18406

การใช้แป้งและความดันสูงเพื่อลดความชื้นของสับปะรด

(Use of Starch and High Pressure for Moisture Reduction of Pineapple)

T097102

นายรัตน สุขวิเศษ
นายวีระชัย ภาลางาม

ปพ.
ส367ก
2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 97102
วัน.เดือน.ปี.....

รายงานปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การใช้แป้งและความดันสูงเพื่อลดความชื้นของสับปะรด

(Use of Starch and High Pressure for Moisture Reduction of Pineapple)

โดย

นายรัตน สุขวิเศษ รหัสนักศึกษา 41044423

นายวีระชัย ภาลางาม รหัสนักศึกษา 41044430

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจากอาจารย์

วรรณา ตั้งเจริญชัย ..... 29 / มี.ค. / 45 ..... **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(รศ.ดร. วรรณา ตั้งเจริญชัย)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....

(ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ)

รักษาการคณบดีโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รัตน สุขวิเศษ และ วีระชัย ภาลางาม 2544 : การใช้แป้งและความดันสูงเพื่อลดความชื้นของสับปะรด (Use of Starch and High Pressure for Moisture Reduction of Pineapple) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการจัดตั้งคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร. วรรณา ตั้งเจริญชัย. 41 หน้า

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำแป้ง (2 , 4 , 6 , 8 , 10 และ 12 % w/w) ต่อความสามารถในการดึงน้ำออกจากชิ้นสับปะรด พบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งสูงขึ้นจนถึงระดับของความเข้มข้น 8 % แต่จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งสูงกว่า 8 % ขึ้นไป เมื่อทำการศึกษาผลของการใช้แป้งที่ความเข้มข้น 6 , 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับซูโครสเข้มข้น 15 °Brix พบว่ามีผลทำให้ชิ้นสับปะรดสูญเสียน้ำมากขึ้น

เครื่อง Hydrostatic Pressure unit สามารถทำความดันได้สูงที่สุด 2,300 psi ใช้เพื่อการศึกษาผลของความดันและเวลาต่อการลดของความชื้น ของสับปะรดด้วยสารละลายซูโครสเข้มข้น 60 °Brix โดยใช้ความดันของระบบ 0 , 500 , 1000 และ 2000 psi ตามลำดับ พบว่าที่ระดับความดันไม่เกิน 1000 psi ผู้บริโภคให้การยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความหวาน มากกว่าเมื่อใช้ความดันที่ 2,000 psi อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้พบว่าที่ระดับความดัน 1,000 psi สามารถลดความชื้น และเวลาของการลดความชื้นลงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว

รัตน สุขวิเศษ วีระชัย ภาลางาม [illegible] 29 / เมษ / 45

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
คำนำ	1
วารสารปริทัศน์	2
อุปกรณ์และวิธีการ	13
ผลและวิจารณ์การทดลอง	18
สรุปผลการทดลอง	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพที่		หน้า
1	ภาพแสดงการถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอก	2
2	ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของน้ำในระหว่างการอบแห้ง	5
3	รูปแบบการละลายของแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งไมโล	11
4	เครื่องอัดความดัน Prototype Hydrostatic Pressure Cell	14
5	แผนภาพแสดงวิธีการทดลองการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคร่วมกับความดัน	16
6	แสดงผลของอุณหภูมิในการเกิดเจลและความเข้มข้นต่อความหนืดของสารละลายน้ำแป้ง	18
7	แสดงผลของอุณหภูมิในการเกิดเจลและความเข้มข้นต่อความหนืดของสารละลายน้ำแป้ง	19
8	แสดงปริมาณความชื้นที่ระดับความดันบรรยากาศ และระดับความดัน 1000 psi ที่เวลาต่างๆ	22
9	แสดงลักษณะของชิ้นสับปะรดภายหลังการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคโดยใช้น้ำแป้ง น้ำตาล และน้ำแป้งผสมน้ำตาลเปรียบเทียบกับผลสด	35
10	แสดงลักษณะของชิ้นสับปะรดภายหลังการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติค โดยใช้ความดันที่ระดับต่างๆ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางเปรียบเทียบผลของการเติมน้ำตาลต่อปริมาณของแข็งที่เหลือหลังการอบแห้งและปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการออสโมติค	20
2	แสดงคะแนนเปรียบเทียบความแตกต่างของสับปะรดที่ผ่านการออสโมติคด้วยสารละลายน้ำแป้งน้ำตาล กับผลสด	21
3	แสดงผลการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มแห้งที่ระดับความดันต่าง ๆ	21

ตารางผนวกที่

1	การวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความหนืดของสารละลายแป้งที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิในการเกิดเจลที่แตกต่างกัน	31
2	การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณน้ำที่สูญเสียในชิ้นสับปะรด ที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคโดยใช้สารละลายแป้งที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิในการเกิดเจลระดับต่างๆ	31
3	การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนเปรียบเทียบความแตกต่างด้าน สี กลิ่นรสชาติความหวาน และลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยสารละลายน้ำตาลและน้ำแป้ง	32
4	การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนความชอบด้าน เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏและความหวาน ในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มด้วยสารละลายน้ำตาลโดยใช้ความดัน	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ

ผักและผลไม้เป็นผลิตผลทางการเกษตรที่เสื่อมเสียคุณภาพได้ง่าย (highly perishable) เพราะเชื้อจุลินทรีย์สามารถปนเปื้อนบริเวณเปลือกและเนื้อของผลไม้สดได้ เนื่องจากผักผลไม้มีปริมาณน้ำประกอบอยู่สูง หากต้องการเก็บรักษาผักผลไม้เป็นเวลานานสามารถทำได้โดยการลดปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ให้เหลือน้อยที่สุด (Somogyi and Luh, 1975) การกำจัดน้ำออกจากผลไม้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อน (hot-air drying) การทำแห้งแบบสูญญากาศ (vacuum drying) การทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying) และการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติด (osmotic dehydration) การใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนและการทำแห้งแบบสูญญากาศจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสชาติ สี และเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป ส่วนการทำแห้งแบบระเหิดถึงแม้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี แต่ก็มีต้นทุนการผลิตสูง (Ramamurthy et al., 1978) ในขณะที่การทำแห้งด้วยวิธีออสโมติดจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนและมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการทำแห้งแบบระเหิด อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมติดก็ยังมีข้อจำกัดอยู่เนื่องจาก น้ำตาลซึ่งเป็น osmotic agent นั้นสามารถแทรกซึมผ่านผนังเซลล์และตกค้างอยู่ในชิ้นอาหาร ซึ่งอาจไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมกับอาหารที่ไม่ต้องการความหวาน ข้อเสียของการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติดจำเป็นต้องใช้เวลานานเพื่อแช่ในสารละลายจนถึงจุดสมดุล

เพื่อศึกษาหาแนวทางใหม่ๆ ในการปรับปรุงการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติดให้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น การนำแป้งซึ่งเป็นโพลีแซคคาร์ไรด์มาใช้เป็น osmotic medium เนื่องจากแป้งไม่มีรสชาติจึงไม่มีผลกระทบต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ และการใช้ความดันเพื่อช่วยในการลดเวลาของการออสโมติด เพราะพบว่าความดันสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นระหว่างเยื่อเลือกผ่าน(semi-permeable membrane)โดยการทดลองจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ ที่จะใช้แป้งมันสัมปะหลังและความดันในการลดความชื้นของชิ้นสับปะรด

1.2 วัตถุประสงค์

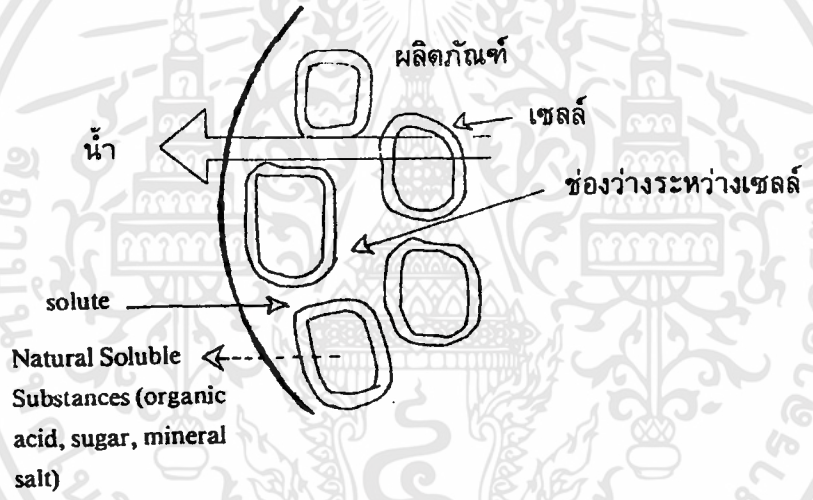
1. เพื่อศึกษาบทบาทของแป้งมันสำปะหลัง ในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติดของสับปะรดสด
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ของวิธีการทำแห้งแบบออสโมติด ด้วยแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

1. การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมติค (osmotic dehydration)

ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ จะมีกลไกในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารที่ใช้ในเมตาบอลิสซึม (metabolism) ของเซลล์ที่เรียกว่า กระบวนการออสโมซิสเกิดขึ้นเนื่องจากผนังเซลล์ (cell membrane) มีหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารภายในเซลล์ โดยจะยอมให้สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กผ่านเข้าออก ด้วยกลไกดังกล่าวสามารถดึงน้ำออกจากเซลล์ของชิ้นอาหาร ทั้งนี้อาศัยความแตกต่างความเข้มข้นของสารละลายภายในและนอกเซลล์ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลของน้ำในเซลล์ออกมาสู่สารละลายภายนอกได้



รูปที่ 1 ภาพแสดงการถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในและสารละลายภายนอกเซลล์
ที่มา : อ่อนรวี (2533)

