกระบวนการอบสโมชีสที่สภาวะต่างๆ

จากตารางที่ 10 MD10/SU45 พบว่า ที่เวลาการอบสโมชีสตั้งแต่ 0 ถึง 300 นาที เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่า Water activity ลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p \leq 0.05$) คือ อยู่ในช่วงลด 0.998 ถึง 0.957 และพบอีกว่า ที่เวลา 30 ถึง 210 นาที เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่า Water activity ลดลง ($p \leq 0.05$) หลังจากนั้น เมื่อเวลา 240 ถึง 300 นาที เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่า Water activity ไม่

แตกต่างกัน($p>0.05$) นอกจากนี้ ยังสังเกตว่า ที่เวลา 30 นาที($A_w 0.974$) ค่า Water activity ที่ได้ไม่แตกต่างกันกับเมื่อแช่ด้วย MD30/SU25, MD55 และ SU55($p>0.05$) ที่เวลาเดียวกัน

สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลาย MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคซีสเพิ่มขึ้นส่งผลให้เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่า Water activity ลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ($p\leq 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 0.998 ลดถึง 0.960 และพบว่า ที่เวลา 90 ถึง 180 นาที($A_w 0.970$) กับที่เวลา 240 ถึง 300 นาที ($A_w 0.957$) เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่า Water activity ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) และยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ด้วย MD10/SU45 และ MD55 ที่เวลา 90 ถึง 120 นาที($A_w 0.970$) และ 180 นาที($A_w 0.970$)($p>0.05$) ตามลำดับ

สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วย MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคซีสเพิ่มขึ้นส่งผลให้เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่า Water activity ลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p\leq 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 0.998 ลดถึง 0.963 และพบอีกว่า ที่เวลา 120 ถึง 180 นาที($A_w 0.966$ ลดถึง 0.965) เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่า Water activity ที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) เช่นเดียวกับที่เวลา 210 ถึง 300 นาที($A_w 0.964$ ลดถึง 0.963) ก็ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) และยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ด้วย MD10/SU45 ที่เวลา 180 นาที($A_w 0.963$) ($p>0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วย MD55 อย่างเดียว พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคซีสเพิ่มขึ้นส่งผลให้เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่า Water activity ลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p\leq 0.05$) เช่นเดียวกัน คือ อยู่ในช่วงลด 0.998 ถึง 0.967 และพบอีกว่า ที่เวลา 90 ถึง 120 นาที($A_w 0.975$) ได้ค่า Water activity ไม่แตกต่างกัน และยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ด้วย MD10/SU45, MD30/SU25, MD45/SU10 และ SU55 ที่เวลา 30 นาที($p>0.05$) นอกจากนี้ ที่เวลา 210 ถึง 300 นาที ($A_w 0.967$) ก็ยังได้ค่า Water activity ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) และยังพบอีกว่า ที่เวลา 150 นาที ($A_w 0.973$) ค่า Water activity ที่ได้ไม่แตกต่างจากเมื่อแช่ด้วย MD10/SU45, MD30/SU25 ที่เวลา 60 นาที($A_w 0.973$) ($p>0.05$) เช่นเดียวกัน

สับปะรดเมื่อผ่านการแช่ด้วย SU55 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคซีสเพิ่มขึ้นส่งผลให้เนื้อเยื่อสับปะรดมีค่า Water activity ลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p\leq 0.05$) เช่นเดียวกัน คือ อยู่ใน

ในช่วง 0.998 ลดถึง 0.952 และสังเกตว่า เนื้อเยื่อสับประคมีค่า Water activity ในแต่ละเวลาของการอบสโมสมีค่าน้อยกว่าเมื่อแช่ด้วยความเข้มข้นของสารละลายอบสโมตาคอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) และยังพบอีกว่า ที่เวลา 240 ถึง 300 นาที ค่า Water activity ที่ได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 การเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ของสารละลายออสโมติก

การประเมินผลการเปลี่ยนแปลงของค่า Water activity ของสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 12 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 12 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ของสารละลายออสโมติก หลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	Water activity *				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
0	0.938±0.005 ^{ij}	0.906±0.014 ^r	0.893±0.002 ^s	0.936±0.056 ^{ij}	0.940±0.012 ^{hi}
30	0.956±0.011 ^f	0.919±0.010 ^q	0.909±0.001 ^r	0.942±0.006 ^h	0.949±0.005 ^g
60	0.959±0.010 ^{bcdef}	0.922±0.002 ^{pq}	0.920±0.006 ^q	0.949±0.003 ^g	0.957±0.001 ^{ef}
90	0.960±0.020 ^{bcdef}	0.924±0.008 ^{nop}	0.925±0.012 ^{nop}	0.950±0.005 ^g	0.958±0.003 ^{def}
120	0.960±0.003 ^{bcdef}	0.926±0.025 ^{mno}	0.932±0.006 ^k	0.950±0.063 ^g	0.959±0.007 ^{bcdef}
150	0.960±0.006 ^{bcdef}	0.928±0.017 ^{klmn}	0.936±0.008 ^{ij}	0.950±0.035 ^g	0.959±0.012 ^{bcdef}
180	0.961±0.001 ^{abcde}	0.928±0.042 ^{klmn}	0.936±0.015 ^{ij}	0.956±0.011 ^f	0.959±0.012 ^{bcdef}
210	0.962±0.004 ^{abc}	0.929±0.029 ^{klm}	0.936±0.006 ^{ij}	0.959±0.015 ^{bcdef}	0.959±0.308 ^{bcdef}
240	0.962±0.045 ^{abc}	0.931±0.028 ^{kl}	0.937±0.003 ^{ij}	0.964±0.003 ^a	0.959±0.005 ^{bcdef}
270	0.963±0.036 ^{ab}	0.931±0.052 ^{kl}	0.938±0.008 ^{ij}	0.963±0.045 ^{ab}	0.960±0.012 ^{bcdef}
300	0.964±0.035 ^a	0.931±0.005 ^{kl}	0.939±0.015 ^{hi}	0.963±0.056 ^{ab}	0.963±0.005 ^{ab}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) a,b,c, ...j ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

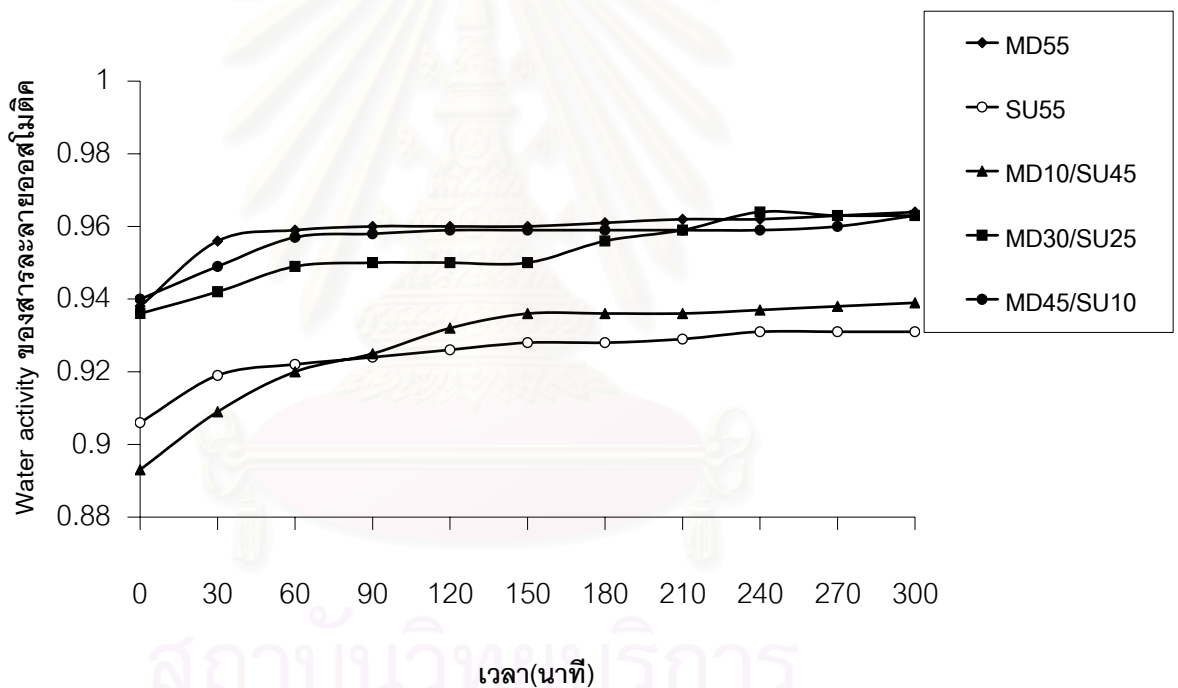
(SU55) k,l,m,...r ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD10/SU45) h,i,j,...s ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD30/SU25) a,b,c, ...j ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD45/SU10) a,b,c, ...i ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 7)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบสโมคมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Water activity ของสารละลายอบสโมค($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบสโมคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Water activity ของสารละลายอบสโมคเพิ่มขึ้น (เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ค่า Water activity ของสารละลายอบสโมคที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า)จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 13 โดยสารละลาย SU55, MD55, MD10/SU45, MD30/SU25 และ MD45/SU10 มีค่า Water activity เริ่มต้นเท่ากับ 0.893, 0.938, 0.906, 0.936 และ 0.940 ตามลำดับ



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Water activity ของสารละลายอบสโมค กับเวลาของการอบสโมค หลังผ่านกระบวนการอบสโมคที่สภาวะต่างๆ

เมื่อพิจารณา สารละลาย MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Water activity มีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มขึ้นในช่วง 0.893 ถึง 0.939 และพบว่า ที่เวลา 150 ถึง 270 นาที (A_w 0.936 ถึง 0.938) ให้ค่า Water activity ไม่แตกต่างกัน และยังไม่แตกต่างกับสารละลาย MD55 และ MD30/SU25 ที่เวลา 0 นาที (A_w 0.938) และเวลา 0 นาที (A_w

0.936)($p>0.05$) ตามลำดับ และยังพบอีกว่า ที่เวลา 300 นาที(A_w 0.939) ยังไม่แตกต่างกับ สารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 0 นาที(A_w 0.940) ($p>0.05$)

สารละลาย MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Water activity มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มขึ้นในช่วง 0.936 ถึง 0.963 และพบว่า ที่เวลา 60 ถึง 150 นาที ได้ค่า Water activity ไม่แตกต่างกัน และยังไม่แตกต่างกับสารละลาย MD45/SU10 ($p>0.05$) ส่วนที่เวลา 210 นาที(A_w 0.959) ไม่แตกต่างกับสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 180 นาที(A_w 0.959) ($p>0.05$) ที่เวลา 240 นาที(A_w 0.964) ไม่แตกต่างกับสารละลาย MD55 ที่เวลา 300 นาที นอกจากนี้ ยังพบว่า ที่เวลา 270 ถึง 300 นาที(A_w 0.963)มีค่าไม่แตกต่างกัน และยังไม่แตกต่างกับสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 300 นาที(A_w 0.963)($p>0.05$)

สารละลาย MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ได้ค่า Water activity มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มขึ้นในช่วง 0.940 ถึง 0.963 และพบว่า ที่เวลา 120 ถึง 270 นาที ได้ค่า Water activity ไม่แตกต่างกัน และยังไม่แตกต่างกับสารละลาย MD55 ที่เวลา 60 ถึง 150 นาที($p>0.05$) นอกจากนี้ ที่เวลา 300 นาที ได้ค่าไม่แตกต่างกับสารละลาย MD30/SU25 และ MD55 ที่เวลา 270 ถึง 300 นาที(A_w 0.963) และเวลา 270 นาที(A_w 0.963) ($p>0.05$) ตามลำดับ

สารละลาย MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ได้ค่า Water activity มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มขึ้นในช่วง 0.938 ถึง 0.964 และพบอีกว่า ที่เวลา 60 ถึง 150 นาที ได้ค่าไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) หลังจากนั้นที่เวลา 210 ถึง 240 นาที ได้ค่าไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกัน และยังพบว่า ที่เวลา 30 นาที(A_w 0.956) ได้ค่าไม่แตกต่างกับสารละลาย MD30/SU25 ที่เวลา 180 นาที(A_w 0.956) ($p>0.05$)

ส่วนสารละลาย SU55 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ได้ค่า Water activity มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มขึ้นในช่วง 0.906 ถึง 0.931 และพบอีกว่า ที่เวลา 150 ถึง 180 นาที ได้ค่าไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่เวลา 240 ถึง 300 นาที ก็ไม่แตกต่างเช่นเดียวกัน ($p>0.05$) นอกจากนี้ ที่เวลา 30 นาที(A_w 0.919) ได้ค่าไม่แตกต่างกับสารละลาย MD10/SU45 ที่

เวลา 60 นาที(A_w 0.920) ส่วนที่เวลา 90 นาที(A_w 0.924)ได้ค่าไม่แตกต่างกับสารละลาย MD10/SU45 ที่เวลา 90 นาที(A_w 0.925) ($p>0.05$) เช่นเดียวกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. วิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของของแข็ง(solid movement)ในเนื้อเยื่อสับปะรดและสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส

การประเมินผลในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาการเคลื่อนย้ายของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดและในสารละลายออสโมติก เมื่อสับปะรดผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ในเนื้อเยื่อสับปะรด

การประเมินผลปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 13 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 13 ข้อมูลปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด* (กรัมของแข็งทั้งหมด ต่อ 100 กรัมสับปะรดสดเริ่มต้น)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
0	14.69±1.40 ^v	14.69±1.40 ^v	14.69±1.40 ^v	14.69±1.40 ^v	14.69±1.40 ^v
30	22.24±0.62 ^u	27.34±0.42 ^{vw}	23.66±1.40 ^u	22.52±1.24 ^u	21.97±2.12 ^u
60	24.60±0.47 ^t	31.29±0.01 ^{aopqrs}	25.13±0.40 ^t	27.16±1.50 ^{vw}	24.72±0.19 ^t
90	25.21±0.28 ^t	32.16±0.28 ^{mnpqr}	27.72±2.88 ^{qr}	27.72±0.93 ^{uv}	25.58±0.64 st
120	29.25±0.01 ^{pq}	35.21±0.09 ^{ghij}	31.68±0.69 ^{nopqrs}	29.28±0.01 ^{pq}	27.26±0.09 ^{vw}
150	30.62±0.26 ^{qrst}	36.73±0.79 ^{ef}	33.21±0.98 ^{klmno}	32.51±1.94 ^{lmnopq}	30.02±0.01 st
180	31.04±0.16 ^{pqrst}	38.88±1.07 ^{cd}	34.23±0.71 ^{hijkl}	33.58±0.40 ^{jklmn}	30.32±0.01 ^{rst}
210	31.67±0.17 ^{nopqrs}	39.42±0.80 ^{bc}	35.33±0.61 ^{ghij}	34.58±0.73 ^{ghijk}	30.95±0.01 ^{pqrst}
240	32.65±0.32 ^{klmnop}	40.04±0.74 ^{abc}	36.08±1.21 ^{efgh}	35.35±0.22 ^{fghij}	31.01±0.01 ^{pqrst}
270	32.87±0.16 ^{klmnop}	40.90±0.46 ^{ab}	37.53±0.07 ^{de}	35.65±0.16 ^{efghi}	31.44±0.01 ^{opqrs}
300	33.71±0.36 ^{ijklm}	41.45±2.35 ^a	39.58±0.25 ^{bc}	36.38±0.24 ^{efg}	34.01±0.02 ^{ijklm}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) i,j,k, ...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

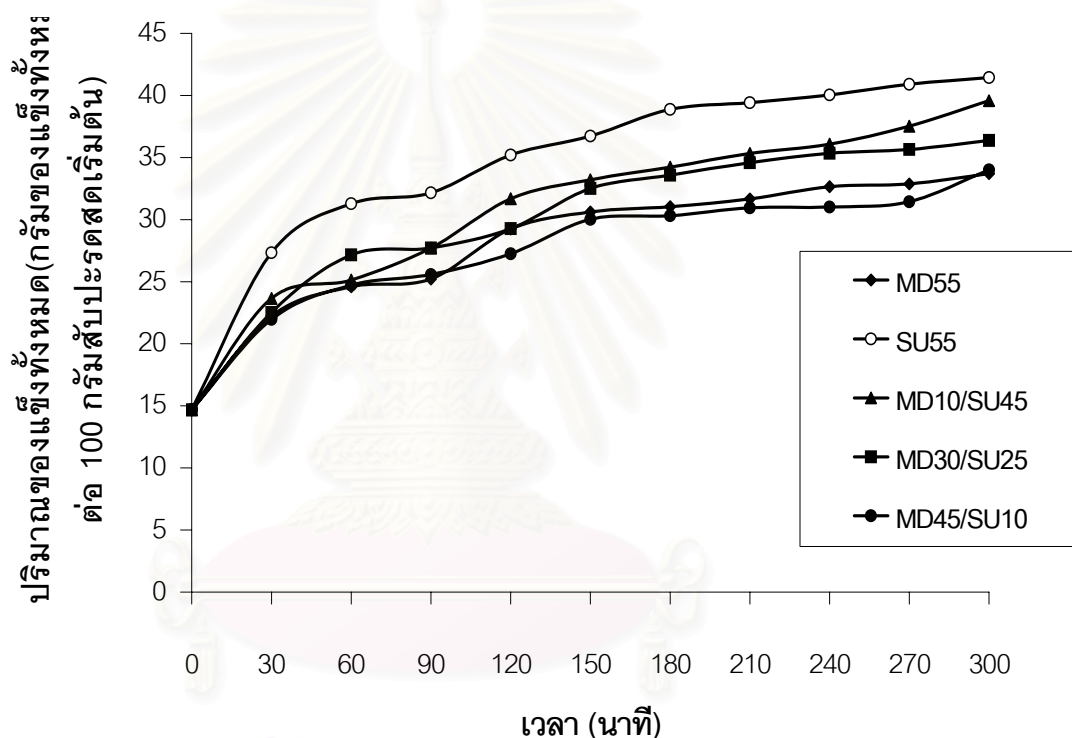
(SU55) a,b,c,...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

(MD10/SU45) b,c,d,...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

(MD30/SU25) e,f,g, ...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

(MD45/SU10) i,j,k, ...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P≤0.05)

จาก ตารางที่ 13 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 2)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบสโมคซีสมีผลต่อปริมาณของของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการอบสโมคซีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประรดลดลง(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรีนอย่างเดียวที่ให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประรดที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า) ($p \leq 0.05$) จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 14



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประรด กับเวลาของการอบสโมคซีส หลังผ่านกระบวนการอบสโมคซีสที่สภาวะต่างๆ

ข้อมูลที่แสดงทั้งหมดใน ตารางที่ 13 จะสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อตับประรดที่แสดงใน ตารางที่ 8 นั่นคือ ปริมาณความชื้นทั้งหมดที่ถูกขจัดออกจากเนื้อเยื่อตับประรดที่เวลาการอบสโมคซีสใดๆ ก็เหลือปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประรดที่เวลาการอบสโมคซีสใดๆเท่านั้น จะเห็นว่า ที่เวลา 0 นาที (เริ่มต้น) สับประรดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 14.69 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้น ที่เหลือจะเป็นปริมาณความชื้นทั้งหมดที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อตับประรด

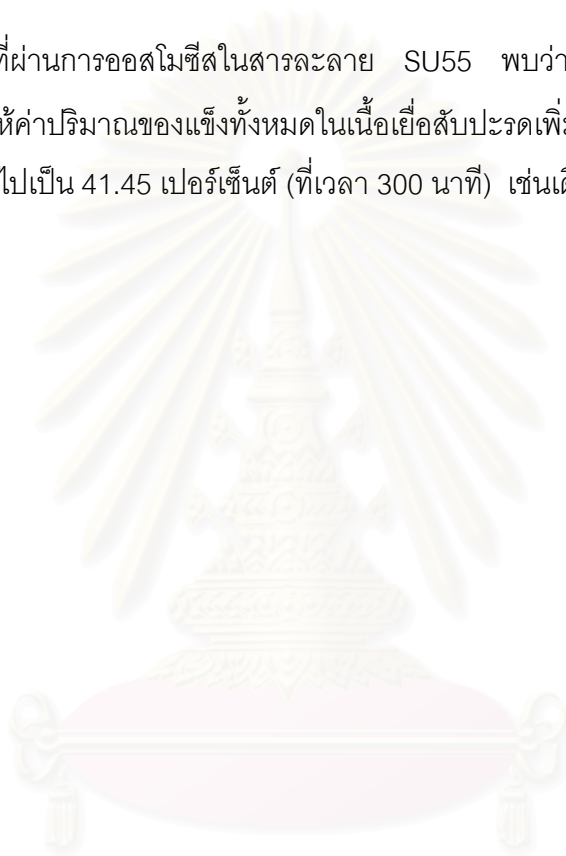
สับปะรดที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลาย MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการออกซิโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือเพิ่มจาก 14.69 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 39.58 เปอร์เซ็นต์(ที่เวลา 300 นาที) และพบว่า ที่เวลาออกซิโมซิส 30 นาที(23.66 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD30/SU25(22.52 เปอร์เซ็นต์), MD45/SU10(21.97 เปอร์เซ็นต์), และMD55(22.24 เปอร์เซ็นต์) ที่เวลา 30 นาทีเท่ากัน($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน ที่เวลา 120 นาที(31.68 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 210 นาที(31.67 เปอร์เซ็นต์)($p > 0.05$) และที่เวลา 60 นาที(25.13 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 60 นาที(24.72 เปอร์เซ็นต์) และ MD55 ที่เวลา 60 ถึง 90 นาที(24.60 ถึง 25.21 เปอร์เซ็นต์)($p > 0.05$) ส่วนที่เวลา 300 นาที(39.58 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลา 210 นาที(39.42 เปอร์เซ็นต์) เช่นเดียวกัน($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลาย MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการออกซิโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือเพิ่มจาก 14.69 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 36.38 เปอร์เซ็นต์(ที่เวลา 300 นาที) และพบว่า ที่เวลาการออกซิโมซิส 60 นาที(27.16 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 120 นาที(27.26 เปอร์เซ็นต์) และ SU55 ที่เวลา 30 นาที(27.34 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$) จากนั้น ที่เวลา 120 นาที(29.28 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 120 นาที(29.25 เปอร์เซ็นต์) เช่นเดียวกัน($p > 0.05$) และที่เวลา 240 นาที(35.35 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลา 120 นาที(35.21 เปอร์เซ็นต์)เช่นเดียวกัน($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการออกซิโมซิสในสารละลาย MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการออกซิโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือเพิ่มจาก 14.69 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 34.01 เปอร์เซ็นต์ (ที่เวลา 300 นาที) และพบว่า ที่เวลาการออกซิโมซิส 210 ถึง 240 นาที ได้ค่าไม่แตกต่างกันและยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 180 นาที(31.04 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน ที่เวลา 300 นาที(34.01 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ด้วย MD55 ที่เวลา 300 นาที(33.71 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมคชีสในสารละลาย MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือเพิ่มจาก 14.69 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 33.71 เปอร์เซ็นต์ (ที่เวลา 300 นาที) และพบว่า ที่เวลาของการอบสโมคชีส 240-270 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมคชีสในสารละลาย SU55 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือเพิ่มจาก 14.69 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 41.45 เปอร์เซ็นต์ (ที่เวลา 300 นาที) เช่นเดียวกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็ง(Rate of solid gain : δ) ในเนื้อเยื่อสับปะรด

การประเมินผลอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการ
ออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงใน ตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ข้อมูลอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการ
ออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็ง* (กรัมของแข็งที่เพิ่มขึ้น ต่อ 100 กรัมสับปะรด สดเริ่มต้น)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
30	3.87±0.91 ^w	13.48±0.02 ^{kl}	4.12±1.00 ^{vw}	3.86±0.01 ^w	3.03±1.36 ^x
60	4.70±0.54 ^{tuv}	18.68±0.09 ⁱ	6.81±0.74 ^{pqrs}	4.73±0.06 ^{tuv}	3.93±0.11 ^{vw}
90	5.03±0.20 ^{tu}	24.64±0.21 ^h	9.61±0.04 ⁿ	5.38±0.60 ^l	4.33±0.05 ^{uvw}
120	5.22±0.08 ^t	26.50±0.12 ^g	10.74±0.00 ^m	6.82±0.08 ^{pqrs}	4.71±0.04 ^{tuv}
150	6.49±0.04 ^s	28.50±0.01 ^f	11.47±0.31 ^m	7.04±0.29 ^{pqrs}	6.94±0.11 ^{pqrs}
180	6.58±0.02 ^{rs}	29.54±0.08 ^e	12.68±0.45 ^l	7.13±0.21 ^{pqrs}	7.10±0.16 ^{pqrs}
210	6.58±0.03 ^{rs}	30.81±0.04 ^d	13.38±0.17 ^{kl}	7.17±0.01 ^{pqrs}	7.58±0.01 ^p
240	6.66±0.03 ^{qrs}	31.76±0.09 ^c	12.85±0.94 ^{kl}	7.24±0.37 ^{pqrs}	7.63±0.01 ^p
270	6.80±0.02 ^{pqrs}	33.36±0.04 ^b	13.58±0.01 ^k	7.49±0.01 ^{pq}	7.45±0.06 ^{pqr}
300	7.24±0.09 ^{pqrs}	35.72±0.08 ^a	16.14±0.54 ^j	8.68±0.05 ^o	7.45±0.01 ^{pqr}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) p,q,r, ...w ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(SU55) a,b,c,...l ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

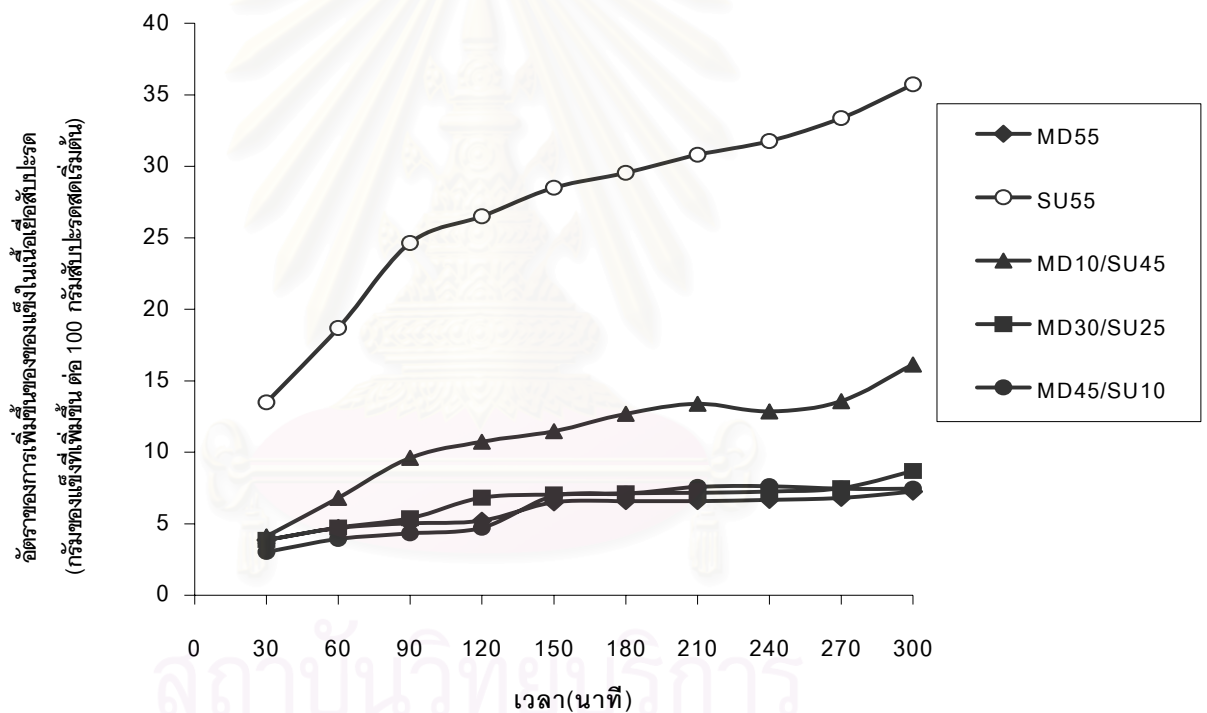
(MD10/SU45) j,k,l,...w ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD30/SU25) o,p,q,...w ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD45/SU10) p,q,r, ...x ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 14 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 5)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสและเวลาของการอบโมชีสมีผลต่ออัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการอบโมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น (เปรียบเทียบกับเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินอย่างเดียวที่ให้อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า) จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 15

สับปะรดที่ผ่านการอบโมชีสในสารละลาย MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการอบโม-



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของการอบโมชีสหลังจากกระบวนการอบโมชีสที่สภาวะต่างๆ

ชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 4.12 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 16.14 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ ยังพบว่า ที่เวลาของการอดสโมซิส 120 ถึง 150 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับที่เวลา 210 ถึง 240 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และยังพบว่า ที่เวลาของการอดสโมซิส 30 นาที (4.12 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 60 นาที (3.93 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน ที่เวลาของการอดสโมซิส 60 นาที (6.81 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10, MD30/SU25 และ MD55 ที่เวลา 150 ถึง 180 นาที (6.94 ถึง 7.10 เปอร์เซ็นต์), 120 ถึง 240 นาที (6.82 ถึง 7.24 เปอร์เซ็นต์) และ 270 ถึง 300 นาที (6.80 ถึง 7.24 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ($p > 0.05$)

สัปดาห์ที่ผ่านการอดสโมซิสในสารละลาย MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการอดสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสัปดาห์เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 3.86 (0 นาที) เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 8.68 (300 นาที) เปอร์เซ็นต์ พบว่า ที่เวลาของการอดสโมซิส 120 ถึง 240 นาที อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสัปดาห์ที่ได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 6.82 ถึง 7.24 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ที่เวลา 30 นาที (3.86 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 30 นาที (3.87 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$) และพบอีกว่า ที่เวลา 60 นาที (4.73 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 และ MD55 ที่เวลา 120 นาที (4.71 เปอร์เซ็นต์) และเวลา 60 นาที (4.70 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน ที่เวลา 90 นาที (5.38 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 120 นาที (5.22 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$)

สัปดาห์ที่ผ่านการอดสโมซิสในสารละลาย MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการอดสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสัปดาห์เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 3.03 (0 นาที) เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 7.45 (300 นาที) เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่า ที่เวลา 150 ถึง 180 นาที (6.94 ถึง 7.10) ค่าอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ได้ไม่แตกต่างกัน และที่เวลา 210 ถึง 240 นาที (7.58 ถึง 7.63 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน พบที่เวลา 270 ถึง 300 นาที (7.45 ถึง 7.45 เปอร์เซ็นต์ เท่ากัน) ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกันอีก ($p > 0.05$)

สัปดาห์ที่ผ่านการอดสโมซิสในสารละลาย MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการอดสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสัปดาห์เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) คือ เพิ่ม

จาก 3.87(0 นาที)เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 7.24 (300 นาที) เปอร์เซ็นต์ และพบอีกว่า ที่เวลา 180 ถึง 210 นาที(6.58 ถึง 6.58 เปอร์เซ็นต์ เท่ากัน) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) หลังจากนั้น พอที่ เวลา 270 ถึง 300 นาที(6.80 ถึง 7.24 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

สืบประวัติที่ผ่านการออกซิเดชันในสารละลาย SU55 พบว่า เมื่อเวลาของการออกซิเดชัน เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสืบประวัติเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มขึ้น จาก 13.48(0 นาที)เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 35.72 (300 นาที)เปอร์เซ็นต์ และสังเกตว่า อัตราของการ เพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสืบประวัติที่เวลาการออกซิเดชันต่างๆ แตกต่างจากอัตราของการ เพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสืบประวัติที่ผ่านการแช่สารละลายอื่นๆอย่างสิ้นเชิง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(TSS) ในเนื้อเยื่อตับประรด

การประเมินผลปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการ ออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 15 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 15 ข้อมูลปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการ ออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด* (องศาบริกซ์)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
0	13.50±0.71 ^C	13.50±0.71 ^C	13.50±0.71 ^C	13.50±0.71 ^C	13.50±0.71 ^C
30	20.50±2.83 ^{ZA}	26.0±0.00 ^{tuvw}	21.50±1.59 ^{yz}	20.75±0.36 ^{ZA}	18.25±0.36 ^B
60	22.50±2.83 ^{yz}	30.0±0.00 ^{mnpq}	24.0±2.12 ^{wxy}	24.0±2.12 ^{wxy}	22.25±0.35 ^{yzA}
90	26.50±0.71 ^{stuv}	32.0±0.71 ^{ijkl}	27.50±0.71 ^{qrstu}	26.0±0.71 ^{tuvw}	24.0±0.00 ^{wxy}
120	27.63±0.18 ^{qrst}	33.0±0.71 ^{ghij}	30.50±1.41 ^{klmno}	29.25±0.36 ^{nopq}	25.25±0.36 ^{vwx}
150	28.25±0.36 ^{pqrs}	35.0±0.71 ^{efg}	31.50±1.41 ^{ijklm}	30.13±0.18 ^{lmnop}	27.0±0.71 ^{rstuv}
180	28.88±0.18 ^{opqr}	36.25±0.36 ^{cde}	33.50±0.71 ^{fghi}	31.50±0.00 ^{ijklm}	28.25±1.77 ^{pqrs}
210	29.38±0.18 ^{nopq}	37.25±0.36 ^{cd}	34.50±0.71 ^{efgh}	32.0±0.36 ^{hijkl}	30.75±0.36 ^{klmno}
240	31.25±1.77 ^{klmn}	38.25±0.36 ^{bc}	35.75±0.36 ^{de}	33.0±0.00 ^{ghij}	31.75±0.36 ^{ijklm}
270	32.25±0.36 ^{ijkl}	39.25±0.38 ^{ab}	36.75±0.35 ^{cde}	35.0±0.00 ^{efg}	32.50±0.00 ^{ghij}
300	32.25±0.36 ^{ijkl}	40.38±0.18 ^a	37.63±0.53 ^{bcd}	35.13±0.18 ^{ef}	32.25±0.36 ^{ijkl}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) i,j,k,...z และ A,C ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

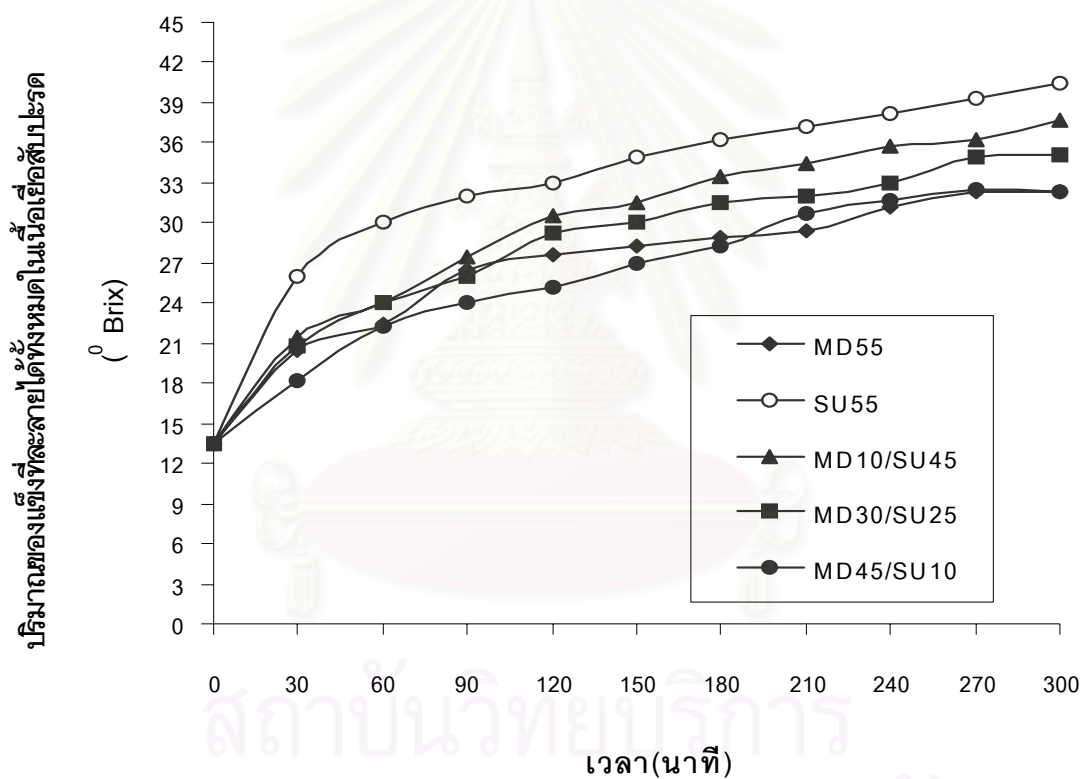
(SU55) a,b,c,...w และ C ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

(MD10/SU45) b,c,d,...z และ C ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

(MD30/SU25) e,f,g,...y และ A,C ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

(MD45/SU10) i,j,k,...z และ A,B,C ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

จาก ตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 8)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซีสมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรด ($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซีสเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น (เปรียบเทียบกับเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินอย่างเดียวที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า)จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 16



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของการออสโมซีสหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ

เมื่อพิจารณาสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลาย MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่า TSS เพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 13.50 องศาบริกซ์ (0 นาที) ไปเป็น 37.63 องศาบริกซ์ (300 นาที) และเวลาของการออสโมซีสตั้งแต่ 0 ถึง 300 นาที ยังให้ค่า TSS

แตกต่างกัน($p \leq 0.05$) และยังพบว่า ที่เวลาของการอบสโมคชีส 30 นาที(21.5 องศาบริกซ์) ได้ค่า TSS ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 60 นาที(22.5 องศาบริกซ์)($p > 0.05$) พบอีกว่า 60 นาที(24.0 องศาบริกซ์) ได้ค่า TSS ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD30/SU25 ที่เวลา 60 นาที(24 องศาบริกซ์) เช่นเดียวกัน($p > 0.05$) และพบอีกว่า ที่เวลาของการอบสโมคชีส 120 นาที(30.5 องศาบริกซ์) ได้ค่าไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 210 นาที(30.75 องศาบริกซ์)($p > 0.05$) และพบอีกว่า ที่เวลาของการอบสโมคชีส 150 นาที(31.50 องศาบริกซ์) ได้ค่า TSS ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD30/SU25 และ MD45/SU10 ที่เวลา 180 นาที(31.50 องศาบริกซ์) และเวลา 240 นาที(31.75 องศาบริกซ์) ตามลำดับ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน และที่เวลาของการอบสโมคชีส 270 นาที(36.75 องศาบริกซ์) ได้ค่า TSS ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 180 นาที(36.25 องศาบริกซ์)($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลาย MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่า TSS เพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มขึ้นจาก 13.50 (0 นาที) ไปเป็น 35.13 องศาบริกซ์ (300 นาที) พบอีกว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีส 30 นาที(20.75 องศาบริกซ์) ได้ค่า TSS ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 30 นาที(20.5 องศาบริกซ์)($p > 0.05$) ที่เวลาของการอบสโมคชีส 60 นาที(24 องศาบริกซ์) ค่า TSS ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 90 นาที(24 องศาบริกซ์) ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน ที่เวลาของการอบสโมคชีส 90 นาที(26 องศาบริกซ์) ได้ค่า TSS ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 30 นาที(26 องศาบริกซ์) ($p > 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบอีกว่า ที่เวลาของการอบสโมคชีส 120 นาที(29.25 องศาบริกซ์) ค่า TSS ที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 210 นาที(29.38 องศาบริกซ์) ($p > 0.05$) และพบอีกว่า ที่เวลาของการอบสโมคชีส 240 นาที(33 องศาบริกซ์) ค่า TSS ที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 และ MD45/SU10 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 120 นาที(33 องศาบริกซ์) และ 270 นาที(32.5 องศาบริกซ์) ตามลำดับ($p > 0.05$) และ พบอีกว่า ที่เวลาของการอบสโมคชีส 270 นาที(35 องศาบริกซ์) ได้ค่า TSS ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 150 นาที(35 องศาบริกซ์) ($p > 0.05$) เช่นเดียวกัน

สับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลาย MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่า TSS เพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 13.50 องศาบริกซ์ (0นาทีก) ไปเป็น 32.25 องศาบริกซ์ (300 นาทีก) พบอีกว่า ที่เวลาของการอบสโมคชีส 180 นาทีก(28.25 องศาบริกซ์) ค่า TSS ที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 150 นาทีก(28.25 องศาบริกซ์) ($p > 0.05$) และพบอีกว่า ที่เวลาของการอบสโมคชีส 300 นาทีก(32.25 องศาบริกซ์) ค่า TSS ที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 และ SU55 ที่เวลาของการอบสโมคชีส 2700 ถึง 300 นาทีก (32.25 องศาบริกซ์) และ ที่เวลา 90 นาทีก(32 องศาบริกซ์) ตามลำดับ ($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลาย MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่า TSS เพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 13.50 (0นาทีก) ไปเป็น 32.25 องศาบริกซ์ (300 นาทีก) เช่นเดียวกัน

สับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลาย SU55พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่า TSS เพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 13.50 (0นาทีก) ไปเป็น 40.38 องศาบริกซ์ (300 นาทีก) เช่นเดียวกัน

2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(TSS) ของสารละลายออสโมติก

การประเมินผลปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายออสโมติก หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 16 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 16 ข้อมูลปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด* (องศาบริกซ์)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
0	55.0±0.00 ^a	55.0±0.00 ^a	55.0±0.00 ^a	55.0±0.00 ^a	55.0±0.00 ^a
30	53.50±0.00 ^a	51.50±0.71 ^{bc}	51.75±0.35 ^b	50.0±0.00 ^{defghi}	52.25±0.35 ^b
60	51.38±0.18 ^{bc}	51.50±0.71 ^{bc}	51.38±0.18 ^{bc}	49.75±0.00 ^{efghij}	50.75±0.35 ^{cd}
90	50.38±0.18 ^{def}	50.25±1.06 ^{defg}	50.63±0.53 ^{cde}	50.0±0.00 ^{defghi}	50.0±0.00 ^{defghi}
120	49.88±0.18 ^{defghij}	50.0±0.71 ^{defghi}	50.13±0.18 ^{defgh}	49.75±0.35 ^{efghij}	50.0±0.00 ^{defghi}
150	49.63±0.18 ^{fghijkl}	50.0±0.71 ^{defghi}	50.0±0.00 ^{defghi}	49.73±0.18 ^{efghij}	50.0±0.00 ^{defghi}
180	49.50±0.00 ^{fghijkl}	49.75±1.06 ^{efghij}	49.50±0.00 ^{fghijkl}	49.0±0.00 ^{ijklmno}	49.25±0.35 ^{hijklmn}
210	49.50±0.00 ^{fghijkl}	49.63±0.88 ^{fghijkl}	49.25±0.36 ^{hijklmn}	48.75±0.00 ^{lmno}	49.25±0.35 ^{hijklmn}
240	49.50±0.00 ^{fghijkl}	49.25±0.36 ^{hijklmn}	49.0±0.00 ^{ijklmno}	48.50±0.00 ^{mno}	49.25±0.35 ^{hijklmn}
270	49.38±0.18 ^{ghijklm}	49.50±0.00 ^{fghijkl}	49.0±0.00 ^{ijklmno}	48.38±0.18 ^{ghijklm}	48.75±0.35 ^{lmno}
300	48.75±0.35 ^{lmno}	49.50±0.71 ^{fghijkl}	48.38±0.18 ^{ghijklm}	48.13±0.18 ^o	48.75±0.35 ^{lmno}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) a,b,c, ...o ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

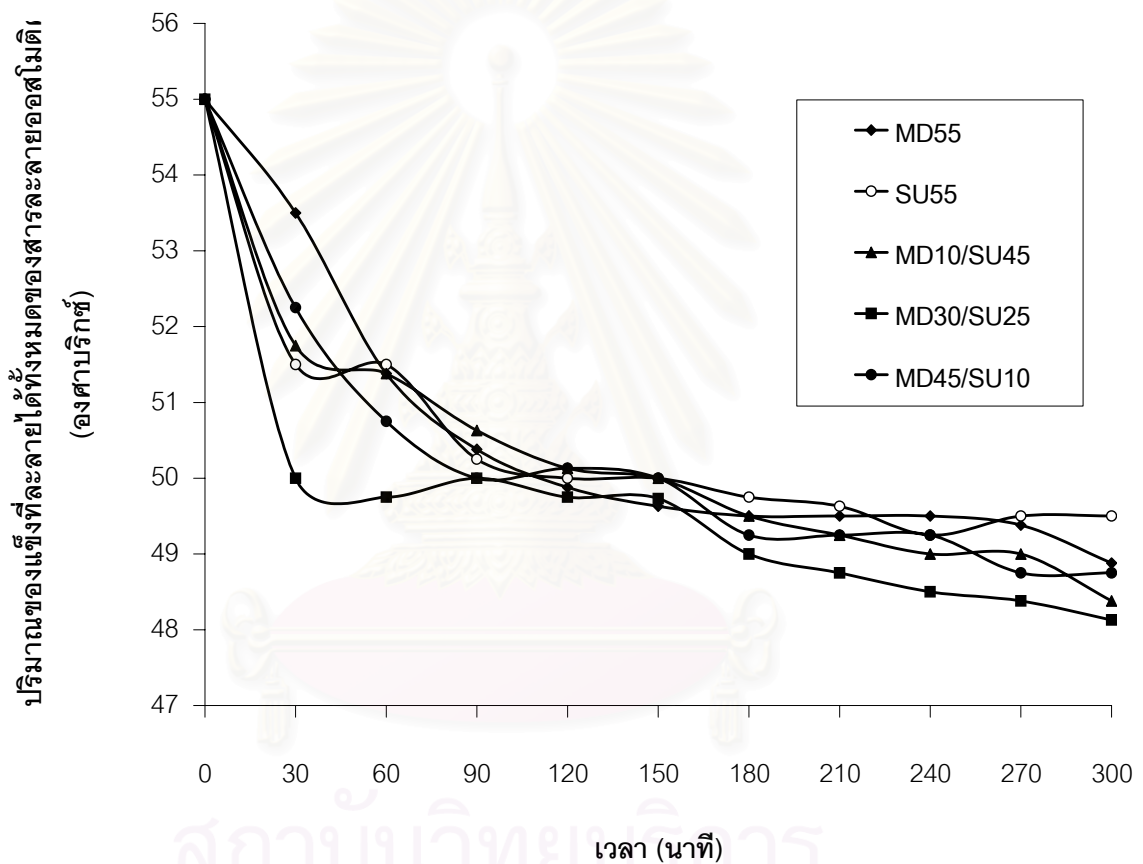
(SU55) a,b,c,...l ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD10/SU45) a,b,c,...m ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD30/SU25) a,d,e,...o ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

(MD45/SU10) a,b,c, ...o ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 9)ระหว่างอัตราส่วน ความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบสโมชีสมีผลต่อปริมาณ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายอบสโมติก นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสและเวลา ของการอบสโมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายอบสโมติก เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 17



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายอบสโมติกกับ เวลาของการอบสโมชีสหลังจากผ่านกระบวนการอบสโมชีสที่สภาวะต่างๆ

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมชีสในสารละลาย MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโม- ชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า TSS ของสารละลายอบสโมติกมีค่าลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p \leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลาของการอบสโมชีส 30 นาที(51.75 องศาบริกซ์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ใน สารละลาย MD45/SU10 ที่เวลาของการอบสโมชีส 30 นาที(52.25 องศาบริกซ์) ($p > 0.05$) และ

สังเกตพบอีกว่า ที่เวลาของการออกสโมซิส 150 นาที(50 องศาบริกซ์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55, และ MD45/SU10 ที่เวลา 120 ถึง 150นาที(50 องศาบริกซ์) และที่เวลา 90 ถึง 120 นาที(50 องศาบริกซ์) ตามลำดับ($p>0.05$) พบอีกว่า ที่เวลาของการออกสโมซิส 180 นาที (49.50 องศาบริกซ์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55และMD55 ที่เวลา 210 นาที (49.63 องศาบริกซ์), 270 ถึง 300 นาที(49.50 องศาบริกซ์) และ ที่เวลา150 ถึง 240 นาที (49.63 ลดถึง 49.50 องศาบริกซ์) ตามลำดับ($p>0.05$) และพบอีกว่า ที่เวลาของการออกสโมซิส 210 นาที(49.25 องศาบริกซ์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 180 ถึง 240 นาที(49.25องศาบริกซ์) ($p>0.05$) และพบอีกว่า ที่เวลาของการออกสโมซิส 240 ถึง 270 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) นอกจากนี้ ที่เวลาของการออกสโมซิส 300 นาที(48.38 องศาบริกซ์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลาของการออกสโมซิส 270 นาที (49.38 องศาบริกซ์) ($p>0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการออกสโมซิสในสารละลาย MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการออกสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า TSS ของสารละลายออกสโมติก มีค่าลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p\leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลาของการออกสโมซิส 30 นาที(50 องศาบริกซ์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับที่เวลา 90 นาที (50 องศาบริกซ์) ($p>0.05$) เช่นเดียวกัน ที่เวลาของการออกสโมซิส 60 นาที(49.75) ไม่แตกต่างกับที่เวลา 120 ถึง 150 นาที(49.75 ลดถึง 49.73 องศาบริกซ์) และยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลา 180 นาที(49.75องศาบริกซ์)เช่นเดียวกัน($p>0.05$) และพบอีกว่า ที่เวลาของการออกสโมซิส 210 นาที(48.75 องศาบริกซ์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 270 นาที(48.75 องศาบริกซ์) ($p>0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการออกสโมซิสในสารละลาย MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการออกสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า TSS ของสารละลายออกสโมติกมีค่าลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p\leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลาของการออกสโมซิส 90 ถึง 120 นาทีค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน อีกทั้ง ที่เวลา 180 ถึง 240 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่เวลา 270 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) สังเกตพบว่า ที่เวลาของการออกสโมซิส 150 นาที(50 องศาบริกซ์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลา 120 ถึง 150 นาที(50 องศาบริกซ์) เช่นเดียวกับที่เวลาการ

ออกซิเจน 270 ถึง 300 นาที(48.75 องศาบริกซ์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 300 นาที(48.75 องศาบริกซ์) ($p>0.05$)

สืบประวัติที่ผ่านการออกซิเจนในสารละลาย MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า TSS ของสารละลายออกซิเจนมีค่าลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p\leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลาของการออกซิเจน 150 ถึง 240 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน และยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลา 210 นาที(49.63 องศาบริกซ์) และที่เวลา 270 ถึง 300 นาที (49.50 องศาบริกซ์) ($p>0.05$)

สืบประวัติที่ผ่านการออกซิเจนในสารละลาย SU55 พบว่า เมื่อเวลาของการออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า TSS ของสารละลายออกซิเจนมีค่าลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล($p\leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลาของการออกซิเจน 30 ถึง 60 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน และที่เวลา 120 ถึง 150 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน จนกระทั่งที่เวลา 270 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างเช่นเดียวกัน ($p>0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในเนื้อเยื่อสับปะรด

การประเมินผลปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซิสที่สภาวะต่าง แสดงไว้ใน ตารางที่ 17 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 17 ข้อมูลปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซิสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์* (กรัมน้ำตาลที่ถูกรีดิวซ์ ต่อ 100 กรัมสับปะรดสดเริ่มต้น)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
30	6.50±1.40 ^{efghijk}	3.09±0.03 ^s	3.18±0.02 ^{rs}	3.82±0.01 ^{opqrs}	5.14±0.07 ^{ijklmnop}
60	6.89±1.43 ^{defghi}	2.98±0.01 ^s	3.47±0.01 ^{qrs}	4.73±0.01 ^{lmnopqr}	5.42±0.11 ^{ijklmn}
90	7.23±1.40 ^{defg}	2.86±0.07 ^s	3.74±0.07 ^{opqrs}	5.01±1.23 ^{klmnopq}	5.93±0.02 ^{fghijkl}
120	7.86±1.43 ^{cde}	2.91±0.74 ^s	3.77±0.06 ^{opqrs}	5.28±0.09 ^{ijklmno}	6.43±0.023 ^{efghijk}
150	8.29±1.43 ^{cd}	2.96±0.81 ^s	3.79±0.63 ^{opqrs}	5.55±0.01 ^{hijklm}	6.93±0.39 ^{defghi}
180	8.89±1.40 ^{bc}	2.89±0.64 ^s	3.90±0.34 ^{nopqrs}	5.82±1.40 ^{ghijkl}	7.11±0.71 ^{defgh}
210	9.17±1.41 ^{abc}	2.82±0.07 ^s	4.00±0.01 ^{mnpqrs}	5.91±0.47 ^{fghijkl}	7.19±0.02 ^{defg}
240	9.98±1.40 ^{ab}	3.33±0.09 ^{rs}	4.13±0.05 ^{mnpqrs}	6.18±0.01 ^{fghijkl}	7.26±0.02 ^{defg}
270	10.43±1.36 ^a	3.58±0.02 ^{pqrs}	4.25±0.01 ^{mnpqrs}	6.68±0.01 ^{efghij}	7.32±0.20 ^{defg}
300	10.54±1.40 ^a	3.83±0.04 ^{opqrs}	5.48±0.33 ^{ijklm}	6.70±0.01 ^{efghij}	7.45±0.54 ^{def}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) a,b,c,...k ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(SU55) o,p,q,...s ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD10/SU45) i, j, k,... s ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD30/SU25) e,f,g, ...s ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD45/SU10) d,e,f,...p ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

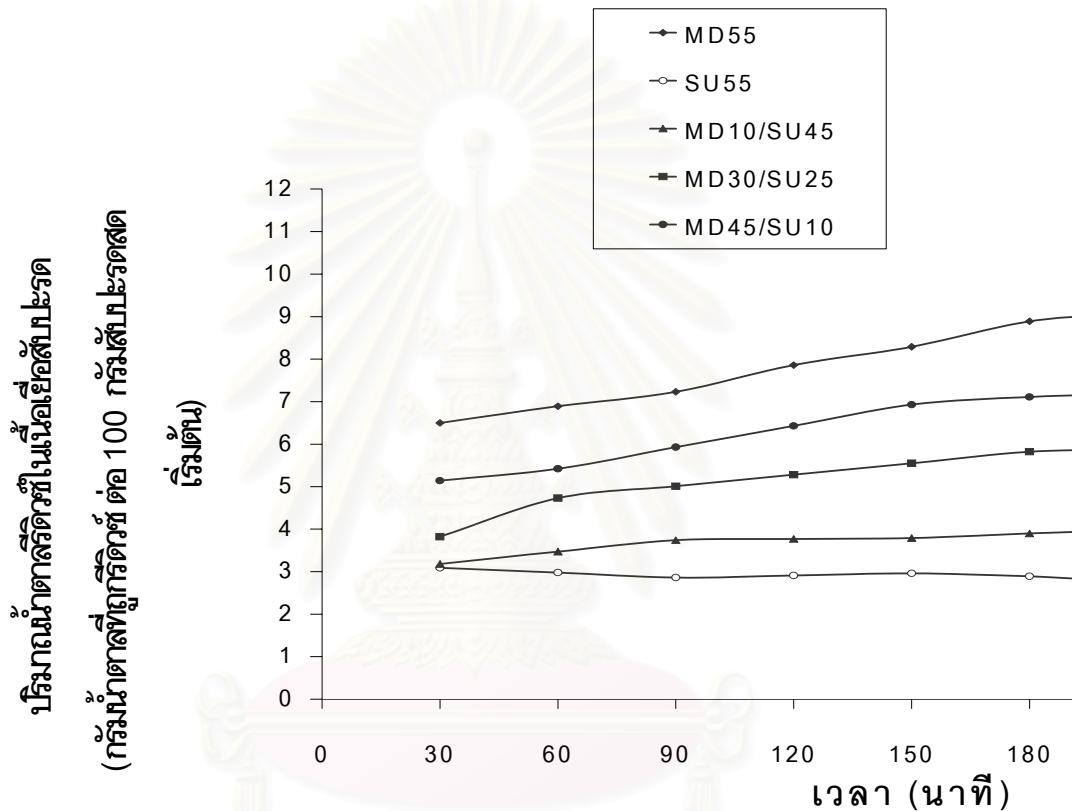
จาก ตารางที่ 17 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 11)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส กับเวลาของการอบสโมชีสไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) แต่อิทธิพลของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินและซูโครสอย่างเดียวกับเวลาของการอบสโมชีสมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบสโมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้นน้อยกว่า) เพื่อให้เห็นแนวโน้มอย่างชัดเจน สามารถดูได้จากกราฟรูปที่ 18

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมชีสในสารละลาย MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลา 90 ถึง 150 นาที(3.74 ถึง 3.79 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน และยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD30/SU25 ที่เวลา 30 นาที(3.82 เปอร์เซ็นต์)($p > 0.05$) และพบอีกว่า ที่เวลา 210 ถึง 270 นาที ค่าที่ได้ก็ยังไม่แตกต่างเช่นเดียวกัน($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมชีสในสารละลาย MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลาของการอบสโมชีส 210 ถึง 240 นาทีค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่เวลา 270 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมชีสในสารละลาย MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลา 210 ถึง 270(7.19 ถึง 7.32 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$)และยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 90 นาที(7.23 เปอร์เซ็นต์) และพบอีกว่า ที่เวลา 150 นาที(6.93 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 60 นาที(6.89 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสไมชีสในสารละลาย MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสไมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลา 270 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$)



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของการอบสไมชีส หลังผ่านกระบวนการอบสไมชีสที่สภาวะต่างๆ

สับปะรดที่ผ่านการอบสไมชีสในสารละลาย SU55 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสไมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) สังเกตว่า ที่เวลา 30 ถึง 240 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$) และพบอีกว่าที่เวลา 240 นาที(3.33 เปอร์เซ็นต์) นั้น ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD10/SU45 ที่เวลา 30 นาที(3.18 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$)

2.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในสารละลายออกซิโมติก

การประเมินผลปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายออกซิโมติกหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซิสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 18 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 18 ข้อมูลปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายออกซิโมติกหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซิสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์* (กรัมน้ำตาลที่ถูกรีดิวซ์ ต่อ 100 กรัมสารละลายออกซิโมติก เริ่มต้นเริ่มต้น)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
30	14.86±0.08 ^{bcd}	0.93±0.00 ^l	3.63±0.01 ^{ghij}	8.84±1.40 ^c	13.99±0.06 ^d
60	14.94±1.40 ^{abcd}	1.17±0.01 ^{kl}	4.04±0.01 ^{fghi}	8.98±0.01 ^c	14.38±0.00 ^{cd}
90	15.28±1.43 ^{abcd}	1.38±0.00 ^{kl}	4.25±0.01 ^{fgh}	9.20±1.40 ^c	14.39±0.00 ^{cd}
120	15.34±1.43 ^{abcd}	1.74±0.01 ^{kl}	4.30±0.03 ^{fg}	9.26±0.01 ^c	14.40±0.02 ^{cd}
150	15.41±1.20 ^{abcd}	2.08±0.01 ^{jkl}	4.34±0.03 ^{fg}	9.38±0.01 ^c	14.43±0.01 ^{cd}
180	15.63±1.40 ^{abcd}	2.13±0.01 ^{jkl}	4.39±0.05 ^{fg}	9.50±1.40 ^c	14.46±0.03 ^{cd}
210	15.69±1.40 ^{abcd}	2.18±0.02 ^{jkl}	4.49±0.01 ^{fg}	9.54±0.01 ^c	14.48±0.02 ^{cd}
240	15.88±1.29 ^{abc}	2.50±0.03 ^{ijkl}	4.63±0.01 ^f	9.73±0.01 ^c	14.53±0.01 ^{cd}
270	16.48±1.45 ^{ab}	2.66±0.03 ^{hijk}	5.30±0.01 ^f	9.85±0.01 ^c	14.58±0.03 ^{cd}
300	16.56±1.35 ^a	2.82±0.02 ^{ghijk}	5.32±0.01 ^f	10.52±1.40 ^c	14.61±0.03 ^{cd}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) a,b,c,d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

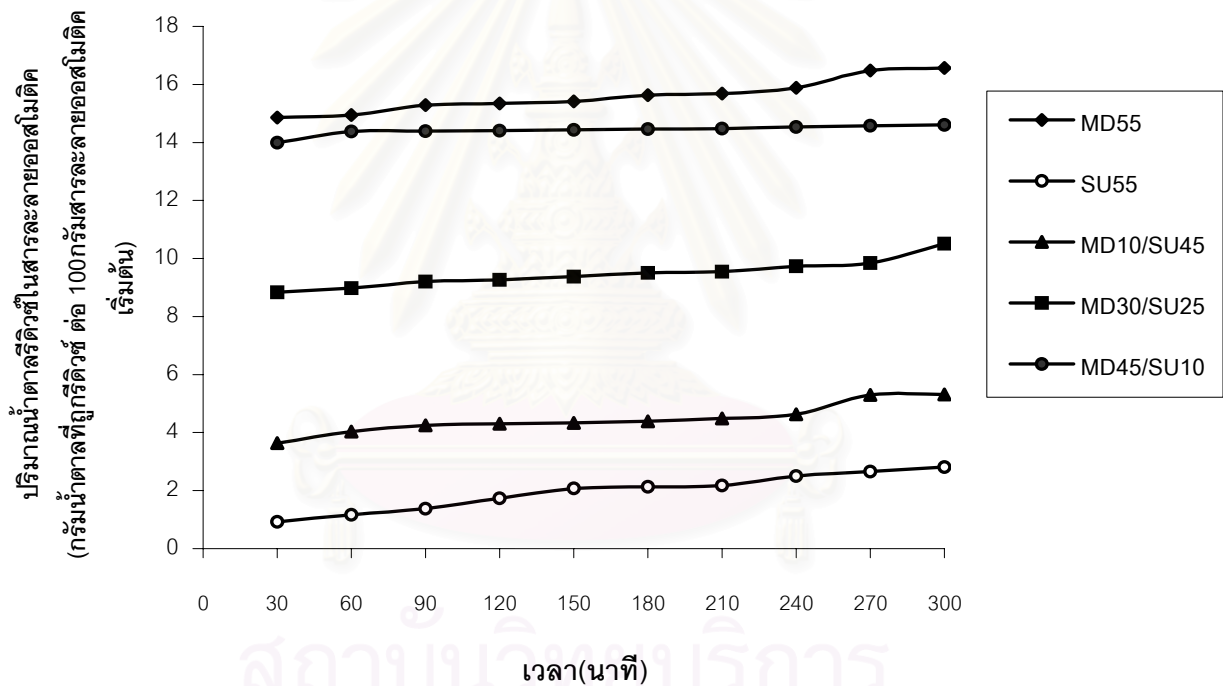
(SU55) g,h,i,..l ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD10/SU45) f,g,h,..j ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD30/SU25) c ตัวอักษรไม่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p > 0.05$)

(MD45/SU10) c, d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 18 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 12)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบสโมคซีส ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายอบสโมคติก($p \leq 0.05$) แต่อิทธิพลของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินและซูโครสอย่างเดียวกับเวลาของการอบสโมคซีส มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายอบสโมคติก ($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบสโมคซีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายอบสโมคติกเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายอบสโมคติกที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า) ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 19



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายอบสโมคติกกับเวลาของการอบสโมคซีส หลังผ่านกระบวนการอบสโมคซีสที่สภาวะต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายอบสโมคติก MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคซีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายอบสโมคติกเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก

3.63(0 นาที) ไปเป็น 5.32(300นาที) เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลา 120 ถึง 210 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่เวลา 240 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายออสโมติก MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซีในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 8.84(0 นาที) ไปเป็น 10.52(300นาที) เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลาดั้งแต่ 0 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายออสโมติก MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซีในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 13.99(0 นาที) ไปเป็น 14.61(300นาที) เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลาดั้งแต่ 60 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายออสโมติก MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซีในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 14.86(0 นาที) ไปเป็น 16.56(300นาที) เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลาดั้งแต่ 60 ถึง 210 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายออสโมติก SU55 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซีในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 0.93(0 นาที) ไปเป็น 2.82 (300นาที) เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลาดั้งแต่ 60 ถึง 120 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) เช่นเดียวกับที่เวลา 150 ถึง 210 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

2.6 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ในเนื้อเยื่อสับปะรด

การประเมินผลปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรด หลังผ่านกระบวนการออกซิโมซิสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 19 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 19 ข้อมูลปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านการกระบวนการออกซิโมซิสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด * (กรัมน้ำตาลทั้งหมด ต่อ 100 กรัมสับปะรดสดเริ่มต้น)				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
30	6.67±1.40 ^v	22.19±0.00 ^{hi}	13.78±0.01 ^{mnpq}	12.94±1.43 ^{opqr}	8.82±0.07 ^u
60	8.78±1.46 ^u	23.89±0.04 ^{fgh}	14.34±0.51 ^{lmnpq}	14.25±0.51 ^{lmnpq}	8.99±0.12 ^u
90	8.97±0.23 ^u	25.58±0.07 ^f	16.89±0.45 ^k	14.46±0.01 ^{lmnop}	9.06±0.02 ^u
120	9.25±1.45 ^u	27.27±0.02 ^e	19.45±0.37 ^j	14.86±1.40 ^{lmno}	9.31±0.02 ^{tu}
150	9.41±1.53 ^{tu}	28.96±0.26 ^e	22.23±0.33 ⁱ	14.87±.48 ^{lmno}	9.46±0.08 ^{tu}
180	9.77±1.14 ^{tu}	32.08±0.01 ^d	22.49±0.62 ^{hi}	14.96±0.36 ^{lmn}	9.55±0.06 ^{tu}
210	10.05±1.43 ^{stu}	35.19±0.02 ^c	23.01±0.94 ^{hi}	15.21±0.00 ^{klm}	9.80±0.07 ^{tu}
240	11.25±1.47 ^{rst}	38.30±0.02 ^b	23.53±1.26 ^{ghi}	15.55±0.01 ^{klm}	11.81±0.62 ^{rs}
270	12.54±2.01 ^{pqr}	40.81±0.08 ^a	24.04±1.55 ^{fgh}	15.89±0.07 ^{kl}	12.48±0.35 ^{qr}
300	13.13±1.41 ^{hopqr}	41.41±0.01 ^a	24.92±0.75 ^{fg}	16.22±0.07 ^{kl}	14.31±0.45 ^{lmnopq}

*ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) n,o,p,...v ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(p≤0.05)

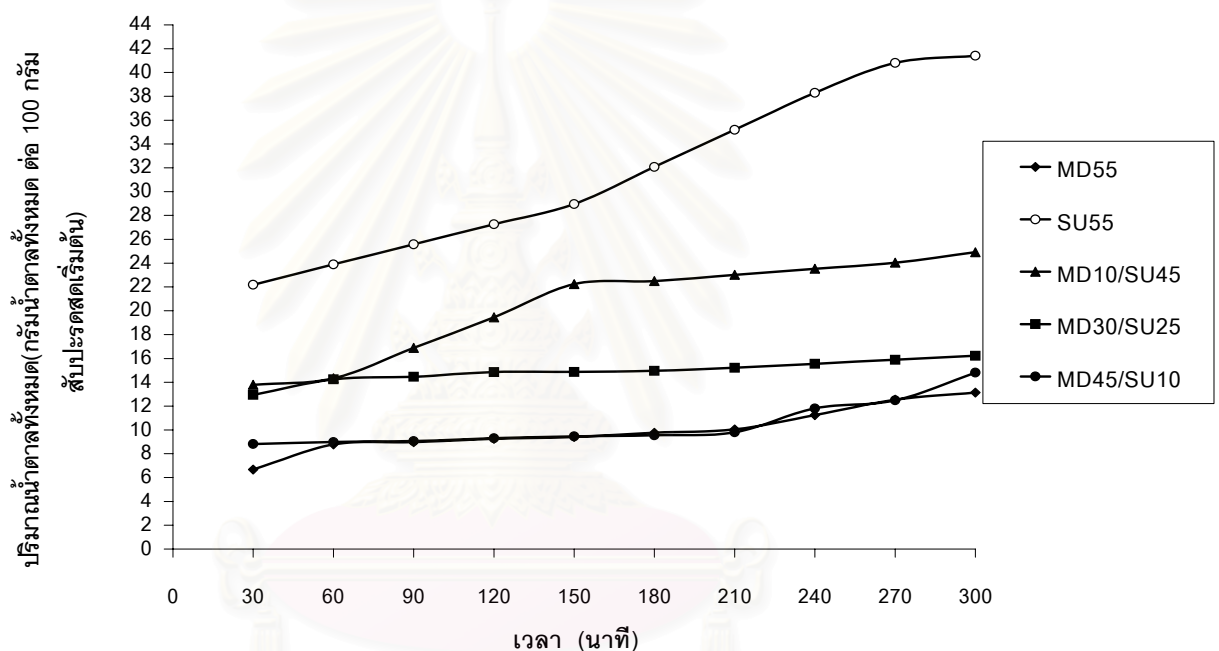
(SU55) a,b,c,...j ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(p≤0.05)

(MD10/SU45) f,g,h,...q ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(p≤0.05)

(MD30/SU25) k,l,m,...r ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(p≤0.05)

(MD45/SU10) l,m,n,...u ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(p≤0.05)

จาก ตารางที่ 18 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 10)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออกสโมซิสมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรด ($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออกสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้มอลโท-เดกซ์ทรีนอย่างเดียวทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า)จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 20



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของการออกสโมซิส หลังผ่านกระบวนการออกสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

สับปะรดที่ผ่านการออกสโมซิสในสารละลาย MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการออกสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) คือ เพิ่มขึ้นจาก 13.78(0 นาที) ไปเป็น 24.92(300 นาที) เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลา 180 ถึง 210 นาที (22.49 ถึง 23.01 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน และยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลา 30 นาที(22.19 เปอร์เซ็นต์) ($p > 0.05$) นอกจากนี้ ที่เวลา 270 นาที(24.04

เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย SU55 ที่เวลา 60 นาที(23.89 เปอร์เซ็นต์) ($p>0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมคชีสในสารละลาย MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 12.94(0 นาที) ไปเป็น 16.22(300 นาที)เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลา 120 ถึง 150 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกันที่เวลา 210 ถึง 240 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน และที่เวลา 270 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างเช่นเดียวกัน($p>0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมคชีสในสารละลาย MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 8.82(0 นาที) ไปเป็น 14.31(300 นาที) เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลา 30 ถึง 90 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่เวลา 120 ถึง 210 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมคชีสในสารละลาย MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 6.67(0 นาที) ไปเป็น 13.13(300 นาที)เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลา 60 ถึง 120 นาที(8.78 ถึง 9.25 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน และยังไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 60 ถึง 90 นาที(8.99 ถึง 9.06 เปอร์เซ็นต์) ($p>0.05$) เช่นเดียวกับที่เวลา 150 ถึง 180 นาที(9.41 ถึง 9.77 เปอร์เซ็นต์) ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 120 ถึง 210 นาที(9.31 ถึง 9.80 เปอร์เซ็นต์) ($p>0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมคชีสในสารละลาย SU55 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 22.19(0 นาที) ไปเป็น 41.41(300 นาที) เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่า ที่เวลา 270 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

2.7 ค่าสมมูลเดกซ์โทรส(Dextrose equivalent : DE) ของสารละลายยออสโมติก

การประเมินผลค่า DE ของสารละลายยออสโมติก หลังผ่านกระบวนการยออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 20 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 20 ข้อมูลค่าสมมูลเดกซ์โทรส(DE) ของสารละลายยออสโมติกหลังผ่านกระบวนการยออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	ค่าสมมูลเดกซ์โทรส (DE) *				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
30	27.78±0.16 ^{ef}	1.81±0.02 ^q	7.01±0.07 ^{jkimn}	17.68±2.80 ^h	26.78±0.29 ^f
60	29.08±2.63 ^{cdef}	2.27±0.05 ^{pq}	7.86±0.00 ^{ijklm}	18.04±0.01 ^h	28.33±0.20 ^{cdef}
90	30.33±2.73 ^{bcde}	2.75±0.00 ^{opq}	8.39±0.23 ^{ijkl}	18.40±2.80 ^h	28.78±0.05 ^{cdef}
120	30.75±2.97 ^{abcde}	3.47±0.54 ^{opq}	8.58±0.04 ^{ijkl}	18.61±0.12 ^{gh}	28.80±0.11 ^{cdef}
150	31.05±2.71 ^{abcde}	4.16±0.08 ^{nopq}	8.68±0.07 ^{ijk}	19.10±0.03 ^{gh}	28.86±0.003 ^{cdef}
180	31.58±2.83 ^{abcd}	4.29±0.06 ^{nopq}	8.87±0.09 ^{ijk}	19.39±2.86 ^{gh}	29.31±0.02 ^{cdef}
210	31.70±2.86 ^{abcd}	4.39±0.03 ^{nopq}	9.12±0.04 ^{ij}	19.57±0.02 ^{gh}	29.40±0.16 ^{cdef}
240	32.08±2.83 ^{abc}	5.08±0.02 ^{mnpq}	9.45±0.02 ^{ij}	20.05±0.01 ^{gh}	29.50±0.18 ^{cdef}
270	33.37±2.72 ^{ab}	5.37±0.05 ^{lmnop}	10.81±0.01 ⁱ	20.36±0.04 ^{gh}	29.91±0.16 ^{cdef}
300	33.96±2.74 ^a	5.70±0.02 ^{klmno}	11.00±0.01 ⁱ	21.85±2.83 ^g	29.97±0.16 ^{cdef}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) a,b,c,...f ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

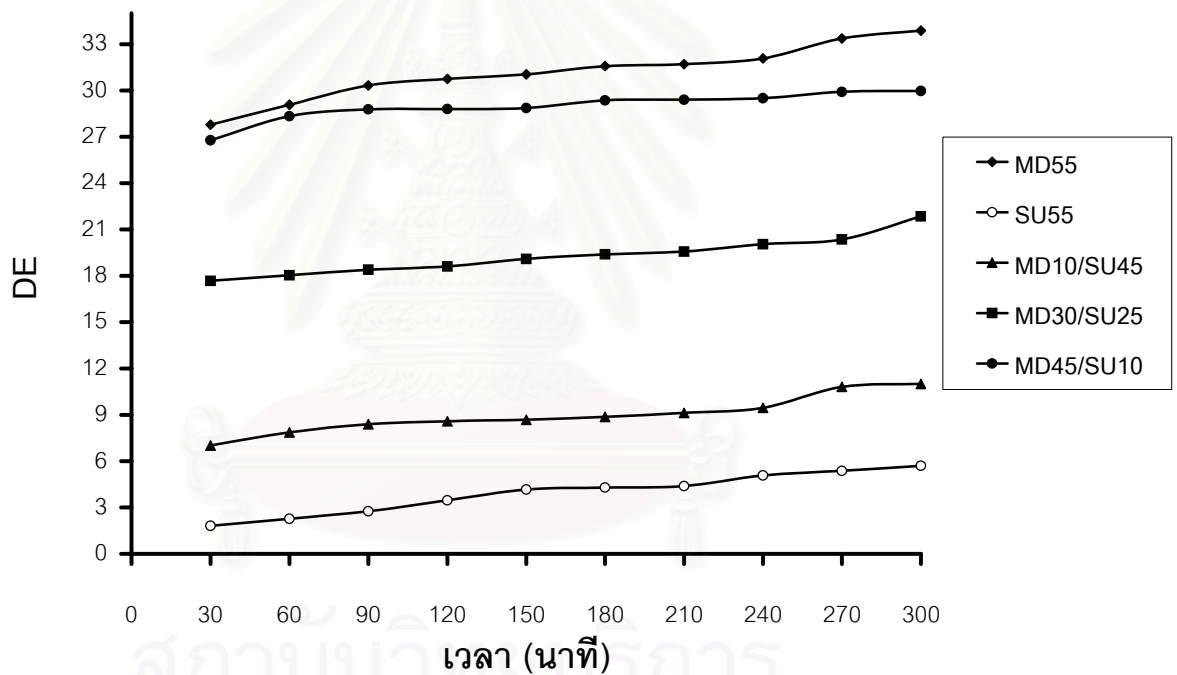
(SU55) k,l,m,...q ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD10/SU45) i,j,k,...n ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD30/SU25) g,h ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD45/SU10) c,d,e,f ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 20 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 14)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบสโมคชีส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า DE ของสารละลายอบสโมค (p≤0.05) แต่อิทธิพลอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบสโมคชีสอย่างใดอย่างหนึ่ง มีผลต่อค่า DE ของสารละลายอบสโมค (p≤0.05) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า DE ของสารละลายอบสโมคมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ค่า DE ที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า) จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 21



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมมูลเดกซ์โทรส(DE)กับเวลาของการอบสโมคชีสหลังผ่านกระบวนการอบสโมคชีสที่สภาวะต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายอบสโมค MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า DE ของสารละลายอบสโมคเพิ่มขึ้น(p≤0.05) คือเพิ่มจาก 7.01(0 นาที) ไปเป็น 11 สังเกตว่า ที่เวลา 90 ถึง 120 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน และที่เวลา 150 ถึง 180

นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกันอีก และพบอีกว่า ที่เวลา 210 ถึง 240 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกัน ที่เวลา 270 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายออสโมติก MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า DE ของสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 17.68(0 นาที) ไปเป็น 21.85 สังเกตว่า ที่เวลา 30 ถึง 90 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่เวลา 120 ถึง 270 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายออสโมติก MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า DE ของสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 26.78(0 นาที) ไปเป็น 29.97 สังเกตว่า ที่เวลา 90 ถึง 300 นาที (28.78 ถึง 29.97) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 60 นาที (29.08) ($p>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายออสโมติก MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า DE ของสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 27.78(0 นาที) ไปเป็น 33.96 สังเกตว่า ที่เวลา 120 ถึง 150 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่เวลา 180 ถึง 210 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของสารละลายออสโมติก SU55 พบว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า DE ของสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น($p\leq 0.05$) คือ เพิ่มจาก 1.18(0 นาที) ไปเป็น 5.70 สังเกตว่า ที่เวลา 150 ถึง 210 นาที ค่าที่ได้แตกต่างกัน($p>0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. อัตราของการขจัดน้ำต่ออัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็ง(WL/SG ratios)ในเนื้อเยื่อตับประรด

การประเมินผล WL / SG ratios ในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 21 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 21 ข้อมูลค่า WL/SG ratios ในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสที่สภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	WL / SG ratios *				
	MD55	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25	MD45/SU10
30	6.68±1.25 ^{cdef}	0.87±0.07 ^l	4.33±0.76 ⁱ	9.93±0.19 ^a	8.11±2.82 ^b
60	6.69±0.42 ^{cde}	0.66±0.02 ^l	4.01±0.45 ^{ij}	6.52±0.28 ^{cdefg}	7.65±0.08 ^{bc}
90	6.61±0.09 ^{cdef}	0.54±0.05 ^l	3.12±0.02 ^{jk}	6.17±0.53 ^{defgh}	7.57±0.04 ^{bc}
120	6.65±0.04 ^{cdef}	0.53±0.36 ^l	3.03±0.09 ^{jk}	5.55±0.09 ^{efgh}	7.60±0.05 ^{bc}
150	5.39±0.11 ^{gh}	0.51±.46 ^l	2.91±0.25 ^k	5.53±0.16 ^{efgh}	5.87±0.11 ^{defgh}
180	5.61±0.06 ^{efgh}	0.51±0.38 ^l	2.72±0.22 ^k	6.04±.43 ^{defgh}	5.87±0.23 ^{defgh}
210	5.84±0.16 ^{defgh}	0.53±0.00 ^l	2.72±0.11 ^k	6.28±0.07 ^{defgh}	5.78±0.01 ^{defgh}
240	6.50±0.21 ^{cdefg}	0.54±0.25 ^l	2.97±0.19 ^{jk}	6.24±0.30 ^{defgh}	6.19±0.04 ^{defgh}
270	6.59±0.11 ^{cdef}	0.56±0.00 ^l	2.77±0.05 ^k	6.18±0.03 ^{defgh}	6.54±0.09 ^{cdefg}
300	6.84±0.09 ^{cd}	0.59±0.01 ^l	2.49±0.09 ^k	5.33±0.02 ^h	6.10±0.02 ^{defgh}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

(MD55) c,d,e,..h ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

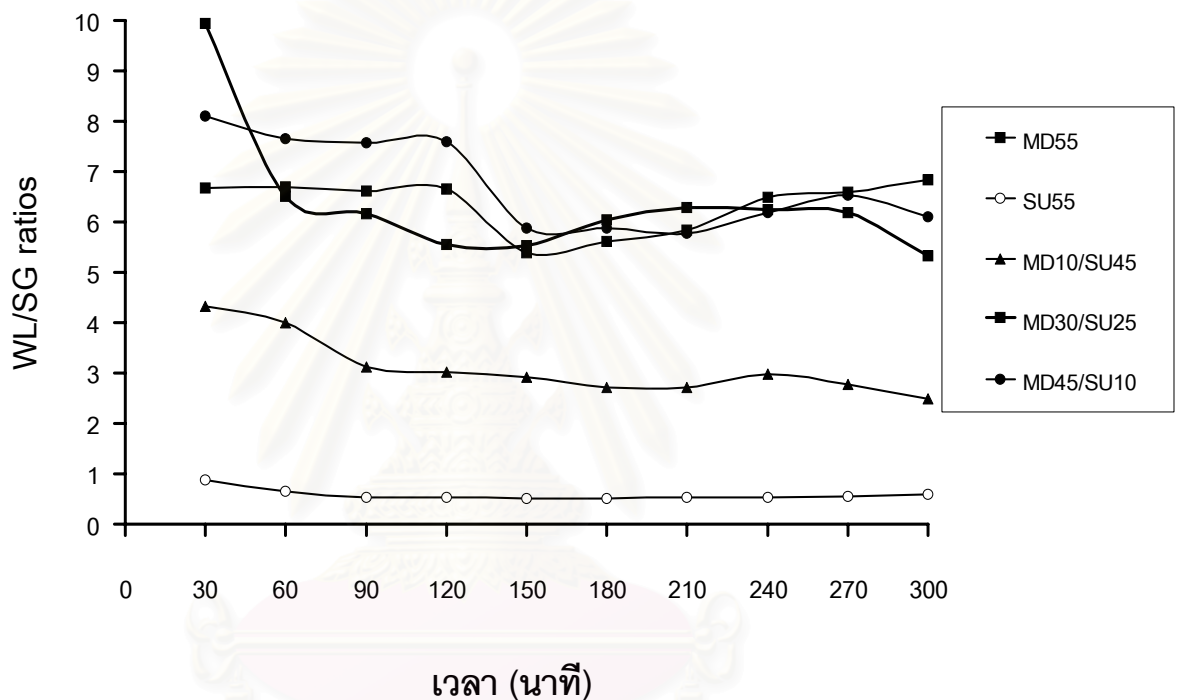
(SU55) l ตัวอักษรไม่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p > 0.05$)

(MD10/SU45) i,j,k ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD30/SU25) a,c,d,..h ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

(MD45/SU10) b,c,d,..h ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 21 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 13)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบสโมชีสมีผลต่อค่า WL/SG ratios ในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ อิทธิพลร่วมระหว่างมอลโทเดกซ์ทรีนและซูโครสเพียงอย่างเดียว กับเวลาการอบสโมชีส ก็มีผลต่อค่า WL/SG ratios ในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน เพื่อให้เห็นแนวโน้มอย่างชัดเจนสามารถดูได้จาก กราฟรูปที่ 22



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า WL / SG Ratios ในเนื้อเยื่อสับปะรดกับเวลาของการอบสโมชีส หลังผ่านกระบวนการอบสโมชีสที่สภาวะต่างๆ

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมชีสในสารละลาย MD10/SU45 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า WL/SG ratios ลดลงจนกระทั่งคงที่($p \leq 0.05$) จะเห็นว่า ที่เวลา 90 ถึง 120 นาที(3.12 ลดถึง 3.03)และที่เวลา 240 นาที(2.97) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$) และที่เวลา 150 ถึง 210 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่เวลา 270 ถึง 300 นาที ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมคชีสในสารละลาย MD30/SU25 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า WL/SG ratios ลดลงจนกระทั่งคงที่($p \leq 0.05$) จะเห็นว่า ที่เวลา 90 นาที และที่เวลา 180 ถึง 270 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$) และไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD45/SU10 ที่เวลา 150 ถึง 240 นาที(5.87 ถึง 6.19)และที่เวลา 300 นาที(6.10) และไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 210 นาที(5.84) ($p > 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่า ที่เวลา 120 ถึง 150 นาที(5.55 ลดถึง 5.53)ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 ที่เวลา 180 นาที(5.61)($p > 0.05$) และ ที่เวลา 60 นาที(6.52) ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับเมื่อแช่ในสารละลาย MD55 และ MD45/SU10 ที่เวลา 240 นาที(6.50) และ เวลา 270 นาที(6.54) ($p > 0.05$)ตามลำดับ

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมคชีสในสารละลาย MD45/SU10 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า WL/SG ratios ลดลงจนกระทั่งคงที่($p \leq 0.05$) จะเห็นว่า ที่เวลา 150 ถึง 240 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างกับที่เวลา 300 นาที ด้วย($p > 0.05$)

สับปะรดที่ผ่านการอบสโมคชีสในสารละลาย MD55 พบว่า เมื่อเวลาของการอบสโมคชีสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่า WL/SG ratios เพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) จะเห็นว่า ที่เวลา 30 นาที, 90 ถึง 120 นาที และที่เวลา 270 นาที ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$)

ส่วนที่ 3

ในส่วนนี้ได้ศึกษาการเคลื่อนย้ายของความชื้นหรือน้ำในเนื้อเยื่อสับปะรดและประเมิณคุณภาพเนื้อสับปะรดหลังการอบแห้งด้วยลมร้อนในด้านสีและเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวัดสีและเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ตามลำดับ

ดังนั้น จึงทำการคัดเลือกสับปะรดที่สภาวะเหมาะสมจากกระบวนการอบแห้งในส่วนของ 2 โดยใช้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดเป็นเกณฑ์ (ตารางที่ 11) มาอบแห้งด้วยลมร้อนเนื่องจากน่าจะ ประหยัดเวลาและพลังงานของกระบวนการอบแห้งมากที่สุด ประกอบกับให้ค่า Water activity ต่ำที่สุด ฉะนั้น จึงได้ทำการคัดเลือกสับปะรดในสภาวะกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

1. สับปะรดที่ผ่านกระบวนการอบแห้งในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 55 เปอร์เซ็นต์(โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) ได้ค่า Water activity เท่ากับ 0.952
2. สับปะรดที่ผ่านกระบวนการอบแห้งในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์ ต่อ สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์(โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) ได้ค่า Water activity เท่ากับ 0.957
3. สับปะรดที่ผ่านกระบวนการอบแห้งในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ต่อ สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์(โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) ได้ค่า Water activity เท่ากับ 0.960
4. เวลาของการอบแห้ง 240 นาที

ฉะนั้น จึงได้ทำการประเมินผลในด้านต่างๆในส่วนที่ 3 ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณความชื้นอิสระ ในเนื้อเยื่อตับประรด

การประเมินผลปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อตับประรดหลังที่ผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 22 ดังต่อไปนี้

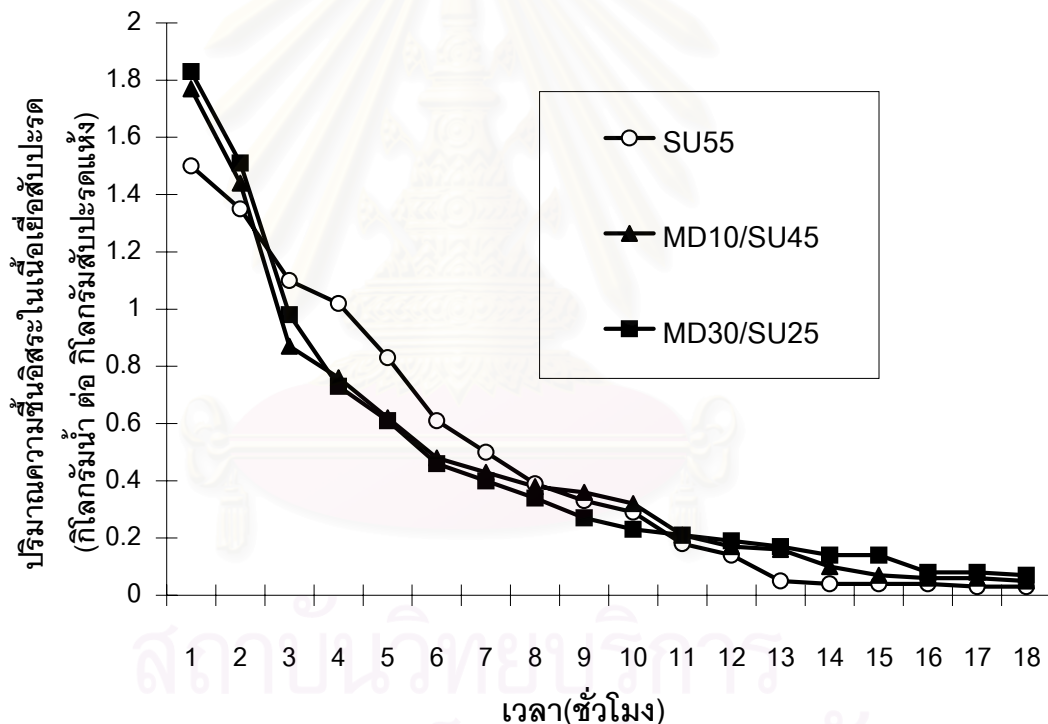
ตารางที่ 22 ข้อมูลปริมาณความชื้นอิสระที่ระเหยออกจากเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้นอิสระ * (กิโลกรัม น้ำ ต่อ กิโลกรัม สับประรดแห้ง)		
	SU5	MD10/SU45	MD30/SU25
0	1.50 ± 0.07^b	1.77 ± 0.08^a	1.83 ± 0.06^a
0.5	1.35 ± 0.02^c	1.44 ± 0.07^b	1.51 ± 0.11^b
1	1.10 ± 0.01^d	0.87 ± 0.01^f	0.98 ± 0.11^e
1.5	1.02 ± 0.01^{de}	0.76 ± 0.03^{gh}	0.73 ± 0.09^h
3	0.83 ± 0.01^{fg}	0.62 ± 0.02^i	0.61 ± 0.03^i
4.5	0.61 ± 0.03^i	0.48 ± 0.02^{jk}	0.46 ± 0.08^{jk}
6	0.50 ± 0.03^j	0.43 ± 0.07^{jkl}	0.40 ± 0.08^{klm}
7.5	0.39 ± 0.02^{klm}	0.38 ± 0.01^{klmn}	0.34 ± 0.07^{lmno}
9	0.33 ± 0.02^{lmno}	0.36 ± 0.07^{lmno}	0.27 ± 0.08^{opq}
10.5	0.29 ± 0.02^{nop}	0.32 ± 0.01^{mno}	0.23 ± 0.05^{pqr}
12	0.18 ± 0.03^{qrst}	0.21 ± 0.04^{pqr}	0.21 ± 0.04^{pqr}
13.5	0.14 ± 0.01^{rstuvw}	0.17 ± 0.01^{rstu}	0.19 ± 0.05^{qrs}
15	0.05 ± 0.03^{wx}	0.16 ± 0.07^{rstuv}	0.17 ± 0.06^{rstu}
16	0.04 ± 0.04^{wx}	0.10 ± 0.06^{stuvw}	0.14 ± 0.04^{rstuvw}
16.5	0.04 ± 0.07^{wx}	0.07 ± 0.01^{uvw}	0.14 ± 0.03^{rstuvw}
17	0.04 ± 0.00^{wx}	0.06 ± 0.01^{vwx}	0.08 ± 0.03^{tuvwx}
17.5	0.03 ± 0.08^x	0.06 ± 0.01^{vwx}	0.08 ± 0.03^{tuvwx}
18	0.03 ± 0.09^x	0.05 ± 0.02^{wx}	0.07 ± 0.01^{uvw}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c, d,...x ตัวอักษรที่ต่างกันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 22 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 17) ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลง(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลงน้อยกว่าเมื่อเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น) จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุลดังแสดงใน กราฟรูปที่ 23 และ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอีกว่า อิทธิพลเนื่องจากอัตราส่วนความเข้มข้นอย่างเดียว(ตาราง ค 17) ไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$)



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งสับปะรดด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส

2. อัตราของการอบแห้งสับปะรด

การประเมินผลอัตราของการอบแห้งสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสม แสดงไว้ใน ตารางที่ 23 ดังต่อไปนี้

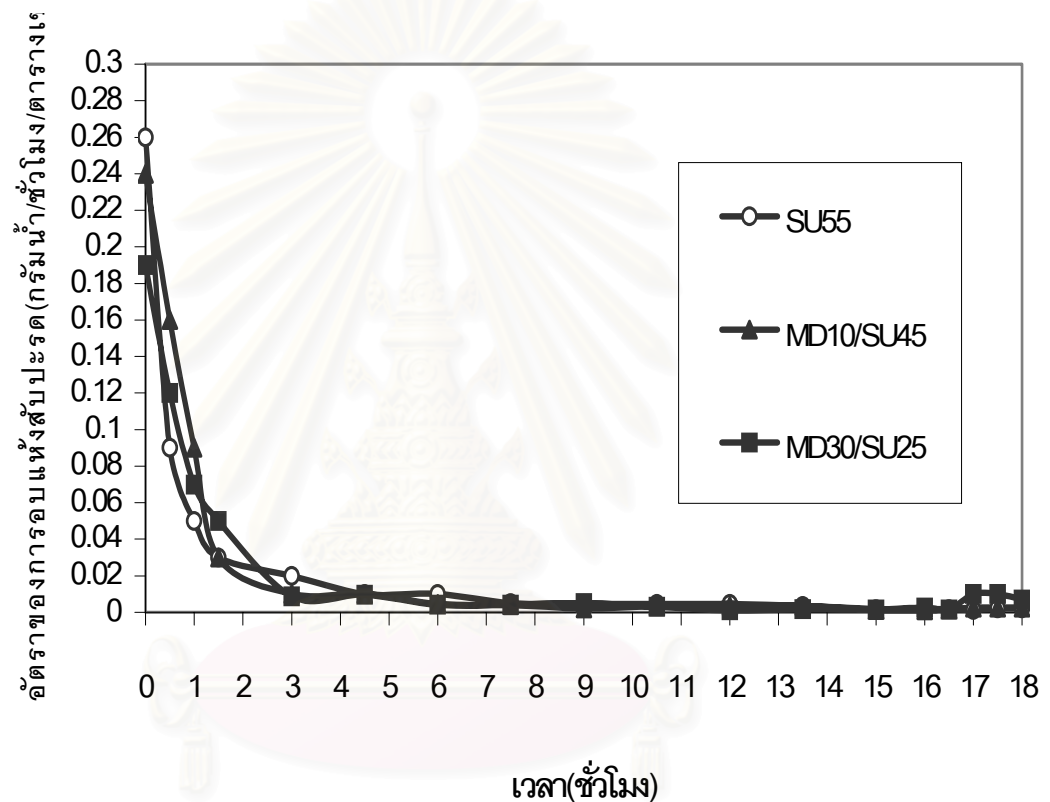
ตารางที่ 23 ข้อมูลอัตราของการอบแห้งสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสม และ นำมาผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราของการอบแห้ง*		
	(กรัม น้ำ ต่อ ชั่วโมง ต่อ ตารางเซนติเมตร)		
	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25
0	0.26 ± 0.02^a	0.24 ± 0.06^a	0.19 ± 0.06^b
0.5	0.09 ± 0.06^e	0.16 ± 0.07^c	0.12 ± 0.07^d
1	0.05 ± 0.06^{fg}	0.09 ± 0.07^e	0.07 ± 0.06^{ef}
1.5	0.03 ± 0.08^{gh}	0.03 ± 0.02^{gh}	0.05 ± 0.05^{fg}
3	0.02 ± 0.04^{hi}	0.01 ± 0.001^{hi}	0.0088 ± 0.0007^{hi}
4.5	0.01 ± 0.01^{hi}	0.01 ± 0.08^{hi}	0.0097 ± 0.0008^{hi}
6	0.01 ± 0.01^{hi}	0.0045 ± 0.0001^i	0.0042 ± 0.0001^i
7.5	0.025 ± 0.007^{hi}	0.0040 ± 0.0002^i	0.0042 ± 0.0007^i
9	0.0063 ± 0.0007^{hi}	0.0023 ± 0.0007^i	0.0050 ± 0.0001^i
10.5	0.0051 ± 0.0006^{hi}	0.0032 ± 0.0002^i	0.0031 ± 0.0002^i
12	0.014 ± 0.0008^{hi}	0.0097 ± 0.0008^{hi}	0.0010 ± 0.0006^{hi}
13.5	0.0046 ± 0.0001^i	0.0036 ± 0.0001^i	0.0018 ± 0.0006^i
15	0.01 ± 0.001^{hi}	0.0013 ± 0.006^i	0.0015 ± 0.001^i
16	0.0017 ± 0.009^i	0.0074 ± 0.006^{hi}	0.0026 ± 0.002^i
16.5	0.0017 ± 0.003^i	0.0076 ± 0.008^{hi}	0.0016 ± 0.0006^i
17	0.0014 ± 0.004^i	0.0027 ± 0.001^i	0.01 ± 0.007^{hi}
17.5	0.0023 ± 0.001^i	0.0027 ± 0.001^i	0.01 ± 0.005^{hi}
18	0.0023 ± 0.001^i	0.0027 ± 0.007^i	0.0070 ± 0.0004^{hi}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c, ...x ตัวอักษรที่ต่างกันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 23 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 18)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอดโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่ออัตราของการอบแห้งสับปะรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการอบแห้งสับปะรดที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสในสารละลายออสโมติกต่างๆมีค่าลดลง จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุลดังแสดงใน กราฟรูปที่ 24



รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการอบแห้งสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งสับปะรดด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส

3. ปริมาณความชื้น ในเนื้อเยื่อตับประรด

การประเมินผลปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการอบสโมคชีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน แสดงไว้ใน ตารางที่24 ดังต่อไปนี้

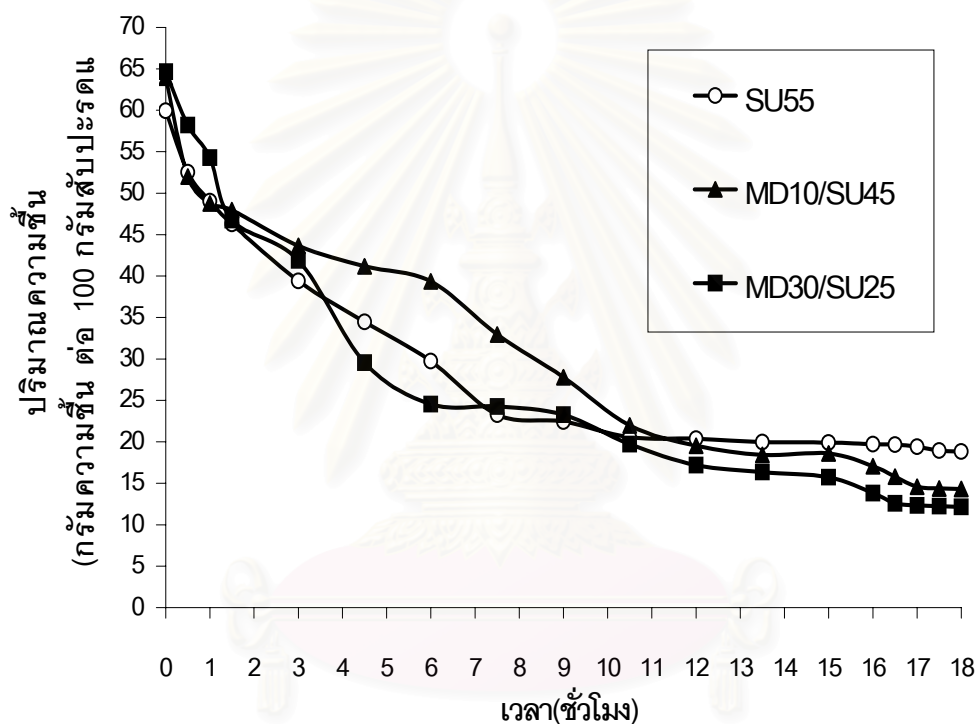
ตารางที่ 24 ข้อมูลปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการอบสโมคชีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละปริมาณความชื้น * (โดยน้ำหนักแห้ง)		
	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25
0	59.96 ± 0.74^c	63.93 ± 1.21^b	64.65 ± 0.22^a
0.5	52.53 ± 0.72^f	52.01 ± 0.52^f	58.21 ± 0.01^d
1	49.04 ± 0.04^g	48.77 ± 0.16^g	54.28 ± 0.01^e
1.5	46.30 ± 0.01^i	47.96 ± 0.51^h	46.76 ± 0.02^i
3	39.42 ± 0.01^m	43.66 ± 0.01^j	41.91 ± 0.02^k
4.5	34.48 ± 0.01^n	41.19 ± 0.01^l	29.55 ± 0.01^p
6	29.74 ± 0.03^p	39.35 ± 0.22^m	24.54 ± 0.03^r
7.5	23.29 ± 0.78^s	32.95 ± 0.01^o	24.26 ± 0.04
9	22.46 ± 0.15^t	27.81 ± 0.18^q	23.27 ± 0.04^s
10.5	20.57 ± 0.13^u	21.99 ± 0.77^t	19.74 ± 0.03^{vw}
12	20.36 ± 0.11^{uv}	19.54 ± 0.03^w	17.19 ± 0.03^y
13.5	19.98 ± 0.18^{uvw}	18.44 ± 0.01^x	16.37 ± 0.09^z
15	19.91 ± 0.18^{uvw}	18.62 ± 0.34^x	15.74 ± 0.02^z
16	19.73 ± 0.12^{vw}	17.06 ± 0.18^y	13.81 ± 0.08^B
16.5	19.67 ± 0.06^{vw}	15.81 ± 0.02^z	12.58 ± 0.01^C
17	19.42 ± 0.05^w	14.59 ± 0.30^A	12.35 ± 0.02^C
17.5	18.94 ± 0.03^x	14.38 ± 0.02^A	12.23 ± 0.04^C
18	18.83 ± 0.03^x	14.31 ± 0.02^A	12.14 ± 0.06^C

*ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c,z และ A,B,C ตัวอักษรที่ต่างกันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 24 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 15)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่อปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อสับปะรดมีค่าลดลง(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลงน้อยกว่าเมื่อเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น) จนกระทั่งมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 25



รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังจากกระบวนการอบแห้งในสภาวะที่เหมาะสม กับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส

3. ปริมาณของแข็งทั้งหมด ในเนื้อเยื่อตับประวด

การประเมินผลปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประวดหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน แสดงไว้ใน ตารางที่ 25 ดังต่อไปนี้

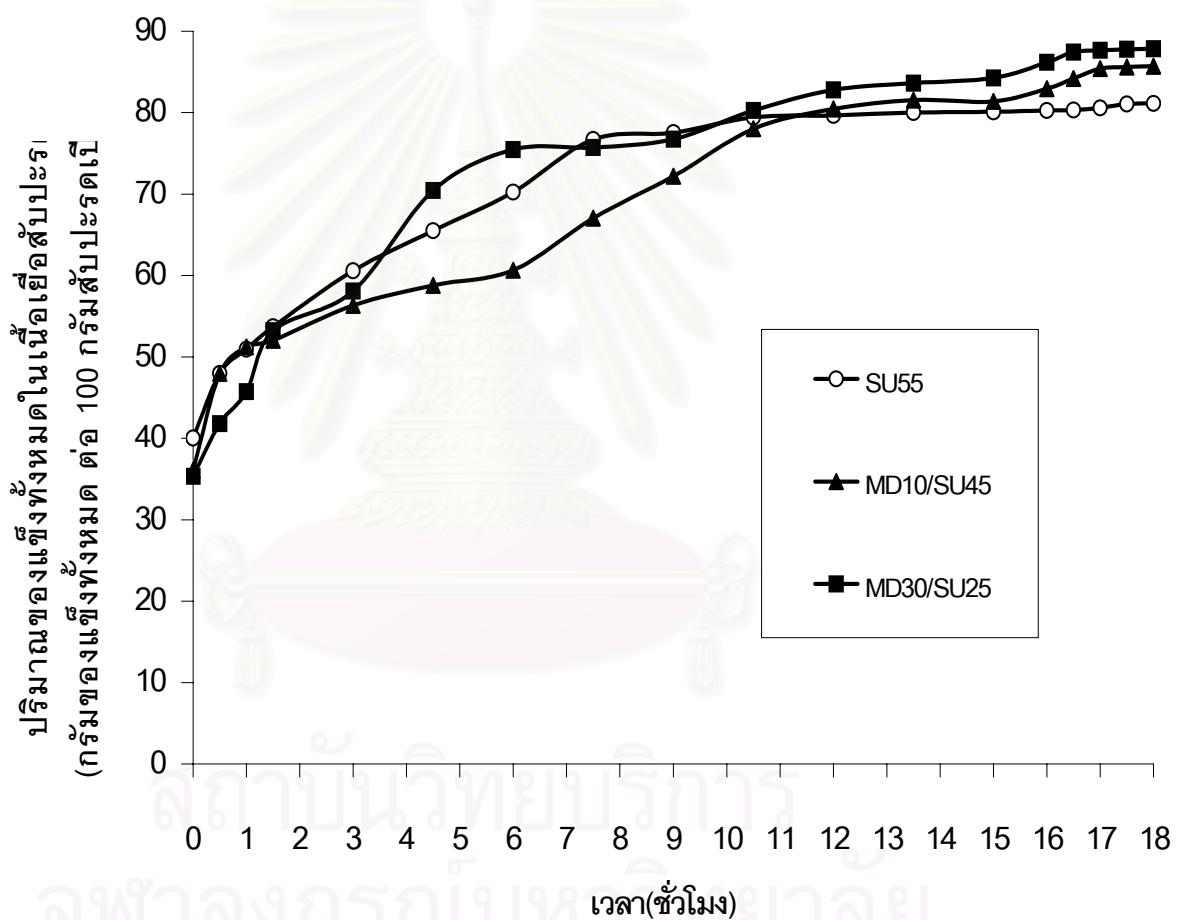
ตารางที่ 25 ข้อมูลปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประวดหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละปริมาณของแข็งทั้งหมด * (โดยน้ำหนักเปียก)		
	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25
0	40.04 ± 0.74^B	36.08 ± 1.21^C	35.35 ± 0.22^D
0.5	47.97 ± 0.72^y	47.99 ± 0.52^y	41.79 ± 0.01^A
1	50.96 ± 0.04^x	51.24 ± 0.16^x	45.73 ± 0.01^z
1.5	53.70 ± 0.01^v	52.04 ± 0.72^w	53.24 ± 0.02^v
3	60.58 ± 0.01^r	56.34 ± 0.01^u	58.10 ± 0.02^t
4.5	65.53 ± 0.01^q	58.81 ± 0.01^s	70.45 ± 0.01^o
6	70.26 ± 0.03^o	60.66 ± 0.22^r	75.46 ± 0.03^m
7.5	76.72 ± 0.78^l	67.06 ± 0.01^p	75.74 ± 0.04^m
9	77.55 ± 0.15^k	72.19 ± 0.18^n	76.74 ± 0.04^l
10.5	79.43 ± 0.13^j	78.02 ± 0.77^k	80.26 ± 0.03^{hi}
12	79.65 ± 0.11^{ij}	80.46 ± 0.03^h	82.81 ± 0.03^e
13.5	80.02 ± 0.18^{hij}	81.56 ± 0.01^f	83.64 ± 0.09^d
15	80.10 ± 0.18^{hij}	81.38 ± 0.34^{fg}	84.27 ± 0.02^d
16	80.28 ± 0.12^{hi}	82.95 ± 0.18^e	86.19 ± 0.08^b
16.5	80.33 ± 0.06^{hi}	84.20 ± 0.02^d	87.43 ± 0.01^a
17	80.59 ± 0.04^h	85.41 ± 0.30^c	87.66 ± 0.02^a
17.5	81.06 ± 0.03^{fg}	85.62 ± 0.02^c	87.78 ± 0.04^a
18	81.14 ± 0.03^{fg}	85.70 ± 0.02^c	87.87 ± 0.06^a

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c, ...w และ A,B,C,D ตัวอักษรที่ต่างกันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 25 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 16)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอดโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอดโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น) จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 26



รูปที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังจากกระบวนการอบแห้งในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส

4. ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรด

การประเมินผลค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน แสดงไว้ใน ตารางที่ 26 ดังต่อไปนี้

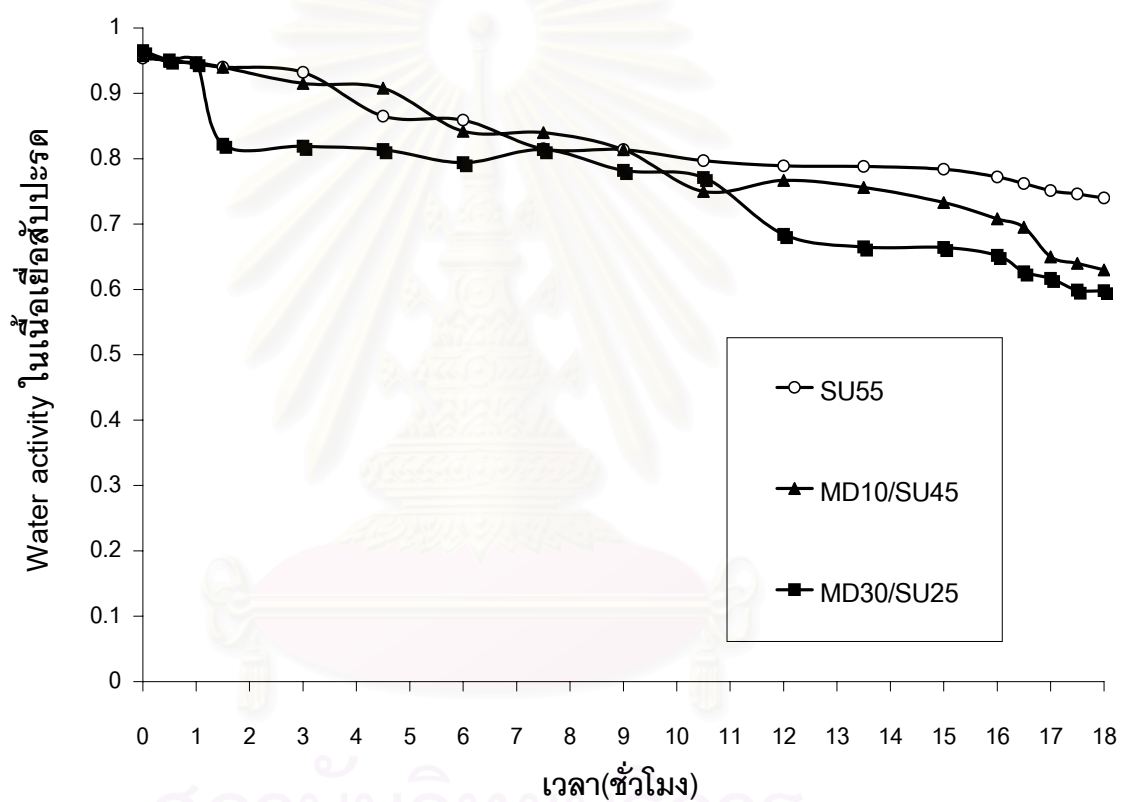
ตารางที่ 26 ข้อมูลค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	Water activity *		
	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25
0	0.954 ± 0.001^b	0.958 ± 0.001^b	0.965 ± 0.001^a
0.5	0.950 ± 0.006^c	0.949 ± 0.001^c	0.951 ± 0.004^c
1	0.945 ± 0.001^d	0.947 ± 0.010^c	0.947 ± 0.010^c
1.5	0.940 ± 0.001^d	0.940 ± 0.001^d	0.822 ± 0.001^k
3	0.932 ± 0.001^e	0.915 ± 0.001^f	0.819 ± 0.001^{kl}
4.5	0.865 ± 0.004^h	0.908 ± 0.009^g	0.814 ± 0.001^l
6	0.859 ± 0.001^j	0.842 ± 0.001^j	0.794 ± 0.001^{mn}
7.5	0.815 ± 0.001^i	0.840 ± 0.001^j	0.814 ± 0.001^l
9	0.814 ± 0.001^i	0.814 ± 0.001^l	0.782 ± 0.002^p
10.5	0.797 ± 0.002^m	0.750 ± 0.007^s	0.771 ± 0.001^q
12	0.789 ± 0.001^{no}	0.767 ± 0.001^{qr}	0.684 ± 0.005^x
13.5	0.788 ± 0.002^{op}	0.756 ± 0.001^s	0.665 ± 0.001^y
15	0.784 ± 0.001^{op}	0.733 ± 0.001^t	0.664 ± 0.001^y
16	0.772 ± 0.002^q	0.708 ± 0.001^v	0.652 ± 0.001^z
16.5	0.762 ± 0.001^r	0.695 ± 0.001^w	0.627 ± 0.002^B
17	0.751 ± 0.001^s	0.650 ± 0.001^A	0.617 ± 0.001^C
17.5	0.746 ± 0.001^s	0.640 ± 0.001^A	0.599 ± 0.001^D
18	0.740 ± 0.001^t	0.630 ± 0.001^B	0.598 ± 0.001^D

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c, ... z และ A,B,C,D ตัวอักษรที่ต่างกันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 26 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 19)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่อค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดมีค่าลดลง(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดที่ลดลงน้อยกว่าเมื่อเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น) จนกระทั่งมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุลดังแสดงใน กราฟรูปที่ 27



รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส

5. ค่าแรงการตัดขาดของเนื้อสับประรด

การประเมินผลค่าแรงตัดการตัดขาดของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน แสดงไว้ใน ตารางที่ 27 ดังต่อไปนี้

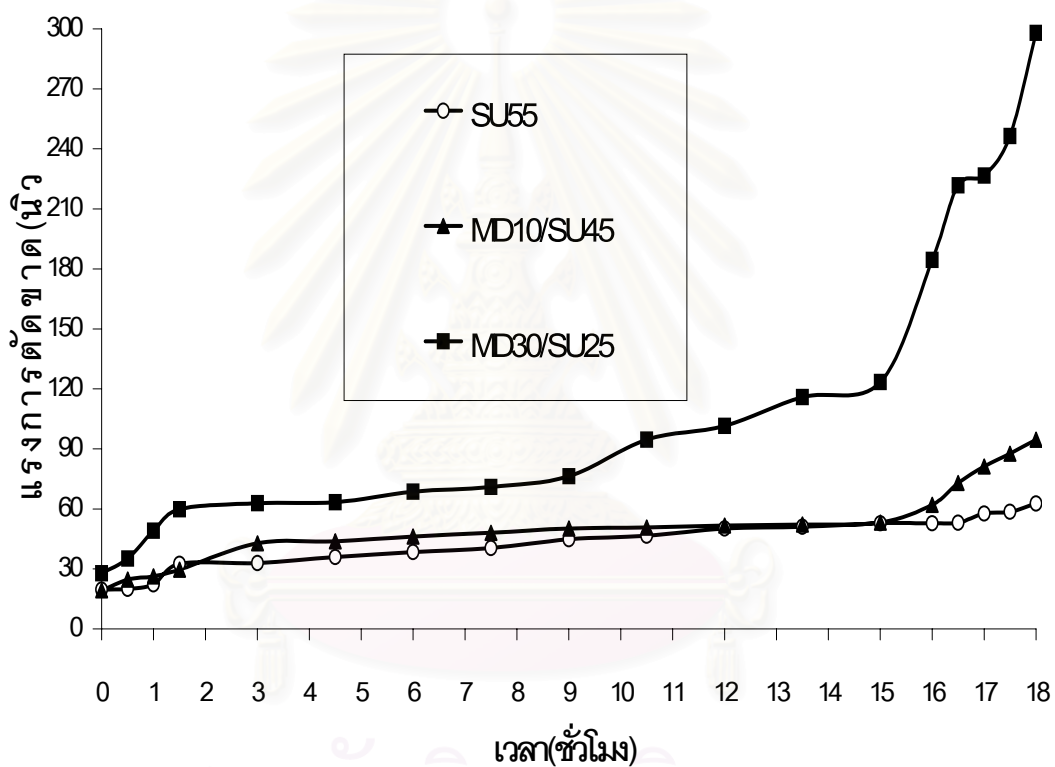
ตารางที่ 27 ข้อมูลค่าแรงการตัดขาดของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออกซิโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าแรงการตัดขาด* (นิวตัน)		
	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25
0	19.64 ± 1.71^w	19.29 ± 1.23^w	27.77 ± 1.91^{stuvw}
0.5	19.99 ± 4.17^w	24.65 ± 1.03^{uvw}	35.23 ± 2.35^{qrstuvw}
1	22.23 ± 0.88^{vw}	26.31 ± 0.42^{tuvw}	$49.05 \pm 1.09^{lmnopqrst}$
1.5	32.53 ± 0.78^{rstuvw}	29.66 ± 1.46^{rstuvw}	59.83 ± 1.78^{jklmno}
3	32.94 ± 8.03^{rstuvw}	$42.82 \pm 0.71^{nopqrstuvw}$	62.87 ± 0.95^{jklmno}
4.5	$35.95 \pm 1.29^{pqrstuvw}$	$43.86 \pm 3.39^{nopqrstuvw}$	63.34 ± 2.13^{jklmn}
6	$38.48 \pm 3.79^{opqrstuvw}$	$46.15 \pm 1.12^{mnopqrstuv}$	68.55 ± 1.72^{jklm}
7.5	$40.46 \pm 3.57^{nopqrstuvw}$	$48.07 \pm 0.54^{lmnopqrstu}$	70.93 ± 0.74^{jkl}
9	$44.84 \pm 2.55^{mnopqrstuv}$	$50.17 \pm 0.42^{lmnopqrst}$	76.35 ± 1.27^{ijk}
10.5	$46.55 \pm 1.30^{mnopqrstu}$	$50.75 \pm 0.42^{lmnopqrs}$	94.65 ± 0.51^{fgh}
12	$50.13 \pm 0.78^{lmnopqrst}$	$51.75 \pm 0.56^{lmnopqrs}$	101.50 ± 1.99^{fg}
13.5	$51.08 \pm 1.99^{lmnopqrs}$	$52.14 \pm 1.03^{lmnopqrs}$	115.91 ± 1.44^{ef}
15	$52.84 \pm 7.41^{klmnopqr}$	$53.13 \pm 4.45^{klmnopqr}$	123.37 ± 0.29^e
16	$52.84 \pm 7.41^{klmnopqr}$	62.14 ± 2.77^{jklmno}	184.42 ± 22.61^d
16.5	$53.05 \pm 4.19^{klmnopqr}$	75.99 ± 0.97^{ijk}	221.73 ± 45.78^c
17	57.71 ± 15.50^{klmnop}	81.22 ± 0.90^{hij}	226.72 ± 38.17^{bc}
17.5	58.61 ± 0.16^{klmnop}	87.67 ± 3.65^{hi}	246.42 ± 9.96^b
18	62.67 ± 9.97^{jklmno}	94.66 ± 1.15^{fgh}	298.01 ± 6.70^a

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c,w ตัวอักษรที่ต่างกันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 27 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 20)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่อค่าแรงการตัดขาดเนื้อสับปะรด($p \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงการตัดขาดของเนื้อสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ค่าแรงการตัดขาดที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น) ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 28



รูปที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงการตัดขาดเนื้อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส

7. ค่าความสว่าง(Lightness ; L) ของเนื้อสับปะรด

การประเมินผลค่าความสว่างของเนื้อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน แสดงไว้ใน ตารางที่ 28 ดังต่อไปนี้

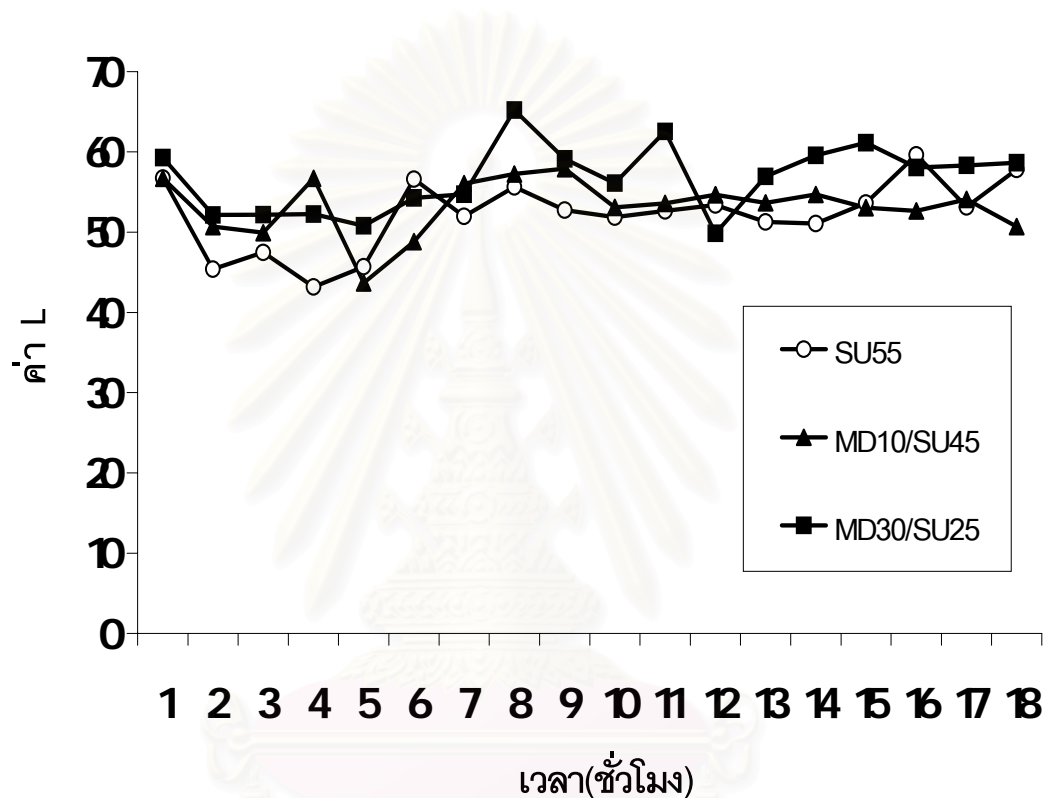
ตารางที่ 28 ข้อมูลค่าความสว่าง(L)ของเนื้อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า L		
	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25
0	$56.75 \pm 1.40^{bcdefghijk}$	$56.71 \pm 1.43^{bcdefghijk}$	59.30 ± 2.62^{bcd}
0.5	45.39 ± 3.46^{qr}	50.69 ± 1.03^{lmnop}	$52.14 \pm 0.50^{ghijklmn}$
1.0	47.46 ± 0.81^{opqr}	49.92 ± 2.04^{mnop}	$52.17 \pm 0.29^{ghijklmn}$
1.5	43.16 ± 0.95^s	$56.71 \pm 0.02^{bcdefghijk}$	$52.24 \pm 2.33^{ghijklmn}$
3.0	45.68 ± 0.35^{pqr}	43.67 ± 0.88^r	50.78 ± 1.82^{klmnop}
4.5	$56.62 \pm 0.97^{bcdefghijk}$	48.83 ± 2.55^{nopq}	$54.26 \pm 0.18^{defghijklm}$
6.0	$51.96 \pm 0.38^{ghijklmn}$	$56.04 \pm 0.78^{cdefghijk}$	$54.72 \pm 2.93^{defghijklm}$
7.5	$55.64 \pm 2.27^{cdefghijkl}$	$57.23 \pm 2.45^{bcdefghi}$	65.21 ± 0.81^a
9.0	$52.73 \pm 0.20^{ghijklmn}$	57.90 ± 1.44^{bcdefgh}	59.12 ± 5.73^{bcde}
10.5	51.87 ± 0.31^{hijklmn}	$53.08 \pm 6.24^{fghijklmn}$	$56.10 \pm 7.52^{cdefghijk}$
12.0	$52.64 \pm 0.37^{ghijklmn}$	$53.57 \pm 3.62^{defghijklm}$	62.53 ± 1.82^{ab}
13.5	$53.38 \pm 2.41^{fghijklmn}$	$54.67 \pm 5.10^{defghijklm}$	49.85 ± 0.62^{mnop}
15.0	51.25 ± 0.43^{ijklmno}	$53.94 \pm 1.78^{defghijklm}$	$56.95 \pm 3.30^{bcdefghij}$
16.0	51.07 ± 1.45^{jklmnop}	$54.70 \pm 3.03^{defghijklm}$	59.55 ± 1.28^{bc}
16.5	$53.61 \pm 1.99^{defghijklm}$	$53.06 \pm 1.58^{fghijklmn}$	61.15 ± 1.97^{abc}
17.0	59.61 ± 2.48^{bc}	$52.65 \pm 1.15^{ghijklmn}$	58.06 ± 0.21^{bcdefg}
17.5	$53.18 \pm 4.89^{fghijklmn}$	$54.09 \pm 4.40^{defghijklm}$	58.32 ± 5.48^{bcdefg}
18.0	57.80 ± 3.14^{bcdefgh}	50.68 ± 1.15^{lmnop}	58.65 ± 4.89^{bcdef}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c, ...s ตัวอักษรที่ต่างกันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 28 จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 21)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่อค่าความสว่างของเนื้อสับปะรด($P \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 29



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง(L)ของเนื้อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส

8. ค่าสีแดง (Redness ; a) ของเนื้อสัตว์แปรรูป

การประเมินผลค่าสีแดงของเนื้อสัตว์แปรรูปหลังจากกระบวนการออกซิโมซิสในสภาวะที่เหมาะสม และนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน แสดงไว้ใน ตารางที่ 29 ดังต่อไปนี้

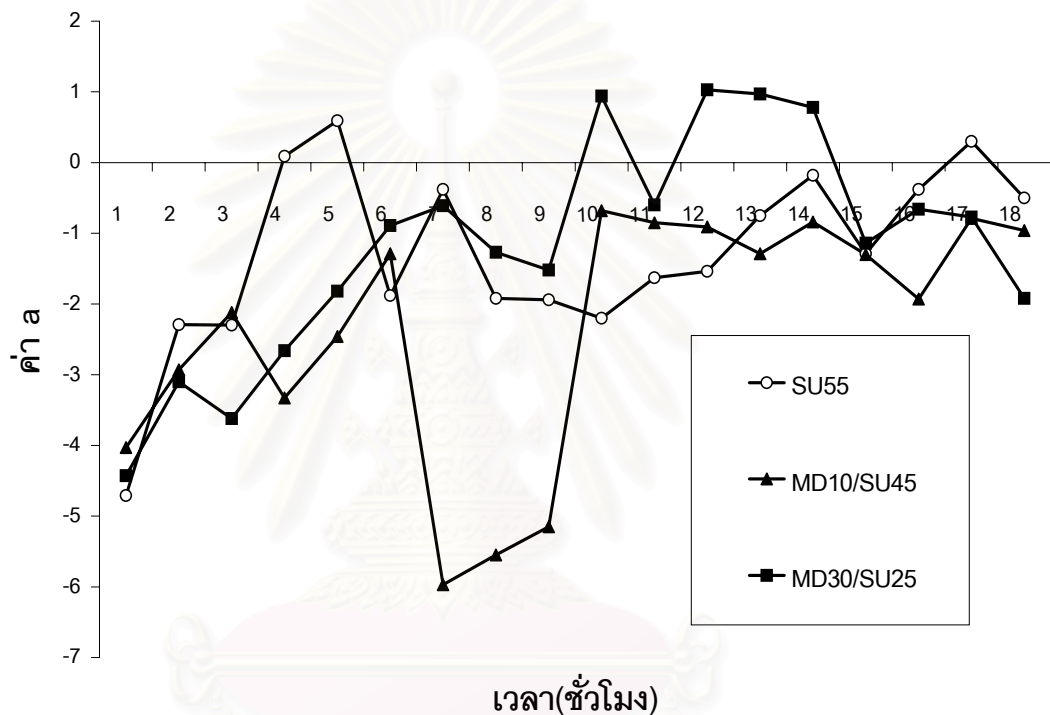
ตารางที่ 29 ค่าสีแดง(a)ของเนื้อสัตว์แปรรูปหลังจากกระบวนการออกซิโมซิสในสภาวะที่เหมาะสม และนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า a		
	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25
0	-4.71 ± 1.40^{tuv}	-4.03 ± 0.00^{rstu}	-4.43 ± 0.79^{stuv}
0.5	-2.29 ± 0.57^{lmnop}	-2.93 ± 0.030^{nopqr}	-3.10 ± 0.09^{opqr}
1	-2.30 ± 0.24^{lmnop}	-2.12 ± 0.41^{jklmnop}	-3.62 ± 0.01^{qrst}
1.5	$+0.09 \pm 0.38^{bcde}$	-3.33 ± 0.03^{pqrs}	-2.66 ± 0.14^{mnopq}
3	$+0.59 \pm 0.35^{bc}$	-2.46 ± 0.06^{lmnopq}	$-1.82 \pm 0.06^{hijklmno}$
4.5	$-1.87 \pm 0.36^{hijklmno}$	-1.29 ± 0.47^{fghijkl}	-0.89 ± 0.13^{efghij}
6	-0.38 ± 0.59^{cdefg}	-5.97 ± 0.09^w	-0.61 ± 0.06^{defgh}
7.5	$-1.92 \pm 0.20^{hijklmno}$	-5.55 ± 0.13^{vw}	-1.27 ± 0.09^{fghijkl}
9	$-1.94 \pm 0.19^{hijklmno}$	-5.15 ± 0.32^{uvw}	-1.52 ± 0.45^{ghijklm}
10.5	-2.20 ± 1.00^{klmnop}	-0.68 ± 0.16^{defgh}	$+0.94 \pm 0.08^{ab}$
12	$-1.63 \pm 1.24^{ghijklmn}$	-0.85 ± 1.06^{efghi}	-0.60 ± 0.46^{defgh}
13.5	-1.54 ± 0.66^{ghijklm}	-0.91 ± 0.41^{efghij}	$+1.03 \pm 0.76^a$
15	-0.75 ± 0.11^{efgh}	-1.29 ± 0.96^{fghijkl}	$+0.97 \pm 0.65^{ab}$
16	-0.18 ± 0.08^{bcdef}	-0.84 ± 1.39^{efghi}	$+0.78 \pm 0.13^{ab}$
16.5	-1.29 ± 0.13^{fghijkl}	-1.30 ± 0.21^{fghijkl}	$-1.14 \pm 0.52^{efghijkl}$
17	-0.38 ± 0.19^{cdefg}	$-1.93 \pm 0.12^{hijklmno}$	-0.66 ± 0.78^{defgh}
17.5	$+0.30 \pm 0.21^{bcd}$	-0.79 ± 0.21^{efghi}	-0.77 ± 0.14^{efghi}
18	-0.50 ± 0.36^{cdefgh}	-0.96 ± 0.32^{efghijk}	$-1.92 \pm 0.35^{hijklmno}$