1.1 การถ่ายเทมวลสาร

การทำแห้งแบบออสโมติคโดยใช้สารละลายซึ่งจะนำผักผลไม้แช่ในสารละลายที่มีคุณสมบัติเป็น hypertonic solution เช่น น้ำตาล เกลือ ซอร์บิทอล หรือกลีเซอรอล (Lerici et al., 1985) ซึ่งมักนิยมใช้สารละลายน้ำตาล ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติค (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผักผลไม้และสารละลายภายนอกส่งผลให้เกิดเป็นแรงขับ (driving force) ให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างผักผลไม้และสารละลายภายนอก การถ่ายเทมวลสารที่เกิดจะสวนทิศทางกัน (countercurrent mass transfer) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในเซลล์ผลไม้จะแพร่กระจายสู่สารละลายน้ำตาลภายนอก ขณะที่ตัวถูกละลายภายนอก (เช่น น้ำตาล) แพร่เข้าสู่เซลล์ผลไม้ สารประกอบธรรมชาติในเซลล์ เช่น (น้ำตาล กรดอินทรีย์และเกลือแร่) จะซึมออกนอกเซลล์สู่สารละลายน้ำตาล (อ่อนรวี, 2533 ; Raoult-Wack, 1994) แต่เซลล์ของผลไม้ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน จะยอมให้น้ำซึมผ่านมากกว่าน้ำตาล ดังนั้นน้ำจะแพร่กระจายออกจากเซลล์ได้มากกว่าการแพร่กระจายของน้ำตาลเข้าไปในผลไม้ (Torreggiani, 1993 ; Biswal et al., 1991 ; Rahman and Lamb, 1991 ; Lenart and Flink, 1984 ทดลองการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติค สับปะรด มะละกอ และแอปเปิ้ล พบว่าปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรดของผลไม้ ลดลงขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลไม้เพิ่มขึ้น

การศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติค จะศึกษาการถ่ายเทมวลสารของน้ำและน้ำตาล โดยจะพิจารณาทั้งจากชิ้นผลไม้และสารละลายน้ำตาลที่ใช้แช่ โดยแสดงเป็นค่าการถ่ายเทมวลสารดังนี้ (Bailon, 1990 ; Giangiacomo et al., 1987)

1.1.1 <u>ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss ; WL)</u>

หมายถึง ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปต่อน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น 100 กรัม

water loss (WL) = g water/100g initial sample

1.1.2 <u>ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain ; SG)</u>

หมายถึง ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่อน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น 100 กรัม

solid gain (SG) = g solid/100g initial sample

การถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและน้ำตาลจะดำเนินไปจนถึงจุดสมดุล อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและน้ำตาลจะมีค่าคงที่ส่งผลให้ปริมาณน้ำและน้ำตาลในชิ้นผลไม้และในสารละลายน้ำตาลมีค่าคงที่ด้วย การทำแห้งโดยวิธีออสโมติคจึงทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ลดลง น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ปริมาณของแข็งในชิ้นผลไม้จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลที่แพร่เข้าไปในชิ้นผลไม้

อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคจะขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาล โดยอัตราการถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ชั่วโมงแรกและจะลดลงอย่างช้าๆอย่างต่อเนื่องและคงที่เมื่อถึงจุดสมดุล (Raoult-Wack, 1994 ; Torreggiani al., 1987) การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคนี้ นิยมทำเพื่อดึงน้ำออกจากชิ้นผลไม้ประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้นเท่านั้น แล้วจึงนำไปอบแห้งด้วยวิธีอื่นต่อไป เพราะถ้าต้องการดึงน้ำออกจากชิ้นผลไม้ในปริมาณมากกว่านี้ จำเป็นต้องใช้เวลานานมากจึงไม่เป็นที่นิยม (Moy et al., 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 กระบวนการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมติค

ในขั้นแรกของการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมติคจะเลือกผลไม้ที่มีคุณภาพดีมีความแก่อ่อนเหมาะสมตามชนิดของผลไม้ ถ้าผลไม้ดิบเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สีไม่สวย แต่ถ้าสุกเกินไปผลิตภัณฑ์จะมีเนื้อเละ สำหรับสับปะรดเช่อิ่มอบแห้งนิยมใช้สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่เกือบจะสุกเพราะจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองสวย และสามารถหั่นเป็นแว่นได้ง่ายกว่าสับปะรดที่สุกแล้ว (สุรพล, 2532) เมื่อล้างสิ่งสกปรกที่ติดมากับผิวของผลไม้ด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้และความต้องการของตลาด นำชิ้นผลไม้ที่ได้ไปลวก (blanching) โดยใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำ เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ peroxidase หรือ polyphenol oxidase ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ ภายหลังการลวก แล้วจะต้องทำให้ผลไม้เย็นลงทันที เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นเนื่องจากความร้อน (Levi et al., 1983)

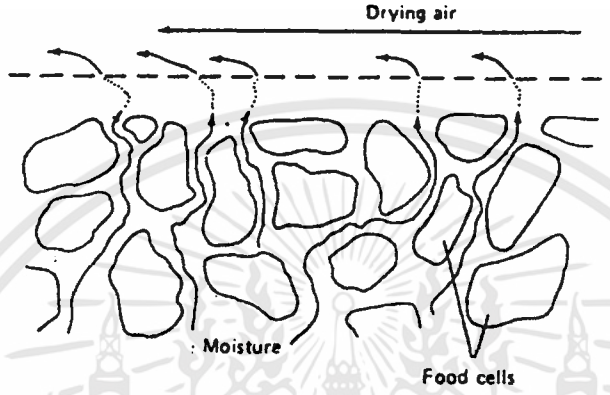
จากนั้นแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นเหมาะสมกับชนิดของผลไม้ เช่น สับปะรดใช้สารละลายน้ำตาลเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์โดยมวล การแช่ผลไม้ลงในสารละลายน้ำตาลนี้จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น น้ำหนักหรือความชื้นของผลไม้จะลดลงประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้น และทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ชวนบริโภค หลังจากการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคนี้ผลไม้ยังมีความชื้นสูง ทำให้ไม่สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เป็นเวลานานได้ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี จึงจำเป็นต้องลดความชื้นของผลไม้ให้เหลือประมาณร้อยละ 15-20 โดยการทำแห้งด้วยวิธีอื่น ๆ อีกต่อไป (บุญมา, 2528 ; อ่อนรวี, 2533 ; Raoult-Wack, 1994) แต่วิธีที่นิยมกันมากคือการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส (กรุณา, 2535 ; ดุลย์จิรา, 2538) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด แต่เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาล จึงได้มีการนำวิธีการอบแห้งในสภาพสูญญากาศ (Dixon and Jen, 1977 ; Ramamurthy et al., 1978 ; Lerici et al., 1985) และการอบแห้งแบบระเหิด (Hawkes and Flink, 1978) มาใช้เนื่องจากสามารถรักษาลักษณะดั้งเดิมของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ดีกว่า

1.3 การอบแห้งหลังการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคด้วยลมร้อน (hot-air drying)

วัตถุประสงค์ของการอบแห้งหลังการออสโมติคก็เพื่อทำให้สามารถเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานขึ้น โดยทั่วไปจะลดความชื้นลงให้เหลือประมาณร้อยละ 15 หรือมีค่า a_w ประมาณ 0.65 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสับปะรดที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคมาแล้ว อยู่ในช่วง 55-65 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 20 ชั่วโมง อบแห้งสับปะรดที่ชนิดแว่นหนา 2 ซม.ให้มีความชื้นเหลือร้อยละ 18 ของน้ำหนักแห้ง (อารีย์ และ สมชาติ, 2534) จิราภรณ์ (2536) และสุธีรา (2540) แนะนำการใช้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งสับปะรดที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างการอบแห้ง น้ำที่อยู่ภายในเนื้อผลไม้จะเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวแล้วระเหยออกไป การเคลื่อนที่ของน้ำออกมาสู่ที่ผิวนี้อาจอยู่ในรูปของเหลว หรือในรูปของไอน้ำก็ได้การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลว จะพาเอาของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล และกรดอะมิโนมาสู่ที่ผิวด้วย เมื่อการทำแห้งดำเนินต่อไป ความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวของผลไม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และให้สีน้ำตาล ที่เรียกว่า maillard reaction ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิสูง



รูปที่ 2 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของน้ำในระหว่างการอบแห้ง
ที่มา : วิไล (2543)

วิธีป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ระหว่างการอบแห้งผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคมาแล้วสามารถทำได้โดยการใช้สารประกอบซัลไฟต์ซึ่งได้แก่ โซเดียมและโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เมื่อสารเหล่านี้อยู่ในสภาพของสารละลายจะเกิดการแตกตัวอยู่ในรูปของซัลไฟต์อิสระ (free sulfite) และซัลไฟต์อิสระนี้สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับน้ำตาลได้สาร hydroxy sulfonate ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส ทำให้โปรตีนหรือกรดอะมิโนและน้ำตาลไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกันได้ จึงสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของสับปะรดภายหลังการอบแห้งได้ (อุดมเกียรติ, 2531)

2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมติค

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมติค ได้แก่

2.1 ลักษณะเฉพาะของผลไม้

2.1.1 ชนิด พันธุ์ และความสุกของผลไม้

ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุกมีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร เนื่องจากอัตราการถ่ายเทมวลของน้ำ จะขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์ และเซลล์เมมเบรน ของผลไม้ ซึ่งพบว่าผลไม้ต่างชนิดกันเช่น สับปะรดใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่ามะละกอและมะม่วง ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์ จะมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักระหว่างออสโมติคต่างกัน และให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพแตกต่างกันด้วย (Torreggiani et al., 1987) บุญมา (2528) รายงานว่ามะม่วงแก้วมีความเหมาะสมกับการทำแห้งแบบออสโมติคมากกว่ามะม่วงพิมเสนเพราะมะม่วงพิมเสนมีเนื้อสัมผัสนุ่มเกินไป ทำให้ผู้บริโภคชอบน้อยกว่าการใช้มะม่วงแก้ว นอกจากนี้ความแก่อ่อนของผลไม้ก็มีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร โดยผลไม้ที่สุกหรือแก่จะมีอัตราการถ่ายเทมวลสารเร็วกว่าผลไม้ที่อ่อน แต่ถ้าผลไม้แก่เกินไปจะทำให้เนื้อสัมผัสเละมากไม่น่ารับประทาน (อ่อนรวี, 2533)