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c,v ตัวอักษรที่ต่างกันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัย-
สำคัญ ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 29 จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 22)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่อค่าสีแดง($P \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟรูปที่ 30



รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดง(a)ของเนื้อสับประดัดับประดหลังผ่านกระบวนการออสโม-ซีสในสภาวะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศา-เซลเซียส

9. ค่าสีเหลือง (Yellowness; b) ของเนื้อสับประรด

การประเมินผลค่าสีเหลืองของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน แสดงไว้ใน ตารางที่ 30 ดังต่อไปนี้

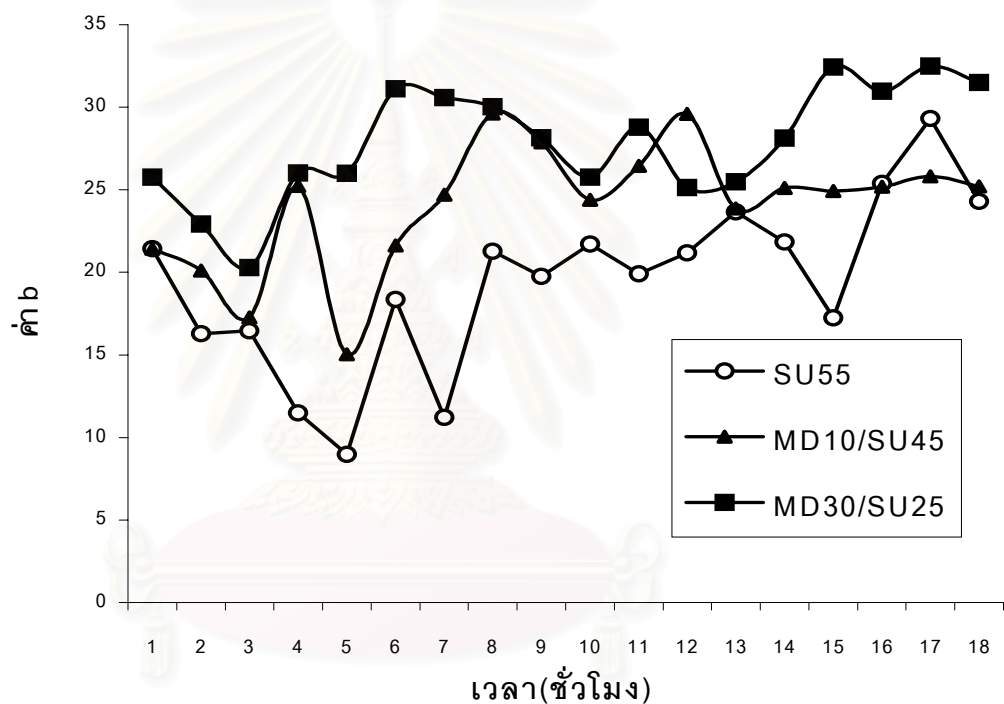
ตารางที่ 30 ข้อมูลค่าสีเหลือง(b)ของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซีสในสภาวะที่เหมาะสมและนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิที่ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า b		
	SU55	MD10/SU45	MD30/SU25
0	21.44 \pm 1.43 ^{klmno}	21.43 \pm 0.01 ^{klmno}	25.76 \pm 3.14 ^{efghij}
0.5	16.28 \pm 0.25 ^{qr}	20.10 \pm 1.82 ^{mnopq}	22.93 \pm 0.78 ^{ijklmn}
1	16.47 \pm 1.32 ^{pqr}	17.26 \pm 1.44 ^{pqr}	20.30 \pm 2.40 ^{mnop}
1.5	11.49 \pm 0.12 ^s	25.23 \pm 3.73 ^{ghijkl}	26.02 \pm 0.54 ^{efghi}
3	8.98 \pm 0.47 ^s	15.05 \pm 1.16 ^r	26.00 \pm 0.28 ^{efghi}
4.5	18.35 \pm 0.27 ^{opqr}	21.63 \pm 1.38 ^{klmno}	31.13 \pm 1.53 ^{bc}
6	11.20 \pm 0.30 ^s	24.70 \pm 2.35 ^{ghijkl}	30.59 \pm 0.23 ^{bc}
7.5	21.29 \pm 0.03 ^{lmno}	29.62 \pm 1.04 ^{bcde}	30.03 \pm 2.34 ^{bcd}
9	19.75 \pm 1.05 ^{nopq}	27.88 \pm 0.64 ^{cdefgh}	28.16 \pm 0.96 ^{cdefg}
10.5	21.71 \pm 0.67 ^{klmno}	24.41 \pm 1.43 ^{ghijk}	25.76 \pm 3.83 ^{efghij}
12	19.92 \pm 2.53 ^{mnopq}	26.45 \pm 0.40 ^{defghi}	28.79 \pm 3.49 ^{bcdef}
13.5	21.18 \pm 1.61 ^{lmno}	29.59 \pm 1.88 ^{bcde}	25.13 \pm 2.09 ^{efghijkl}
15	23.66 \pm 0.33 ^{ijklmn}	23.87 \pm 2.06 ^{hijklm}	25.48 \pm 1.43 ^{efghijk}
16	21.83 \pm 2.31 ^{klmno}	25.12 \pm 2.43 ^{efghijkl}	28.13 \pm 0.45 ^{cdefg}
16.50	17.25 \pm 0.23 ^{pqr}	24.93 \pm 1.45 ^{efghijkl}	32.44 \pm 2.06 ^{ab}
17	25.38 \pm 1.13 ^{efghijk}	25.19 \pm 0.66 ^{efghijkl}	30.96 \pm 1.63 ^{bc}
17.5	29.33 \pm 1.03 ^{bcde}	25.83 \pm 3.95 ^{efghij}	32.49 \pm 0.51 ^a
18	24.29 \pm 2.16 ^{hijkl}	25.20 \pm 3.20 ^{efghijkl}	31.51 \pm 2.04 ^{bc}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, c,s ตัวอักษรที่ต่างกันทั้งในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 30 จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 23)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่อค่าสีเหลือง($P \leq 0.05$) นั่นคือ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน กราฟรูปที่ 30



รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเหลือง(b)ของเนื้อสับประดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสในสถานะที่เหมาะสมกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส

ส่วนที่ 4

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการออกซิโมซิสและสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน ที่มีต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์สับประรดแห้งที่ผลิตได้

ใช้แบบทดสอบ Scoring test โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อสับประรดที่ผ่านกระบวนการออกซิโมซิสในสารละลายออกซิโมติกแล้วนำมาอบแห้งด้วยลมร้อน ดังแสดงใน ตารางที่ 31 เมื่อพิจารณาทางด้านสถิติของลักษณะปรากฏ(ตาราง ค 24) สี(ตาราง ค 25) และเนื้อสัมผัส(ตาราง ค 26) พบว่า สับประรดที่แช่ด้วย SU55 และ MD10/SU45 ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากที่แช่ด้วย MD30/SU25 ($P \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาทางด้านรสชาติ(ตาราง ค 28) พบว่า สับประรดที่แช่ด้วย SU55 และ MD30/SU25 ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากที่แช่ด้วย MD10/ SU45 ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาทางด้านกลิ่นรส(ตาราง ค 27) พบว่า สับประรดที่แช่ด้วย SU55, MD10/SU45 และ MD30/SU25 แตกต่างกัน($P \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 คะแนนทางประสาทสัมผัสที่มีต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์สับประรดแห้งที่ผลิตได้

สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ ในกระบวนการ ออสโมซิส	สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ ในกระบวนการ ทำแห้งด้วยลม ร้อน	คะแนนเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส
สารละลาย ซูโครส 55 เปอร์เซ็นต์ A_w 0.952 เวลา 240 นาที	สารละลาย ซูโครส 55 เปอร์เซ็นต์ A_w 0.740 เวลา 18 ชั่วโมง	$13.8^a \pm 3.12$	$14.8^a \pm 2.39$	$21.9^{ab} \pm 5.13$	$16.9^b \pm 8.10$	$22.0^a \pm 3.80$
สารละลายมอล โทเดกซ์- ทริน 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับซูโครส 45 เปอร์เซ็นต์ A_w 0.957 เวลา 240 นาที	สารละลายมอล โทเดกซ์- ทริน 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับซูโครส 45 เปอร์เซ็นต์ A_w 0.652 เวลา 17 ชั่วโมง	$14.6^a \pm 4.30$	$14.4^a \pm 3.78$	$25.3^a \pm 2.11$	$24.9^a \pm 6.24$	$22.7^a \pm 6.63$
สารละลายมอล โทเดกซ์- ทริน 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับซูโครส 25 เปอร์เซ็นต์ A_w 0.960 เวลา 240 นาที	สารละลายมอล โทเดกซ์- ทริน 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับซูโครส 25 เปอร์เซ็นต์ A_w 0.650 เวลา 16 ชั่วโมง	$7.6^b \pm 2.99$	$7.0^b \pm 2.05$	$18.1^c \pm 8.65$	$12.8^b \pm 10.03$	$7.6^b \pm 4.33$

* a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบหลัก(สับประรดสด, มอลโทเดกซ์ทรินผง และน้ำตาลซูโครส)ที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อพิจารณาส่วนของสับประรดสด เนื่องจาก โครงสร้างของผนังเซลล์ของผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามความสุกของผลไม้ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อกระบวนการออสโมซิส นอกจากนี้ ยังมีองค์ประกอบทางเคมีด้วยที่มีผล(Torreggiani, 1993) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ ค่า Water activity, ปริมาณน้ำ, ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ความเป็นกรด-ด่าง, และความเป็นกรดในรูปกรดซิตริกของสับประรดที่นำมาใช้ในการวิจัย เพื่อเป็นการตรวจสอบความสุกของสับประรดที่ได้คัดเลือกมาโดยการสังเกตสีของเปลือก ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นดัชนีบ่งชี้ความแก่อ่อนของผลไม้ได้ จากผลการวิเคราะห์ใน ตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณน้ำและ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ Dull(1971) สำหรับ สับประรดสุก ส่วนค่าความเป็นกรดมีค่าต่ำกว่ามาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ สับประรดเฉพาะส่วนที่หั่นเป็นวงแหวนแล้วเท่านั้น ไม่ได้วิเคราะห์สับประรดในส่วนที่กินได้ทั้งผล และนอกจากนั้นอาจจะไม่ใช่สับประรดพันธุ์เดียวกัน

การวิเคราะห์ในส่วนของมอลโทเดกซ์ทรินผงและน้ำตาลซูโครสนั้น ได้วิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีค่อนข้างละเอียด โดยเฉพาะพยายามจะให้ทราบถึงปริมาณน้ำตาลสายยาวที่มี น้ำหนักโมเลกุลสูงที่แสดงใน ตารางที่ 6 จะเห็นว่า มอลโทเดกซ์ทรินมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพียง 1 เปอร์เซนต์ของน้ำตาลทั้งหมด(Herrera et al., 2000) จึงเป็นสาเหตุให้มอลโทเดกซ์ทรินมีความหนืดสูง(Kenyon and Anderson, 1988)และกระจายตัวในน้ำได้ช้ากว่าน้ำตาลซูโครส และไม่ได้มี เพียงแต่โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสเท่านั้นที่มีกิจกรรมรีดักชัน(Reduction activity) ยังมีน้ำตาล น้ำหนักโมเลกุลสูงที่มีสายยาวอื่นๆอีกที่ปลายโซ่จะมีหมู่ Reducing ends ที่สามารถเกิดกิจกรรมรีดักชันได้ เนื่องจาก น้ำตาลกลูโคสมีความสามารถในการทำปฏิกิริยารีดักชันได้ที่คาร์บอนตัวที่ 1 ซึ่งเป็นหมู่อัลดีไฮด์ (Lineback and Ingett, 1982) นอกจากนี้ยังต้องทราบค่า Water activity เริ่มต้นของทั้งสอง 2 สารนี้ เนื่องจาก จะมีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลในเนื้อเยื่อสับประรด นั่นคือ

เป็นการบอกศักยภาพทางเคมีของสารละลายออสโมติกที่จะเป็นแรงขับเคลื่อนน้ำออกจากเนื้อเยื่อ สับปะรด(Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996) และยังพบว่าน้ำตาลซูโครสมีค่า Bulk density มากกว่ามอลโทเดกซ์ทริน เนื่องจาก พื้นที่ผิวสัมผัสของซูโครสน้อยกว่ามอลโทเดกซ์ทริน จึงส่งผลทำให้ซูโครสมีการละลายและกระจายตัวในน้ำได้เร็วและมากกว่า เพราะว่ น้ำตาลซูโครส (น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 342)มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่ามอลโทเดกซ์ทริน และจะส่งผลต่อไปถึงการแพร่ที่จะเข้าไปในเนื้อเยื่อสับปะรดเพื่อทำการแทนที่น้ำหรือขจัดน้ำ แต่ว่ น้ำตาลซูโครสให้ความหวานและเกิดผลึกสูง ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาอย่างยิ่งในผลไม้อบแห้ง(สมยศ จรรยา-วิลาศ, 2540)

ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน ร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสที่มีต่ออัตราการถ่ายโอนมวล(น้ำและของของแข็ง)ในเนื้อเยื่อสับปะรดและสารละลายออสโมติกด้วยวิธีออสโมซิส

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรด หลังผ่านกระบวนการออสโมซิส ที่แสดงใน ตารางที่ 8 และ กราฟรูปที่ 9 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 1)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสมีผลต่อปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรด เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสและเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลง(เมื่อเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณของมอลโทเดกซ์ทรินที่ลดลงน้อยกว่า) เนื่องจากโมเลกุลของซูโครสมีขนาดเล็กและมีความชอบน้ำสูงกว่ามอลโทเดกซ์ทริน และเมื่อซูโครสผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยกรด(ในงานวิจัยนี้กรดมาจากกรดซิตริกที่เติมลงไปพร้อมกับกรดที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ) ค่า ความร้อน(การวิจัยใช้ความร้อน 50 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน)หรือ เอนไซม์ จะให้ Invert sugars(กลูโคสกับฟรุคโตส) ประกอบกับน้ำตาลซูโครสมีค่าน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่ามอลโทเดกซ์ทรินที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า จึงทำให้น้ำตาลซูโครสมีแรงดันออสโมติกสูงกว่ามอลโท-เดกซ์ทรินที่จะแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อสับปะรดเพื่อไปจับกับโมเลกุลของน้ำไว้หรือแทนที่โมเลกุลของน้ำ น้ำจึง Flow ออกมาสู่สารละลายออสโมติกได้(Hoynak and Bollenback, 1966 ; Ponting et al., 1966 ; Lenart and Lewicki , 1988 ; Beristain et al., 1990)

เมื่อพิจารณาอัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส ดังที่แสดงใน ตารางที่ 9 และ กราฟรูปที่ 10 พบว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 3)ของการใช้มอลโท-เดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส มีผลอัตราของการขจัดน้ำในเนื้อเยื่อสับประรดเมื่อใช้ปริมาณมอลโท-เดกซ์ทรินกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น) จนเข้าสู่ภาวะสมดุล สันเกตว่า ที่เวลา 30 นาทีเริ่มต้น เนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วย MD30/SU25 จะมีค่าอัตราของการขจัดน้ำสูงมาก เนื่องมาจากปรากฏการณ์ “Balance synergistic effects” ด้วยอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือ มอลโทเดกซ์ทรินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีค่า Water activity ต่ำกว่า จะเป็นตัวหลักโมเลกุลของน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลซูโครสเองที่สามารถกระจายตัวและละลายในน้ำได้ดีเมื่อผ่านความร้อน(อุณหภูมิของสารละลายออสโมติกเท่ากับ 50 ± 1 องศาเซลเซียส) จะเป็นตัวพาเอาโมเลกุลของมอลโทเดกซ์ทรินที่ผ่านการย่อยสลาย คือ กลูโคส เข้าไปด้วย จึงทำให้น้ำที่อยู่ในเนื้อเยื่อสับประรดเริ่มต้นที่มีอยู่มากลดลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ค่า Water activity ลดลง(Hawkes and Flink, 1978 ; Lazarides et al., 1995)

เมื่อพิจารณาอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อเยื่อสับประรด หลังผ่านกระบวนการออสโมซิส พบว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 4)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสมีผลอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อเยื่อสับประรด เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อเยื่อสับประรดมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้อัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อเยื่อสับประรดลดลงในเชิงลบเมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น)จนเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน ตารางที่ 10 และ กราฟรูปที่ 11 เห็นชัดเจนว่า เนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำตาลซูโครสอย่างเดียวจะไม่มี การสูญเสียน้ำหนักรวม เนื่องจาก เหตุผลเดียวกับที่กล่าวมาแต่ข้างต้น คือ มีโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสเข้าไปมากในขณะที่น้ำถูกขจัดออกมาน้อย ส่วนเนื้อเยื่อสับประรดเมื่อแช่ด้วยมอลโทเดกซ์ทรินอย่างเดียวหรือแช่ร่วมกับน้ำตาลซูโครส พบว่า การสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อเยื่อสับประรดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั่นแสดงว่ามีปริมาณของแข็ง(น้ำตาล)เข้าไปน้อย แต่ขจัดน้ำได้มากกว่า(Lazarides et al., 1995; Lazarides et al., 1999)

เมื่อพิจารณาค่า Water activity ในเนื้อเยื่อตับประดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 6)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสมีผลต่อค่า Water activity ในเนื้อเยื่อตับประด เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อตับประดมีค่าลดลง(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น) จนเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน ตารางที่ 11 และ กราฟรูปที่ 12 เหตุผลเช่นเดียวกับส่วนข้างต้นที่กล่าวมา คือ เมื่อน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่แพร่เข้าไปมากจับกับโมเลกุลของน้ำไว้หรือแทนที่น้ำก็ตาม(ซึ่งโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้)จึงทำให้น้ำมีความเป็นอิสระลดลง(นฤปดี และคณะ, 2544 ; Lazarides et al., 1995)

เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาค่า Water activity ของสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 7)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสมีผลต่อค่า Water activity ของสารละลายออสโมติก เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Water activity ของสารละลายออสโมติกมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น)ส่งผลให้ค่า Water activity ของสารละลายออส-โมติกเพิ่มขึ้นน้อยกว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น)จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน ตารางที่ 12 และ รูปที่ 13 เนื่องจาก น้ำที่อยู่ในเซลล์ทั้งหมดของเนื้อเยื่อตับประดมีการ Flow ออกมา และสารละลายออสโมติกมีการแพร่เข้าไปด้วย ทำให้ความเป็นอิสระหรือกิจกรรมของน้ำในสารละลายออสโมติกจึงเพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่จะสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำลดลง(นฤปดี และคณะ, 2544 ; Nogueira and Park, 1992 ; Lazarides et al., 1995)

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 2)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประด เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสและเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประดมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณมอล-โทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น)ส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประดเพิ่มขึ้นน้อยกว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น)จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน ตารางที่ 13 และ กราฟรูปที่ 14 เนื่องจาก โมเลกุลของน้ำตาลซูโครสมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของมอลโทเดกซ์ทริน

จึงทำให้จุลินทรีย์มีความสามารถในการถ่ายโอนเข้าสู่เนื้อเยื่อตับประคได้อย่างรวดเร็วและมากกว่ามอลโท-เดกซ์ทริน(Hawkes and Flink, 1978)

เมื่อพิจารณาอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อตับประคหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 5)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับจุลินทรีย์ผลต่ออัตราของแข็งที่เพิ่มเข้าไปในเนื้อเยื่อตับประค เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อตับประคมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อตับประคเพิ่มขึ้นน้อยกว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น) จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน ตารางที่ 14 และ กราฟรูปที่ 15 เนื่องจาก เป็นเหตุผลเดียวกับส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประค สำหรับอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งนั้น ก็หมายถึง ผลต่างของปริมาณน้ำตาลหรือของของแข็งทั้งหมดที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อตับประคก่อนและหลังของการออสโมซิสในสารละลายออสโมติก โดยตั้งข้อสมมติฐานว่า “สารละลายออสโมติกตามธรรมชาติในเนื้อเยื่อตับประคไม่มีการแพร่ไปยังสารละลาย” ซึ่งความจริงแล้วจะมีการแพร่ของกรดอินทรีย์(Organic acids)ออกจากเนื้อเยื่อตับประคด้วย(Magee et al., 1983)

และเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประคหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 8)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับจุลินทรีย์ผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประค เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประคมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประคเพิ่มขึ้นน้อยกว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น) จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน ตารางที่ 15 และ กราฟรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่า ผลการวิเคราะห์นี้จะสอดคล้องไปทางเดียวกับปริมาณของแข็งทั้งหมด และอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อตับประค คือ เมื่อเวลาการออสโมซิสเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่เข้าไปในเนื้อเยื่อตับประคเพิ่มขึ้น

เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 9)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสารละลายออสโมติก เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสารละลายออสโมติกมีค่าลดลง(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสารละลายออสโมติกที่ลดลงน้อยกว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น) จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน ตารางที่ 16 และ กราฟรูปที่ 17 ก็คือเมื่อมีปริมาณของแข็งเข้าไปในเนื้อเยื่อสับปะรดก็แสดงว่า ในสารละลายออสโมติกมีปริมาณของแข็งลดลงนั่นเอง และเหตุผลอื่นสามารถอธิบายเหมือนกับที่กล่าวผ่านๆมา

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 11)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรด แต่ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นหรือเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น อย่างไม่อย่างหนึ่ง ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า) ดังแสดงใน ตารางที่ 17 และ กราฟรูปที่ 18 เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดเพิ่มขึ้น เห็นได้ชัดมากเมื่อสับปะรดแช่ด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินอย่างเดียว และปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดลดลงตามปริมาณการใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่ลดลง เนื่องจาก ความร้อนที่ให้แก่สารละลายออสโมติกในช่วงเวลาที่นานขึ้น จะทำให้โมเลกุลสายยาวของพวกน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงต่างๆ(ตารางที่ 6)ถูกตัดหรือย่อยสลายได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากขึ้น คือ น้ำตาลกลูโคส ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลที่มีกิจกรรมรีดิคซ์ได้(Brooks and Griffin, 1987; 1989) ที่สามารถแทรกซึมโดยการแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อสับปะรดได้(Lazarides, et al., 1995 ; Chronakis, 1998)

เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ในสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 12)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ในสารละลายออสโมติก แต่ เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นหรือเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น อย่างไม่อย่างหนึ่ง ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์ในสารละลายออสโมติกมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้

ปริมาณน้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายออสโมติกที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า) ดังแสดงใน ตารางที่ 18 และ กราฟรูปที่ 19 เหตุผลเช่นเดียวกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อตับประด ข้อดีคือ เรายังสามารถนำเอาสารละลายออสโมติกนี้ไป Re-concentration ได้อีก เนื่องจากมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่มากที่สามารถขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อตับประดได้อีกเพราะว่าสามารถเกิดแรงดันออสโมติกได้ แต่ในการวิจัยนี้ไม่ได้ทดลอง เนื่องจาก มีเวลาที่จำกัด

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 10)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประด เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประดมีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประดเพิ่มขึ้นน้อยกว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น) จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงใน ตารางที่ 19 และ กราฟรูปที่ 20 จะสอดคล้องกับอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อตับประด, ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประด, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับประด คือ เมื่อเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด(ในรูปกลูโคส)ในเนื้อเยื่อตับประดเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุล เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาค่าสมมูลเดกซ์โทรส(DE)ของสารละลายออสโมติก หลังผ่านกระบวนการออสโมซิส จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 14)ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส ไม่มีผลต่อค่า DE แต่เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นหรือเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น อย่างไม่อย่างหนึ่ง ส่งผลให้ค่า DE มีค่าเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ทำให้ค่า DE ในสารละลายออสโมติกที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า) ดังแสดงใน ตารางที่ 20 และ กราฟรูปที่ 21 จะเห็นได้ว่า สอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายออสโมติก เนื่องจาก เมื่อทราบว่าเป็นสารละลายออสโมติกมีค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่เท่าไรก็สามารถนำมาคำนวณหาค่าสมมูลเดกซ์โทรสได้ ตามวิธีของ มอก.268-2521(ภาคผนวก ก 7) และสังเกตพบอีกว่า ค่า DE นี้จะเป็นตัวบอกว่าสารละลายออสโมติกนั้นสามารถนำไป Regenerated ได้หรือไม่ (ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในสารละลายออสโมติก) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ค่า DE เนื่องจากความร้อน(อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส)ที่สัมผัสกับโมเลกุลของสารละลายออสโมติกเป็น

เวลานานที่มีมอลโทเดกซ์ทรินเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยจะไปทำลายพันธะไกลโคซิดิก ส่งผลทำให้มีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในสารละลายมีมากขึ้น(Macrae, et al., 1993 ; Chronakis, 1998) ปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในสารละลายออสโมติก ขึ้นอยู่กับความร้อนหรืออุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายมากกว่าขึ้นอยู่กับค่า DE ในตัวอย่าง ดังนั้น ค่าน้ำตาลรีดิคซ์หรือค่า DE ที่สูงขึ้น จึงไม่จำเป็นเสมอไปที่จะส่งผลให้สารละลายออสโมติกนั้นมีส่วนที่เป็นโครงสร้างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอยู่ในปริมาณมากด้วย(Brooks and Griffin, 1989)

และเมื่อพิจารณาอัตราของการขจัดน้ำต่ออัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรด(WL/SG ratios) จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 13)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส มีผลต่ออัตราของการขจัดน้ำต่ออัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อสับปะรด ค่านี้อาจเพิ่มมากในช่วงเริ่มต้นของการออสโมซิส หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงค่อนข้างคงที่ เนื่องจากค่านี้อาจเป็นดัชนีในการบอกลักษณะประสิทธิภาพของกระบวนการออสโมซิส(ประสิทธิภาพของการถ่ายโอนมวล)ว่าเกิดเร็วหรือช้า(Lazarides et al., 1995)

ส่วนที่ 3 วิเคราะห์ผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส(ที่เลือกแล้ว)กับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน ที่มีต่อการเคลื่อนย้ายของความชื้นหรือน้ำในเนื้อเยื่อสับปะรด และประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งในด้านสีและเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดสีและวัดเนื้อสัมผัสเฉพาะ

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่เวลาต่างๆ จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 17)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรด เมื่อเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกต่างๆมีค่าลดลง ดังแสดงใน ตารางที่ 22 และ กราฟรูปที่ 23 พบว่า เมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วย SU55, MD10/SU45 และ MD30/SU25 จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก(ประมาณช่วงเวลา 0 – 6 ชั่วโมง) สังเกตว่า กราฟที่ได้จะชันหรือลาดเอียงมากอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะเส้นกราฟปริมาณความชื้นอิสระของเนื้อเยื่อสับปะรดที่แช่ด้วย MD30/SU25 จะชันมากที่สุด รองลงมาจะเป็น MD10/SU45 และ SU55 ตามลำดับ เนื่องจากเป็นผลมาจากปรากฏการณ์การถ่ายโอนความชื้น(Moisture transfer phenomena)(Perry and Green,

1985 ; Mulet et al., 1989 ; Sereno and Medeiros, 1990) ดังนั้น จึงส่งผลให้ความชื้นหรือน้ำเกิดการระเหยจากที่ผิวของสับประรดและจากภายในเนื้อเยื่อสับประรดมาสู่ที่ผิวแล้วก็ระเหยออกไปในรูปของไอ ดังนั้น น้ำที่ระเหยออกไปในลักษณะอย่างนี้ส่วนใหญ่จะเป็นปริมาณความชื้นอิสระเท่านั้น(Trebal, 1981 ; Geankoplis, 1993 ; McCabe et al., 1993) โดยพบว่า ปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วยซูโครสอย่างเดียวจะระเหยช้ากว่าที่ใช้ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทริน เนื่องจาก น้ำตาลซูโครสที่มีปริมาณมากจะขัดขวางให้น้ำระเหยออกมาน้อย(โดยมันจะจับกับโมเลกุลของน้ำไว้โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ) ทำให้ความต้านทานการถ่ายเทความชื้นภายในฟิล์มอาหารเพิ่มขึ้น และอัตราการแพร่ความชื้นในเนื้อเยื่อสับประรดผิวฟิล์มจึงช้าลง และจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล(Effective moisture diffusivity coefficient)ให้ต่ำลง เพราะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นนั่นเอง(Brekke and Allen, 1967 ; Sankas et al., 1996) การที่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นลดต่ำลงได้(กรณีเนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสอย่างเดียว) เพราะผู้วิจัยเลือกใช้อุณหภูมิเดียว คือ 60 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที เท่านั้น และไม่ได้ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลด้วย แต่มีผู้ทดลองและได้รายงานไว้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิของการอบแห้งและการเพิ่มความเร็วของลมร้อนเท่ากับว่าเป็นการเพิ่มความแตกต่างระหว่างความดันไอกภายในฟิล์มของอาหาร และความดันไอของอากาศร้อนที่ผิวฟิล์ม อัตราการแพร่ความชื้นจากภายในสู่ผิวฟิล์มเร็วขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลสูงขึ้นได้(ศิวะ และ สมชาย, 2532 ; Nogueira and Park, 1992)

นอกจากนี้ ความชื้นอิสระที่ระเหยออกมาส่วนใหญ่จะออกมาด้วยกลไกการเคลื่อนที่ผ่านท่อเล็กๆ(Capillary movement) และช่องว่าง(Voids)ในเนื้อเยื่อสับประรด โดย Capillary action(ซึ่งเกิดจากแรงตึงผิวระหว่างน้ำและของของแข็ง)(Geankoplis, 1993)

เมื่อพิจารณาอัตราของการอบแห้งหรืออัตราของการระเหยความชื้นในเนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วย SU55, MD10/SU45 และ MD30/SU25 พบว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 18)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่ออัตราของการอบแห้งเนื้อเยื่อสับประรด ดังแสดงใน ตารางที่ 23 และ กราฟรูปที่ 24 พบว่า เส้นกราฟของ MD10/SU45, MD30/SU25 และSU55 จะชันมากอย่างเห็นได้ชัดในช่วงเวลาประมาณ 0 ถึง 1.5 ชั่วโมงของการอบแห้ง อาจเป็นไปได้ว่าเป็นช่วงที่อัตราของการระเหยความชื้นลดลงในช่วงแรก เริ่มจากเมื่อ

มองที่เส้นกราฟของ SU55, MD10/SU45 และ MD30/ SU25 เป็นไปได้ว่า น้ำหรือความชื้นนี้จะถูกนำมาที่ผิวของเนื้อสับประรดโดย Capillary action แต่เมื่อผิวหน้าของน้ำเริ่มเคลื่อนที่จากผิวเข้าไปภายในเนื้อเยื่อสับประรด อากาศก็จะแทรกเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างเซลล์หรือรู(Pores)ด้วย ทำให้น้ำหรือความชื้นมีปริมาณน้อยลงไม่พอที่จะเกิดเป็นฟิล์มที่ช่องว่างระหว่างเซลล์หรือรู ทำให้อัตราการอบแห้งหรืออัตราการระเหยความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว(Treybal, 1981 : Perry and Green, 1985 ; McCabe et al., 1993) นอกจากนี้จาก กราฟรูปที่ 24 (ในส่วนอัตราของการระเหยความชื้น) เนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วย SU55, MD10/SU45 และ MD30/SU25 ประมาณช่วงเวลา 1.5 ถึง 4 ชั่วโมง เส้นกราฟจะลาดเอียงเล็กน้อยกว่าในช่วงแรกมาก อาจเป็นไปได้ว่าอัตราการอบแห้งหรืออัตราการระเหยความชื้นลดลงเป็นช่วงที่สอง คือ พื้นที่ผิวของเนื้อสับประรดที่เกิดการระเหยของความชื้นจะเคลื่อนจากผิวหน้าเข้าไปภายในเนื้อเยื่อสับประรด ความร้อนที่ใช้ในการระเหยความชื้นจะถูกถ่ายเทผ่านเนื้อเยื่อสับประรดไปสู่บริเวณที่เกิดการระเหย ไออน้ำที่ระเหยต้องเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อสับประรดไปยังอากาศร้อนที่ไหลผ่าน จนกระทั่งถึงจุดที่เวลาประมาณ ชั่วโมงที่ 6 ซึ่งเป็นจุดที่เนื้อเยื่อสับประรดมีความชื้นเท่ากับปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)(Treybal, 1981 ; Geankoplis, 1993) และจากการทดลองของ Khraisheh และคณะ(1997) ได้ศึกษาการถ่ายโอนความชื้นในช่วงการอบแห้งมันฝรั่งด้วยลมร้อน พบว่า เกิดช่วงอัตราของการระเหยความชื้นที่ไม่คงที่ คือ ได้อัตราของการระเหยความชื้นออกจากเนื้อเยื่อมันฝรั่งแผ่นบาง(Potato slab)ในช่วงลดลงครั้งที่ 1 และได้อัตราของการระเหยความชื้นออกจากมันฝรั่งแท่งในช่วงลดลงครั้งที่ 2 แต่จากการวิจัยนี้ ตัวอย่างสับประรดเป็นแบบ Pineapple slab ฉะนั้น อัตราของการอบแห้งหรืออัตราการระเหยความชื้นในช่วงลดลงครั้งที่ 1 จึงเห็นได้ชัดกว่าช่วงลดลงครั้งที่ 2(ดูจาก กราฟรูปที่ 23) และยังมีรายงานอีกว่า ผลของอุณหภูมิของลมร้อน, ความเร็วของลมร้อน และ รูปทรงเรขาคณิตของตัวอย่าง มีผลต่อการระเหยความชื้น Ertekin และ Cakaloz (1996) ยังบอกอีกว่า ถั่วเมล็ดเล็ก(Pea)ที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสในสารละลายออสโมติก 55 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ มาก่อนจะทำให้อัตราของการระเหยความชื้นมีค่าสูงมาก ส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งด้วยลมร้อนน้อยลง จึงเป็นการประหยัดเวลา และพลังงานที่สำคัญ

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น(ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)ในเนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนจะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 15)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อสับประรด เมื่อเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง ดังแสดงใน ตารางที่ 24 และ กราฟรูปที่ 25 และการหาปริมาณ

ความชื้นนี้วิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนักที่หายไป(ที่สภาวะการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส) และปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับประรด พบว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 16)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับประรด ดังแสดงใน ตารางที่ 25 และกราฟรูปที่ 26 พบว่า 2 ค่านี้จะสัมพันธ์กันอยู่แล้ว คือความชื้นระเหยไปเท่าไรก็มีปริมาณของแข็งเหลืออยู่เท่านั้น โดยพบว่าสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำตาลซูโครสอย่างเดียว เมื่อนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนจึงมีปริมาณของแข็งสูงกว่าเมื่อใช้ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทรินในช่วงแรก เนื่องจาก น้ำตาลซูโครสมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่ามอลโทเดกซ์ทริน จึงทำให้โมเลกุลน้ำตาลซูโครสมีความสามารถแทรกซึมเข้าไปสู่เนื้อเยื่อสับประรดได้ง่ายกว่ามอลโทเดกซ์ทรินในช่วงกระบวนการออสโมซิส เมื่อนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนทำให้ความต้านทานการถ่ายเทความชื้นภายในฟิล์มอาหารเพิ่มขึ้น และอัตราการระเหยของความชื้นในเนื้อเยื่อสับประรดมาสู่ผิวฟิล์มข้าง(อ้างถึงใน นฤดี และคณะ, 2544 ; Mao, 1974 ; Sankat et al., 1996) ในขณะที่เนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกที่มีมอลโทเดกซ์ทรินทำให้มีปริมาณน้ำตาลเข้าไปน้อย ส่งผลให้การขัดขวางการระเหยความชื้นเป็นไปได้น้อยกว่าเนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำตาลซูโครสอย่างเดียว ผลก็คือ เนื้อเยื่อสับประรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกที่มีปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้นมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับประรดมากในช่วง 10.5 ถึง 18 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับประรด อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 19)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่อค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับประรด ดังแสดงใน ตารางที่ 26 และ กราฟรูปที่ 27 หลังการอบแห้งด้วยลมร้อน จะเห็นว่า เมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับประรดที่แช่ด้วยซูโครสร่วมกับมอลโท-เดกซ์ทรินจะมีค่าลดลงจนได้ค่า Water activity เป็น 0.65 หรือต่ำกว่า ในขณะที่แช่ด้วยซูโครสอย่างเดียวค่า Water activity ที่ได้จะสูงกว่า 0.65 เนื่องจาก น้ำตาลซูโครสขัดขวางการระเหยออกของความชื้นโดยการจับกับโมเลกุลของน้ำไว้(สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้) ส่งผลให้ความเป็นอิสระของน้ำยังคงมีมากกว่า(Mao, 1974 ; Sankas et al., 1996)

เมื่อพิจารณาค่าแรงตักขาดเนื้อเยื่อสับประรด(ดัง ตารางที่ 27 และ กราฟรูปที่ 28)หลังผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกที่เลือกแล้ว(ดังข้างต้น) จะเห็นว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 20)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่อค่าแรงการตักขาด พบว่า เนื้อ

สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำตาลซูโครสอย่างเดียวจะมีค่าแรงตักขาดน้อยกว่าเมื่อใช้ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทริน ถึงแม้ว่า จะมีการแพร่ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเข้าไปมากกว่า เนื่องจาก น้ำตาลซูโครสที่เข้าไปในเนื้อเยื่อสับปะรดนั้นมันเข้าไปในลักษณะจับกับ โมเลกุลของน้ำไว้ เมื่อเป็นเช่นนี้ ทำให้แซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำอยู่จำนวนมากกว่านั้นจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มขึ้น(Kenyon, 1995; Inglett et al., 1988) เมื่อถูกลมร้อน แผ่นฟิล์มนั้นจะแข็งกระด้างทำให้ค่าแรงการตักขาดของซูโครสที่ใช้ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทรินจึงมีค่ามากกว่าการใช้ซูโครสอย่างเดียว แต่ข้อดีของแผ่นฟิล์มนี้จะผลในระยะยาวต่อผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งคือ จะป้องกันการสูญเสียน้ำ การผ่านเข้าออกของออกซิเจน ได้เป็นอย่างดี(Anandaraman and Reineccius, 1986)

เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง(Linghness : L) ของเนื้อสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลาย SU55, MD10/SU45 และMD30/SU25 จากนั้น นำมาอบแห้งด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน ตารางที่ 28 กราฟรูปที่ 29 จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 21)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่อค่าความสว่างของเนื้อสับปะรด พบว่า เนื้อสับปะรดที่แช่ในสารละลาย SU55, MD10/SU45 และMD30/SU25 มีค่าความสว่างในช่วงต่ำสุด ถึง สูงสุด ดังนี้คือ 43.16 ถึง 57.80, 43.67 ถึง 57.90 และ 49.85 ถึง 65.21 ตามลำดับ สังเกตพบว่า ค่าความสว่างของเนื้อสับปะรดที่แช่ใน MD30/SU25 มีค่ามากที่สุด เนื่องมาจากความเข้มข้นของ MD ที่ใช้มากที่สุด ประกอบกับปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อสับปะรดมีค่าน้อย ดังแสดงใน ตารางที่ 24 และกราฟรูปที่ 25 พบว่าตั้งแต่เวลาการอบแห้ง 1.5 ถึง 18 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นลดลงจาก 46.76 เป็น 12.14 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง และถ้าพิจารณาจาก ตารางที่ 28 และกราฟรูปที่ 29 จะเห็นอีกว่า ข้อมูลของค่าความสว่างของเนื้อสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกที่เลือกแล้วตามที่กล่าวมา เมื่อนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่เวลาตั้งแต่ 0 ถึง 18 ชั่วโมง ค่าความสว่างที่ได้ใกล้เคียงกัน อาจเป็นเพราะว่า ความคลาดเคลื่อนของผู้วิจัยเอง, ความไวของหัววัดที่สูงมาก(Highly sensitivity), และสิ่งทดลองมีจำนวนมากเกินไป เป็นต้น จึงทำให้ได้ข้อมูลตัวเลขค่อนข้างแปรผันพอสมควร ผู้วิจัยจึงมองค่าความสว่างในช่วงค่าต่ำสุด ถึง ค่าสูงสุดตามที่กล่าวมาข้างต้น สังเกตพบอีกว่า ทุกๆเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน ค่าความสว่างที่ได้ไม่ได้ต่างกันมากนัก ถึงแม้ว่าปริมาณความชื้นจะลดลงมากก็ตาม เมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น Joubert และคณะ (2001) กล่าวว่า ค่าความสว่างสามารถใช้เป็นดัชนีในการบอกการเกิดสีน้ำตาลในอาหารได้ เช่นเดียวกับ Bolin and Steels (1987) ; Saper and Douglas (1987) ; Canella et al (1993) และ Kluter และคณะ (1994) ใช้ค่าความสว่างเป็นดัชนีในการบอกการเกิดสีน้ำตาลใน

Pears, Apple, Sultanas และ Peachs ตามลำดับ ดังนั้น จะเห็นว่า แนวโน้มการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วย SU55, MD10/SU45 และ MD30/SU25 ไม่สามารถบอกได้ว่าเกิดสีน้ำตาลมากน้อยเพียงใด แต่เมื่อดูจาก ตารางที่ 28 และ กราฟรูปที่ 29 ค่าความสว่างของเนื้อสับประรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกต่างๆ ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับผลการวิจัยของ Joubert และคณะ(2001) คือ ในช่วง 52.07 ถึง 53.70 ที่ช่วงอุณหภูมิ 4 ถึง 20 องศาเซลเซียส(อุณหภูมิการเก็บรักษา) ในขณะที่อุณหภูมิความร้อนของผู้วิจัยเอง เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าหลายเท่า และเราทราบแล้วว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้มีสาเหตุมาจากเอนไซม์(Maillard or non-enzymatic browning reaction) ก็คือ ปฏิกิริยาที่เกิดจากการรวมตัวของหมู่คาร์บอนิล เช่น น้ำตาลรีดิซ ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน(โดยเฉพาะ Lysine residues โดยสับประรดสดมีประมาณ 46 ppm ของน้ำหนักสด) โดยมีความร้อน และค่า Water activity เป็นตัวเร่ง แล้วส่งผลทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ที่ชื่อว่า “Melanoidins” เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อผลไม้ในช่วงการเก็บรักษา หรือในช่วงการอบแห้งด้วยลมร้อน(Mcbean et al. 1971 ; Mujumdar and Suvachittanont, 2000 ; Joubert et al. 2001)

เมื่อพิจารณาค่าสีแดง(Redness)เมื่อทิศทางไปทางบวกมากขึ้น หรือค่าสีเขียว(Greeness)เมื่อทิศทางไปทางลบมากขึ้น ดังแสดงใน ตารางที่ 29 และ กราฟ รูปที่ 30 จะเห็นได้ว่า อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 22)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่อค่าสีแดง พบว่า เนื้อสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วย SU55 จะมีค่าสีแดงต่ำสุด ถึง สูงสุด คือ (-4.71) ถึง (+0.59) ส่วนเนื้อสับประรดที่ผ่านการแช่ด้วย MD10/SU45 และ MD30/SU25 จะอยู่ในช่วงค่าต่ำสุด ถึง สูงสุด ดังนี้คือ (-5.97) ถึง (-0.68) และ (-4.43) ถึง (+1.14) ตามลำดับ จะเห็นว่า เนื้อสับประรดที่แช่ในสารละลายออสโมติกทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าสีแดง ถึง สีเขียว ค่อนข้างแปรผัน เมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น คือ ได้ค่าขึ้นๆลงๆ อาจเป็นเพราะ 1) ความไม่สม่ำเสมอของสีเนื้อสับประรดสดเริ่มต้นที่นำมาทดลอง 2) อุณหภูมิของลมร้อนที่พัดผ่านตัวอย่างสับประรดไม่สม่ำเสมอ หรืออุณหภูมิขึ้นๆลงๆ 3) ตัวอย่างหนึ่งๆไม่สามารถวัดให้แล้วเสร็จภายในวันเดียวได้ 4) ความไวของหัววัดสี และ 5) ความผิดพลาดของผู้วิจัยเอง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงไม่ใช่ค่าสีแดงหรือสีเขียว เป็นดัชนีในการบอกการเปลี่ยนแปลงของการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์สับประรด แต่ต้องการบอกให้ทราบค่าสีแดงของตัวอย่างทั้ง 3 และยังเป็นข้อผิดพลาดอีกว่า เกณฑ์แก้ไขไหนที่ยอมรับได้ หรือยอมรับไม่ได้ เพียงบอกได้แต่ว่า ที่เวลาเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง(0 นาที) เนื้อสับประรดที่ผ่านการออสโมซิสมีค่าติดลบ แสดงว่ามีทิศทางเข้าสู่สีเขียวมากขึ้น นั่นแสดงว่า สีของเนื้อสับประรดยังคงใกล้เคียงกับสี

ธรรมชาติของเนื้อสับประคก่อนการอบแห้งด้วยลมร้อน และสังเกตเห็นอีกว่า เมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไปค่าสีเขียวที่ติดลบจะเริ่มเข้าสู่ค่าบวก แสดงว่าเข้าสู่ค่าสีแดงมากขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีทิศทางไปทางบวก หรือค่าสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีทิศทางไปทางลบ จาก ตารางที่ 30 และกราฟ รูปที่ 31 อิทธิพลร่วม(ตาราง ค 23) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งมีผลต่อค่าสีเหลือง พบว่า เนื้อสับประคที่ผ่านการแช่ด้วย SU55, MD10/SU45 และ MD30/SU25 จะมีค่าสีเหลือง ที่เวลา 0 นาที เป็น 21.44, 21.43 และ 25.76 ตามลำดับ โดยเฉพาะเนื้อสับประคที่ผ่านการแช่ด้วย MD30/SU25 จะมีค่าสีเหลืองมากที่สุด เนื่องจาก มีมอลโทเดกซ์ทรินที่มีแซคคาร์ไรด์น้ำหนักโมเลกุลสูงที่ไม่ละลายน้ำอยู่มากกว่า ซึ่งแซคคาร์ไรด์เหล่านี้จะป้องกันเม็ดสีแคโรทีน (ในเนื้อสับประคสดมีปริมาณแคโรทีน อยู่ในช่วง 0.13 ถึง 0.29 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด) ตามธรรมชาติของสีสับประคไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนหรือภาวะต่างๆ ที่รุนแรงมากเกินไป (Dull, 1971 ; Anandaraman and Reineccius, 1986 ; Inglett, 1988 ; Kenyon, 1995) ในขณะที่เนื้อสับประคที่ผ่านการแช่ด้วย 2 แบบแรก ไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ กระบวนการออสโมซิสยังเป็นการทำ Pretreatment หรือ Preconcentration เพื่อต้องการให้เวลาของอบแห้งด้วยลมร้อนสั้นลง และเพื่อให้สีของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไปจากเมื่อตอนเริ่มต้นน้อยมาก ดังนั้น ของแข็งหรือน้ำตาลที่เข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ จะทำให้เม็ดสีแคโรทีน

หรืออื่นๆ ไม่สัมผัสกับอากาศหรือออกซิเจนหรือความร้อนจากการอบแห้งมากเกินไป (Mujumdar and Suvachittanont, 2000) และ การเติมกรดซิตริก (ในงานวิจัยนี้เติมกรดซิตริก ร้อยละ 0.1 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ร่วมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ในงานวิจัยนี้เติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ร้อยละ 0.05 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) สามารถป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (Robber et al., 1996)

ส่วนที่ 4 ศึกษาผลสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสร่วมกับสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการยอมรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับประคแห้งที่ผลิตได้

จากผลการทดลอง พบว่า สับประคที่ผ่านการแช่ด้วย MD10/SU45, SU55, และ MD30/SU25 ได้รับการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่นรส, รสชาติ, และเนื้อสัมผัส เรียง

จากมากไปหาน้อยตามลำดับ การทดลองนี้ไม่ได้ตั้งใจศึกษาเจาะจงถึงการประเมินผลทางประสาทสัมผัส เพราะว่า ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกต่ำเกินไป(55 องศาบริกซ์) ประกอบกับมิติของชิ้นสับประรดน้อยเกินไปด้วย

การใช้ความเข้มข้นระดับนี้ เพียงพอกับความต้องการศึกษาการใช้มอลโทเดกซ์ทรินมา ร่วมกับน้ำตาลซูโครสเพื่อดูอัตราของการขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประรดเท่านั้น ถ้าจะศึกษาถึงการยอมรับของผู้บริโภคในด้านต่างๆที่กล่าวมา เราต้องเพิ่มความเข้มข้นให้มากกว่า 55 องศาบริกซ์ แต่ไม่เกิน 70 องศาบริกซ์ เนื่องจาก เกินจุดอิ่มตัวของน้ำตาลซูโครส(Ray, 1966 ; Hawkes and Flink, 1978 ; Lazarides et al., 1995)

จากผลการทดสอบจากผู้บริโภค พบว่า สับประรดที่แช่ด้วย SU55, MD10/SU45 ในด้านลักษณะปรากฏ, สี และเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างกัน เพราะว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครสใกล้เคียงกัน แต่ทางด้านรสชาติ พบว่า สับประรดที่แช่ด้วย SU55 และ MD30/SU25 ไม่แตกต่างกัน เนื่องจาก ผู้ทดสอบบางคนชอบรสชาติหวาน ในขณะที่ผู้ทดสอบบางคนชอบหวานปานกลาง หรืออาจเป็นเพราะความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 55 องศาบริกซ์น้อยเกินไปยากที่จะตรวจสอบให้ต่างจากเมื่อใช้ร่วมมอลโทเดกซ์ทริน ในขณะที่ทางด้านกลิ่นรส พบว่า สับประรดที่ผ่านการแช่ใน SU55, MD10/SU45 และ MD30/SU25 แตกต่างกัน เนื่องจาก ระดับการใช้มอลโทเดกซ์ทรินแตกต่างกัน แต่ยังสามารถยอมรับจากผู้บริโภคทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

6.1.1 สับปะรดสด มอลโทเดกซ์ทรินผง และน้ำตาลซูโครส ที่ใช้ในการทดลอง มีองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพ ตามลำดับ ดังนี้คือ สับปะรดสด มีปริมาณความชื้น 85.31 เปอร์เซ็นต์(w.b.) , ปริมาณของแข็งทั้งหมด 14.69 เปอร์เซ็นต์(w.b.), ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 13.5 องศาบริกซ์, ปริมาณความเป็นกรดในรูปกรดซิตริก 0.45 เปอร์เซ็นต์(w.b.), ความเป็นกรด-ด่าง 3.95, ค่า Water activity 0.998, ค่าสี L 71.06 a -2.33 b 13.41 และค่าแรงการตัดขาด 13.78 นิวตัน มอลโทเดกซ์ทรินผง มีปริมาณความชื้น 3.86 เปอร์เซ็นต์(d.b.), ปริมาณของแข็งทั้งหมด 96.14 เปอร์เซ็นต์(w.b.), ค่า Water activity 0.238, ค่าสี L 98.17 a - 0.07 b 2.01 และค่า Bulk density 602.71 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำตาลซูโครส มีปริมาณความชื้น 0.55 เปอร์เซ็นต์(d.b.), ปริมาณของแข็งทั้งหมด 99.45 เปอร์เซ็นต์(w.b.), ค่า Water activity 0.271, และค่า Bulk density 913.48 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

6.1.2 อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน (MD)ร่วมกับซูโครส(SU) คือ 0 : 55, 10 : 45, 30 : 25, 45 : 10 และ 55 : 0 ตามลำดับ กับเวลาของการออสโมซิส มีผลต่ออัตราของการถ่ายโอนมวลในเนื้อเยื่อสับปะรดและสารละลายออสโมติก ดังนี้คือ

6.1.2.1 เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าอัตราของการขจัดน้ำ(Rate of water loss)ออกจากเนื้อเยื่อสับปะรด,ค่าอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวม(Rate of net mass reduction)ของเนื้อเยื่อสับปะรด, ค่า WL/ SG ratios ในเนื้อเยื่อสับปะรด และค่า Water activity ของสารละลายออสโมติก เพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้

น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว ที่ให้ค่าอัตราของการจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรด, ค่า WL / SG ratios ในเนื้อเยื่อสับปะรด และค่า Water activity ของสารละลายออสโมติก เพิ่มขึ้นน้อยกว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสนานขึ้น ในขณะที่ ค่าอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อเยื่อสับปะรด ลดลงในเชิงลบ)

6.1.2.2 เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสกับเวลาของการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรด, ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายออสโมติก ลดลง (เปรียบเทียบกับเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเพียงอย่างเดียว ที่ให้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรด, ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อสับปะรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายออสโมติก ลดลงน้อยกว่า เมื่อเวลาของการออสโมซิสนานขึ้น) ในขณะที่ ให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด, ค่าอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็ง(Rate of solid gain), ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรด เพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเพียงอย่างเดียว ที่ให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด, ค่าอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็ง, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเวลาของการออสโมซิสนานขึ้น)

6.1.2.3 ในทางกลับกัน อิทธิพลร่วมไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ทั้งในเนื้อเยื่อสับปะรดและสารละลายออสโมติก รวมทั้งไม่มีผลต่อค่า DE ของสารละลายออสโมติก แต่ผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส และเวลาของการออสโมซิส อย่างใดอย่างหนึ่ง จะมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ในเนื้อเยื่อสับปะรดและสารละลายออสโมติก รวมทั้งมีผลต่อค่า DE ของสารละลายออสโมติก นั่นคือ เมื่อเวลาการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ทั้งในเนื้อเยื่อสับปะรดและสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น รวมทั้งค่า DE ของสารละลายออสโมติก เพิ่มขึ้นด้วย

6.1.3 ใช้ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสับปะรดในสภาวะกระบวนการออสโมซิสที่เหมาะสมมาอบแห้งด้วยลมร้อน พบว่า

6.1.3.1 สับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายน้ำตาลซูโครสอย่างเดียว (SU55) ให้ค่า Water activity เท่ากับ 0.952

6.1.3.2 สัมประสิทธิ์ผ่านการแช่ด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน 10
เปอร์เซ็นต์ ต่อ สารละลายซูโครส 45 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า Water activity เท่ากับ 0.957

6.1.3.3 สัมประสิทธิ์ผ่านการแช่ด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน 30
เปอร์เซ็นต์ ต่อ สารละลายซูโครส 25 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า Water activity เท่ากับ 0.960

6.1.3.4 เวลาของการออสโมซิส 240 นาที

6.1.4 **อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทริน (MD)ร่วมกับซูโครส(SU) ที่คัดเลือกแล้ว คือ 0 : 55, 10 : 45, และ 30 : 25 ตามลำดับ กับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน มีผลต่อ ปริมาณความชื้นอิสระ(ที่สภาวะอุณหภูมิทดลอง คือ 60 องศาเซลเซียส), ปริมาณความชื้น(ที่สภาวะอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส), ปริมาณของแข็งทั้งหมด, อัตราของการอบแห้งหรืออัตราของการระเหยความชื้น, ค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสัมประรด, ค่าแรงการตัดขาด, และค่าสีของเนื้อสัมประรด นั่นคือ**

6.1.4.1 เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นกับเวลาของการอบแห้งนานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้น, ปริมาณความชื้นอิสระ, อัตราของการอบแห้ง, และค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสัมประรด ลดลง(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ค่าปริมาณความชื้น, อัตราของการอบแห้ง และค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสัมประรดที่ลดลงน้อยกว่า เมื่อเวลาของการอบแห้งนานขึ้น) จนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล ในขณะที่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสัมประรด, ค่าแรงการตัดขาด, ค่าความสว่าง(L), ค่าสีแดง(a), และค่าสีเหลือง(b)ของเนื้อเยื่อสัมประรด เพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสอย่างเดียวที่ให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสัมประรด, ค่าแรงการตัดขาด, ค่าความสว่าง, ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า เมื่อเวลาของการอบแห้งนานขึ้น)

6.1.4.2 อิทธิพลของอัตราส่วนความเข้มข้นของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสอย่างเดียว ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสัมประรด แต่เวลาของการอบแห้งอย่างเดียวมีผลต่อปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสัมประรด พบว่า เมื่อเวลาของการอบแห้งนานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสัมประรมีค่าลดลงจนมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล

6.1.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของการยอมรับผลิตภัณฑ์สัมประรดแห้งที่ผลิตได้จากการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการอบแห้ง พบว่า MD10/SU45(ค่า Water

activity 0.65 , เวลาของการอบแห้ง 17 ชั่วโมง), SU55(ค่า Water activity 0.740, เวลาของการอบแห้ง 18 ชั่วโมง) และ MD30/SU25(ค่า Water activity 0.652 , เวลาของการอบแห้ง 16 ชั่วโมง) มีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่นรส, รสชาติ และเนื้อสัมผัส อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เรียงจากมากไปหาน้อย ตามลำดับ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาจำนวนครั้งและแนวทางการนำสารละลายออสโมติกมาทำ Reconcentration ใหม่ โดยการใช้ Atmospheric pressure evaporator
2. ควรศึกษาการประยุกต์กระบวนการออสโมซิสโดยใช้ความดันที่อุณหภูมิต่ำ
3. ควรศึกษาแนวทางการวัดค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ มอลโทเดกซ์ทริน และ ซูโครส ในเนื้อเยื่อสับปะรดที่มีปริมาณความชื้นสูง
4. ควรศึกษาแนวทางการวัดสัมประสิทธิ์ความพรุนของเนื้อเยื่อสับปะรด เนื่องจาก เป็นค่าที่กำหนด Fraction ของ Gas volume ในเนื้อเยื่อเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรทั้งหมดของสับปะรด
5. ควรศึกษาแนวทางการลดความแข็งกระด้างของฟิล์มมอลโทเดกซ์ทรินในงานวิจัยนี้ เนื่องจาก มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของสับปะรดแห้งมีความเหนียว แข็ง และกระด้าง
6. ควรศึกษาแนวทางการเก็บรักษา เมื่อมีการใช้มอลโทเดกซ์ทรินในผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรุณา วงษ์กระจ่าง. 2535. การทำแห้งสับประรดด้วยวิธีออสโมซีส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกตุอร ทองเครือ. 2536. การปลูกสับประรด. คำแนะนำที่ 37 กรมส่งเสริมการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- ชลดา มานะกุล. 2537. การศึกษาอิทธิพลของปริมาณความชื้นในอาหารที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในกระบวนการดองน้ำออกจากอาหารด้วยแรงดันออสโมติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้ากรุงเทพธนบุรี.
- บุญมา ชิงสนธิพร. 2528. มะม่วงแช่อิ่มแห้ง. อาหาร. 15(3) : 151-157.
- นุชจรินทร์ เกตุนิล. 2544. ผลไม้อบแห้งของไทยในตลาดฮ่องกง. วารสารสถาบันอาหาร. ปีที่ 3 ฉบับที่ 16 เดือน มีนาคม-เมษายน. กรุงเทพมหานคร. หน้า 50-54.
- นฤดี พงศ์กิจวิฑูร, สุวิษ ศิริวัฒนโยธิน, สายลม สัมพันธ์เวชโสภา และ ทิพาพร อยู่วิทยา. 2544. ปัจจัยการผลิตกล้วยหอมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร. ปีที่ 24. ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-เมษายน, หน้า 69-84.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2521. กลูโคสซีรัป. กรุงเทพมหานคร, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2531. ผลไม้อบแห้ง. อุตสาหกรรมแปรรูปที่กำลังสด. สมอ.สาร. 162 : หน้า 2-4.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง. กรุงเทพมหานคร. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- วันวิสาข์ กระแสร์คู่ปต์. 2535. การปรับปรุงคุณภาพของผลไม้อบแห้งด้วยการเคลือบก่อนการทำแห้งแบบออสโมซีส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และ สมชาย โสภณธฤทธิ์. 2532. การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยน้ำว้า. วิศวกรรมสาร. เล่มที่ 4. หน้า 80.
- ศุลกากร, กรม. 2541. สับปะรดที่ทำไว้ไม่ให้เสียโดยใช้น้ำตาล(ประเภทย่อย 2006.00 รหัสสถิติ 122) พิกัดอัตราศุลกากร แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงการคลังที่ ศก.23/2541(สมน.1)พร้อมด้วยรหัสสถิติ. กรุงเทพมหานคร. หน้า 101-721.
- ศุลกากร, กรม. 2544. สับปะรดที่ทำไว้ไม่ให้เสียโดยใช้น้ำตาล(ประเภทย่อย 2006.00 รหัสสถิติ 122) พิกัดอัตราศุลกากร แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงการคลังที่ ศก.23/2541(สมน.1)พร้อมด้วยรหัสสถิติ. กรุงเทพมหานคร. หน้า 101-721.
- สุจินดา นิมมานิตย์. 2521. ผลิตภัณฑ์มะม่วง. อาหาร. 10(2) : 107-119.
- ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 2520. รายงานการสำรวจสภาพการทำไร่สับปะรดในเขตจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. เอกสารกองวิชาการที่ 2. กรุงเทพมหานคร.
- ส่งเสริมการส่งออก, กรม. 2540. สภาวะการผลิตอุตสาหกรรมผักและผลไม้แห้ง ดอง แช่อิ่ม และขนมหวาน. การศึกษาอุปทานสินค้าผักผลไม้แห้ง และขนมหวานแบบไทย. หน้า 32-90.
- สมยศ จรรยาวิลาส. สัมภาษณ์. 15 พฤษภาคม 2540.
- สมชาย ประภาวัต และ มณฑนา ร่วมรักษ์. 2541. ผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.
- เหมารรณ์ กำแพงเศรษฐ 2530. คุณภาพมะม่วงตากแห้งหวานและมะม่วงกระป๋องจากมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภาษาอังกฤษ

- A. O. A. C. 1990. Official Method of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists. Ashington D. C. : Association of Official Analytical Chemists.
- A. O. A. C. 1995. Official Method of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists. Ashington D. C. : Association of Official Analytical Chemists.