2.1.2 รูปร่างและขนาดของผลไม้

รูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่อการถ่ายเทมวลเช่นกัน เนื่องจากมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูง จะทำให้น้ำในชิ้นผลไม้แพร่ออกมาสู่สารละลายน้ำตาลภายนอกได้เร็วและมาก แต่ถ้าอัตราส่วนของพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรมีค่าน้อยจะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำเกิดได้น้อย (อ่อนรวี, 2533) จิราภรณ์ (2536) ทดลองทำแห้งแบบออสโมติคสับปะรดที่มีรูปร่างและขนาดต่างกัน คือเป็นแว่นหนา 1.2 ซม. และรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศ์กขนาด 1.5 ซม. x 1.5 ซม. x 1.5 ซม. พบว่าการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในชิ้นสับปะรดจะแตกต่างกัน Giangiacomo et al. (1987) รายงานว่าพีชที่หั่นเป็นชิ้นหนาประมาณ 2 ซม. จะมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการถ่ายเทมวลสารมากกว่าเชอร์รี่ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 1.8 ซม. เนื่องจากพีชมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรมากกว่า

Lerici et al. (1985) รายงานว่าแอปเปิ้ลที่เป็นรูปแว่น (ring) จะมีอัตราการสูญเสียน้ำ มากที่สุดในขณะที่รูปร่างสี่เหลี่ยมลูกเต๋า (cube) จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลมากที่สุด Contreas และ Smyrl (1981) รายงานว่าแอปเปิ้ลที่หั่นเป็นแว่นหนา 0.5 ซม. จะมีการสูญเสียน้ำมากกว่าชิ้นที่มีความหนา 1 ซม. เพราะในชิ้นที่บางกว่า จะมีระยะทางที่น้ำจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางไปยังพื้นผิวหน้าของผลไม้สั้นกว่า ส่วนการทำมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งพบว่าการหั่นเป็นชิ้น (slice) ทำให้อัตราการสูญเสียน้ำของชิ้นมะม่วง (water loss) สูงที่สุด รองลงมาคือแบบสี่เหลี่ยมลูกเต๋าและชิ้นแบบครึ่งผล (halves) ตามลำดับ (Bailon, 1990)

2.2 สารละลาย

2.2.1 องค์ประกอบของสารละลาย

สารละลายออสโมติคแต่ละชนิด มีผลต่อการดึงน้ำออกจากเซลล์ในอัตราเร็วที่แตกต่างกัน พบว่า กลูโคส ทำได้เร็วกว่า ฟรุกโทส ซูโครส (Lerici et al.,1985) สมบัติของสารละลาย ก็มีผลต่อการดึงน้ำออกจากเซลล์ด้วย ตัวอย่างเช่น สารละลายที่มีความหนืดสูงจะดึงน้ำออกจากเซลล์ได้ช้ากว่าสารละลายที่มีความหนืดต่ำกว่า ตัวถูกละลายที่สามารถแตกตัวได้ในสารละลาย เช่น เกลือจะมีอัตราการดึงน้ำออกจากเซลล์ได้มากกว่า ตัวทำละลายชนิดอื่นที่ความเข้มข้นเท่ากัน

ในกระบวนการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมติค นิยมใช้น้ำตาลเป็น osmotic agent ซึ่งน้ำตาลที่ใช้มีหลายชนิด แต่นิยมใช้น้ำตาลซูโครสมากที่สุด เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งที่มีคุณภาพดี นอกจากน้ำตาลซูโครสยังให้รสหวาน ใช้งานสะดวก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักมากขึ้น หาได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าน้ำตาลชนิดอื่น นอกจากนี้การใช้น้ำตาลซูโครสในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติค ยังสามารถเป็น inhibitor ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิด oxidative browning ของผลไม้ที่ถูกตัดแต่งและช่วยป้องกันการสูญเสียส่วนประกอบของกลิ่นรสที่ระเหยได้ระหว่างการทำแห้งอีกด้วย (Ponting, 1973) การใช้สารละลายน้ำตาลในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติค สามารถทำได้โดยการแช่ผลไม้ลงในสารละลายน้ำตาล จนกระทั่งผลไม้มีความหวานตามความต้องการ อาจมีการกวนเพื่อให้สารละลายน้ำตาลมีการเคลื่อนที่ร่วมด้วยหรือไม่ก็ได้ การมีน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์ทำให้อัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดสูงขึ้น ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและทำให้รงควัตถุ(pigment)คงตัวระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา จึงช่วยลดประมาณการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Raoult-Wack et al., 1995)

2.2.2 ความเข้มข้นของสารละลาย

การเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจะมีความสำคัญมาก เนื่องจากมีผลต่อการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ โดยจะมีผลต่อค่า water loss ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ใช้ส่วนใหญ่ จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 30-70 ° Brix แตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ (Bailon, 1990) ถ้าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลยิ่งมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะมาก เป็นผลให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นด้วย Beristain et al. (1990) ทดลองเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจาก 50 เป็น 60 และ 70 ° Brix ที่ 30 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาสับปะรดที่สูญเสียน้ำไปร้อยละ 25 คือ 170 130 และ 110 นาทีตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของจิราภรณ์ (2536) ที่รายงานว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้สูงขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำในชิ้นสับปะรดกับน้ำตาลในสารละลายภายนอกสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังมีการทดลองเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคแอปเปิ้ล (Contreras and Smyrl 1981; Conway et al.,1983) มะม่วง (Baldry et al., 1976) ผลกีวี (Robbers et al. , 1997) และขนุน (Christian, 1991) ซึ่งแสดงว่าผลไม้มีการ สูญเสียน้ำมากขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เนื่องจากสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้เกิดแรงดันออสโมติคสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ (Ravindran,1989 ; Saurel et al., 1994) แต่ไม่ควรใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า 70 ° Brix เนื่องจากสารละลายจะมีความหนืดเกินไป ทำให้การถ่ายเทมวลสารลดลงและทำให้ไม่สะดวกการแช่อิ่ม (Bongiawar and Sreenivasan, 1997)

2.3 กรรมวิธี

2.3.1 ขั้นตอนการเตรียม

การลวกผลไม้ก่อนการแช่อิ่มมีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร เนื่องจากความร้อนในระหว่างการลวก จะทำให้โครงสร้างของเซลล์ผลไม้ที่มีส่วนต้านทานการถ่ายเทมวล โดยทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ คืออ่อนตัวลง สูญเสียคุณสมบัติการเป็นเยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกผ่านไป จึงทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำในผลไม้และน้ำตาลในสารละลายภายนอกสูงขึ้น จึงสามารถลดเวลาในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคลง (Levi et al., 1983) ระยะเวลาและอุณหภูมิในการลวก ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของผลไม้ เช่น เชอร์รี่จะลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที (Torreggiani et al., 1987) มะละกอจะลวกในน้ำเดือดนาน 5 นาที (Levi et al., 1983) มะม่วงจะลวกด้วยไอน้ำนาน 2 นาที (เหมาภรณ์, 2530) รุ่งนภา (2538) ทดลองลวกสับปะรดที่หั่นเป็นแว่นด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ในเวลาต่าง ๆ กัน พบว่าการลวกในน้ำร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จะให้ค่าระดับการเกิดสีน้ำตาลต่ำที่สุดและสะดวกในการแปรรูป ส่วน Ponting (1973) แนะนำว่าควรทำการลวกผลไม้ด้วยไอน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 2-5 นาที ขึ้นกับขนาดของชิ้นผลไม้ การใช้ความร้อนในการลวกผลไม้ สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียคุณภาพ เช่น มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร และการเกิดเม็ดสี นอกจากนี้การลวกที่เหมาะสมยังช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส เพื่อเพิ่มอัตราการแพร่ของน้ำตาลเข้าสู่เนื้อสับปะรดในระหว่างกระบวนการแช่อิ่มด้วย (รุ่งนภา, 2538; Ponting, 1973) ดังนั้นการลวกที่สั้นหรือนานเกินไปจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ทำให้เกิดสีผิดปกติหรือทำให้เนื้อสัมผัสนิ่มเละ นอกจากนี้การลวกยังทำให้อัตราการทำแห้ง (drying rate) ของแครอทเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 33 (Mazza, 1983)

การลวกสามารถทำได้ในสารละลายต่าง ๆ กันขึ้นกับชนิดของผลไม้ เพื่อรักษาสีของผลให้คงที่ตามต้องการส่วนใหญ่จะนิยมใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถทำการลวกในสารละลายอื่น ๆ เช่น สารละลายกรดแอสคอร์บิค (Bolin and Huxsoll, 1993) หรือสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (sodlium metabisulphite) (Ramamurthy et al., 1978) หรือลวกด้วยสารละลายน้ำเชื่อม ซึ่งการลวกผลไม้ด้วยวิธีต่าง ๆ กันนี้จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ความชื้น วิตามิน และกลิ่นรส การลวกมะละกอด้วยน้ำร้อนจะทำให้สูญเสียน้ำหนัก (weight loss) ร้อยละ 9.5-11 ในขณะที่การลวกในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 70 จะทำให้มะละกอสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 3-4 เท่านั้น (Levi et al., 1983)

2.3.2 อัตราส่วนระหว่างปริมาณสารละลายและชิ้นผลไม้

การใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายน้ำตาลและผลไม้เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำและการซึมซับของน้ำตาล Lenart และ Flink (1984) ทดลองใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 60 ° Brix ตั้งแต่ 1:1 จนถึง1:10 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคที่ 21 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50.4 เป็น 61.0 โดยน้ำหนัก และอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในผลไม้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 13.0 เป็น 16.9 โดยน้ำหนัก สามารถอธิบายได้ว่า อัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลต่อผลไม้ที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำที่ซึมออกจากชิ้นผลไม้มีผลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายเพียงเล็กน้อย ดังนั้นความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์ผลไม้ และสารละลายภายนอกจึงมีค่าสูงอยู่ตลอดเวลา จึงเกิดการถ่ายเทมวลได้เร็วกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลในปริมาณน้อย (Bongirwar and Sreenivasan, 1977)