- Aguerre, R. F., Gabitto, J.F., and Chirife, J. 1985. Utilization of Fick' s second law for the evaluation of diffusion coefficients in food processes controlled by internal diffusion. Journal of Food Technology. 20 : 623-629.
- Anandaraman, S. and Reineccius, G. A. 1986. Stability of encapsulated orange peel oil. Journal of Food Technology. 40(11) : 88-93.
- Baldy, j. ; Breag, J. C. ; Caygill, R. D. ; Cooke, C. E. M. ; Ferber, and Kanagabathy, L. 1986. Alternative method of processing mangoes. Indian Food Packer, 30(5) : p. 56.
- Bajema, R. W. ; Barbosa-Canovas, G. V. ; Monsalve-Gonzalez, A., and Cavalieri, R. P. 1993. Preliminary Design for an Apple Preservation Pilot Plant Utilizing Combine Methods. In Boletin informativo de Divulgacion.1 : 46-55. Universidad de las Americas. Puebla, Mexico.
- Baker, J. K. 1975. Morphological changes during maturation and senescence, pp. 128-147. In E. B. Pantastico(ed.). Postharvest Physiology, Handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables. AVI Publishing Co., Inc., Westport, Conn.
- Barbosa-Canovas, G. V., and Vega-Mercado, H. 1996. Osmotic dehydration. Osmotic Dehydration of Foods. ITP international thomson publishing, Chamman and Hall, 265-288.
- Beristain, C. I., Azura, E., Cortes, T., and Garcia, H. S. 1990. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. International Journal of Food Science and Technology. 25 : 576-582.
- Biswal, R. N., and Le Maguer, M. 1989. Mass transfer in plant materials in aqueous solutions of ethanol and sodium chloride : equilibrium data. Journal of Food Process Engineering, 11(3) : 159-163.
- Bolin, H. R., Huxsoll, C. C., Jackson, R.,and NG, K. C. 1983. Effect of osmotic agents and concentration of fruit quality. Journal of Food Science. 48 : 202-205.
- Bolin, H. R. and Steele, R. J. 1987. Nonenzymatic browning in dried apples during storage. Journal of Food Science. 52 : 1654-1657.

- Bongirwar, D. R., and Sreenivasan, A. 1977. Studies on osmotic dehydration of banana. Journal of Food Science and Technology India. 14 : 104-112.
- Brekke, J. E. and Allen, L. 1967. Dehydrated bananas. Food Technology. Vol. 21 : 101-105.
- Brooks, J. S., and Griffin, V. K. 1987. Liquefaction of rice starch from milled rice flour using heat stable alpha-amylase. Journal of Food Science. 52 : 712-714.
- Brooks, J. S., and Griffin, V. K. 1989. Production and size distribution of rice maltodextrins hydrolyzed from milled rice flour using heat stable alpha-amylase. Journal of Food Science. 54 : 190-193.
- Burton, W. G. 1982. Post-Harvest Physiology of Food Crops. Longman, London, p.339.
- Canellas, J. ; Rossello, C. and Simal, S. 1993. Storage conditions affect quality of raisins. Journal of Food Chemistry. 58, 805-809.
- Chandrasekaran, S.K., and King, J. C. 1972. Multicomponent diffusion and vapour-liquid equilibria of dilute organic components in aqueous sugar solution. Alimentaria Chemistry Engineering Journal. 18 : p. 513.
- Cheryan, M. 1992. Concentration of liquid foods by reverse osmosis. In Handbook of Food Engineering, edited by D. R. Heldman and D. B. Lund. Marcel Dekker, New York.
- Chronakis, I. S. 1998. On the molecular characteristics compositional properties, and structural – functional mechanisms of maltodextrins : A Review. Critical Review in Food Science. 38(7) : 599-637.
- Cochran, W. C., and Cox, G. M. 1992. Experimental Design, New York, John Wiley and Sons.
- Contreras, J. E., and Smyrl, T. G. 1981. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using cornsyrup solid solutions. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal. 14(4) : 310-314.
- Conway, J., Gastaigne, F., Picard, G., and Vovan, X. 1983. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apple. Journal of Canada Institute of Food Science and Technology. 16(1) : 25-29.

- Crank, J. 1975. The Mathematics of Diffusion. Oxford University Press, London, UK.
- Dalla Rosa, M. Bressa, F., Mastrocola, D., and Pittia, P. 1995. Use of osmotic treatments to improve the quality of high moisture-minimally processed fruits, Proceedings of The Second International Symposium on Osmotic Precontration of Fruits and Vegetables, April 18-19, Warsaw, Poland, p.69.
- Donnelly, B. J. ; Fruin, B. J. and Scallet, B. L. 1973. Reactions of oligosaccharides III hygroscopic properties. Cereal Chemistry. 50 : p.512
- Dull, G. G. 1971. The biochemistry of fruits and their products, edited by A. C. Hulume. Food Science and Technology A Series of Monographs. Vol. 2. London, Academic Press, p. 306.
- Ertekin, F. K. and Cakaloz, T. 1996. Osmotic dehydration of peas II. Influence of osmosis on drying behavior and product quality. Journal of Food Processing and Preservation. 20, 105-119.
- Farkas, D. F., and Lazar, M. E. 1969. Osmotic dehydration of apple pieces, Effect of temperature and syrup concentration on rates. Food Technology. 23 : 688-690.
- Fito, P., Andres, A., Pastor, R., and Chiralt, A. 1994. Vacuum osmotic dehydration of fruits. In Minimal Processing and Process Optimization of Foods : An Interface, edited by Singh, R. P., and F. Oliveira, CRC Press, Boca Raton, FL . p. 107.
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J., Salvatori, D., and Andres, A. 1998. Some advances in osmotic dehydration of fruits. Food Science and Technology International. In Press.
- Flink, J. M., and Karel, M. 1970. Effect of process variables in retention of volatiles in freeze-drying. Journal of Food Science. 35 : 444-447.
- Flink, J. and Geji-Hansen, F. 1972. Retention of organic volatile in freeze-dried carbohydrate. Journal of Agriculture of Food Chemistry. 20 : 691-694.

- Forni, E. ; Torreggiani, D. ; Battistion, P. and Polesello. 1986. Research into changes of pectic substances in apricots and peaches processed by osmotic dehydration. Carbohydrate Polymers. 6(3) : 379-393.
- Geankoplis, C. J. 1993. Transport Processes and Unit Operations. Prentice Hall Inc.
- Gianggiacomo, R. ; Torreggiani, D. and Abbo, E. 1987. Dehydration of fruit : Part 1 Sugar exchange between fruit and extracting syrups. Journal of Food Processing and Preservation. 11(2) : 183-195.
- Greenspan, A.P. 1977. Humidity points of binary saturated aqueous solutions. Journal of Research of the National Bureau of Standards. 81(1) : Jan.- Febr.
- Hartal, D. 1967. Osmotic Dehydration with NaCl and Other Agents , Ph. D. Thesis, University of Illinois, Urbana.
- Harjes, L. P. and Wermer, V. L. 1976. Maltodextrin of improved stability prepared by enzymatic hydrolysis of oxidized starch. US. Patent. 3,974.033
- Hawkes, J., and Flink, J. M. 1978. Osmotic preconcentration of fruit slices prior to freeze dehydration. Journal of Food Process and preservation. 2 : 265-284.
- Herrera, J. J., and Pastoriza, L., and Nesvadba, P. 2000. Effect of the addition of maltodextrins and sucrose on the ice- melting onset of minced fish muscle. Journal of the Science of Food and Agriculture. 81 : 305-310.
- Hoynak, P. X., and Bollenback, G. N. 1966. Refine Syrup and Sugar. , Yonkers, New York, p. 240
- Inglett, G. E., Gelbman. P., and Reineccius, G. A. 1988. Encapsulation of orange oil, pp. 19-36. Edited by Rish, S. J., and Reineccius, G. A. Flavor Encapsulation. ACS Symposium series, Washington, D. C.
- Islam, M. N. and Flink, J. N. 1982. Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effects on air drying behaviour. Journal of Food Technology. 17(3) : 387-403.
- Jayaraman, K. S., and Dasgupta, D. K. 1992. Dehydration of fruit and vegetables-recent developments in principles and techniques. Drying Technology. 10(1) : 1-50.

- Joubert, E. ; Wium, G. L. and Sadie, A. 2001. Effect of temperature and fruit-moisture content on discoloration of dried, sulphured Bon Chretien pears during storage. International of Food Science and Technology. 36 : 99-105.
- Karel, M. 1975. Dehydration of Foods, In Principles of Food Science. Part 2. Physical Principles of Food Preservation, edited by M. Karel., O. R. Fennema., and D. B. Lund, Marcel Dekker, New York.
- Kearsley, W. and Birch, G. G. 1975. Selected physical properties of glucose syrup reactions obtained by reverse osmosis II hygroscopicity. Journal of Food Technology. 10 : p. 625.
- Kenyon, M. M., and Anderson, R. L. 1988. Maltodextrin and low dextrose equivalent corn syrup solids, pp. 7-11. Edited by S. J. Rish, and G. A. Reineccius. Flavor Encapsulation. ACS. Symposium series, Washington, D. C.
- Kenyon, M. M. 1995. Modified starch, maltodextrin, and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation. Encapsulattion and Controlled Release of Food Ingredients, 590 : 42-50.
- Khraisheh, T. J. ; Cooper, T. J. R. and Magee, T.R. A. 1997. Transport mechanisms of moisture during air drying process. Trans IchemE. Vol. 75, Part C, March, 34-40.
- Knight, J. W. 1969. The Starch Industry. Pergarmon Press. Oxford. p.189
- Kluter, R. A. ; Nattress, D. T. and Dunne, C. P. 1994. Shelf-life evaluation of cling peaches in retort pouches. Journal of Food Science. 59, 849-865.
- Jayaraman, K. S. ; Ramanuja, M. N. ; Goverdhanan, B. S ; Bhatia and Nath, H. 1976. Technological aspects of use of ripe mangoes in the preparation of some convenience foods for deffence services. Indian Food Packer. 30(5) : 76-82.
- Jayaraman, K. S. ; Ramanuja, M. N.,and Nath, H. 1977. A modified graphical interpolation method for rapid determination of water activity in foods. Journal of Food Science and Technology. 14 : p.129.

- Lazarides, H. N., Katsanidis, E., and Nickolaidis, A. 1994. Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. Journal of Food Engineering. 25(2), p.151.
- Lazarides, H. N., Katsanidis, E., and Nickolaidis, A. 1995. Sorption behavior changes induced by osmotic preconcentration of apple slices in different osmotic media. Journal of Food Science. 60(2), 348-350.
- Lazarides, H. N., Gekas, V., and Mavroudis, N. 1997. Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissue undergoing osmotic processing. Journal of Food Engineering. 31 : 315-320.
- Lazarides, H. N., Amparo Chiralt, P. F., Gekas, V., and Lenart, A. 1999. Advances in osmotic dehydration. Processing Foods : Quality Optimization and Process Assessment. CRC. Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D. C. 175-199.
- Lee, C. Y. and Salunke. 1968. Sucrose penetration in osmo-freeze dehydrated apple slices. Current Science. 37 : p. 297.
- Lee, Y. C. and Kim, K. T. 1990. Gelatinization and liquefaction of starch with a heat-stable amylase. Journal of Food Science. 55 : 1365-1366.
- Lenart, A. and Lewicki, P. R. 1988. Energy Consumption During Osmotic and Convection Drying of Plant Tissue. Acta Alimentaria Polonica, 14 : 65-73.
- Lenart, A. and Flink, J. M. 1984. Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process. Journal of Food Technology. 19 : 45-63.
- LeMaguer, M. 1989, Osmotic dehydration : Review and future directions in Proceedings of the International Symposium on Progress in Food Preservation Processes, Vol. 1, CERIA, Brussels, Belgium
- Lerici, C. R., Pinnavia, G., Dollar, R. M., and Bartolucci, L. 1985. Osmotic dehydration of fruit : influence of osmotic agent on drying behavior and product quality. Journal of Food Science. 50(5) ; 1217-1219.
- Lerici, C. R. ; Mastrocola, D. and Pinnavaia, G. 1986. Experiments with direct high-temperature short time osmosis. Indian Conservation. 61(3) : 223-235.

- Levi, A., Gagel, S., and Juven, B. 1983. Intermediate moisture tropical fruit products for developing countries. I. Technological data on papaya. Journal of Food Technology. 18(6) : 667-685.
- Lenart, A. 1995. Osmotic dehydration of foods before convection drying. In Proceedings of the Second International Symposium on Osmotic Preconcentration of Fruits and Vegetables, April 18-19, Warsaw, Poland, P. 69.
- Levi, A. ; Gagel, S., and Juven, B. 1983. Intermediate moisture tropical fruit products for developing countries
- Lineback, D. R., and Inglett, G. E. 1982. Food Carbohydrates. The AVI Publishing Co., Inc., Connecticut. 494.
- Macrae, R., Robinson, R. K., and Sadler, M. J. 1993. Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition. Vol. 2. Academic Press, London. 1442p.
- Magee, T. R. A., Hassaballah, A. A., and Murphy, W. R. 1983. Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solution. Irish Journal of Food Science and Technology. 7(2) : 147-155.
- Mao, W.W. 1974. Banana fruit technology : I. Dehydration of banana puree by drum drying . II. Properties of amylase in banana. Ph. D. Thesis, Department of Food Technology, Cornell University, New York. 150p.
- Marchal, L. M. ; Beeftink, H. H. and Tramper, J. 1999. Towards a rational design of commercial maltodextrins. Trends in Food Science and Technology. 10 : 345-355.
- McBean, D. McG.; Joslyn, M. A. and Nury, F. S. 1971. Dehydrated fruit. In : Biochemistry of Fruit and Their Products(edited by A. C. Hulme), Vol. 2, 634-637. London : Academic Press.
- McCabe, W. L.; Smith, J. C. and Harriott, P. 1993. Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill Book Co.
- Mohsenin, N. N. 1970. Physical Properties of Plant and Animal Materials, New York. Gordon and Breach Science Publishers, 15-50.

- Moy, J. H., Lau, N. B. H., and Dollar, A. M. 1978. Effect of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits. Journal of Food Process and Preservation. 2 : 131-135.
- Mora-Gutierrez, A. and Baianu, I. C. 1990. Hydration study of maltodextrin by proton, deuterium and oxygen-17 nuclear magnetic resonance. Journal of Food Science. 55(2) : 462-465.
- Murray, D. G. and Luft, L. R. 1973. Low DE corn starch hydrolysates. Food Technology. 27(3) : p.32.
- Mujumdar, A. S and Sirikalaya Suvachittanont. 2000. Influence of drying on the color of plant products. Developments in Drying. Vol. 1, Food Dehydration. 207-234.
- Nanjundaswamy, A. M. ; Radhakrishnaiah Shetty, G. ; Balachandran, S. C. ; Soroja and Murthy Reddy, K. B. S. 1978. Studies on development of new categories of dehydrated products from indigenous fruit. Indian Food Packer. 22 : p. 91.
- Nicol, W. M. 1971. Sweeteners in Foods. Process Biochemistry. 12 : p. 17.
- Nogueira, R.I. and Park, K. J. 1992. Drying parameters to obtain banana passa. Drying 92. Elsevier Science Publisher, New York : 874-883.
- O' Mahony, J. S. ; Kahn, M. L. and Adaea, S. N.(Rich products corp.). 1986. Fruit infusion using a syrup which has been subjected to enzyme treatment and concentrated. United states, US patent 4,625,434.
- Pancoast, H. M. and Junk, W. R. 1980. Handbook of Sugars. 2nd ed. The AVI. Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut. p. 598.
- Palmer, T. J. 1970. Glucose Syrups and Related Carbohydrates. Birch, G. G. ; Green, L. F. and Coulson, C. B. Eds., Applied Science, London, p. 23.
- Pantastico, E. B. 1975. Structure of fruits and vegetables, pp. 1-24. In E. B. Pantastico (eds.). Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables. AVI Publishing Co. Inc., Westport, Conn.
- Perry, R. H. and Green, D. W. 1985. Perry's Chemical Engineer Handbook. McGraw-Hill Book Co.

- Ponting, J. D., Watters, G. G., Forrey, R. R., Jackson, R., and Stanley, W. L. 1966. Osmotic dehydration of fruits. Food Technology. 8 : 18-20.
- Ponting, J.D. 1973. Osmotic dehydration of fruits recent modifications and applications. Process Biochemistry, 8 : p.18.
- Radosta, S. ; Schierbaum, F. ; Reuther, F. and Ager, H. 1989. Polymer-water interaction of maltodextrins. Part 1. Water vapour sorption and desorption of maltodextrin powders. Starch/Starke. 41 : p. 395.
- Rahman, M. S., and Lamb, J. 1991. Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. Journal of Food Process and Engineering. 14 : 163-171.
- Raja, K. C. M. ; Sankarikutty, B. ; Sreekumar, M. ; Jayaiekshmy, and Narayanan, S. 1989. Material characterization studies of maltodextrin sample for use of wall material. Starch/Starke. 41 : p. 298.
- Ramanuja, N. N., and Jayaraman, K. S. 1980. Studies on the preparation and storage stability of intermediate moisture banana. Journal of Food Science and Technology. 17(7) : p.184.
- Raoult-Wack, A. L., Lafont, F., Rios, G., and Guilbert, S. 1989. Osmotic dehydration : study of mass transfer in term of engineering properties. In Drying '89, edited by A. S. Mujumdar, and M. Roques, Hemisphere Publishing, New York.
- Raoult-Wack, A. L., Guilbert, S. LeMaguer, M., and Rios, G. 1991. Simultaneous water and solute transport in shrinking media Part 1. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis. Drying Technology, 9(3) : 589-612.
- Raoult-Wack, A. L., Guilbert, S., and Lenart, A. 1992. Recent advances in drying through immersion in concentrated solutions. In Drying of solids edited by A. S. Mujumdar, Elsevier Science Publishing, Amsterdam, Netherlands.
- Raoult-Wack, A. L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in Food Science and Technology, 5 : 255-268.

- Ravindran, G. 1989. Osmotic dehydration of pineapple. In W. S. Lein et al.(eds), Trends in Science. Singapore : Conference Singapore. 190-112.
- Ray, P. M. 1960. On the theory of osmotic water movement. Plant-Physiology. 35(6) : p.783.
- Robbers, M. ; Singh, P. R. and Cunha, L. M. 1997. Osmotic – convective dehydrofreezing process for drying kiwifruit. Journal of Food Science. 62(5) : 1039-1047.
- Robinson, R. A. and Stokes, R. H. 1959. Electrolyte solutions, Butterworths London.
- Rodriguez Arce, A. L., and Vega-Mercado, H. 1991. Osmotic drying kinetics of pineapple and papaya. Journal of Agriculture University Puerto Rico. 75(4) : 371-382.
- Sapers, G. M. and Douglas, F. W. 1987. Measurement of enzymatic browning at cut surfaces and in juice of raw apple and pear fruits. Journal of Food Science. 52, 1262-1285.
- Sankas, C. K. ; Castaigne, F. and Maharaj, R. 1996. The air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices, International Journal of Food Science and Technology. Vol.31, 123-135.
- Silveira, S. R. E. ; Rahman, M. S and Buckle, K. A. 1996. Osmotic dehydration of pineapple : kinetics and product quality. Food Research International . 29 : 227-233.
- Sherwood, T. K. ; Pigford, R. L., and Wilke, C. R. 1975. Mass transport, New York, McGraw-Hill : 8-51.
- Shi, X. W. Q. ; Fito, P. and Chiralt, A. 1995. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. Food Research International. 28 : p. 445.
- Sterling, C. 1975. Anatomy of toughness in plant tissues, pp. 43-54. In N. F. Haard and D. K. Salunkhe(eds.). Symposium : Postharvest Biology and Handling of Fruits and Vegetables. AVI Publishing Co., Inc., Westport, Conn.

- Torreggiani, D., Forni, E., Masstrelli, A., and Quadri, F. 1991. Influence of firmness of raw fruit on quality of dehydrofrozen kiwifruit disks, In Abstracts of the Proceeding of 8 th World of Food Science and Technology. Toronto, Canada, September, 29-October, p. 4.
- Torreggiani, D. 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing, Food Research International, 26(2) : 59-68.
- Treybal, R. E. 1981. Mass Transfer Operations. McGraw-Hill Book Co.
- Toupin, C. J. ; Marcotte, M. and LeMaguer, M. 1989. Osmotically – induced mass transfer in plant storage tissues : a mathematical model. Part 1. Journal of Food Engineering. 10 : 13-38.
- Weissmann, G., and Claiborne, R. 1975. The Bilayer of membrane structure : Cell membranes, Biochemistry. Cell Biology and Pathology. New York, Hemisphere, 3-13.
- Wexler, P. M. 1974: Humidity and moisture. Fundamentals and Standards. In R. E. Krieger, Vol. 3, Publishing company, Huntington, New York.
- Whortion, C. and Reineccius, G. A. 1995. Evaluation of the mechanisms associated with the release of encapsulated flavor materials from maltodextrin matrix. Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients. 590 : 143-160.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพของวัตถุบิลหลัก สารละลายออสไมติก สับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส และสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน

ก.1 การเตรียมตัวอย่างสับปะรด ดัดแปลงจาก A.O.A.C. 920.149(C)(1995)

ก.1.1 สับปะรดสด และสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส

โดยการบดตัวอย่างสับปะรดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า แล้วผสมให้เข้ากันดีโดยให้เสร็จสิ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำหรือความชื้น

ก.1.2 สับปะรดแห้ง

โดยการหั่นเป็นชิ้นเล็กละเอียด แล้วผสมให้เข้ากันดี

ก.2 ปริมาณความชื้น โดยวิธีการชั่งน้ำหนักที่หายไป ดัดแปลงจาก A.O.A.C. 934.06(1995)

โดยใช้ถ้วยกระเบื้องแทนถ้วยอลูมิเนียม เนื่องจาก สับปะรดมีความเป็นกรดสูง เปลี่ยนสภาวะการอบแห้งจากสูญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดันน้อยกว่า 100 มิลลิเมตรปรอท เป็นอบแห้งด้วยลมร้อนหมุนเวียนธรรมดาที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

อุปกรณ์

1. เตอบลมร้อน (WTB Binder, E-53 ช่วงอุณหภูมิ 30 – 250 องศาเซลเซียส)
2. ถ้วยกระเบื้อง
3. โถดูดความชื้น (Wertheim, GL- 32)
4. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, AB-204)
5. ที่ค้ำสแตนเลส(Tong)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างสับปะรด 5 – 10 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ผ่านการอบแห้งและชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

2. นำไปอบในเตอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6

ชั่วโมง

3. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก
6. นำไปอบต่ออีกประมาณ 1 ชั่วโมง หรืออบตัวอย่างจนกว่าน้ำหนักจะคงที่
7. คำนวณปริมาณความชื้น หรือน้ำที่หายไป ตามสูตรดังนี้

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

ก.3 การหาปริมาณความชื้นด้วยเครื่อง Moisture analyzer (Sartorius, MA-30)

วิธีการ

1. เสียบปลั๊ก จะปรากฏสัญลักษณ์  ขึ้นที่จอ LCD
2. กดปุ่ม On/Off
3. เมื่อปรากฏอักษร "TAR" ให้นำถาดอลูมิเนียมเปล่าที่ผ่านการอบแห้งวาง

ลง แล้วกด "Enter" เครื่องจะ Set 0.000 กรัม

(ถ้าไม่ปรากฏ 0.000 กรัม ให้กด "CF" แล้วตามด้วย "Enter" จะได้ 0.000 กรัม)

4. ใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาความชื้นบนถาดอลูมิเนียม กระจายให้ทั่วกัน และตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ต้องมีน้ำหนักมากกว่า 96 มิลลิกรัม
5. ปิดฝาครอบ เครื่องจะเริ่มวิเคราะห์หาความชื้นโดยอัตโนมัติ(ขณะวิเคราะห์จะปรากฏสัญญาณ "S S S")

Mode ของการวิเคราะห์ผล มีดังนี้

$$\text{Moisture loss} = \frac{\{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}\}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{Dry weight} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

3. ปิเปต(Pipette)ส่วนที่กรองได้มา 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร

4. เดิมฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์(Phenolphthalein indicator) 3 หยด

5. ไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งถึงจุดยุติ ซึ่งมีสีชมพูอ่อน

6. บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรต เพื่อนำมาคำนวณค่าความเป็นกรดในรูปกรดซิตริก ตามสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดซิตริก(\%W/W)} = \frac{\text{นอร์มัลลิตีของNaOH} \times \text{ปริมาตรNaOH(ml)} \times \text{มิลลิอิควิวาเลนต์ของกรดซิตริก} \times 100}{\text{ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง(ml)}}$$

โดยที่ มิลลิอิควิวาเลนต์ของกรดซิตริก(Milliequivalent of citric acid as monohydrate) = 0.070

n.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ดัดแปลงวิธีวิเคราะห์ของ Lane and Eynon's volumetric method A. O. A. C. 932.09(1995)

สารเคมี

1. สารละลายเฟห์ลิง(Fehling's solution)

1.1 สารละลาย ก (สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต)

ละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 34.639 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร โดยกรองผ่านเส้นใยแก้ว(Glass wool) หรือกระดาษกรอง

1.2 สารละลาย ข (สารละลายอัลคาไลน์ตาร์เตรต)

ละลายโปแตสเซียมตาร์เตรตเตตระไฮเดรต($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 173 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) 50 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2 วัน แล้วจึงนำมากรองตะกอนผ่าน Fiberglass prefilter ขนาดรู 0.45 ไมครอน ก่อนนำมาใช้

ผสมสารละลาย ก และ ข เข้าด้วยกันในปริมาตรที่เท่ากันโดยทันทีก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง

1.3 เมทิลีนบลูอินดิเคเตอร์(Methylene blue indicator)

ละลายเมทิลีนบลู 1 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

2. การหาค่ามาตรฐานของสารละลายเฟห์ลิง

2.1 เตรียมสารละลายน้ำตาลอินเวิร์ตมาตรฐาน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยชั่งน้ำตาลซูโครสบริสุทธิ์ที่ผ่านการอบแห้งมาแล้วให้มีน้ำหนักเท่ากับ 9.50 กรัม ในน้ำกลั่น จากนั้นเติมกรดเกลือ(HCl)เข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วปรับสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ปล่อยให้สารละลายเป็นน้ำตาลอินเวิร์ต โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิอย่างน้อย 3 ถึง 4 วัน หลังจากนั้น นำสารละลายที่ได้มาเจือจางให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร สารละลายน้ำตาลอินเวิร์ตมาตรฐานนี้สามารถเก็บไว้ใช้ได้นานหลายเดือน

2.2 ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 มา 25 มิลลิลิตร เจือจางให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร

2.3 บรรจुสารละลาย ข้อ 2.2 ลงในบิวเรต โดยจะเรียกสารละลายในนี้ว่า ไตเตอร์(Titer)

2.4 ปิเปตสารละลาย ก และ ข มาอย่างละ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพูนิตทนความร้อน ขนาด 500 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.5 ไซไตเตอร์ปริมาตร 19 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ซึ่งบรรจุสารละลายเฟห์ลิงที่ผสมกันดีแล้ว เขย่าให้เข้ากัน ต้มให้เดือดบนเตา

2.6 เมื่อต้มเดือดได้ 2 นาที(จับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด) ให้หยดเมทิลีนบลูอินดิเคเตอร์ลงไป 3 ถึง 4 หยด ถ้าสารละลายเฟห์ลิงยังคงมีสีน้ำเงินอยู่ ให้ไซไตเตอร์ลงไปอีกครั้งละ 1 หยด ถ้าสารละลายเฟห์ลิงยังคงมีสีน้ำเงินอยู่ ให้ไซไตเตอร์ลงไปอีกครั้งละหยด จนกระทั่งสีน้ำเงินของสารละลายเฟห์ลิงหายไป ในระหว่างไตเตรตต้องให้สารละลายในขวดรูปชมพู่เดือด และเขย่าให้เข้ากันตลอดเวลา และควรให้การไตเตรตสิ้นสุดภายในเวลาไม่เกิน 3 นาที นับตั้งแต่สารเริ่มเดือดและหยดเมทิลีนบลูลงไป บันทึกปริมาตรของสารละลายในบิวเรต หรือไตเตอร์ที่ใช้ไป ปริมาตรของไตเตอร์ที่ใช้ต้องเป็น 20 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างสารละลายออสโมติก และสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส ในปริมาณที่เมื่อนำมาละลายน้ำแล้วจะได้สารละลายที่มีปริมาณน้ำตาลรีเวิร์สประมาณร้อยละ 1 บันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์(ต้องทราบร้อยละของแข็งในตัวอย่างแล้วคำนวณว่าในตัวอย่างซึ่งมีปริมาณอยู่เท่านี้ จะมีน้ำหนักแห้งของตัวอย่างอยู่เท่าไร) รวมทั้งปริมาตรรวมทั้งหมดของสารละลายที่เจือจางด้วย
2. บรรจุสารละลายตัวอย่างในข้อ 1 ลงในบิวเรต โดยจะเรียกสารละลายนี้ว่า ไตเตอร์
3. เตรียมสารละลายเฟห์ลิงโดยใช้ปริมาตรที่หาได้จากการหาค่ามาตรฐานของสารละลายเฟห์ลิง บรรจุในขวดรูปชมพู่ชนิดทนความร้อน ขนาด 500 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. ไซไตเตอร์ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ซึ่งบรรจุสารละลายเฟห์ลิงที่ผสมกันแล้ว เขย่าให้เข้ากัน ต้มให้เดือดบนเตา
5. หลังจากต้มเดือดได้ 15 วินาที หากสารละลายเฟห์ลิงยังคงมีสีน้ำเงินอยู่ให้ไซไตเตอร์ลงไปอีกอย่างรวดเร็ว ครั้งละ 1 ถึง 5 มิลลิลิตร เขย่าโดยไม่ยกขวดรูปชมพู่ออกจากเตา ถ้าสารละลายเฟห์ลิงยังคงมีสีน้ำเงินอยู่ ก็ให้ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งสีน้ำเงินของสารละลายจางลง จึงเติมเมทิลีนบลูอินดิเคเตอร์ลงไป 3 ถึง 4 หยด ไตเตรตต่อไปโดยให้ไซไตเตอร์ครั้งละ 1 หยด(Dropwise) จนกว่าสีน้ำเงินของเมทิลีนบลูจะหายไป ในระหว่างไตเตรตต้องให้สารละลายในขวดรูปชมพู่เดือดตลอดเวลา และควรให้การไตเตรตสิ้นสุดภายในเวลาไม่เกิน 3 นาที นับตั้งแต่สารละลายเริ่มเดือด บันทึกปริมาตรของสารละลายในบิวเรตหรือไตเตอร์ที่ใช้ไป
6. ต้องมีการไตเตรตเพื่อหาค่าปริมาตรที่ได้ โดยเตรียมสารละลายเฟห์ลิงโดยใช้ปริมาตรที่หาได้จากการหาค่ามาตรฐานของสารละลายเฟห์ลิง บรรจุในขวดรูปชมพู่ชนิดทนความร้อน ขนาด 500 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
7. เนื่องจากทราบปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่จะวิเคราะห์แล้วจากข้อที่ 5 ดังนั้น จึงไซสารละลายตัวอย่างในบิวเรตหรือไตเตอร์ลงในสารละลายเฟห์ลิงที่เตรียมไว้ในปริมาตรที่น้อยกว่าปริมาตรที่ทราบแล้ว 0.5 ถึง 1.0 มิลลิลิตร จากนั้น ต้มให้เดือดเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงเติมสารละลายเมทิลีนบลูลงไป 3 ถึง 4 หยด ไตเตรตต่อไปโดยไซสารละลายตัวอย่างในบิวเรตครั้งละ 3 ถึง 4 หยด จนกระทั่งสีน้ำเงินของเมทิลีนบลูหายไป การไซสารละลายตัวอย่างในบิวเรตลงมาแต่ละครั้งควรให้ห่างกัน ประมาณ 10 วินาที การไตเตรตต้องให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 1 นาที นับจากการเติมเมทิลีนบลูอินดิเคเตอร์ลงไป ในระหว่างไตเตรตจะต้องให้สารในขวดรูปชมพู่เดือด และควรเขย่าให้เข้ากันตลอดเวลา

8. บันทึกจำนวนปริมาตรของสารละลายตัวอย่างในบิวเรตหรือไตเตอร์ที่ใช้ทั้งหมด(ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรตเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายเฟห์ลิง ต้องอยู่ในช่วง 15 ถึง 50 มิลลิลิตร)

9. คำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่าง และร้อยละน้ำตาลรีดิวซ์ โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร)} = \frac{\text{แฟคเตอร์} \times 100}{A \times 1000}$$

(คิดเป็นน้ำตาลเดกซ์โทรส)

$$A \times 1000$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างในบิวเรตหรือไตเตอร์ที่ใช้ไป(มิลลิลิตร)

$$\text{ร้อยละน้ำตาลรีดิวซ์ (คิดเป็นเดกซ์โทรส)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์} \times 100}{B}$$