2.3.3 อุณหภูมิ

การเลือกใช้อุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 40 และ 50 องศาเซลเซียส จะทำให้เวลาในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคจนถึงจุดสมดุลของสับปะรดลดลงจาก 350 เป็น 210 และ 120 นาทีตามลำดับ (Beristain et al., 1990) ดุลย์จิรา (2538) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ออสโมติคสับปะรดจาก 50 เป็น 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีผลให้อัตราการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 35.75 เป็น 39.46 และ 40.58 ตามลำดับ ทำนองเดียวกันอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในสับปะรดจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 15.39 เป็น 18.70 และ 21.35 เช่นกัน ซึ่งปรากฏการดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานการทดลองของสุธีรา (2504) และจิราภรณ์ (2536)

2.3.4 การเคลื่อนที่ของสารละลาย

เนื่องจากขณะทำแห้งด้วยวิธีออสโมติค น้ำที่มีอยู่ในชิ้นผลไม้จะไหลออกมายังบริเวณสารละลายภายนอก ทำให้บริเวณรอบๆ ชิ้นผลไม้มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเจือจางกว่าบริเวณอื่น การกวนให้สารละลายน้ำตาลเกิดการเคลื่อนที่จะทำให้ชิ้นผลไม้ได้สัมผัสกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่สูงตลอดเวลา เป็นผลให้อัตราการเกิดออสโมติคเร็วกว่าในสารละลายที่ไม่มีการเคลื่อนที่ (Bolin et al., 1983 ; Bolin and Huxsoll, 1993 ; Saurel et al., 1994) สุธีรา (2540) ทำการทดลองลดเวลาในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคสับปะรดโดยให้สารละลายน้ำตาลมีการเคลื่อนที่แบบจังหวะทุก ๆ 30 นาที และการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง พบว่าสามารถลดเวลาในการแช่อิ่มสับปะรดให้เหลือเพียง 15 ชั่วโมง และ 7 ชั่วโมงตามลำดับ ในขณะที่การทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคโดยไม่มีการเคลื่อนที่ของน้ำตาลเลย จะต้องใช้เวลาทั้งหมด 48 ชั่วโมง

3. แป้งมันสำปะหลัง

3.1 องค์ประกอบ

แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ลักษณะเด่นของแป้งมันสำปะหลังคือ มีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งเจือปนต่ำกว่าแป้งชนิดอื่นๆ โดยมี สตาร์ช (starch) อยู่มากกว่าร้อยละ 95 และมีปริมาณโปรตีนและไขมันอยู่ค่อนข้างต่ำ (<1%) มีฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.04% (Davie et al.,1980) ลักษณะของเม็ดแป้งเมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลมหรือรูปไข่ และมีรอยปุ่มที่ปลายด้านหนึ่งของเม็ดแป้ง โดยส่วนใหญ่จะมีขนาดปานกลางคืออยู่ในช่วง 3-40 ไมครอน และมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 12 –15 ไมครอน

แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างต่ำ คือ 18 – 23% (Defloor et al.,1998) โดยมีค่า degree of polymerization (DP) ตั้งแต่ 1,100-3,220 (Sriroth et al.,1999) ซึ่งทั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการวัด คุณสมบัติในการเกิดปฏิกริยากับน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำแป้งไปใช้ประโยชน์ เม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเมื่อได้รับความร้อน พลังงานความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของเม็ดแป้ง ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระของเม็ดแป้งได้ เม็ดแป้งจะเริ่มพองขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายของเม็ดแป้ง การลายของแป้งมันสำปะหลังมีค่าประมาณ 35% ที่อุณหภูมิ 95 °C ซึ่งมากกว่าแป้งข้าวโพด แต่ต่ำกว่าแป้งมันฝรั่ง ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตที่สามารถแตกตัวและจับกับน้ำได้ดี จึงช่วยให้แป้งมันฝรั่งมีกำลังการพองตัวสูงมาก (>1,000) ในระหว่างที่ให้ความร้อนเม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ จะเริ่มดูดซึมน้ำและพองตัวไปพร้อมๆ กับการที่สูญเสียความสามารถในการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ (birefringence) ลักษณะเช่นนี้จะทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งเป็นแบบผันกลับไม่ได้ โดยเกิดเจลาติไนซ์ (gelatinization) แป้งแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นและช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์แตกต่างกัน ในกรณีของแป้งมันสำปะหลังอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์จะอยู่ในช่วง 58 – 70 °C (Moorthy,1985)

โดยทั่วไปเมื่อเม็ดแป้งที่พองตัวได้รับความร้อน จะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพของแป้งเปียก (paste) ที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อแป้งเปียกเย็นลงจะเกิดเป็นเจลขึ้น ลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลังที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนอุณหภูมิและกวนตลอดเวลา สามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่องวัดความหนืด Rapid Visco Analyzer หรือ Brabender Viscoamylograph โดยความร้อนและแรงกลที่ได้รับอย่างต่อเนื่องจะทำให้แป้งเปียกมีความหนืดลดลง เนื่องจากแป้งเปียกของมันสำปะหลังมีความคงตัวต่ำ เมื่อเย็นตัวลงความหนืดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีอะมิโลสค่อนข้างต่ำ จึงไม่เกิดการจับตัวกันของหมู่ไฮดรอกซิลในขณะที่เย็นตัว (retrogradation) แป้งมันสำปะหลังจึงเป็นแป้งที่มีการคืนตัวต่ำ และให้ลักษณะของแป้งเปียกที่ใส ไม่ทึบแสง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่น

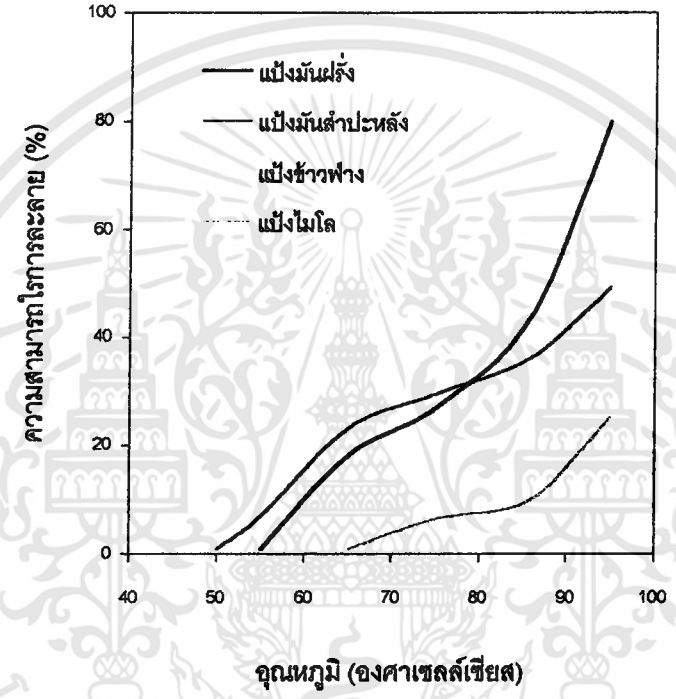
3.2 การดูดซับน้ำ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2545)

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศ จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17% จากการทดลองของ Leach (1965) พบว่าแป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว สามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณ 39.9, 42.9, 50.9 และ 51.4 กรัมต่อน้ำหนักแป้งแห้ง 100 กรัม ตามลำดับ

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูป bound water และน้ำในรูปอิสระ (free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8 ถึง 10 % สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้ง จะได้สตาร์ชโมโนไฮเดรต [$n(C_6H_{10}O_5.H_2O)$]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่และผ่านเข้าไปในร่างแหไมเซลล์ (micelles) ในเม็ดแป้งได้อย่างอิสระ ทดสอบได้จากการแขวนลอยเม็ดแป้งในสารละลายไอโอดีนเจือจาง จะเกิดสีขึ้นในเม็ดแป้งเมื่อใส่โซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate) ลงไป พบว่าสีจะหายไปอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเม็ดแป้งประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากซึ่งทำหน้าที่เป็น molecular sieve รูพรุนเหล่านี้อาจเกิดจะขึ้นในขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแป้งหรืออาจมีอยู่แล้วในธรรมชาติแต่มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นเนื่องจากขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแป้ง



<u>รูปที่ 3</u> รูปแบบการละลายของแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งไมโล
ที่มา : Leach et al.(1959)

แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของอุณหภูมิเจลาติไนซ์เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆกันหรือ water bridges แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เกิดการละลายซึ่งเม็ดแป้งจะพองตัว ความหนืดและความใสจะเพิ่มขึ้น ซึ่งกำลังการพองตัวของเม็ดแป้งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของแป้ง ปริมาณและโครงสร้างของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน สารอื่นๆที่มีอยู่ในเม็ดแป้ง เช่น ไขมัน ฟอสเฟต เป็นต้น แป้งที่มีอะมิโลสสูงจะมีกำลังการพองตัวต่ำกว่าแป้งที่มีอะมิโลสต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของอะมิโลสที่เป็นเส้นตรงจะทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอะมิโลสสามารถจับตัวกับไขมันทำให้ขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้งได้ แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลสต่ำ จึงมีกำลังการพองตัวที่ดี และมีความสามารถในการละลายได้ซึ่งสัมพันธ์กับการพองตัวของเม็ดแป้ง กำลังการพองตัวของแป้งจะเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ โดยรูปแบบของการละลายของแป้ง แสดงดังภาพที่ 3 จากลักษณะการละลายของน้ำแป้งที่เกิดขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนซ์ ดังนั้นถ้าทำให้น้ำแป้งมันสำปะหลังเกิดเจลอย่างสมบูรณ์แล้วควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่า 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนซ์แป้งมันสำปะหลังแล้ว น้ำแป้งก็จะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับสารละลาย (Defloor,1998) และอาจจะสามารถนำมาใช้ในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคได้เช่นเดียวกับสารละลายชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบและสารเคมี

1.1 วัตถุดิบ

1.1.1 สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

1.1.2 น้ำตาลทราย (น้ำตาลซูโครส)

1.1.3 แป้งมันสำปะหลัง

1.2 สารเคมี

1.2.1 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

1.2.2 โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

อุปกรณ์

2.1 ขวดแก้วปากกว้าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 5 นิ้ว มีฝาปิด

2.2 ถาดสแตนเลส

2.3 มีดและเขียง

2.4 ตาข่ายสำหรับใส่ผลไม้

2.5 ภาชนะสำหรับวัดความชื้น (Aluminium can)

เครื่องมือ

3.1 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.3 รีแฟรคโตมิเตอร์ (Hand refractometer) N_1 (0 -30 °Brix) , N_3 (50 -70 °Brix)

3.4 เทอร์โมมิเตอร์ (-10) – 110 °C

3.5 โถดูดความชื้น (Dessicator)

3.6 ตู้อบลมร้อน (Hot–air oven) 45 –180 °C

3.7 เครื่องวัดค่า Water activity รุ่น Thermoconstanter

3.8 เครื่องสไลด์

3.9 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer

3.11 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)

3.12 เครื่องอัดความดัน Prototype Hydrostatic Pressure Cell

<u>รูปที่ 4</u> เครื่องอัดความดัน Prototype Hydrostatic Pressure Cell

(ศึกษาและดัดแปลงจาก Hydrostatic Pressure Cell รุ่น *vivo* ของบริษัท Nova Swiss)

เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

4.2 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการคำนวณทางสถิติ (SPSS 10.0.5 for Windows, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะในการใช้แป้งมันสำปะหลังในการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมติค

เตรียมชิ้นสับปะรด โดยนำผลสับปะรดที่ปลอกเปลือกแล้วมาหั่นให้เป็นชิ้น ขนาด 2.0 x 2.0 x 0.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักนำไปนึ่งโดยใช้ไอน้ำเป็นเวลา 5 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.7 % และโซเดียมซัลเฟต 2.0% วางทิ้งไว้บนตระแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำ

1.1 การศึกษาด้านความหนืดของสารละลายน้ำแป้ง

เตรียมสารละลายแป้งโดยใช้แป้งมันสำปะหลัง ที่มีความเข้มข้นในระดับต่างๆกัน ตั้งแต่ 2 , 4 , 6 , 8 และ 10 %โดยน้ำหนักโดยละลายในน้ำเย็นและให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65 °C โดยคนสารละลายอย่างต่อเนื่อง จนมีลักษณะใสและมีความหนืดเพิ่มขึ้น นำน้ำแป้งที่ได้ไปให้ความร้อนเพื่อทำให้เกิดเจลที่สมบูรณ์ด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่ระดับของอุณหภูมิ 80 , 100 และ 120 °C เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำมาแช่ทิ้งไว้ใน water bath เพื่อรักษาระดับของอุณหภูมิไว้ที่ 55 °C แล้วนำสารละลายน้ำแป้งดังกล่าวไปวัดความหนืดด้วย Brookfield viscometer

1.2 การศึกษาความสามารถในการดึงน้ำออกจากชิ้นสับปะรดของแป้งมันสำปะหลัง

เตรียมสารละลายน้ำแป้งด้วยวิธีเดียวกับการทดลองในข้อ 1.1 นำชิ้นสับปะรดที่ผ่านการเตรียมไว้แล้วมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 0.0001 กรัม แล้วนำไปแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้ ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายไว้ที่ 55 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นสับปะรดออกมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้น โดยคำนวณผลที่ได้ออกมาเป็นปริมาณน้ำที่สูญเสีย

2. การศึกษาผลของการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมติคด้วยสารละลายน้ำแป้งและน้ำตาล

เตรียมสารละลายโดยใช้น้ำตาลที่ความเข้มข้น 15 °Brix แล้วนำน้ำเชื่อมที่ได้มาละลายแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมไว้ ให้มีความเข้มข้นของแป้งมัน 6 , 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำไปให้ความร้อน ด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C จนเกิดเป็นเจลที่สมบูรณ์

2.1 ศึกษาการผลของน้ำตาลร่วมกับแป้งมันสำปะหลังในการออสโมติค

นำชิ้นสับปะรดที่ผ่านการเตรียมด้วยขั้นตอนเดียวกับการทดลองในข้อ 1 มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 0.0001 กรัม แล้วแช่ลงในสารละลายน้ำแป้งผสมน้ำตาลที่เตรียมไว้ ทำการทดลองเช่นเหมือนกับข้อ เพื่อหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย

2.2 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยสารละลายน้ำตาลและน้ำแป้ง

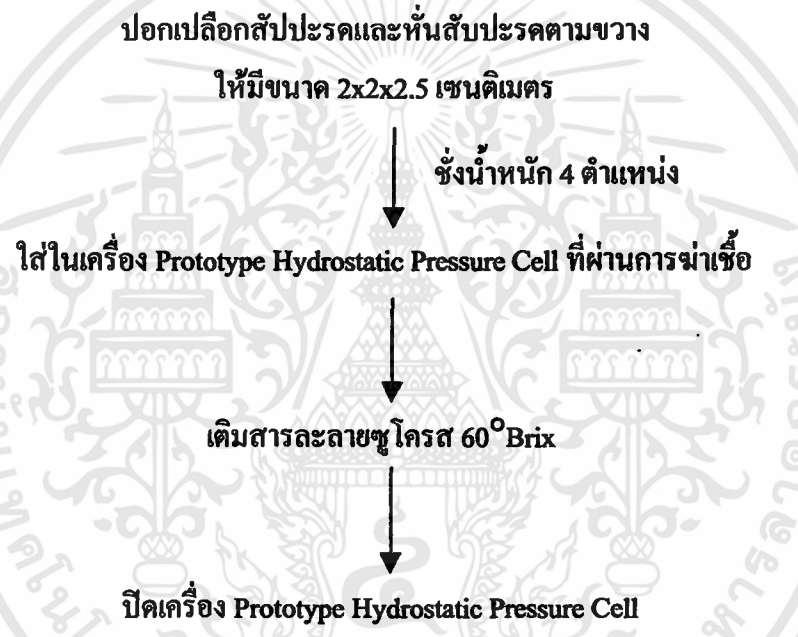
นำผลการทดลองที่ดีที่สุดจาก ข้อ 2.1 โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำที่สูญเสีย มาทำการทดลองร่วมกับการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยน้ำตาลที่ความเข้มข้น 60 °Brix โดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยพิจารณาในด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความหวาน และการยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรวม โดยเปรียบเทียบกับสับปะรดสด โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝน ซึ่งเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรจำนวน 20 คน

3. การศึกษาผลของความดันต่อการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติค

เตรียมสารละลายน้ำตาลเข้มข้น 60 °Brix และเครื่อง Prototype Hydrostatic Pressure Cell (Maximum Pressure 2300 psi) ได้ตามขั้นตอนในรูปที่ 5 โดยเตรียมสารละลาย 60 °Brix ได้จากการผสมน้ำตาลทรายกับน้ำ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วตรวจสอบ °Brix ด้วย รีแฟรคโตมิเตอร์ และทำการฆ่าเชื้อ Prototype Hydrostatic Pressure Cell ด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วเทน้ำออก ปิดเครื่องทำความดัน



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงวิธีการทดลองการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคร่วมกับความดัน

3.1 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มด้วย สารละลายน้ำตาลโดยใช้ความดัน

ในการทดลองจะดำเนินการตามแผนภาพในรูปที่ 5 โดยแปรผันความดันเป็น 4 ระดับ คือ 0 , 500 1000 และ 2000 psi เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นทำการอบแห้งชิ้นสับปะรดในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนซึ่งเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร จำนวน 20 คน ทำการประเมินคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความหวาน ใช้วิธีการทดสอบแบบ 5 point Hedonic Scaleให้ 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 5 เป็นคะแนนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชอบมากที่สุด ที่มีรหัสตัวอย่าง 3 ตัวและแนะนำให้ผู้ทดสอบบ้วนปากโดยใช้น้ำสะอาดก่อนการชิมตัวอย่าง

3.2 การศึกษาผลของความดันต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในเวลาที่แตกต่างกัน

ทำการทดลองโดยเลือกความดันที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากการยอมรับของผู้บริโภคในข้อ 3.1 นำมาศึกษาเปรียบเทียบกับกระบวนการที่ไม่มีความดัน (ความดันบรรยากาศ) โดยใช้สารละลายน้ำตาลเข้มข้น 60 °Brix โดยน้ำชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมติคที่เวลาต่างๆกัน ทุก 30 นาที จนครบ 12 ชั่วโมงหรือจนกว่าความชื้นจะคงที่

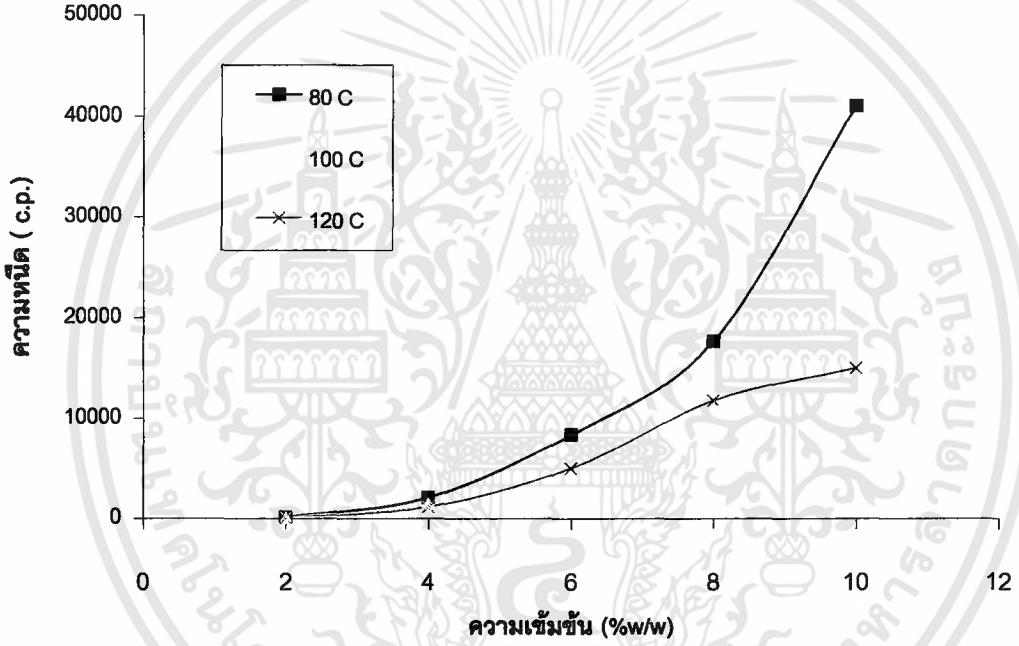
97102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.1 การศึกษาด้านความหนืดของสารละลายน้ำแป้ง

เมื่อนำสารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, และ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่มีอุณหภูมิในการเกิดเจล 80, 100, 120 °C มาวัดความหนืดด้วย Brookfield viscometer พบปัจจัยจากความเข้มข้นของน้ำแป้งต่อความหนืด ($P \leq 0.05$) โดยสารละลายน้ำแป้งมีความหนืดสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่แตกต่างกันในการเกิดเจลจะทำให้ความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 แสดงผลของอุณหภูมิในการเกิดเจลและความเข้มข้นต่อความหนืดของสารละลายน้ำแป้ง

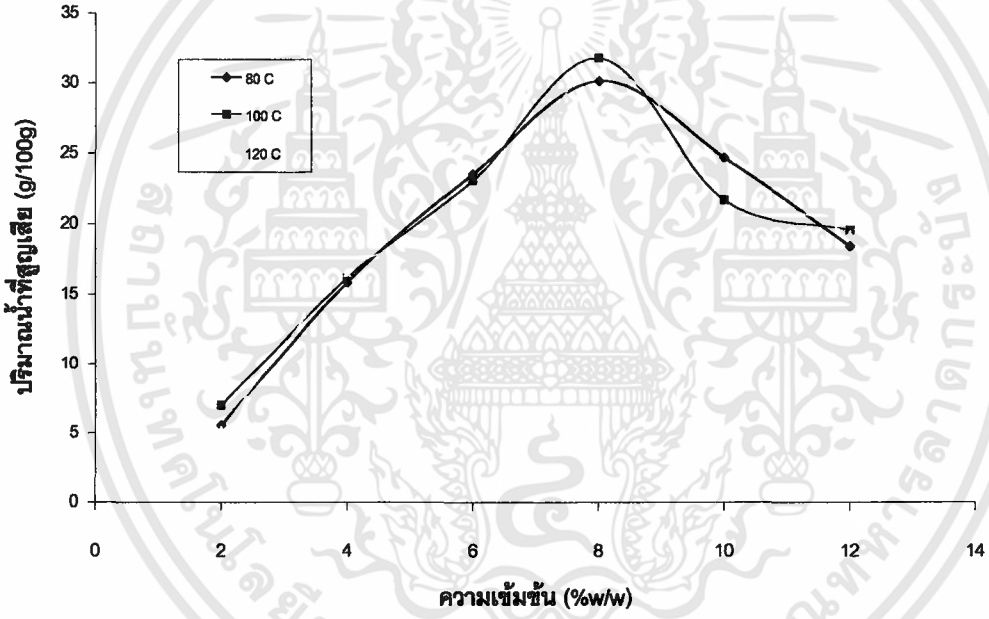
เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลสต่ำ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)โครงสร้างของเจลจึงมีความคงตัวต่ำ เมื่อได้รับความร้อน การใช้ความร้อนในระดับที่แตกต่างกันย่อมมีผลให้ความหนืดที่แตกต่างกันด้วย

1.2 การศึกษาความสามารถในการดึงน้ำออกจากชิ้นสับปะรดของแป้งมันสำปะหลัง

สับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ที่มีอุณหภูมิในการเกิดเจล 80, 100, 120 °C พบว่ามีน้ำหนักลดลง เนื่องจากน้ำที่อยู่ในเซลล์ของชิ้นสับปะรด จะถูกดึงออกมาด้วยแรงดันออสโมติดที่เกิดขึ้นและการดูดซึมน้ำของเม็ดแป้ง เมื่อนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นที่ได้จากการอบแห้งมาคำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสีย หลังจากผ่านกระบวนการออสโมซิส นั้นพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การสูญเสียน้ำจากชิ้นสับปะรดเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำแป้งสูงกว่า 8 % ไม่พบอิทธิพลของการดึงน้ำออกจากชิ้นสับปะรดเนื่องจากความหนืดของสารละลายแป้ง ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปภาพที่ 7 เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง ไม่พบปัจจัยของอุณหภูมิในการเกิดเจลต่อค่า Water Loss สามารถอธิบายได้ว่าที่อุณหภูมิของการเกิดเจลแตกต่างกันและความหนืดต่างกัน ไม่มีผลต่อปริมาณการสูญเสียน้ำของชิ้นสับปะรด ($P > 0.05$) ซึ่งที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำแป้ง 8 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิของการเกิดเจลที่ 100 °C สามารถทำให้ชิ้นสับปะรดสูญเสียน้ำได้มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 31.82 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสับปะรดลดลง สามารถอธิบายได้ว่าจากการทดลองมีผลต่อการสูญเสียน้ำ รวมทั้งน้ำตาลในชิ้นสับปะรด



รูปที่ 7 ผลของความเข้มข้นและความหนืดของสารละลายน้ำแป้งที่มีต่อการออสโมติคสับปะรด

2.1 ศึกษาผลของน้ำตาลร่วมกับแป้งมันสำปะหลังในการออสโมติค

จากการทดลองในข้อ 1.2 พบว่าผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการออสโมติคด้วยสารละลายน้ำแป้ง มีข้อบกพร่องในด้านลักษณะปรากฏของชิ้นสับปะรดภายหลังอบแห้ง เนื่องจากน้ำตาลซึ่งเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์แพร่ออกมาสู่สารละลายภายนอก ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการทดลองโดยใช้น้ำตาลร่วมเป็น osmotic medium ทั้งนี้ได้เลือกใช้ปริมาณ 15 ° Brix ซึ่งเท่ากับปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ในน้ำสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่าการน้ำตาล มีผลต่อการรักษาปริมาณของแข็งในชิ้นสับปะรดไว้ได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับสับปะรดสด และจากผลการทดลอง (ตารางที่ 1) พบว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แป้งเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบผลของการเติมน้ำตาลต่อปริมาณของแข็งที่เหลือหลังการอบแห้งและปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการออสโมติค

ความเข้มข้น (%w/w)		Water loss	Total solid
แป้ง	น้ำตาล	(g/100g)	(g/100g)
6%	0%	23.09	4.19
	15%	32.02	16.27
8%	0%	31.28	6.12
	15%	42.11	16.22
10%	0%	21.68	7.91
	15%	26.30	15.61
ผลสับปะรดสด			16.91

หมายเหตุ ผลการทดลองในตารางนี้ (ที่น้ำตาล 0%) เป็นการนำข้อมูลจากการทดลองในข้อ 1.2 มาทำการเปรียบเทียบ ไม่ได้ทำการทดลองพร้อมกันและค่าที่ได้ไม่ได้เกิดจากการใช้สับปะรดผลเดียวกัน ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ผลในเชิงสถิติได้

2.2 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยสารละลายน้ำตาลและน้ำแป้ง

ในการทดลองเปรียบเทียบทางประสาทสัมผัสทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความหวานนั้นพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนของสับปะรดที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายน้ำแป้งผสมน้ำตาลในระดับที่ใกล้เคียงกับผลสดมากกว่า โดยการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจน ในขณะที่การแช่ในน้ำตาลนั้นผู้บริโภคให้คะแนนทางด้าน รสชาติ และความหวาน แตกต่างกับผลสดอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งผลของการทดสอบแสดงไว้ใน ตารางที่ 2 แต่ผลการทดลองดังกล่าวนั้นไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เนื่องจากในการทดลองได้นำผลสดไปเป็นตัวอย่างทำการเปรียบเทียบพร้อมกับใช้เป็นมาตรฐานในการอ้างอิง ซึ่งอาจทำให้ผู้บริโภคเกิดความสับสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18406

ตารางที่ 2 แสดงคะแนนเปรียบเทียบความแตกต่างของสับปะรดที่ผ่านการออสโมติคด้วยสารละลายน้ำแป้งน้ำตาล กับสด

ตัวอย่าง	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความหวาน	โดยรวม
ผลสด	2.10	1.95	2.15 [a]	1.90 [b]	2.00
แช่แป้งผสมน้ำตาล	2.00	1.70	1.85 [ab]	1.95 [b]	1.85
แช่น้ำตาล	1.60	1.95	1.60 [b]	2.55 [a]	1.95

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

3.1 ผลการศึกษาการทำแห้งแบบออสโมติคร่วมกับการใช้ความดัน ต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของชิ้นสับปะรด

ศึกษาการทำแห้งแบบออสโมติค โดยแปรผันความดันเป็น 4 ระดับ คือ 0 , 500 , 1000 และ 2000 psi ซึ่งได้ผลการทดลองดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มแห้งที่ระดับความดันต่าง ๆ

ระดับความดัน (psig)	ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	ความหวาน
0	3.10[ab]	3.05[a]	3.05
500	3.65[a]	3.60[a]	3.30
1000	3.45[ab]	3.25[a]	3.30
2000	3.05[b]	2.40[b]	3.55

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากการทดลอง เมื่อพิจารณาคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ พบว่าที่ความดัน 500 psi ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด ในขณะที่ระดับความดัน 2000 psi มีคะแนนการยอมรับน้อยที่สุด ส่วนในด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ที่ความดัน 0 , 500 และ 1000 psi ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่แตกต่างอย่างชัดเจนกับระดับความดัน 2000 psi และในด้านความหวาน พบว่าที่ระดับความดันต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$)

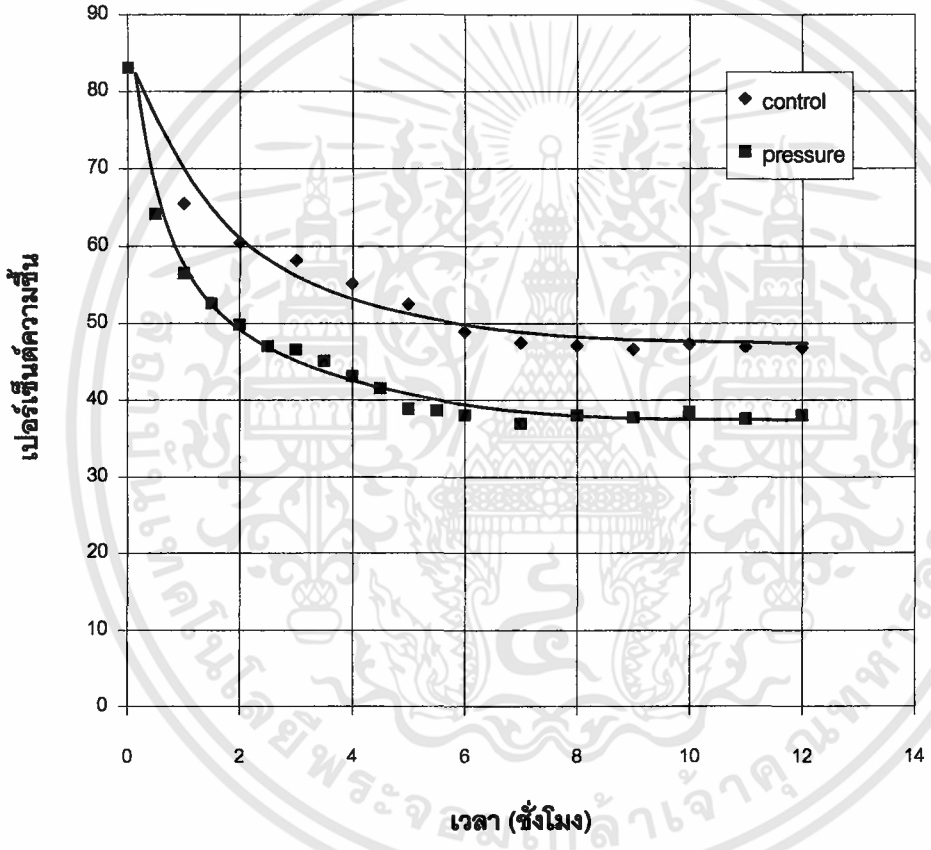
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

จากการพิจารณาพบว่า ที่ระดับความดัน 1000 psi เป็นความดันระดับสูงที่สุดที่ผู้บริโภคยังให้การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสอยู่ และในการทดลองในหัวข้อนี้เน้นศึกษาผลของความดันต่อชิ้นสับปะรด จึงเลือกระดับความดันที่ 1000 psig เพื่อนำไปศึกษาต่อในการทดลองขั้นต่อไป

3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้วิธีการทำแห้งแบบออสโมติคร่วมกับความดัน

จากผลการทดลองทางด้านประสาทสัมผัสในข้อ 3.1 พบว่าที่ระดับความดัน 1000 psi เป็นระดับความดันสูงที่สุดที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ จึงได้นำระดับความดันนี้มาทำการศึกษาต่อ ผลการทดลองแสดงไว้ใน รูปที่ 8



<u>รูปที่ 8</u> แสดงปริมาณความชื้นที่ระดับความดันบรรยากาศ และระดับความดัน 1000 psi ที่เวลาต่างๆ

จากผลการทดลอง (รูปที่ 8) พบว่าการเพิ่มความดัน 1000 psi ให้กับกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคนั้น จะทำให้ความชื้นลดลงได้มากกว่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกระบวนการที่ไม่ใช้ความดันในระดับความชื้นที่เท่ากันจะใช้เวลาสั้นกว่าด้วย โดยพบว่าที่เวลา 7 ชั่วโมงของการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคแบบปกติความชื้นของชิ้นสับปะรดเริ่มคงที่ ในระดับ 47 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเท่ากับการใช้ความดันในเวลา 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการทำให้เป็นเจล มีผลต่อการสูญเสียความชื้นของสับปะรดด้วยกลไกของการออสโมติค

2. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสับปะรดที่แช่สารละลายน้ำแป้งผสมกับน้ำตาลที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ 15 ° Brix มีลักษณะทางด้าน รสชาติ และความหวาน ใกล้เคียงกับผลสดมากกว่าการใช้น้ำตาลที่ความเข้มข้น 60 ° Brix เพียงอย่างเดียว

3. วิธีการทำแห้งแบบออสโมติคร่วมกับการเพิ่มความดัน พบว่า ความดันสูงสุดที่สามารถใช้กับชิ้นสับปะรดแล้วผู้บริโภคยังให้การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส คือ 1000 psi โดยสามารถลดปริมาณความชื้นลงเหลือเพียง 37.79 % และเมื่อเปรียบเทียบการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคแบบปกติซึ่งจะใช้เวลา 7 ชั่วโมง ที่ปริมาณความชื้นเท่ากัน การใช้ความดันจะสามารถลดเวลาเหลือเพียง 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรุณา วงษ์กระจ่าง. 2535. การทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 132 หน้า.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปียะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 หน้า.

จิราภรณ์ สอดจิตร์. 2536. กลไกการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส. วิทยานิพนธ์ปริญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, กรุงเทพฯ. 174 หน้า

ดุลย์จิรา สุขบุญญสถิตย์. 2538. ตัวแปรที่มีผลต่อการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสในซูโครสไซรัป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเพฯ. 143 หน้า.

บุญมา ซึงสนธิพร. 2528. มะม่วงแช่อิ่ม. วารสารอาหาร 15 (3) : 151-157.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2538. การยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 13 : 50-55.

วิไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น, กรุงเทพฯ. 401 หน้า.

สุธีรา เลิศวุฒิชัยกุล. 2540. การลดเวลาในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 96 หน้า.

สุรพล สมบูรณ์. 2532. ผลไม้อบแห้ง...อีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจ. เกษตรอุตสาหกรรม 5 (49) : 75-79.

เหมาภรณ์ กำแพงเศรษฐ. 2530. คุณภาพมะม่วงตากแห้งหวานและมะม่วงกระป๋องจากมะม่วงสายพันธุ์ต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 102 หน้า

อ่อนรวี รัตนาพันธ์. 2533. หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมติค. วารสารอาหาร 20 (4) : 240 - 245.

อารีย์ เทียนไชย และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2534. การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดแช่อิ่ม. วารสารเกษตรศาสตร์ 25 : 206-218.

อุดมเกียรติ พรรธนประเทศ. 2531. ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผัก ผลไม้สด คองและแช่อิ่ม. วารสารกรมวิทยาศาตร์ 30 (4) : 239-246.

AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. 1298 p.

Bailon, G.L. 1990. Osmotic dehydration of mango and its effect on quality. Thesis. AIT, Bangkok.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baldry, J., G.R. Breag, J.C. Caygill, R.D. Cooke, C.E.M. Ferber, and L. Kanagasabapathy. 1976. Alternative methods of processing mangoes. Indian Food Packer 30 (5) : 56-62

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

Biswal, R.N., K. Bozorgmehr, F.D. Tompkins, and X. Liu. 1991 Osmotic concentration of Green beans prior to freezing. J. Food Sci. 56 : 1008-1012.

Bolin, H.R. and C.C. Huxsoll. 1993. Partial drying of cut pears to improve freeze/thaw texture. J. Food Sci. 58 : 357-360.

Bolin, H.R., C.C. Huxsoll, R. Jackson and K.C. NG. 1983. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. J. Food Sci. 48 : 202-205.

Bongiawar, D.R. and A. Sreenivasan. 1977. Studies on osmotic dehydration of banana. J. Food Sci. and Technol. 14 : 104-112.

Christian, B. 1991. Dehydration of Jackfruit using osmosis-drying techniques. Thesis. AIT, Bangkok.

Contreras, J.E. and T.G. Smyrl. 1981. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 14 (4) : 310-314.

Conway, J., F. Castaigne, and G.P. Vovan. 1983. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. Can. Inst Food Sci. Technol. J. 16 (1) : 25-29.

Davies, T., D.C. Miller, and A.A. Proeter. 1980. Inclusion complexes of free fatty acids with amylose. *Starch/Starke*. 32(5) : 149-158.

Defloor, I., I. Dehenj, and J.A. Delcour. 1998. Physio-chemical properties of cassava starch. *Starch/Starke*. 50 : 58-64.

Dixon, G.M. and J.J. Jen. 1977. Changes of sugars and acids of osmovac-dried apple slice. J.FoodSci. 42 : 1126-1127.

Giangiacomo, R., D. Torreggiani, and E. Abbo. 1987. Osmotic dehydration of fruit. part 1: sugars exchange between fruit and extracting syrups. J. Food Proc. and Pres. 11 : 183-195.

Hawkes, J. and J.M. Flink. 1978. Osmotic cocentration of fruit slices prior to freeze dehydration. J. Food Proc. and Pres. 2 : 265-284.

Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch. *In* : Starch : Chemistry and Technology Vol I. R.L. Whistler, E.F. Paschall, J.N. BeMiller, and H.J. Roberts (Eds.). Acadamic Press, New York. 289-307.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lenart, K. and J.M. Flink. 1984. Osmotic concentration of potato I : criteria for the end - point of the osmosis process. Food Technol. 19 : 45-63.

Lerici, C.R., G. Pinnavaia, M. Dalla Rosa, and L. Bartolucci. 1985. Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality. J. Food Sci. 50 : 1217-1226.

Levi, A., S. Gagel and B. Juven. 1983. Intermediate moisture tropical fruit products for developing countries I technological data on papaya. Food Technol. 18 : 687-685.

Mazza, G. 1983. Dehydration of carrots ; effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. Food Technol. 18 : 113-123.

Moorthy, S.N. 1985. Acetylation of cassava starch using perchloric acid catalysis. *Starch/Starke.* 37 (9) : 307-308

Moy, J.H., N.B.H. Lau, and A.M. Dollar. 1978. Effects of sucrose and acids on osmovac-dehydration of tropical fruits. J. Food Proc. and Pres. 2 : 131-135.

Ponting, J.D. 1973. Osmotic dehydration of fruits : recent modifications and applications. Process Biochemistry 8 : 18-20.

Rahman, M.S. and J. Lamb. 1990. Osmotic dehydration of pineapple. J. Food Sci. and Technol. 27 : 150-152.

Ramamurthy, M.S., D.R. Bongirwar, and C. Bandyopadhyay. 1978. Osmotic dehydration of fruits : possible alternative to freeze drying. Indian Food Packer 32 (1) : 108-111.

Raoult-Wack, A.L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in Food Science and Technology 5 (8) : 255-260.

Raoult-Wack, A.L., G. Rios and S. Guilbert. 1995. Sucrose and osmotic dehydration. *In* : Sucrose Properties and Applications. M. Mathlouthi and P. Reiser (eds.). Blackie Academic & Professional, Glasglow. 278-290.

Ravindran, G. 1989. Osmotic dehydration of pineapple. *In* : Trends in Food Science. L.W. Sze and F.C. Woo (eds.). Conference, Singapore. 109-112.

Saurel, R., A.L. Raoult-Wack, G. Rios, and S. Guilber 1994 Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple : fresh plant tissue. Int. J. Food Sci. and Technol. 29 : 531-642.

Somogyi, L.P. and B.S. Luh. 1975. Dehydrations of fruits. *In* : Commercial Fruit Processing. J.G.. Woodroof and B.S. Luh (eds.). AVI Publishing Company Inc., Connecticut. 375-405.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sriroth, K., V. Santisopasri, C. Petchalanuwat, K. Piyachomkwan, K.Kurotjanawong, and C.G. Oates. 1999. Cassava starch granule structure-function properties : Influence of time and conditions at harvest on four varieties of cassava starch. Carbohydrate polymer. 38 : 161-170

Torreggiani, D., 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetable Processing. Food Research International. 26 : 69-68.

Torreggiani, D., E. Fomi and A. Rizzolo. 1987. Osmotic dehydration of fruit part II : influence of the osmotic time on the stability of processed cherries. J. Food Proc. and Pres. 12 : 27-44.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ค่าความชื้น AOAC. 1990-925.45 (b)

1.1 ชั่งน้ำหนักชิ้นสับปะรด ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมมีฝาปิด (ซึ่งอบแห้งและชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว)

1.2 นำไปอบแห้งในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 105 – 110 °C จนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ นำถ้วยอลูมิเนียมออกจากตู้อบพร้อมฝาปิดถ้วยให้สนิท นำเข้าไปไว้ในเดซิเคเตอร์ รอให้เย็น

1.3 ชั่งน้ำหนัก

1..4 คำนวณหาความชื้นจากสูตร

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

2. ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Bailon , 1990)

$$\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสีย} = \frac{[(WO \times WCO) - (WT \times WCT)] \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

WO	:	น้ำหนักของสับปะรดก่อนการออสโมติค
WT	:	น้ำหนักของสับปะรดหลังการออสโมติค
WCO	:	ร้อยละของความชื้นของสับปะรดก่อนการออสโมติค
WCT	:	ร้อยละของความชื้นของสับปะรดหลังการออสโมติค

3. ปริมาณของแข็ง (Bailon , 1990)

$$\text{ปริมาณของแข็ง} = \frac{1 - (\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัสเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง
ของผลิตภัณฑ์ สับปะรด ที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยสารละลายน้ำตาลและน้ำแป้ง

ชื่อผู้ทดสอบ_____วันที่ _____

โปรดให้คะแนนกับตัวอย่างโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน(Control) โดยเรียงลำดับจากตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงมากที่สุดไปหาตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงน้อยที่สุด โดยมีเกณฑ์ของการให้คะแนนดังนี้

1 = มีลักษณะแตกต่างกับตัวอย่างมาตรฐาน
2 = มีลักษณะค่อนข้างใกล้เคียงกับตัวอย่างมาตรฐาน
3 = มีลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่างมาตรฐานมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	Control			
สี	-	_____	_____	_____
กลิ่น	-	_____	_____	_____
รสชาติ	-	_____	_____	_____
ความหวาน	-	_____	_____	_____
โดยรวม	-	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ_____
_____

หมายเหตุ การทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นแบบ multiple comparisons โดยทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐานที่เป็นสับปะรดผลสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มด้วยสารละลายน้ำตาลโดยใช้ความดัน

ชื่อผู้ทดสอบ_____**วันที่** _____

กรุณาชิมตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ แล้วให้คะแนนตามการยอมรับของท่านต่อคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความหวาน ของตัวอย่างโดยมีเกณฑ์ของการให้คะแนนมีดังนี้

5 = ชอบมากที่สุด	3 = เฉย ๆ	1 = ไม่ชอบ
4 = ชอบมาก	2 = ไม่ค่อยชอบ	

รหัสตัวอย่าง				
ลักษณะปรากฏ	_____	_____	_____	_____
ลักษณะเนื้อสัมผัส	_____	_____	_____	_____
ความหวาน	_____	_____	_____	_____

ข้อเสนอแนะ_____

_____

หมายเหตุ การทดสอบเป็นแบบ Hedonic Scale - 5 point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความหนืดของสารละลายแป้งที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิในการเกิดเจลที่แตกต่างกัน

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Corrected Model	14	5271489657.788	376534975.556	1412.59*	0.000
ความเข้มข้น	4	4099495768.889	1024873942.222	3844.87**	0.000
อุณหภูมิ	2	405278777.778	202639388.889	706.21*	0.000
ความเข้มข้น*อุณหภูมิ	8	766715111.111	95839388.889	359.54*	0.000
Error	30	7996666.667	266555.556		
Total	45	965180100.000			
Corrected Total	44	5279486324.444			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ตารางผนวกที่ 2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณน้ำที่สูญเสียในชิ้นสับปะรด ที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคโดยใช้สารละลายแป้งที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิในการเกิดเจลระดับต่างๆ

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Corrected Model	17	4244.001	249.647	237.25*	0.000
ความเข้มข้น	5	4188.698	837.740	796.14**	0.000
อุณหภูมิ	2	3.287	4.644	1.56	0.219
ความเข้มข้น*อุณหภูมิ	10	52.016	5.202	4.94*	0.000
Error	54	56.821	1.052		
Total	72	32132.698			
Corrected Total	71	4300.822			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนเปรียบเทียบความแตกต่างด้านสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยสารละลายน้ำตาลและน้ำแป้ง

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Between Groups	2	2.800	1.400	1.966	0.149
Within Group	57	40.600	0.712		
Total	59	43.400			

ตารางผนวกที่ 3.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนเปรียบเทียบความแตกต่างด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยสารละลายน้ำตาลและน้ำแป้ง

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Between Groups	2	0.833	0.417	0.696	0.503
Within Group	57	34.100	0.598		
Total	59	34.933			

ตารางผนวกที่3.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนเปรียบเทียบความแตกต่างด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยสารละลายน้ำตาลและน้ำแป้ง

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Between Groups	2	3.033	1.517	2.408	0.099
Within Group	57	35.900	0.630		
Total	59	38.933			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนเปรียบเทียบความแตกต่างด้านความหวานของผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยสารละลายน้ำตาลและน้ำแป้ง

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Between Groups	2	5.233	2.617	4.178*	0.020
Within Group	57	35.700	0.626		
Total	59	40.933			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ 3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนเปรียบเทียบความแตกต่างด้านลักษณะ โดยรวมของผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติคด้วยสารละลายน้ำตาลและน้ำแป้ง

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Between Groups	2	0.233	0.117	0.1606	0.852
Within Group	57	41.500	0.728		
Total	59	41.733			

ตารางผนวกที่ 4.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มด้วยสารละลายน้ำตาลโดยใช้ความดัน

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Between Groups	3	15.250	5.083	4.934*	0.003
Within Group	76	78.300	1.030		
Total	79	93.550			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มด้วยสารละลายน้ำตาลโดยใช้ความดัน

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Between Groups	3	4.938	1.646	2.009	0.120
Within Group	76	62.250	0.819		
Total	79	67.188			

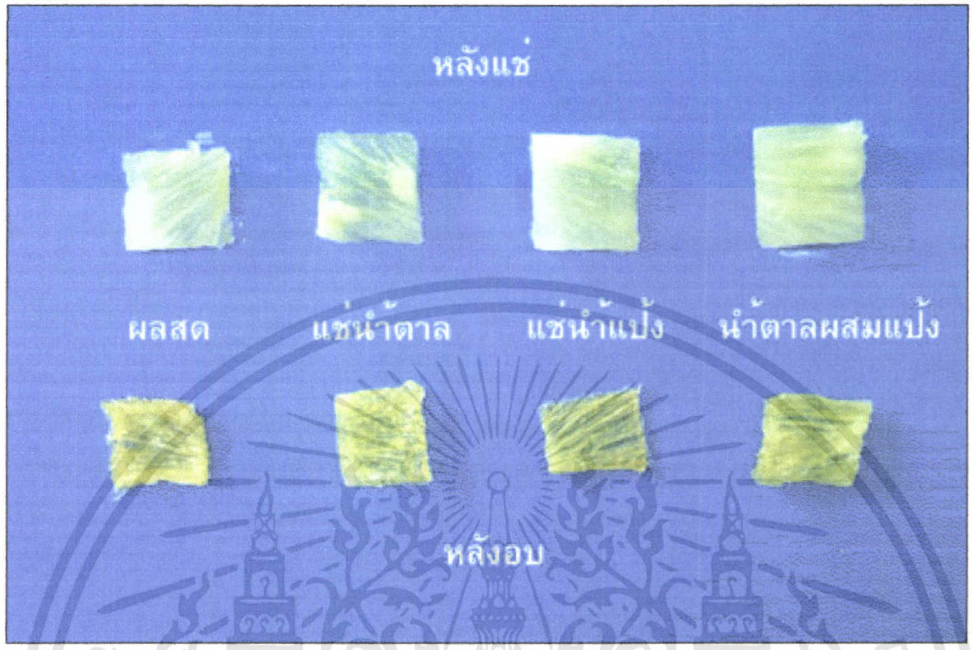
ตารางผนวกที่ 4.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนความชอบด้านความหวานในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มด้วยสารละลายน้ำตาลโดยใช้ความดัน

Source	dF	Sum of Squares	Mean Square	F_o	Sig.
Between Groups	3	2.500	0.833	1.166	0.328
Within Group	76	54.300	0.714		
Total	79	56.800			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

รูปภาพประกอบ



รูปที่ 9 แสดงลักษณะของชิ้นสับปะรดภายหลังการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคโดยใช้น้ำแป้ง น้ำตาล และ น้ำแป้งผสมน้ำตาลเปรียบเทียบกับผลสด

รูปที่ 10 แสดงลักษณะของชิ้นสับปะรดภายหลังการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติคโดยใช้ความดันที่ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้