B

เมื่อ B คือ น้ำหนักเปียกตัวอย่างที่ใช้ในการเตรียมไตเตอร์(กรัม)

ก.7 **ค่าสมมูลเดกซ์โทรส**(Dextrose equivalent : DE) ตามวิธีของ มอก. 268-2521

คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ค่าสมมูลเดกซ์โทรส} = \frac{\text{ร้อยละปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์} \times 100}{\text{ร้อยละปริมาณของแข็งทั้งหมด}}$$

ก.8 **ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด** โดยใช้เครื่อง HPLC ตามวิธีของ A. O. A. C. 977.20, 982.14 (1995)

อุปกรณ์

1. เครื่อง HPLC(High Performance Liquid Chromatography) จากสถาบันอาหาร องค์การอิสระ สังกัดกระทรวงอุตสาหกรรม

1.1 คอลัมน์(Column)ที่ใช้เป็นชนิดอะมิโนคอลัมน์ คือ Zorbax-NH₂ ขนาด 4 มิลลิลิตร × 25 มิลลิลิตร หรือเทียบเท่า ดังนั้น ก่อนและหลังการวิเคราะห์ตัวอย่างอาหาร ให้ทำการ Flush คอลัมน์ด้วย Mobile phase เป็นเวลา 30 นาที และเก็บคอลัมน์นี้ในสารละลาย Acetonitrile 90 ส่วน ต่อ น้ำกลั่น (Deionized water) 10 ส่วน

1.2 Detector เป็นชนิด Refractive index(RI)

1.3 ตัวยานบันทึก(Recorder)

2. เครื่องหมุนเหวี่ยง(Centrifuge) พร้อมหลอด ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ขวดไวอัล(Vial bottle)
4. ตัวกรองที่ทำด้วยเยื่อไนลอน Nylon membrane filter ขนาดรู 0.45

ไมครอน

5. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. กรวยแก้ว
7. โถดูดความชื้น(Desiccator)

สภาวะการทดสอบ

1. Mobile phase : Acetonitrile 75 ส่วน ต่อ Deionized water 25 ส่วน
2. ปริมาณฉีด(Injection volume) เท่ากับ 5 ไมโครลิตร
3. อัตราการไหลของสาร(Flow rate) เท่ากับ 0.8 มิลลิลิตร ต่อ นาที
4. อุณหภูมิของคอลัมน์ เท่ากับ 35 องศาเซลเซียส
5. Area reject เท่ากับ 0
6. Height reject เท่ากับ 0
7. Retention time shift เท่ากับ ± 10

สารเคมี

1. Mobile phase ที่ใช้ คือ สารละลาย Acetonitrile(HPLC grade) ใน Deionized water ความเข้มข้นร้อยละ 75 โดยปริมาตร เริ่มจากกรอง Acetonitrile ผ่าน Nylon membrane filter ซึ่งสารประกอบนี้เก็บได้นาน 1 เดือน
2. Deionized water(Ultrapur water) เตรียมใหม่ทุกครั้งทีนำมาใช้

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลายนำตามมาตรฐานแต่ละชนิดให้มี ความเข้มข้น 3, 10, 20 มิลลิกรัม ต่อ มิลลิลิตร

1.1 นำน้ำตาลมาตรฐานแต่ละชนิดไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สูญญากาศ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาเก็บในโถดูดความชื้น

1.2 ชั่งน้ำตาลแต่ละชนิดจากข้อ 1.1 ให้น้ำหนักแน่นอน(เทคนิค 4 ตำแหน่ง) จำนวน 0.3 , 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ

1.3 ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และสารละลายนี้เตรียมทุกครั้งที่จะใช้งาน

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลมาตรฐานแต่ละชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ 3 ความเข้มข้น(ข้อ 1) กับ Peak area หรือพื้นที่ใต้กราฟ โดยฉีดสารละลายน้ำตาลมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน 5 ไมโครลิตร แล้วอ่านค่า Peak area ที่ได้ แล้วจึงนำค่าทั้งสองมาเขียนเป็นกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลชนิดนั้นๆ กับ Peak area จากการทดลองขั้นนี้จะทราบเวลาที่ใช้ในการแยกสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิดออกมา

3. เตรียมตัวอย่างมอลโทเดกซ์ทรินผง และสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออกโมซีตให้เป็นของเหลว จากนั้น บีบตัวอย่างมา 1 ถึง 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้น กรองผ่าน Nylon membrane filter แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยเครื่อง HPLC ตามสภาวะการทดสอบที่กล่าวมาข้างต้น

4. เปิดเครื่อง HPLC ให้ทำงานประมาณ 20 นาทีก่อน จากนั้นปล่อยให้ Mobile phase ไหลผ่านคอลัมน์ เพื่อไล่สารที่ไม่ต้องการออกไป

6. ฉีดสารละลายตัวอย่างสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออกโมซีต ปริมาตร 5 ไมโครลิตร

7. นำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้ ณ เวลาที่ตรงกับเวลาที่ใช้ในการแยกสารละลายน้ำตาลมาตรฐานแต่ละชนิด มาคำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

สูตรการคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด(A)} = \frac{C \times V \times F}{W}$$

เมื่อ	A	คือ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในตัวอย่าง(กรัม ต่อ 100 กรัมหรือมิลลิลิตร)
	C	คือ C1 + C2 + C3 + C4 (มิลลิกรัม ต่อ มิลลิลิตร)
	C1	คือ ความเข้มข้นของฟรุคโตสในตัวอย่าง(มิลลิกรัม ต่อ มิลลิลิตร)

- C2 คือ ความเข้มข้นของกลูโคสในตัวอย่าง(มิลลิกรัม ต่อ มิลลิลิตร)
 C3 คือ ความเข้มข้นของมอลโตสในตัวอย่าง(มิลลิกรัม ต่อ มิลลิลิตร)
 C4 คือ ความเข้มข้นของซูโครสในตัวอย่าง(มิลลิกรัม ต่อ มิลลิลิตร)
 V คือ ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (มิลลิกรัม ต่อ มิลลิลิตร)
 F คือ Dilution factor
 W คือ น้ำหนัก(กรัม) ของตัวอย่าง

ก.9 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

อุปกรณ์

เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH Meter) (Scott-Gerate, CG-840)

สารเคมี

สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.00, 7.00, และ 10.00

วิธีวิเคราะห์

1. ต่อหัววัด(Electrode)เข้ากับเครื่อง และตรวจสอบว่าหัววัดอยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมที่จะใช้งาน โดยตรวจดูว่ากระเปาะส่วนปลายของ Electrode มีสารละลายอยู่เต็ม ไม่มีฟอง(ถ้ามีฟองอากาศอยู่ให้ค่อยๆสะบัด Electrode จนสารละลายเต็มกระเปาะ)
2. ทำการ Calibration โดยปรับอุณหภูมิของสารละลายบัฟเฟอร์ให้ได้ 25 องศาเซลเซียส จุ่ม Electrode ลงในสารละลาย pH 4.00, 7.00 และ 10.00
3. กดปุ่มค่าของบัฟเฟอร์ให้ตรงกับค่าสารละลายบัฟเฟอร์ บนหน้าจอเครื่อง จะมีค่า "CAL", "WAIT", "P1" และค่า pH แสดงออกมา คำว่า "WAIT" จะกระพริบ และหยุดกระพริบเมื่อค่า pH คงที่(ควรเริ่ม Calibrate buffer ค่าแรกที่ 7.00)
4. จุ่ม Electrode ลงในตัวอย่างที่ต้องการวัด
5. กดปุ่มค่า pH และอ่านค่า pH ทางหน้าจอเครื่อง

ก.10 การวัดค่า Water activity

อุปกรณ์

เครื่องวัดค่า Water activity (A_w Sprint, Novasina TH-500) ที่มีช่วงควบคุม
อุณหภูมิการวัด 0 ถึง 50 องศาเซลเซียส(การทดลองนี้ใช้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

สารเคมี

สารละลายเกลืออิมิตัว มีดังนี้

1. ลิเทียมคลอไรด์(LiCl)
2. แมกนีเซียมคลอไรด์(MgCl₂)
3. แมกนีเซียมไนเตรท(Mg(NO₃)₂)
4. โซเดียมคลอไรด์(NaCl)
5. แบเรียมคลอไรด์(BaCl₂)
6. โปแตสเซียมไดโครเมต(K₂Cr₂O₇)

วิธีวิเคราะห์

1. การปรับแต่ง(Calibration)

1.1 ให้เริ่มต้นเมื่อเครื่องอยู่ในลักษณะ Standby mode ซึ่งจะแสดง
ผลของอุณหภูมิและค่า Water activity ของถ้วยภาชนะสแตนเลสที่ใส่ตัวอย่างอาหาร
(Measuring chamber)

1.2 บนหน้าจอของเครื่องจะมีปุ่มเมนู(Menu)อยู่ 4 ปุ่ม ให้กดปุ่มซ้าย
มือสุดเพื่อเริ่มต้นเข้าสู่เมนูสำหรับการปฏิบัติการ เมนูจะแสดงหน้าจอ(Display)ดังต่อไปนี้

#01 : Stab. Options

Submenu.....

- 1.3 ให้กดปุ่มที่ 2(หรือปุ่มที่ 3)จากซ้ายมือให้แสดงผล ดังนี้

#02 : Enable cal.

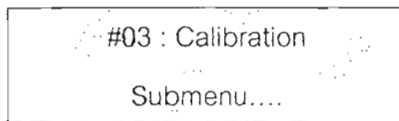
Yes→No

1.4 ให้กดปุ่มขวามือสุด(Start key) เพื่อให้คำว่า "Set" ปรากฏขึ้นบน
จอ จากนั้นกดปุ่ม "Start key" อีกครั้งเพื่อให้ลูกศรไปปรากฏ คำว่า "Yes"

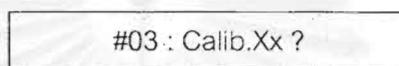
#02 : Enable cal.

→Yes No

1.5 ให้กดปุ่มที่ 2 จากซ้ายมือเพื่อเลื่อนเมนูมาอยู่ที่ เมนูที่ 3 โดยหน้าจจะแสดงภาพดังนี้



1.6 ให้กดปุ่ม "Start key" เพื่อให้เครื่องทำการ Calibrate จากนั้นเครื่องจะแสดงคำถามว่าต้องการให้ Calibrate ค่าตามมาตรฐานนั้นหรือไม่ โดยจะแสดงหน้าจอดังนี้



(Xx คือ ค่า Water activity มาตรฐานนั้นๆที่ต้องการ Calibrate

1.7 ให้กดปุ่ม "Start key" อีกครั้ง เครื่องจะทำการ Calibrate โดยอัตโนมัติ

1.8 เมื่อทำการ Calibrate เสร็จแล้ว จะปรากฏตัวหนังสืออ่านได้ว่า "Done"

2. วิธีการวัดค่า Water activity ในตัวอย่างอาหาร

2.1 ใส่ตัวอย่างอาหารในตลับพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่าง (Sample bowl) ในปริมาณที่เหมาะสม กล่าวคือ ถ้าตัวอย่างอาหารเป็นผงหรือของเหลว ให้ใส่ในปริมาณประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของตลับใส่ตัวอย่าง แล้วเกลี่ยตัวอย่างอาหารให้อยู่ในแนวราบทั่วถึงกัน โดยไม่มีลักษณะการโค้งนูนขึ้น โดยอย่าให้ตัวอย่างอาหารนั้นเลยขีดของตลับที่กำหนดไว้

2.2 ปิดฝาเครื่องให้เรียบร้อย เมื่อเสร็จแล้วให้กดปุ่ม "Start key" ค้างไว้ประมาณ 3 วินาที จนกระทั่งสัญญาณไฟสีแดงกระพริบ

2.3 เครื่องจะทำการวิเคราะห์หาค่า Water activity และจะเสร็จสิ้นเมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุล (Equilibrium state) ระหว่างตัวอย่างอาหาร กับ Water activity sensor โดยสัญญาณไฟกระพริบจาก ข้อ 2.2 จะดับ แต่จะมีสัญญาณไฟสีเขียวสว่างขึ้น แสดงว่า การวัดได้สิ้นสุด

2.4 บันทึกผลการวัดค่า Water activity และอุณหภูมิ ที่ปรากฏบนจอแสดงผล

หมายเหตุ¹ มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสมดุลของแหล่งความชื้น ดัง ตารางที่ 32 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 32 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสารเคมีที่เป็นแหล่งให้ความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ

Control tablets type	Sensor check type	Saturated salt solution	Toxicology	Control Colour Salt	% Relative humidity in dependence of the temperature				Reference
					15°C	20°C	25°C	30°C	
					SAL T/11	SC-11	LiCl	2	
SAL T/33	SC-33	MgCl ₂	4	Blue	33.3	33.1	32.8	32.4	Greenspan (1977)
SAL T-53	SC-53	Mg(NO ₃) ₂	3	Green	55.9	54.4	52.9	51.4	Greenspan (1977)
SAL T-75	SC-75	NaCl	5	Violet	75.6	75.5	75.3	75.1	Robinson (1959)
SAL T-90	SC-90	BaCl ₂	2	White	90.9	90.5	90.1	89.9	Wexler (1975)
SAL T-90	SC-90	K ₂ Cr ₂ O ₇	3	Orange	-	98.2	98.0	98.0	Robinson (1959)

1+2 : Poisonous

3+4 : Injurious to health

5 : Nonpoisonous

ก.11 การวัดค่าสี

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าสี(Hunter colourimeter) (Minolta chroma, CR-300 S)
2. หัววัด CR-300 S(สำหรับตัวอย่างที่เป็นของแข็ง)
3. หัววัด CT-310 และ Sample cell CT-A21 สำหรับของเหลวใสไม่มีตะกอน

วิธีการ

1. สวิตช์ Power on อยู่ที่ตำแหน่ง Off

2. ต่อสายของชุดหัววัดเข้ากับเครื่อง ชั้นสกรูทั้ง 2 ข้างให้แน่น(แต่อย่าให้แน่นจนเกินไป)

3. เสียบปลายด้านหนึ่งของ Adaptor เข้าที่ตำแหน่ง Adaptor socket

4. เลื่อนสวิตช์ Power on พร้อมกับกดปุ่ม All data clear รอจนหน้าจอขึ้น

ตัวอักษร

5. กดปุ่ม Index set

6. กดปุ่ม \uparrow เพื่อเลือกแหล่งแสง C หรือ D₆₅(งานวิจัยนี้เลือกแหล่งแสง D₆₅) โดยกดปุ่ม \leftarrow หรือ \rightarrow จากนั้นกดปุ่ม Enter

7. กดปุ่ม Calibrate เพื่อป้อนค่า Y, x, y ทราบได้จากแผ่นสีขาวมาตรฐานที่มีค่าสีระบบ Hunter ประกอบอยู่

8. นำหัววัดวางบนแผ่นสีขาวมาตรฐาน หรือแผ่น Calibrate จากนั้น กดปุ่ม Measure แล้วรอจนเกิดการสะท้อนแสงครบ 3 ครั้ง

9. ก่อนการวัดสีตัวอย่างต้องกดปุ่ม Colour space select เพื่อเลือกระบบสี L a b เวลาวัดให้กดปุ่ม Measure

10. วัดค่าสีของตัวอย่างเดียวกันซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยเป็นหนึ่งค่าบันทึกค่า L a b ในระบบ Hunter ที่ได้จากเครื่อง

11. ถ้าต้องการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ให้กดปุ่ม Stat. เครื่องจะแสดงค่าเป็นค่า Maximum, Minimum, Mean และ Standard deviation โดยอัตโนมัติ

ก.12 การวัดค่าเนื้อสัมผัส

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA-XT2i)
2. ชุดหัววัด หรือ Probe เป็นแบบใบมีดตัด(HDP-Knife/Guillotine blade)
3. ชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผล(ติดตั้งโปรแกรม Texture expert : English)

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องวัดเนื้อสัมผัส พร้อมชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผล

2. เข้าสู่โปรแกรม Texture expert ทำได้โดย Double click ที่ Icon ของ Texture expert
3. เลือก User name ที่ต้องการแล้วกดปุ่ม OK จากนั้นกดปุ่ม Restart
4. คลิกที่ T.A. บนเมนูหลัก แล้วเลือก Calibrate force
5. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัด และตัวอย่างอยู่ที่ฐานของเครื่อง Texture analyzer จากนั้นกดปุ่ม OK
6. รอให้เครื่องแสดงข้อความว่า ให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม(เนื่องจากใช้ Load cell ขนาด 25 กิโลกรัม)ที่หน้าจอ จากนั้น วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บนฐานของเครื่อง (Calibration platform) แล้วกดปุ่ม OK
7. คลิกที่ T.A. บนเมนูหลัก แล้วเลือก Calibrate probe และตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีตัวอย่าง หรือสิ่งของวางทิ้งไว้ฐานเครื่อง
8. กดปุ่ม Fast + ↓ เพื่อเลื่อนตำแหน่งของหัววัดให้มาอยู่ใกล้กับฐานเครื่อง
9. กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่กลับไปของหัววัด เมื่อหัววัดสัมผัสกับฐานเครื่องแล้ว โดยใช้ความสูงของตัวอย่างที่ต้องการวัดเป็นเกณฑ์(ให้ระยะทางมากกว่าความสูงของตัวอย่างที่ต้องการวัดเล็กน้อย) ในที่นี้ให้ระยะทางกลับไปของหัววัดเป็น 30 มิลลิเมตร
10. นำตัวอย่างสับปะรด ขนาดความหนา เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน และเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก เป็น 1.2, 3 และ 8.5 เซนติเมตร วางบนฐานของเครื่อง
11. กำหนดตัวแปรเพื่อสั่งงานเครื่อง โดยเข้าเมนู T.A. หลัก จากนั้น เลือก T.A. Settings หรือกด F4
12. Set ค่าต่างๆของการวัด ดังนี้

Mode :	Measure force in compression
Option :	Return to start
Pre-test speed :	2.0 mm./s.
Test speed :	2.0 mm./s.
Post-test speed :	10.0 mm./s.
Distance :	15 mm.
Trigger force :	Auto-0.05 N (จุดที่หัววัดสัมผัสกับตัวอย่างอาหารโดยอัตโนมัติ เมื่อมีแรงเท่ากับที่กำหนดไว้ 0.05 N)

Data acquisition rate : 200 PPS(กำหนดความละเอียดของ
การบันทึกข้อมูล ซึ่งเป็นจุด ต่อ วินาที)

13. คลิกที่ T.A. บนเมนูหลัก เลือก Runing a test หรือกด F2 หรือกด Ctrl +
Q เพื่อสั่ง Quick test run ในกรณีที่ต้องการให้บันทึกข้อมูลโดยมีรายละเอียดและตำแหน่งการเก็บ
ข้อมูลเหมือนเดิม

14. คลิกที่ปุ่ม Auto save เพื่อให้เครื่องบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ พร้อมกับ
ตรวจสอบเช็คดูว่าทำการบันทึก File name ไว้ที่ Directory ไດ

15. เลือกหัววัดหรือ Probe แบบ HDP-Knife / Guillotine blade

16. เมื่อกำหนดตัวแปรเพื่อสั่งงานเครื่องเสร็จแล้ว คลิกที่ Update เพื่อส่งค่า
สั่งทั้งหมดไปยังเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

17. วิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

18. จะได้กราฟระหว่างค่าแรงการตัดขาด(หน่วยเป็นนิวตัน) และค่าเวลา
(วินาที) จากนั้น หาค่าแรงการตัดขาดสูงสุดจาก Peak แรกที่ได้จากกราฟ

ภาคผนวก ข

สูตรที่ใช้ในการคำนวณอัตราของการถ่ายโอนมวลในเนื้อเยื่อสับประต

1. อัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวม(Rate of net mass reduction ; μ)

$$\mu = (m_i - m_f) / m_i \times 100$$

2. อัตราของการขจัดน้ำ(Rate of water loss ; ω)

$$\omega = (m_i X_{wi} - m_f X_{wf}) / m_i \times 100$$

3. อัตราของของแข็งที่เพิ่มขึ้น(Rate of solid(soluble and insoluble)gain ; δ)

$$\delta = (m_f X_{sf} - m_i X_{si}) / m_i \times 100$$

หรือ

$$\mu = \omega - \delta$$

เมื่อ

m_i = น้ำหนักของสับประตสดที่เวลาเริ่มต้น

m_f = น้ำหนักของสับประตสดที่เวลา t ใดๆ

X_{wi} = Mass fraction ของน้ำที่เวลาเริ่มต้น

X_{wf} = Mass fraction ของน้ำที่เวลา t ใดๆ

X_{si} = Mass fraction ของของแข็งที่เวลาเริ่มต้น

X_{sf} = Mass fraction ของของแข็งที่เวลา t ใดๆ

ภาคผนวก ค

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ค 1 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อตับปะรด
 หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น
 (Concentration ratio)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส
 (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	167.065	204.179*
Osmosis time(B)	9	440.054	537.815*
AxB	36	3.033	3.707*
Error	50	0.818	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 2 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อตับปะรด
 หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น
 (Concentration ratio)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส
 (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	164.959	207.740*
Osmosis time(B)	9	439.220	553.129*
AxB	36	2.988	3.763*
Error	50	0.794	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 3 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการขจัดน้ำในเนื้อเยื่อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	2014.937	2800.149*
Osmosis time(B)	9	389.536	541.337*
AxB	36	14.411	20.027*
Error	50	0.720	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 4 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการสูญเสียน้ำหนักรวมของเนื้อสับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส กับเวลาของการออสโมซิส (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	7395.236	11652.720*
Osmosis time (B)	9	118.557	186.811*
AxB	36	42.898	67.595*
Error	50	0.635	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 5 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็งในเนื้อเยื่อ
 สับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น
 (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส
 (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	1676.930	12214.862*
Osmosis time(B)	9	84.278	613.890*
A×B	36	11.731	85.447*
Error	50	0.137	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 6 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่าน
 กระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น(Concentration
 ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส(Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	3.14×10^{-4}	205.023*
Osmosis time(B)	9	1.17×10^{-3}	765.932*
A×B	36	1.52×10^{-5}	9.914*
Error	50	1.53×10^{-6}	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 7 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่า Water activity ของสารละลายออสโมติก หลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	5.54×10^{-3}	1962.807*
Osmosis time(B)	9	7.55×10^{-3}	267.792*
A×B	36	3.68×10^{-5}	13.047*
Error	50	2.82×10^{-6}	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 8 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อเยื่อ สับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	158.075	200.441*
Osmosis time(B)	9	452.633	573.944*
A×B	36	2.902	3.680*
Error	50	0.789	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๙ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น(Concentration ratio) ของการใช้ออลโทเดกรีทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	2.68	19.582*
Osmosis time(B)	9	33.292	243.231*
AxB	40	0.353	2.581*
Error	50	0.137	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑๐ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น(Concentration ratio) ของการใช้ออลโทเดกรีทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	1603.572	2263.797*
Osmosis time(B)	9	92.988	131.273*
AxB	36	14.039	19.820*
Error	50	0.708	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 11 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อเยื่อตับประรดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	93.453	213.756*
Osmosis time(B)	9	6.091	13.932*
A×B	36	0.550	1.258 ^{ns}
Error	50	0.437	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

ตารางที่ ค 12 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครสกับเวลาของการออสโมซิส (Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	716.398	1395.089*
Osmosis time(B)	9	2.142	4.172*
A×B	36	9.95×10^{-2}	0.194 ^{ns}
Error	50	0.514	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

ตารางที่ ค 13 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการขจัดน้ำ ต่อ อัตราของการเพิ่มขึ้นของของแข็ง(WL / SG ratios)ในเนื้อเยื่อตับประดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น(Concentration ratio)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส กับเวลาของการออสโมซิส(Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	145.366	627.031*
Osmosis time(B)	9	3.312	14.285*
AXB	36	0.744	3.210*
Error	50	0.232	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 14 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่าสมมูลเดกซ์โทรส(DE) ของสารละลายออสโมติกหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น(Concentration ratio)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครส กับเวลาของการออสโมซิส(Osmosis time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	4	2868.093	1410.389*
Osmosis time(B)	9	16.345	8.038*
AXB	36	0.417	0.205 ^{ns}
Error	50	2.034	
Total	99		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

ตารางที่ ค 15 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air drying time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	2	80.287	898.002*
Hot air drying time(B)	17	1440.401	16110.700*
AXB	34	22.477	251.406*
Error	54	8.94×10^{-2}	
Total	107		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 16 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรีนร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air drying time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	2	79.892	847.751*
Hot air drying time(B)	17	1439.778	15277.806*
AXB	34	22.483	238.571*
Error	54	9.42×10^{-2}	
Total	107		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 17 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความชื้นอิสระในเนื้อเยื่อสับปะรด หลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน(Hot air drying time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratios(A)	2	8.95×10^{-4}	0.534 ^{ns}
Hot air drying time(B)	17	1.427	851.266*
AXB	34	22.483	8.340*
Error	54	1.40×10^{-2}	
Total	107		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

ตารางที่ ค 18 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติอัตราของการอบแห้งในเนื้อเยื่อสับปะรดหลัง ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน(Hot air drying time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	2	3.38×10^{-4}	3.622*
Hot air drying time(B)	17	1.85×10^{-2}	197.729*
AXB	34	2.91×10^{-4}	3.112*
Error	54	9.34×10^{-5}	
Total	107		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 19 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่า Water activity ในเนื้อเยื่อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน(Hot air drying time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	2	5.72×10^{-2}	7366.493*
Hot air drying time(B)	17	6.39×10^{-2}	8230.872*
AXB	34	2.29×10^{-3}	294.230*
Error	54	7.77×10^{-6}	
Total	107		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 20 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่าแรงการตัดขาดของเนื้อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้ มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน(Hot air drying time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	2	60613.811	658.368*
Hot air drying time(B)	17	8665.462	94.121*
AXB	34	2917.608	31.690*
Error	54	92.067	
Total	107		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 21 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่าความสว่าง(Linghness : L)ของเนื้อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น(Concentration ratio)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน(Hot air drying time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	2	202.076	30.902*
Hot air drying time(B)	17	61.857	9.459*
AXB	34	19.534	2.987*
Error	54	6.539	
Total	107		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 22 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่าสีแดง(Redness : a)ของเนื้อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น(Concentration ratio)ของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน(Hot air drying time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	2	15.297	56.779*
Hot air drying times(B)	17	8.114	30.119*
AXB	34	3.165	11.747*
Error	54	0.269	
Total	107		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 23 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติค่าสีเหลือง(Yellowness : b)ของเนื้อสับปะรดหลังผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สภาวะต่างๆ เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้น (Concentration ratio) ของการใช้ มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสกับเวลาของการอบแห้งด้วยลมร้อน(Hot air drying time)

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Concentration ratio(A)	2	733.406	228.929*
Hot air drying time(B)	17	55.335	17.272*
AXB	34	19.672	6.140*
Error	54	3.204	
Total	107		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค 24 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติลักษณะปรากฏของเนื้อสับปะรดแห้งที่ผลิตได้ เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งและผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Treatment	2	146.80	12.519*
Block	9	13.704	1.169 ^{ns}
Error	18	11.726	
Total	29		

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

ตารางที่ ค 25 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของเนื้อสับปะรดแห้งที่ผลิตได้ เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบสโมคซีสและผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Treatment	2	192.933	27.679 [*]
Block	9	10.281	1.475 ^{ns}
Error	18	6.970	
Total	29		

^{*} แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

ตารางที่ ค 26 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติเนื้อสัมผัสของเนื้อสับปะรดแห้งที่ผลิตได้ เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบสโมคซีสและผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Treatment	2	726.433	25.188 [*]
Block	9	19.485	0.676 ^{ns}
Error	18	28.841	
Total	29		

^{*} แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

ตารางที่ ค 27 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติถดถอยของเนื้อสับประรดแห้งที่ผลิตได้ เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบสโมคซีสและผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Treatment	2	129.733	3.893 [*]
Block	9	38.893	1.167 ^{ns}
Error	18	33.326	
Total	29		

^{*} แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

ตารางที่ จ 28 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติถดถอยของเนื้อสับประรดแห้งที่ผลิตได้ เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบสโมคซีส และผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน

Source of variance (SOV)	d.f.	MS	F-ratio
Treatment	2	378.70	5.921 [*]
Block	9	77.348	1.209 ^{ns}
Error	18	63.959	
Total	29		

^{*} แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสของสับปะรดแห้ง เมื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมใช้ในกระบวนการอบสไมซีส และ ผลของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง

แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสสับปะรดแห้งแบบ Scoring test

ชื่อ - สกุล..... วันที่

โปรดพิจารณาคุณลักษณะและชิมสับปะรดแห้งที่เสนอ และให้คะแนนตามรายละเอียดที่กำหนดซึ่งตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

คุณลักษณะ	รายละเอียด	รหัสตัวอย่าง		
ลักษณะปรากฏ (20 คะแนน)	1. ลักษณะปกติของสับปะรดแห้ง (13-20 คะแนน) 2. ลักษณะภายนอกเปียกชื้นหรือแห้งเล็กน้อย แต่ยังเป็นที่ยอมรับ(7-12 คะแนน) โปรครระบุ 3. ลักษณะภายนอกเปียกชื้นหรือแห้งมากเกินไป (1-6 คะแนน) โปรครระบุ			
สี (20 คะแนน)	1. สีเหลืองปกติของสับปะรดแห้ง (13-20 คะแนน) 2. สีเหลืองออกน้ำตาลเล็กน้อยหรือสีเหลืองซีดเล็กน้อยแต่ยังเป็นที่ยอมรับ(7-12 คะแนน) โปรครระบุ 3. สีเหลืองออกน้ำตาลคล้ำมากหรือสีเหลืองซีดมาก(1-6 คะแนน) โปรครระบุ			
กลิ่นรส (30 คะแนน)	1. ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม และมีกลิ่นรสสับปะรดตามธรรมชาติ(21-30 คะแนน) 2. มีกลิ่นรสแปลกปลอมเล็กน้อย แต่มีกลิ่นรสสับปะรดเป็นที่ยอมรับ(11-20 คะแนน) 3. มีกลิ่นรสแปลกปลอมมาก(1-10 คะแนน)			

ภาคผนวก ง (ต่อ)

คุณลักษณะ	รายละเอียด	รหัสตัวอย่าง		
รสชาติ (30 คะแนน)	<ol style="list-style-type: none"> 1. รสชาติหวานพอดีเป็นที่ยอมรับ (21-30 คะแนน) 2. รสชาติหวานเล็กน้อย แต่เป็นที่ยอมรับ(11-20 คะแนน) 3. รสชาติหวานมากหรือไม่หวานเลย ไม่เป็นที่ยอมรับ(1-10 คะแนน) โปรดระบุ 			
เนื้อสัมผัส (30 คะแนน)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลักษณะปกติของสับปะรดแห้ง ไม่นุ่มหรือไม่เหนียวเกินไป(21-30 คะแนน) โปรดระบุ 2. นุ่ม เหนียว หรือแข็งเล็กน้อย แต่เป็นที่ยอมรับ (11-20 คะแนน) โปรดระบุ 3. นุ่ม เหนียว หรือแข็งกระด้างมากเกินไป(1-10 คะแนน) โปรดระบุ 			

ข้อเสนอแนะ.....

.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบคุณ

ภาคผนวก จ

รูปภาพแสดงวัตถุดิบ และ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



1. สับปะรดสด พันธุ์ "ศรีราชา"

สถาบันวิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



มอลโทเดกซ์ทรินชนิดผง
(DE = 28)

2. มอลโทเดกซ์ทรินผง(DE เท่ากับ 28)



3. เครื่องพ่นสับปรดเป็นแวน และชุดเจาะแกนสับปรดแบบใช้มือ
(ทำขึ้นเฉพาะเพื่อใช้ในการทดลอง)



4. เครื่องวัดค่าสีของอาหาร Minolta chroma, CR-300 S



5. เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัสอาหาร Texture analyzer, XT2i

สถาบันวิทยบริการ
กลางกรุงเทพมหานคร

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปิยะวิทย์ ทิพรส เกิดเมื่อวันที่ 11 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2516 ที่บ้านคกเลาเหนือ เลขที่ 22 หมู่ที่ 2 ตำบลนุสม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดเลย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรและอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏจันทรเกษม ในปีการศึกษา 2540 จากนั้น เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย