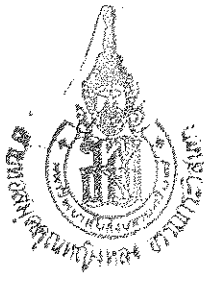
การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

Development of Intermediate Moisture Mangosteen by Osmosis



นฤมล พงษ์พิริยะเดชะ

Narumon Pongpiriyadacha

เลขหมู่ TP441.M3Y N44 2539 ฉ.2

Order Key 28962

Bib Key 98168

19 ก.ค. 2543

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Food Technology

Prince of Songkla University

2539

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

ผู้เขียน นางนฤมล พงษ์พิริยะเดชะ

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร)

.....กรรมการ
(ดร.ไพศาล วุฒิจำนงค์)

.....กรรมการ
(อาจารย์พิทยา อดุลยธรรม)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร)

.....กรรมการ
(ดร.ไพศาล วุฒิจำนงค์)

.....กรรมการ
(อาจารย์พิทยา อดุลยธรรม)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....
(ดร.ไพรัตน์ สงวนไทร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส
ผู้เขียน	นางนฤมล พงษ์พิริยะเดชะ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2538

หอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้รับแล้ว

วันที่ ... เดือน ... พ.ศ. ...

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาในการแช่ต่อปริมาณน้ำที่ลดลงและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในกลีบมังคุดระหว่างการออสโมซิส โดยวิธี Response Surface Methodology เพื่อคัดเลือกสภาวะของตัวแปรที่ใช้ในการแช่มังคุดเพื่อให้ค่าปริมาณน้ำที่ลดลงสูงสุด พร้อมทั้งให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำ โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 50-70 °บริกซ์ อุณหภูมิ 30-70 °ซ และเวลาในการแช่ 4-8 ชั่วโมง จากการทดลองได้คัดเลือกสภาวะการแช่ที่ให้ค่าปริมาณน้ำลดลงสูงสุดที่มีค่า 50, 51 และ 54 กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด และค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำที่มีค่า 14, 16 และ 2.7 กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบเล็กในสารละลายซูโครส 67 °บริกซ์ อุณหภูมิ 55 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส 68 °บริกซ์ อุณหภูมิ 62 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และสารละลายกลูโคส 69 °บริกซ์ อุณหภูมิ 54 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมงตามลำดับ สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ได้คัดเลือกสภาวะในการแช่ที่ให้ค่าปริมาณน้ำลดลงสูงสุดที่ 51, 51 และ 53 กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด และค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำที่ 10.5, 10.5 และ 1.6 กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด สำหรับการแช่ในสารละลายซูโครส 66 °บริกซ์ อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส 63 °บริกซ์ อุณหภูมิ 67 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และสารละลายกลูโคส 69 °บริกซ์ อุณหภูมิ 56 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมงตามลำดับ เมื่อนำมังคุดที่ผ่านการแช่ด้วยสภาวะดังกล่าวไปอบด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 °ซ ให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 15 แล้วทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่ามังคุดที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตสทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ได้รับการยอมรับมากที่สุด และพบว่าการอบแบบสุญญากาศให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 20 ได้รับการยอมรับมากที่สุด นำผลิตภัณฑ์ที่ได้บรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่าความชื้นและค่า Aw เพิ่มขึ้นเล็กน้อย พบปริมาณรา และยีสต์ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 เพียงเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น แต่ยังคงได้รับการยอมรับในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

Thesis Title	Development of Intermediate Moisture Mangosteen by Osmosis
Author	Mrs. Narumon Pongpiriyadacha
Major Program	Food Technology
Academic Year	1995

Abstract

The effects of type and concentration of sugar solution and immersion time on water loss and solid gain in the osmotic dehydration of mangosteen were studied. Response Surface Methodology was applied to determine the optimum condition (maximum water loss and minimun solid gain). Type of syrups were sucrose, mixture of sucrose and fructose, and glucose syrup, concentration of syrups 50-70 °Brix, temperature 30-70 °C, immersion time 4-8 hours. The second order model was fit to described relationship between water loss, solid gain and three independent variable. The optimum conditions for different syrups were following : the maxinum water loss were 50, 51 and 54 g water/100 g wet mangosteen while the minimum solid gain were 14, 16 and 2.7 g solid/100 g wet mangosteen for seedless mangosteen in sucrose solution 67 °Brix, at 55 °C for 8 hours, mixture of sucrose and fructose solution 68 °Brix, at 62 °C for 8 hours and glucose syrup solution 69 °Brix, 54 °C for 8 hours respectively, the other maxinum water loss were 51, 51 and 53 g water/100 g wet mangosteen while the minimum solid gain were 10.5, 10.5 and 1.6 g solid/100 g wet mangosteen for mangosteen with seed in sucrose solution 66 °Brix, at 60 °C for 8 hours, mixture of sucrose and fructose solution 63 °Brix, at 67 °C for 8 hours and glucose syrup solution 69 °Brix, 56 °C for 8 hours respectively. The osmotic dehydrated mangosteens were dried to 15 percent moisture content by vacuum oven at 65 °C and evaluted for organoleptic properties. Results from taste panel evaluation indicated that the osmotic dehydrated mangosteen in mixture of sucrose and fructose solution was the highest acceptable. The osmotic dehydrated

mangosteen in mixture of sucrose and fructose solution was studied on drying conditions and evaluated for organoleptic properties. Results from taste panel evaluation indicated that drying by vacuum oven at 65 ^{o}C to 20 percent moisture content was the highest acceptable. The product was packed in polypropylene bag and kept at the ambient temperature for 2 months and evaluated. Moisture content and water activity were slightly increased during storage. Molds and yeasts were sligthly found during 6 and 8 weeks. Lightness was slightly decreased. However the acceptable was up to 2 months of storage.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร.ไพศาล วุฒิจำนงค์ และอาจารย์พิทยา อดุลยธรรม กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในการค้นคว้าวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก กรรมการผู้แทนคณะอุตสาหกรรมเกษตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบรูณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ "โครงการวิจัยและพัฒนาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปมังคุด" ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเงินทุนในการวิจัยและการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่จำเป็นในงานวิจัย คุณกรุณา วงศ์กระจ่าง ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในงานวิจัย คุณหทัยทิพย์ หลีวิจิตร และเจ้าที่ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการศึกษาทดลอง คุณสิรินทร์ ขันตี ที่ให้ความช่วยเหลือในการพิมพ์วิทยานิพนธ์ และทำสไลด์ รวมทั้งนักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ช่วยเหลือในการทดสอบชิมและในด้านอื่นๆ

และที่สำคัญที่สุดผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ สามี ด้วยความเคารพยิ่ง และพี่ๆ น้องๆ รวมทั้งคุณลูก ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและเป็นกำลังใจสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ และขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลืออยู่เบื้องหลังของความสำเร็จในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นฤมล พงษ์พิริยะเดชะ

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อ.....(3)
Abstract.....(5)
กิตติกรรมประกาศ.....(7)
สารบาญ.....(8)
รายการตาราง.....(9)
รายการตารางภาคผนวก.....(11)
รายการภาพ.....(12)
บทที่
1. บทนำ.....1
บทนำต้นเรื่อง.....1
ตรวจเอกสาร.....3
วัตถุประสงค์.....17
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ.....18
3. ผลและวิจารณ์.....25
4. สรุป.....78
เอกสารอ้างอิง.....80
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ทางกายภาพ และจุลินทรีย์.....86
ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....94
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ.....96
ประวัติผู้เขียน.....110

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางอาหารของมังคุดต่อ 100 กรัม ของส่วนที่บริโภคได้	4
2	ชุดการทดลองการออสโมซิสมังคุดโดยใช้แบบแผน Box-Behnken	21
3	องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของมังคุดที่ใช้ในงานวิจัย	26
4	ค่า water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายซูโครสที่สภาวะต่างกัน	27
5	ค่า water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตสที่สภาวะต่างกัน	28
6	ค่า water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายกลูโคสที่สภาวะต่างกัน	29
7	สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss, solid gain และ coefficient of determination (R^2) ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายซูโครส	31
8	สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss, solid gain และ coefficient of determination (R^2) ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส	32
9	สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss, solid gain และ coefficient of determination (R^2) ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายกลูโคส	33
10	ค่าสูงสุดและต่ำสุดของ water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดในสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ	50
11	ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายซูโครสเป็นเวลา 8 ชม	51
12	ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส เป็นเวลา 8 ชม	52

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายกลูโคสเป็นเวลา 8 ชม.	52
14	ค่า water loss และ solid gain ที่ได้จากการทำนายเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง	59
15	ค่าสีและค่า Aw ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมของน้ำตาลแต่ละชนิด	60
16	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมของน้ำตาลแต่ละชนิด	61
17	ค่าสีและค่า Aw ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 25, 20 และ 15 จากการอบด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 ^{0}ซ	65
18	คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กที่สภาวะการอบต่างกัน	67
19	คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ที่สภาวะการอบต่างกัน	68
20	องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง	71
21	คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง	72
22	ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง	75
23	คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กระหว่างการเก็บรักษา	77
24	คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ระหว่างการเก็บรักษา	77

รายการตารางภาคผนวก

ตารางผนวกที่ หน้า

1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็ก ที่ผ่านการอบแห้งในสภาวะต่างกัน จากการวัดด้วยเครื่องวัดสี JUKI.....96

2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ ที่ผ่านการอบแห้งในสภาวะต่างกัน จากการวัดด้วยเครื่องวัดสี JUKI.....97

3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กที่ผ่านการอบแห้งในสภาวะต่างกัน.....98

4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งในสภาวะต่างกัน.....101

5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็ก ระหว่างการเก็บรักษา.....104

6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ ระหว่างการเก็บรักษา.....105

7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็ก ระหว่างการเก็บรักษา.....106

8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ ระหว่างการเก็บรักษา.....108

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิส	6
2	ความสมดุลของน้ำและน้ำตาลระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส	7
3	โมเดลการออสโมซิส	8
4	การสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลของสับปะรดที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 5 ชม	12
5	ผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลต่อการสูญเสียน้ำของสับปะรดที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส	12
6	ผลของอุณหภูมิต่อการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลของสับปะรดที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสในสารละลายซูโครส 70 °บริกซ์	14
7	การสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลของสับปะรดแห้งด้วยวิธีออสโมซิสในสารละลายซูโครส 60 °บริกซ์ เวลา 5 ชม	14
8	ค่า water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	35
9	ค่า solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	36
10	ค่า water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	37
11	ค่า solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	38
12	ค่า water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	40
13	ค่า solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	41
14	ค่าา water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	42

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	ค่า solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	43
16	ค่า water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายกลูโคส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	46
17	ค่า solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายกลูโคส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	47
18	ค่า water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายกลูโคส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	48
19	ค่า solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายกลูโคส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม	49
20	กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครส เป็นเวลา 8 ชม	54
21	กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครส เป็นเวลา 8 ชม	54
22	กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส เป็นเวลา 8 ชม	56
23	กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส เป็นเวลา 8 ชม	56
24	กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายกลูโคส เป็นเวลา 8 ชม	58
25	กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายกลูโคส เป็นเวลา 8 ชม	58
26	ผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสภาวะที่เหมาะสมในสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิด	62

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ลักษณะผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง	69
28	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง ระหว่างการเก็บรักษา	74
29	การเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งระหว่าง การเก็บรักษา	74
30	การเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์และราของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง ระหว่างการเก็บรักษา	76

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

มังคุด (Garcinia mangostana Linn.) เป็นผลไม้เมืองร้อนชนิดหนึ่งที่มีรสหวานอมเปรี้ยว ได้รับการยกย่องว่าเป็น "ราชินีแห่งผลไม้" ในประเทศไทยพื้นที่ปลูกแหล่งใหญ่ที่สุดอยู่ในจังหวัดทางภาคใต้ และภาคตะวันออก ปัจจุบันมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเพิ่มขึ้น เพราะนอกจากบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศแล้ว ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปี

การส่งออกมังคุดส่วนใหญ่จะส่งออกในรูปมังคุดสด ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาสั้น จึงมักประสบปัญหาสภาวะด้อยคุณภาพ โอกาสที่มังคุดจะเน่าเสียเมื่อถึงมือผู้บริโภคจึงมีมาก นอกจากนี้ยังมีการส่งออกในรูปมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล ซึ่งต้องผ่านการคัดเลือกผลที่มีคุณภาพดี ได้มาตรฐานทางอุตสาหกรรมคือ ขนาดผลสม่ำเสมอ น้ำหนักผลไม่ต่ำกว่า 80 กรัมต่อผล ผิวของผลสะอาด สีม่วงอมแดงตามธรรมชาติ เนื้อภายในมีสีขาว ไม่มีอาการเน่าช้ำ เนื้อแก้ว และยางซึม ซึ่งผลมังคุดที่ผลิตได้ในประเทศมักพบปัญหาไม่ได้คุณภาพดังกล่าวที่พบบ่อยมักมีลักษณะเปลือกแข็งแต่เนื้อภายในยังมีคุณภาพ ลักษณะเนื้อแก้วและยางซึมซึ่งพบในบางกลีบของมังคุดเท่านั้นแต่ไม่สามารถนำมาผลิตเป็นมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผลได้ พบว่ามังคุดที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมดมีปริมาณผลที่มีลักษณะคุณภาพไม่ครบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมประมาณร้อยละ 45-50 (เกียรติ ลีละเศรษฐกุล และ ดารา พวงสุวรรณ, 2530)

ดังนั้นการพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเนื้อมังคุดในรูปมังคุดกึ่งแห้งจึงเป็นหนทางที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากผลผลิต ลดปริมาณของเสีย และช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิต ผลไม้กึ่งแห้งเป็นวิธีการแปรรูปผลไม้ด้วยการทำให้แห้งโดยการดึงน้ำออกให้เหลือเพียงประมาณร้อยละ 20 ผลไม้แปรรูปลักษณะนี้มีคุณค่าทางวิตามินสูง สามารถเก็บไว้ได้นาน น้ำหนักเบา สะดวกในการขนส่งเป็นสินค้าสำหรับประเทศที่ไม่มีผลไม้เมืองร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดยุโรปเริ่มรู้จักสินค้าผลไม้เมืองไทยมากขึ้น นอกจากนี้กรรมวิธีการผลิตมังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส ยังมีข้อดีหลายประการ ประการ

แรกช่วยรักษาคุณภาพทางด้านกลิ่นรส เนื่องจากวิธีการนี้ไม่ใช้อุณหภูมิสูงการสูญเสียกลิ่นรสมีน้อย ประการที่สองความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ใช้สูงมากจนทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาสีน้ำตาลทำงานได้น้อยลงทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสีน้อยมากจึงสามารถลดปริมาณการใช้สารป้องกันการเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลลงได้

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกรรมวิธีการผลิตมังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส รวมทั้งสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งหลังการออสโมซิส ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาปัจจัยสำคัญเหล่านี้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมังคุดกึ่งแห้งให้มีคุณภาพได้มาตรฐาน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมมังคุดกึ่งแห้งต่อไปในอนาคต

ตรวจเอกสาร

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมังคุด

มังคุด (Garcinia mangostana L.) จัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae เป็นพืชที่มีสายพันธุ์เดียวเท่านั้น ลักษณะของผลมังคุดเป็นรูปทรงกลม เปลือกหนา 0.8-1 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลแดงหรือม่วง มียางสีเหลือง เนื้อภายในมีสีขาวนวลแบ่งเป็นกลีบ 4-7 กลีบใน แต่ละผลมีเมล็ดที่เจริญสมบูรณ์ 1-3 เมล็ด ที่เหลือมักลีบ โดยทั่วไปมังคุดผลหนึ่งๆ มีเนื้อรับประทานได้ร้อยละ 25-30 (หลวงบุเรศบำรุงการ, 2518 ; ทวีศักดิ์ วัฒนกูล, 2532 ; Bailey, 1953 ; Caronel, 1983)

มังคุดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีถิ่นกำเนิดในมลายู เจริญเติบโตได้ดีในบริเวณดินเหนียวปนทราย เขตอากาศร้อนชุ่มชื้น (หลวงบุเรศบำรุงการ, 2518) ประเทศที่ปลูกมากได้แก่ มาเลเซีย อินโดนีเซีย สำหรับการปลูกมังคุดในประเทศไทยจะมีการปลูกมากที่สุดทางภาคใต้ของประเทศ ได้แก่ ชุมพร นครศรีธรรมราช รองลงมาคือ ภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรี และระยอง ส่วนภาคอื่นๆมีการปลูกบ้างเล็กน้อยแต่ไม่พบว่ามีการปลูกมังคุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2534)

โดยทั่วไปมังคุดจะออกผลปีละครั้ง เนื่องจากความแตกต่างของภูมิอากาศและพื้นที่ปลูก ทำให้ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมังคุดแตกต่างกัน โดยทางภาคตะวันออกจะเก็บเกี่ยวมังคุดตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม ส่วนทางภาคใต้จะเก็บเกี่ยวผลไม้ได้ตั้งแต่เดือนสิงหาคม-ตุลาคม ทำให้ช่วงจำหน่ายมังคุดยาวนานถึง 6 เดือน (นิวัฒน์ พรหมแพทย์, 2533)

2. องค์ประกอบทางอาหารของมังคุด

มังคุดนอกจากเป็นผลไม้ที่มีรสหวานอมเปรี้ยว และมีกลิ่นหอมชวนรับประทานแล้ว ยังมีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างสูง ซึ่งรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางอาหารของมังคุดต่อ 100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม)	79.27
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	76.0
โปรตีน (กรัม)	0.5
ไขมัน (กรัม)	0
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	18.4
สารเยื่อใยอาหาร (กรัม)	1.7
เถ้า (กรัม)	2.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	11
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	17
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.9
ไทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.09
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.06
ไนอะซีน (มิลลิกรัม)	0.1
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม)	2.0*

ที่มา : Department of Health, Nutrition Division (1992)

* ที่มา : Intengan และคณะ (1968)

เนื้อมังคุดมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ในปริมาณสูง โดยมากกระจายอยู่ในรูปของน้ำตาล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 19.8 °บริกซ์ น้ำตาลรีดิวซ์ ร้อยละ 4.3 น้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 17.5 น้ำตาลหลักในเนื้อมังคุดคือ ฟรุกโตส กลูโคส และ ซูโครส มีปริมาณความชื้นสูง มีเกลือแร่และวิตามินต่ำ ความแตกต่างขององค์ประกอบทาง เคมีในผลไม้ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และภูมิอากาศที่แตกต่างกัน (Coronel, 1983 ; Kawamata, 1977 ; Martin, 1980)

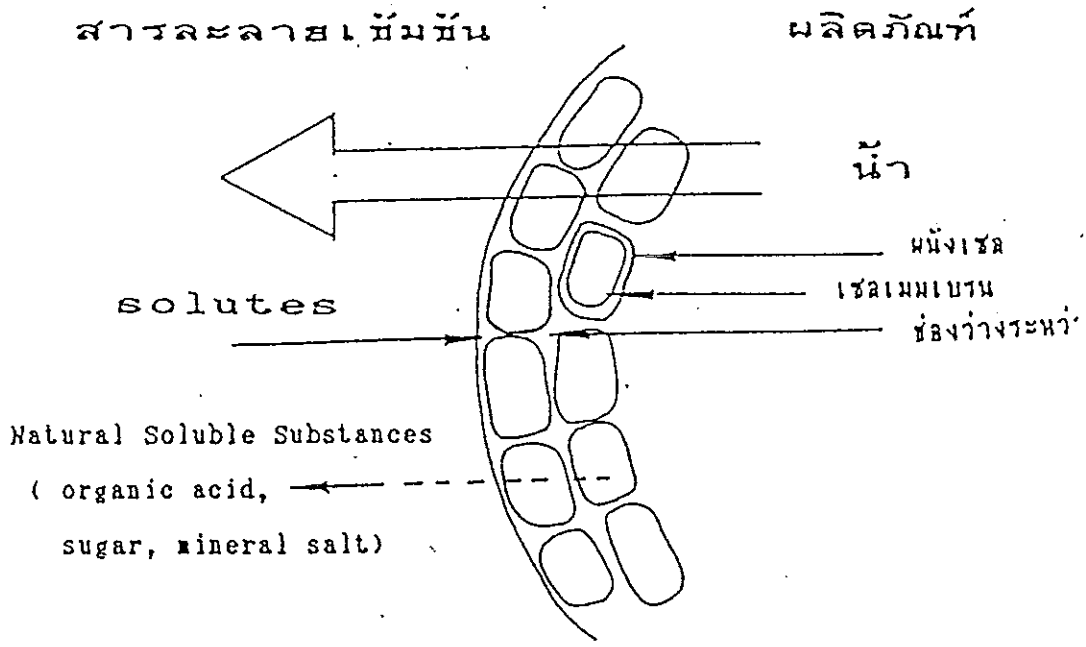
3. การทำแห้งผลไม้โดยวิธีออสโมซิส

ออสโมซิส คือ การแพร่ของน้ำจากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ผ่านเนื้อเยื่อที่ยอมให้สารบางอย่างผ่านได้ (semipermeable membrane) ไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (Ponting, *et al.*, 1966)

การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสำหรับการทำแห้งผลไม้ที่ไวต่อความร้อน หรือผลไม้ที่มีเนื้อนุ่ม เนื่องจากวิธีนี้ผลไม้ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจึงช่วยลดการถูกทำลายเนื่องจากความร้อน ต่อกลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ใช้มีผลให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำงานได้น้อยลง ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนสี จึงไม่จำเป็นต้องใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือใช้เพียงเล็กน้อย ผลไม้ที่ทำแห้งโดยวิธีนี้จึงยังคงรักษากลิ่นรสและสีตามธรรมชาติไว้ได้ (Ponting, *et al.*, 1966)

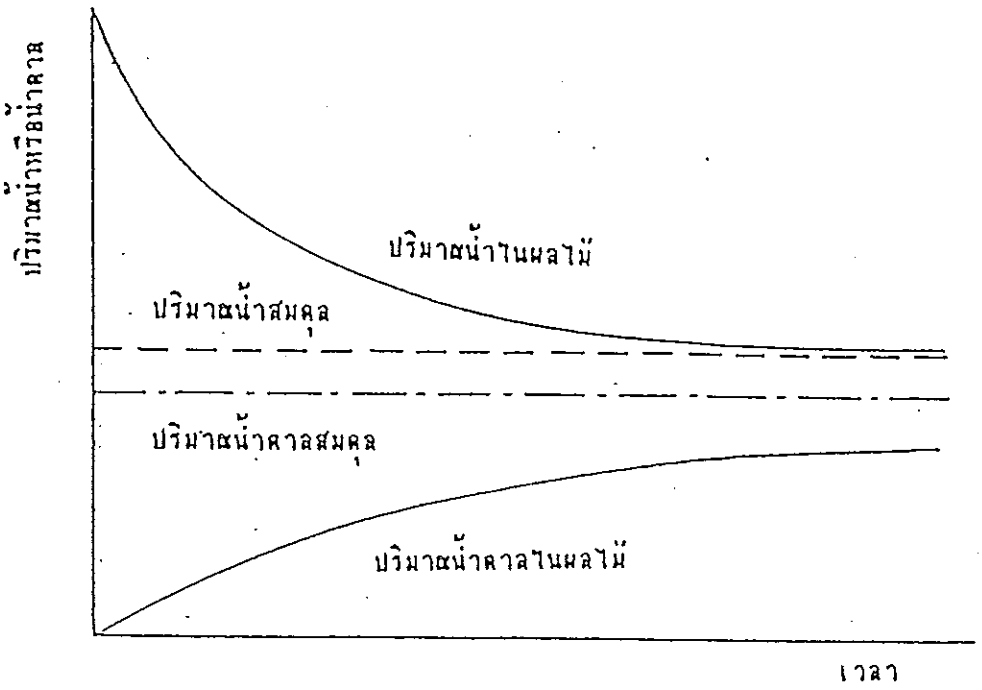
การทำแห้งผลไม้โดยวิธีออสโมซิส อาศัยกระบวนการออสโมซิสในการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผลไม้ ก่อนนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นตามที่ต้องการ โดยการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลซึ่งมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่าผลไม้ จะเกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก โดยที่เซลล์เมมเบรนของผลไม้ทำหน้าที่เป็นเนื้อเยื่อที่ยอมให้สารบางอย่างผ่านได้ ทำให้มีการไหลหรือการเคลื่อนที่ของสารละลายในลักษณะสวนทางกัน ดังแสดงในภาพที่ 1 กล่าวคือ น้ำ กรดอินทรีย์ และเกลือแร่บางส่วนแพร่ออกจากผลไม้ ในขณะเดียวกันน้ำตาลจะแพร่เข้าไปในเนื้อผลไม้ แต่การแพร่ของน้ำตาลจะเกิดช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นการทำแห้งโดยวิธีนี้จึงอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ระหว่างน้ำกับน้ำตาล เพื่อใช้ควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องการดึงออกจากผลไม้และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น การแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลเป็นเวลาไม่นาน น้ำจะแพร่ออกจากเซลล์ผลไม้มากกว่าน้ำตาลซึ่งแพร่เข้าไปในผลไม้ได้เฉพาะบริเวณผิวหน้าของชิ้นผลไม้ และส่วนใหญ่จะอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ การแลกเปลี่ยนมวลสารจะดำเนินไปจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและน้ำตาลในชิ้นผลไม้ก่อนเข้าสู่สภาวะสมดุลดังแสดงไว้ในภาพที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าสภาวะสมดุลของน้ำเกิดได้เร็วกว่าสภาวะสมดุลของน้ำตาล แต่ถ้าปล่อยให้กระบวนการนี้เกิดขึ้นจนกระทั่งถึงสภาวะสมดุลทั้งน้ำและน้ำตาล หรือหากโครงสร้างผนังเซลล์ถูกทำลาย เป็นผลให้เกิดการแพร่ของน้ำและน้ำตาลเข้าสู่สภาวะสมดุลอย่างรวดเร็ว

จะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะผลไม้แช่อิ่มแทน ในกระบวนการออสโมซิสผลไม้จะถูกกำจัดน้ำออกได้ประมาณร้อยละ 30-50 ของน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นผลไม้ จากนั้นจึงนำไปอบแห้งต่อด้วยเครื่องอบแห้งแบบธรรมดาหรือแบบสุญญากาศจนได้ความชื้นตามต้องการ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2529 ; อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533)



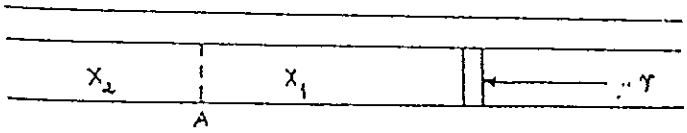
ภาพที่ 1 การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิส

ที่มา : ดัดแปลงจาก Raoult-Wack และคณะ (1989)



ภาพที่ 2 ความสมดุลของน้ำและน้ำตาลระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส
ที่มา : ดัดแปลงจาก Karel (1975)

Crafis และคณะ (1949) ได้แสดงโมเดลของการออสโมซิสอย่างง่ายไว้ดังแสดงในภาพที่ 3 สมมุติให้ X_1 และ X_2 เป็นสารละลายชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ตามลำดับ สารละลายทั้ง 2 นี้จะถูกกั้นจากกันด้วยเนื้อเยื่อที่ยอมให้สารบางอย่างผ่านได้ (A) โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนตัวจากบริเวณที่มีความดันสูงไปสู่บริเวณที่มีความดันต่ำกว่า ถ้าให้ P_1 และ P_2 เป็นค่าความดันไอของน้ำ ในสารละลายที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อ P_2 มากกว่า P_1 โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนตัวผ่านเนื้อเยื่อที่ยอมให้สารบางอย่างผ่านได้ จากสารละลายที่ 2 ไปยังสารละลายที่ 1



ภาพที่ 3 โมเดลการออสโมซิส

ที่มา : Crafis และคณะ (1949)

หากต้องการให้เกิดสภาวะสมดุลระหว่างสารละลายทั้งสอง นั่นคือไม่เกิดการถ่ายเทมวลสารจะต้องให้แรงดัน (γ) ทางด้านสารละลายที่ 1 ค่าแรงดันดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\gamma = \frac{RT}{V} \ln \frac{P_2}{P_1}$$

เมื่อ R = ค่าคงที่ของก๊าซ (gas constant = 82.0 cm^3 . atm . K. $mole^{-1}$)

T = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature) (K)

V = ค่าปริมาตร/ส่วนโมลน้ำ (partial molal volume) (cm^3 . $mole^{-1}$)

ค่า γ นี้อาจเรียกว่าแรงดูด (suction force) เมื่อค่า γ เป็นบวกแสดงว่าต้องใช้แรงดันด้านสารละลายที่ 1 ถ้าค่านี้มีค่าเป็นลบแสดงว่าต้องใช้แรงดันในด้านสารละลายที่ 2

ขั้นตอนการออสโมซิสที่ให้ผลดีต้องสามารถลดปริมาณน้ำในผลไม้ได้อย่างรวดเร็ว โดยที่น้ำตาลซึมเข้าไปในเนื้อผลไม้น้อยมาก ซึ่งกระทำได้โดยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิส เนื่องจากอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ลดลงต่อปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (water loss / sugar gain ratio) สามารถใช้เป็นค่าแสดงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ (Raoult, *et al.*, 1989) กล่าวคือในขั้นตอนการออสโมซิสที่ค่าอัตราส่วนดังกล่าวสูง ผลิตภัณฑ์หลังการอบจะมีลักษณะผลไม้แห้ง แต่ถ้าอัตราส่วนมีค่าต่ำจะได้ผลิตภัณฑ์หลังการอบมีลักษณะใกล้เคียงผลไม้แช่อิ่ม (semi-candied dried fruit) ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส

4.1 ชนิดของสารละลายออสโมติก

สารออสโมติกเป็นตัวที่ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนออสโมติก (osmotic driving force) ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติคือ มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำ รสชาติดี ให้กลิ่นรสดีต่อผลิตภัณฑ์สุดท้าย และไม่เป็นพิษ การใช้สารออสโมติกแต่ละชนิดมีผลต่อกระบวนการออสโมซิสที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้น้ำตาลเม็ดจะให้อัตราการออสโมซิสเร็วในช่วงแรกและใช้เวลาน้อยในการทำให้ผลไม้แห้ง แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากมีปัญหาเกี่ยวกับเม็ดของน้ำตาลที่เหลือหลังจากการออสโมซิส และลักษณะเม็ดของน้ำตาลอาจมีผลทำให้ผลไม้ช้ำด้วย (Ponting, *et al.*, 1966 ; Lerici, *et al.*, 1985)

Adambounou และคณะ (1983) พบว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารออสโมติกให้ผลดีกับผัก แต่การนำมาใช้กับผลไม้มีข้อจำกัดในเรื่องความเค็ม

Bolin และคณะ (1983) ทดลองทำแห้งแอปเปิ้ลด้วยวิธีออสโมซิสกับน้ำตาลซูโครสและน้ำเชื่อมข้าวโพดที่มีน้ำตาลฟรุกโตสสูง พบว่าน้ำเชื่อมข้าวโพดที่มีน้ำตาลฟรุกโตสสูงมีอัตราการแพร่สูงกว่าน้ำตาลซูโครส ทั้งนี้เพราะน้ำเชื่อมข้าวโพดที่มีน้ำตาลฟรุกโตสซึ่งมีโมเลกุลเล็กกว่าน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบหลักสูง

Lerici และคณะ (1985) ใช้สารออสโมติกชนิดต่างๆ คือ กลูโคส (51 °บริกซ์) ซูโครส (59 °บริกซ์) ฟรุกโตส (60 °บริกซ์) กลูโคสร่วมกับฟรุกโตส (1:0.8, 65 °บริกซ์) น้ำเชื่อมทางการค้าที่ผลิตจากแป้งข้าวโพด 2 ชนิดคือ ซีรัปเอฟ (ประกอบด้วย กลูโคสร้อยละ 52 ฟรุกโตสร้อยละ 42 มอลโตสร้อยละ 3 และพอลิแซ็กคาไรด์ร้อยละ 3 รวมเป็นความเข้มข้น 70 °บริกซ์) และซีรัปจี (ประกอบด้วย กลูโคสร้อยละ 35 มอลโตสร้อยละ 45 และพอลิแซ็กคาไรด์ร้อยละ 20 รวมเป็นความเข้มข้น 68 °บริกซ์) ทดลองกับแอปเปิ้ลโดยใช้เวลาแช่ในสารละลายออสโมติกนาน 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าซีรัปเอฟให้ผลการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในตัวอย่างกับแอปเปิ้ลมากที่สุด รองลงมาคือกลูโคสร่วมกับฟรุกโตส (1:0.8) ทั้งนี้เพราะซีรัปเอฟมีส่วนประกอบของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่าซีรัปจี จึงทำให้การซึมผ่านของน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ได้ดีกว่า และซีรัปจีมีพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเป็นน้ำตาลหลายชั้นมีโมเลกุลใหญ่การซึมเข้าสู่เซลล์จึงช้ากว่า ส่วนการใช้กลูโคสร่วมกับฟรุกโตสให้ผลการสูญเสียน้ำ และการเพิ่มของของแข็งในตัวอย่างแอปเปิ้ลรองลงมา

เนื่องจากสารละลายนี้มีความเข้มข้น 66 °บริกซ์ ซึ่งน้อยกว่าซีรัปเอฟ (70 °บริกซ์) ทำให้การซึมของน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ได้ช้ากว่า

Lenart และ Lewicki (1988) พบว่าชนิดของน้ำตาลมีผลต่ออัตราเร็วของการออสโมซิส โดยน้ำตาลชนิดที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะช่วยให้อัตราการออสโมซิสเกิดได้เร็วขึ้น แต่มีผลให้น้ำตาลซึมเข้าไปในเนื้อผลไม้ได้มาก ในขณะที่น้ำตาลชนิดที่มีมวลโมเลกุลสูงจะซึมเข้าไปในเนื้อผลไม้ได้น้อยกว่า แต่ต้องใช้เวลาในการกำจัดน้ำออกจากชิ้นผลไม้นานกว่า

Heng และคณะ (1990) ศึกษาผลของสารละลายน้ำตาล 2 ชนิด คือ สารละลายซูโครส และสารละลายกลูโคสซีรัป (Dextrose Equivalent : DE 20) ความเข้มข้น 65 °บริกซ์ ต่อการทำแห้งมะละกอรูปลูกเต๋าขนาด 1.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าปริมาณน้ำที่ลดลงของมะละกอที่แช่ในสารละลายกลูโคสซีรัปมีค่าสูงกว่าในสารละลายซูโครสเล็กน้อย แต่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าต่ำกว่ามาก เนื่องจากสารละลายกลูโคสซีรัปประกอบด้วย กลูโคสร้อยละ 2 มอลโตสร้อยละ 7 มอลโตไตรโอสร้อยละ 12 และแซคคาไรด์ที่มีขนาดใหญ่ร้อยละ 79 ดังนั้นขนาดโมเลกุลที่ใหญ่จึงทำให้ยากต่อการแพร่เข้าสู่เนื้อผลไม้

กรุณา วงศ์กระจ่าง (2535) ได้ทำการศึกษาผลของสารละลายน้ำตาล 3 ชนิด ต่อการออสโมซิสสับปะรดแว่นหนา 1.2 เซนติเมตร โดยใช้ความเข้มข้นน้ำตาลแต่ละชนิดอยู่ในช่วง 50 - 70 °บริกซ์ อุณหภูมิในช่วง 30-70 °ซ เป็นเวลา 4 - 8 ชั่วโมง พบว่าสารละลายซูโครส 65 °บริกซ์ ออสโมซิสที่อุณหภูมิ 70 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สารละลายกลูโคสซีรัป 61 °บริกซ์ ออสโมซิสที่อุณหภูมิ 70 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และสารละลายกลูโคสเหลว 61 °บริกซ์ ออสโมซิสที่อุณหภูมิ 70 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่าอัตราการสูญเสียน้ำสูงสุดที่ 42, 44 และ 44 กรัมของน้ำต่อ 100 กรัมของสับปะรดสด ตามลำดับ และให้ค่าอัตราการเพิ่มของน้ำตาลต่ำสุดที่ 21, 10 และ 26 กรัมของของแข็งต่อ 100 กรัมของสับปะรดสด ตามลำดับ เมื่อนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส พบว่าสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสได้รับการยอมรับมากที่สุด

4.2 ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

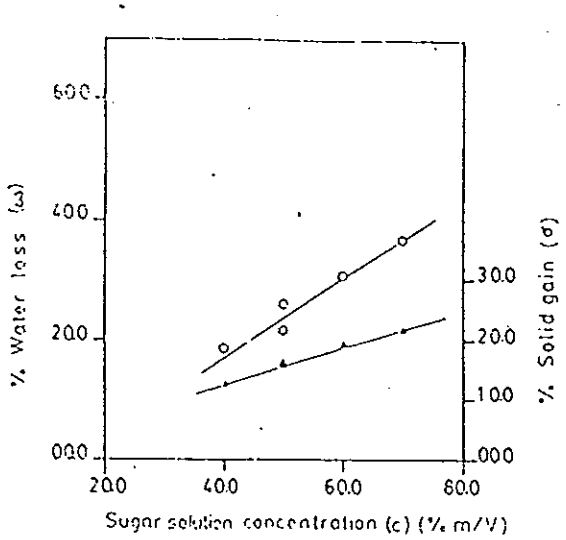
เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารออสโมติกจะทำให้น้ำสามารถซึมออกจากชิ้นผลไม้ได้เร็วขึ้น แต่ขณะเดียวกันน้ำตาลสามารถซึมเข้าไปในผลไม้มากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเป็นข้อดีที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่หวานจนเกินไป (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533)

Ponting และคณะ (1966) พบว่าสารละลายซูโครสเข้มข้น 75 °บริกซ์ มีความหนืดมากเกินไป เป็นผลให้การออสโมซิสเกิดได้น้อยลง สารละลายน้ำตาลที่เหมาะสำหรับใช้ในการออสโมซิสไม่ควรมีความเข้มข้นสูงกว่า 70 °บริกซ์ และได้เสนอแนะว่าความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสไม่มีข้อจำกัดที่แน่นอนเพียงแต่ต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายของน้ำตาลชนิดนั้นๆ ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่นิยมใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลในช่วง 50-70 °บริกซ์ และพบว่าน้ำหนักที่ลดลงและปริมาณน้ำที่ลดลงของผลไม้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลสูงขึ้นทุกๆ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส

Farkas และ Lazar (1969) ศึกษาการทำแห้งชิ้นแอปเปิ้ลหนา 1.2 เซนติเมตรด้วยวิธีออสโมซิส โดยแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50-75 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 30-60 °ซ พบว่าการแช่ชิ้นแอปเปิ้ลในสารละลายซูโครสเข้มข้น 70 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุดเนื่องจากสามารถลดน้ำหนักลงได้ร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้น

Ravindran (1989) ศึกษาการแช่สับปะรดแว่นหนา 1.2 เซนติเมตร ในสารละลายน้ำตาล 3 ชนิด ที่มีความเข้มข้นต่างกันดังนี้ กลูโคส (40, 50 และ 60 °บริกซ์) ซูโครส (50, 60 และ 70 °บริกซ์) และฟรุกโตส (50, 60 และ 70 °บริกซ์) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการลดลงของน้ำหนักสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้น

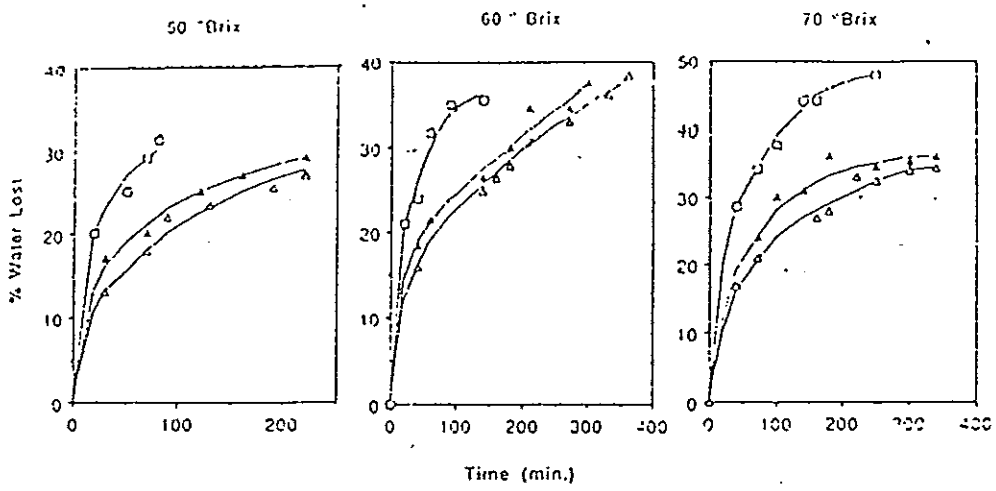
Rahman และ Lamb (1990) ได้ทำการทดลองทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสโดยทำการออสโมซิสสับปะรดแว่นหนา 6.5 มิลลิเมตร ในน้ำเชื่อมซูโครสเข้มข้น 40-70 °บริกซ์ อัตราส่วนสับปะรดต่อน้ำเชื่อม 1:10 ที่อุณหภูมิ 19-20 °ซ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในสับปะรดเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของน้ำเชื่อมสูงขึ้น



ภาพที่ 4 การสูญเสียน้ำ (0) และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล (▲) ของสับปะรดแห้งด้วยวิธีออสโมซิสที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 5 ชม.

ที่มา : Rahman และ Lamb (1990)

Beristain และคณะ (1990) ได้ทำการทดลองผลิตสับปะรดแห้งด้วยวิธีออสโมซิสที่ความเข้มข้นของน้ำตาลฯ คือ 50, 60 และ 70 °บริกซ์ และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °ซ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 5 และพบว่าการสูญเสียน้ำของชิ้นผลไม้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล



ภาพที่ 5 ผลของความเข้มข้นของน้ำตาลต่อการสูญเสียน้ำของสับปะรดที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมติก

ที่มา : Beristain และคณะ (1990)

4.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส

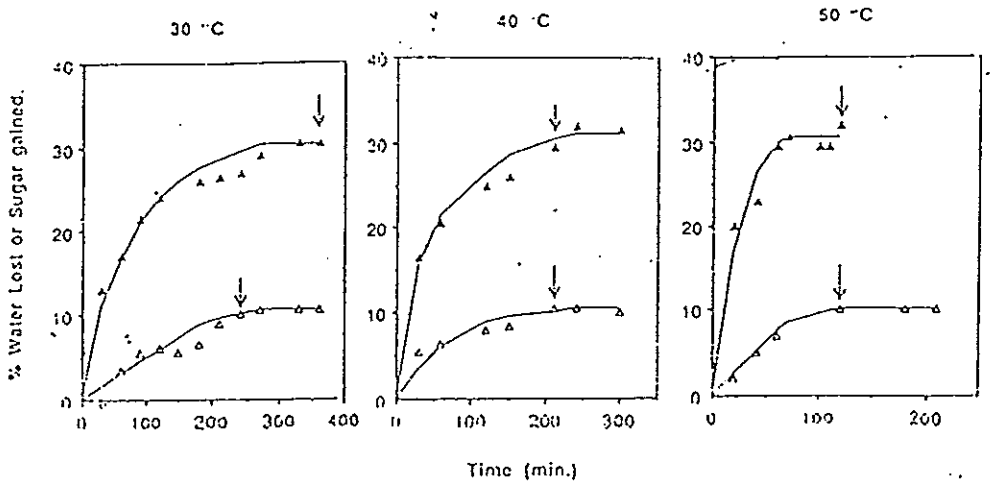
อุณหภูมิมีผลต่อการออสโมซิสโดย Camiran และคณะ (1968) รายงานว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำตาลซูโครสจะมีความสามารถในการละลายมากขึ้น ดังนั้นแรงดันออสโมติกที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Ponting และคณะ (1966) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการออสโมซิสของชิ้นแอปเปิ้ลพบว่าอัตราการออสโมซิสจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิที่ใช้สูงกว่า 49 °ซ จะเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ และผลไม้เกิดการสูญเสียกลิ่นรส

Bongirwa และ Sreeniyanan (1977) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการออสโมซิสกล้วยที่แช่ในสารละลายซูโครส 70 °บริกซ์ เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน 4 อุณหภูมิคือ 60 50 40 °ซ และอุณหภูมิห้อง พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลทำให้ความหนืดของสารละลายน้ำตาลลดลง ทำให้การออสโมซิสเกิดขึ้นได้ดี แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 50 °ซ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสของผลไม้

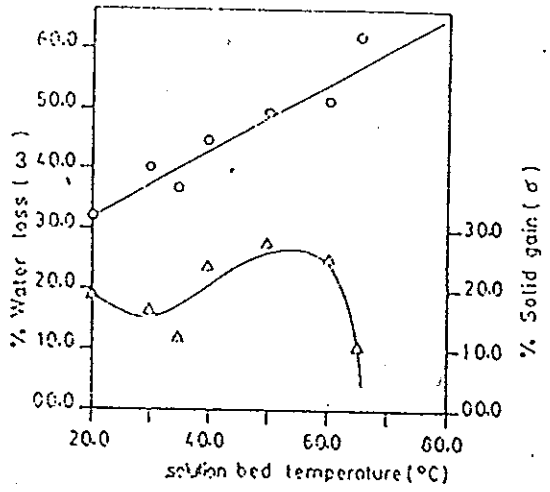
Beristain และคณะ (1990) ได้ทำการทดลองศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการออสโมซิสสับปะรด โดยทำการออสโมซิสที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °ซ ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 70 °บริกซ์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นการส่งเสริมให้มีการเคลื่อนย้ายน้ำออกจากผลไม้เร็วขึ้น เป็นผลให้อัตราการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของของแข็งมีลักษณะเอ็กโปเนนเชียล (exponential) กับเวลา (ภาพที่ 6)

Rahman และ Lamb (1990) ได้ทำการทดลองทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส โดยใช้สับปะรดแว่น (หนา 6.5 มม.) ในน้ำเชื่อมซูโครสเข้มข้น 30 °บริกซ์ เป็นเวลา 5 ชม. ที่อุณหภูมิ 20 - 65 °ซ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่าการสูญเสียน้ำของสับปะรดเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 50 °ซ หลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้สารเพคตินซึ่งพบตามผนังเซลล์ของสับปะรดเกิดการละลายมีผลทำให้การแพร่ของน้ำตาลช้าลง จากการทดลองยังพบว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °ซ อัตราการแพร่ของน้ำตาลซูโครสเกือบจะคงที่



ภาพที่ 6 ผลของอุณหภูมิต่อการสูญเสียน้ำ (▲) และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล (Δ) ของสับปะรดที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครส 70 °บริกซ์ จุดที่ลูกศรชี้คือจุดสมดุลของการแพร่

ที่มา : Beristain และคณะ (1990)



ภาพที่ 7 การสูญเสียน้ำ (o) และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล (A) ของสับปะรดแห้ง ด้วยวิธีออสโมซิส ในสารละลายซูโครส 60 °บริกซ์ เป็นเวลา 5 ชม.

ที่มา : Rahman และ Lamb (1990)

จากการศึกษาของ Contreras และ Smyrl (1981) พบว่าสำหรับการออสโมซิสที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 °ซ ควรมีการเติมกรดแอสคอร์บิกลงในสารละลายน้ำตาลเพื่อรักษาสีธรรมชาติของผลไม้เอาไว้ เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์สามารถยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ (Frank, 1983) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Lenart และ Lewicki (1988) พบว่าแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้เกิดการออสโมซิสได้ดีกว่าโดยปริมาณน้ำที่ลดลงมีค่าสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลให้ปริมาณการซึมเข้าของน้ำตาลมีค่าสูงด้วยเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป (70-90 °ซ) ยังเป็นการลวกผลไม้ไปพร้อมๆ กันด้วย จึงมีผลให้น้ำตาลซึมเข้าไปในเนื้อผลไม้ในปริมาณสูงมาก

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่นิยมศึกษาคืออุณหภูมิห้อง จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ 90 °ซ การใช้อุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งเวลาในการออสโมซิสให้เร็วขึ้น แต่อาจจะมีผลเสียต่อสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ ในขณะที่การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ใช้เวลานาน แต่มีข้อดีในแง่การประหยัดพลังงาน และไม่มีผลกระทบต่อลักษณะปรากฏของผลไม้

4.4 เวลาที่ใช้ในการออสโมซิส

เวลาที่ใช้ในการออสโมซิสจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ Lenart และ Lewicki (1988) พบว่าที่อุณหภูมิ 90 °ซ การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในชิ้นแอปเปิ้ลจนเข้าสู่สภาวะสมดุลใช้เวลา 1 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิ 30 °ซ ต้องใช้เวลามากกว่า 3 ชั่วโมง จึงจะทำให้เกิดภาวะสมดุลได้ Farkas และ Lazar (1969) พบว่าการออสโมซิสชิ้นแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมงเป็นสภาวะที่ดีที่สุด และ Ravindran (1989) พบว่าการออสโมซิสสับปะรดแว่นที่อุณหภูมิห้อง (28 °ซ) การแลกเปลี่ยนมวลสารของน้ำกับน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 8 - 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงค่อยดำเนินไปอย่างช้าๆ เนื่องจากเข้าสู่สภาวะสมดุล

4.5 อัตราส่วนระหว่างผลไม้ : สารละลายน้ำตาล (น้ำหนัก/น้ำหนัก)

Bongirwa และ Sreeniyanan (1977) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างผลไม้ : สารละลายในการออสโมซิสด้วยอัตราส่วน 1:1 1:1.5 1:3 และ 1:4.5 พบว่าอัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น และพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการออสโมซิสคือ 1:1.5 แต่จากการศึกษารายงานการวิจัยอื่นๆ พบว่าส่วนใหญ่จะนิยมใช้อัตราส่วน 1:4 (Bolin, *et al.*, 1983 ; Moy, *et al.*, 1978 ; Ravindran, 1989 ; กรุณา วงศ์กระจ่าง, 2535) โดย Hawkes และ Flink (1978) ให้เหตุผลของการใช้สารละลาย

น้ำตาลในปริมาณมากเกินพอ (อัตราส่วน 1:4) ว่าเพื่อเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เนื่องจากน้ำที่ถูกกำจัดจากผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส

4.6 ขนาดและรูปร่างของผลไม้

ขนาดและรูปร่างของผลไม้มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะสามารถซึมออกได้เร็ว ผลไม้ชิ้นใหญ่หรือรูปร่างกลมน้ำจะซึมออกได้น้อย เนื่องจากทั้ง 2 กรณีนี้ พื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่าน้อย (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533 ; Lerici, *et al.*, 1985) จิราภรณ์ สอดจิตร์ (2536) พบว่าขนาดและรูปร่างของสับปะรดมีผลต่อกลไกการเปลี่ยนแปลง โดยพบว่าสับปะรดที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำตาล และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในสับปะรดต่ำกว่าสับปะรดรูปร่างเป็นแว่น แต่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ และการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นสับปะรดสูงกว่า

4.7 อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง

Ponting (1973) เสนอแนะว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นอยู่กับความว่องไวต่อความร้อนของผลไม้แต่ละชนิด พบว่าผลไม้ที่มีความว่องไวต่อความร้อน เช่น สตรอเบอรี่ พีช กล้วย ควรใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 66 °ซ และพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบในระบบสุญญากาศอยู่ระหว่าง 66-93 °ซ ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้

5. อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง

จากรายงานการศึกษาของ Bongirwa และ Sreeniyanan (1977) พบว่ากล้วยที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เป็นเวลา 1 ปี ในถุงลามิเนทชนิด paper/polyethylene/aluminium/polyethylene

สิงหนาท พวงจันทน์แดง (2535) ศึกษาอายุการเก็บลิ้นจี่ที่ผ่านการรมควันกำมะถันและไม่ผ่านการรมควันกำมะถัน อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 80 °ซ โดยบรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน พบว่าระยะเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่ที่ผ่านการรมควันกำมะถัน และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด

วัตถุประสงค์

1. พัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส จากส่วนเนื้อมังคุดที่มีลักษณะไม่ตรงตามมาตรฐานการแปรรูปทั้งผล
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมังคุดกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา
3. เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มจากเนื้อมังคุดในระดับอุตสาหกรรม

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

- มังคุดสดจากตลาดอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีความสุกปานกลาง คือ มีสีผิวระดับ 4-5 (ดัชนีระดับสีผิว สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2529)
- น้ำตาลซูโครส
- สารละลายฟรุกโตส (DE 42)
- สารละลายกลูโคส (DE 38-42)

อุปกรณ์

- เครื่องชั่ง (ที่มีความละเอียด 3 ตำแหน่ง)
- อ่างน้ำ ที่ควบคุมอุณหภูมิได้
- ตู้อบสุญญากาศ (DUO Vac oven) รุ่น Cat.No.3620-1
- ตู้อบลมร้อน
- เครื่องวัดสี JUKI รุ่น JP 7100F
- เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง รุ่น accument model 5
- เครื่องวัดของแข็งที่ละลายได้ (Hand Refractometer)
- เครื่องวัดวอเตอร์แอคติวิตี (Aw - meter) รุ่น TH 200

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 เนื้อมังคุด โดยการคัดเลือกผลมังคุดที่มีลักษณะไม่เน่าเสียทำความสะอาดปอกเปลือก แยกกลีบมังคุดเป็นขนาดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ โดยใช้ความสมบรูณ์ของเมล็ดเป็นเกณฑ์ในการแยก มังคุดกลีบเล็กเป็นมังคุดที่มีเมล็ดไม่สมบรูณ์โดยคัดเลือกให้มีขนาดใกล้เคียงกันคือจำนวน 15 กลีบ / 50 กรัม ส่วนมังคุดกลีบใหญ่เป็นมังคุดที่มีเมล็ดสมบรูณ์คัดเลือกที่มีขนาดใกล้เคียงคือจำนวน 6 กลีบ / 50 กรัม นำไปแช่ในสารละลายผสมกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 ที่ 4 °ซ นาน 1 นาที ตามวิธีของ ชื่นใจ ศรีพงษ์ - พันธุ์กุล (2533)

1.2 สารละลายน้ำตาล สารละลายน้ำตาลที่นำมาใช้ในกระบวนการออสโมซิส 3 ชนิด คือ สารละลายซูโครส สารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และสารละลายกลูโคส เตรียมสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิดให้มีความเข้มข้น 50, 60 และ 70 °บริกซ์

2. การตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ

นำเนื้อมังคุดที่แยกขนาดกลีบเล็กและกลีบใหญ่มาทำการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซ์ (A.O.A.C., 1990) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่องวัดของแข็งที่ละลายได้

คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ตามระบบ Hunter (L, a, b) ด้วยเครื่องวัดสี JUKI ค่า Aw โดยใช้เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี และ ค่าพีเอช โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง

3. ศึกษาสภาวะการออสโมซิส

การศึกษาผลของตัวแปรที่ประกอบด้วย ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส ที่มีผลต่อการลดปริมาณน้ำและการเพิ่มปริมาณน้ำตาลของมังคุดในขั้นตอนการออสโมซิส โดยใช้วิธี Response Surface Methodology (RSM) (Henselman, *et al.*, 1974 ; Henika, 1972) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

3.1 กำหนดตัวแปรและช่วงของตัวแปร

ตัวแปร	ช่วงของตัวแปร
ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (องศาบริกซ์)	50 - 70
อุณหภูมิของสารละลายน้ำตาล (องศาเซลเซียส)	30 - 70
เวลาที่ใช้ในการออสโมซิส (ชั่วโมง)	4 - 8

3.2 กำหนดแบบแผนการทดลองที่เหมาะสม โดยใช้แบบแผน Box - Behnken สำหรับการทดลองที่มี 3 ตัวแปรและช่วงตัวแปร 3 ระดับ คือ -1 0 +1 ซึ่งประกอบด้วยจำนวนการทดลอง 15 การทดลอง (ตารางที่ 2) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ รวม 15 x 2 = 30 ชุดการทดลองสำหรับสารละลายแต่ละชนิด

ตารางที่ 2 ชุดการทดลองการออสโมซิสมังคุดโดยใช้แบบแผน Box - Behnken

ตัวแปร	สัญญลักษณ์ของตัวแปร	-1	0	+1
ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล	x_1	50	60	70
อุณหภูมิของสารละลายน้ำตาล	x_2	30	50	70
เวลาที่ใช้ในการออสโมซิส	x_3	4	6	8

ชุดการทดลองที่	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	0
2	-1	+1	0
3	+1	-1	0
4	+1	+1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	+1
7	+1	0	-1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	-1	+1
11	0	+1	-1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

3.3 การทดลองการออสโมซิสมังคุดด้วยสารละลายน้ำตาลแต่ละชน

นำกลีบมังคุดขนาดเล็กและใหญ่ที่ผ่านการเตรียมตามขั้นตอน
ละลายน้ำตาลตามชุดการทดลองร่วมกับกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.
ไบซัลไฟท์ร้อยละ 0.1 ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักมังคุด : สารละลาย เท่ากับ 1 :
30 50 และ 70 °ซ เป็นเวลา 4 6 และ 8 ชั่วโมง แล้วนำมาวางผึ่งบนตะแกร
ขาวบาง ชั่งน้ำหนัก และวิเคราะห์ความชื้น คำนวณปริมาณน้ำที่ลดลง (water
และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain, SG) โดยใช้สูตรดังนี้ (Hawkes and

$$WL = \frac{(WWO)-(Tw-WS)x100}{(WSO+WWO)}$$

$$SG = \frac{(WS-WSO)x100}{(WSO+WWO)}$$

เมื่อ WWO = ปริมาณน้ำเริ่มต้นในมังคุด

Tw = น้ำหนักมังคุดภายหลังการแช่

WSO = ปริมาณของแข็งเริ่มต้นของมังคุด

WS = ปริมาณของแข็งของมังคุดหลังการแช่

โดย WWO = น้ำหนักมังคุดก่อนแช่ x ความชื้นมังคุดก่อนแช่ ,(กรั
100

Tw = น้ำหนักมังคุดหลังแช่ x ความชื้นมังคุดหลังแช่ ,(กรั
100

WSO = น้ำหนักมังคุดก่อนแช่ - ปริมาณน้ำในมังคุดก่อนแช่ ,

WS = น้ำหนักมังคุดหลังแช่ - ปริมาณน้ำในมังคุดหลังแช่ ,

3.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาในการออสโมซิสกับค่า water loss และ solid gain โดยวิธี multiple regression ในรูปสมการกำลังสอง นำสมการที่ได้มาใช้สร้าง contour plots โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป STATGRAPHICS เพื่อใช้ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสของน้ำตาลแต่ละชนิด

ทำการออสโมซิสมังคุดในสภาวะที่ผ่านการคัดเลือกจาก contour plots แล้วอบจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณร้อยละ 15 ทำการวัดค่าสี และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ranking โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน เพื่อคัดเลือกสภาวะการออสโมซิสที่ดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535)

4. การศึกษาสภาวะการอบแห้ง

นำมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสภาวะที่คัดเลือกแล้วในข้อ 3 ไปอบแห้งภายใต้สภาวะที่ศึกษา 2 สภาวะ คือ

- อบแห้งในตู้อบลมร้อน

ในงานวิจัยนี้ใช้ตู้อบลมร้อนซึ่งสร้างขึ้นโดยภาควิชาผลิตภัณฑ์เกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ออกแบบและควบคุมโดย Mr.Gordon Wikham โครงสร้างของตู้มีความสูง 1,550 มม. (โดยไม่รวมล้อ) กว้าง 660 มม. และยาว 1,800 มม. สามารถบรรจุอาหารในถาดอบได้ 12 ชั้น ลักษณะการทำงานคือ ใช้ลมเย็นที่ได้จาก blower ผ่านไปยังขดลวดร้อนและส่งไปยังถาดที่ใส่อาหารในตู้อบ ทำให้อาหารแห้งในอุณหภูมิที่ต้องการ สำหรับงานวิจัยนี้ทำการทดลองอบมังคุดกลีบเล็กน้ำหนักเริ่มต้น 400 กรัม หรือมังคุดกลีบใหญ่ 800 กรัม ในถาดชั้นที่ 6 ความเร็วลมประมาณ 92.9 ฟุต/นาที พื้นที่ในการอบ 25 x 27 ตร.ซม ที่อุณหภูมิ 65 °ซ

- อบแห้งในตู้อบสุญญากาศ

ตู้อบสุญญากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ DUO VAC OVEN ซึ่งปกติใช้หาความชื้นภายใต้สุญญากาศมีความสูง 480 มม. กว้าง 390 มม. และยาว 370 มม. สามารถบรรจุอาหารในถาดอบได้ 1 ชั้น ซึ่งมีพื้นที่ 25 x 27 ตร.ซม ลักษณะการทำงานคือจากตู้จะมีท่อต่อไปยังปั๊มซึ่งทำหน้าที่ดูดอากาศออกจากตัวตู้โดยระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับตั้งเวลา

ในการทำงานและพักการทำงาน ซึ่งมีผลให้ความชื้นไม่สามารถถูกดูดออกมาได้อย่างต่อเนื่อง มีผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงช้า งานวิจัยนี้ทำการทดลองอบมังคุดกลีบเล็กน้ำหนักเริ่มต้น 400 กรัม หรือมังคุดกลีบใหญ่ 800 กรัม ใช้พื้นที่ 25 x 27 ตร.ซม ที่อุณหภูมิ 65 °ซ โดยตั้งระบบควบคุมการใช้ปั๊มดูดอากาศออก 3 นาที และพักการทำงาน 2 นาที และให้สุญญากาศคงที่ที่ 25 ตารางนิ้วปรอท

ทำการอบมังคุดในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 25, 20 และ 15 ทำการวัดค่า Aw พร้อมทั้งทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน ทางด้านลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม เพื่อคัดเลือกสภาวะการอบแห้งที่ดีและเป็นยอมรับของผู้บริโภค (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535)

5. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

นำผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการคัดเลือกในข้อ 4 มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ประกอบด้วย ความชื้น ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซ์ (A.O.A.C., 1990) คุณภาพทางกายภาพ ประกอบด้วย ค่าสี ตามระบบ Hunter (L, a, b) ค่า Aw และพีเอช พร้อมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับ ข้อ 4

6. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

นำผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการคัดเลือกในข้อ 5 มาเก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ขนาด 4.5 x 6.5 ตร.นิ้ว ความหนา 0.15 มม. บรรจุปริมาณ 100 กรัม/ถุง ที่อุณหภูมิห้อง

ประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ทุกๆ 2 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน ดังนี้คือ คุณภาพทางเคมีได้แก่ ความชื้น (A.O.A.C., 1990) คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่า Aw , ค่าสี คุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 4 และตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ยีสต์ และ รา โดยวิธี Marvin (1976)

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. การตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของมังคุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน คือประกอบด้วยความชื้นเป็นส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 80.26 และ 81.21 รองลงมาได้แก่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 17.38 และ 16.54 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก 1.97 และ 1.73 มิลลิกรัม/100 กรัม ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 17.4 และ 17.3 °บริกซ์ สำหรับมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่ามังคุดกลีบใหญ่จะมีความสว่างของสี (ค่า L) มากกว่ากลีบเล็ก เนื่องจากมังคุดกลีบใหญ่มีเนื้อที่หุ้มเมล็ดมากกว่ากลีบเล็กส่งผลให้เกิดลักษณะเนื้อมังคุดที่มีความขุ่นขาวมากกว่า จากค่าพีเอชที่วัดได้แสดงว่ามังคุดทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่จะมีความเป็นกรดสูง และมีค่า Aw สูงเท่ากับ 0.99 ทั้งในกลีบเล็กกลีบใหญ่เนื่องจากมีความชื้นสูง จากการวิเคราะห์ผลทางเคมีและทางกายภาพพบว่าคุณภาพของกลีบมังคุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณภาพใกล้เคียงกับรายงานของชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2533), รุจิรา กิจธารทอง (2534), Department of Health, Nutrition Division (1992) และ Intengen และคณะ (1968) ยกเว้นปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่พบว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จากรายงานนี้แตกต่างกับรายงานของชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล (7.2 มิลลิกรัม/100 กรัม) แต่ใกล้เคียงกับรายงานของรุจิรา กิจธารทอง (2.6 มิลลิกรัม/100 กรัม) และรายงานของ Intengen และคณะ (2.0 มิลลิกรัม/100 กรัม)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของมังคุดที่ใช้ในงานวิจัย

องค์ประกอบ		กลีบเล็ก*	กลีบใหญ่*
ทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)		80.26±0.95	81.21±0.56
กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (มิลลิกรัม/100 กรัม)		0.77±0.13	0.85±0.27
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/100 กรัม)		1.97±0.06	1.73±0.12
น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)		17.38±0.13	16.54±0.12
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)		3.80±0.20	4.10±0.19
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{0}บริกซ์)		17.4±0.17	17.3±0.05
ทางกายภาพ			
ค่าสี	L	23.39±1.65	31.07±0.98
	a	0.36±0.12	0.03±0.05
	b	1.05±0.32	2.39±0.58
pH		3.03±0.15	3.27±0.21
Aw		0.99±0.004	0.99±0.004

หมายเหตุ : * ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์โดยใช้น้ำหนักเปียก

2. การศึกษาสภาวะการออสโมซิส

2.1 ผลของชนิด ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิและเวลาในการแช่ต่อการลดปริมาณน้ำและการเพิ่มของปริมาณน้ำตาลในชิ้นมังคุดในระหว่างการออสโมซิส

2.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่า water loss และ solid gain ของมังคุดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4 ค่า water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายซูโครสที่สภาวะต่างกัน

สภาวะการออสโมซิส			water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด)		solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด)	
ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (°บริกซ์)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (ชม.)	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่
50	30	6	33.00	26.26	8.02	5.15
50	70	6	37.84	41.03	14.50	9.51
70	30	6	42.76	37.69	9.94	6.89
70	70	6	50.75	51.06	17.43	11.57
50	50	4	33.74	29.63	8.99	6.26
50	50	8	39.90	40.71	10.94	7.29
70	50	4	49.07	45.24	10.42	7.06
70	50	8	51.36	52.17	13.38	9.22
60	30	4	38.38	29.29	6.84	4.29
60	30	8	41.26	36.61	10.14	6.90
60	70	4	42.58	45.88	11.62	8.13
60	70	8	45.57	47.53	15.96	11.52
60	50	6	44.48	45.10	11.28	6.92
60	50	6	42.93	42.84	10.73	7.65
60	50	6	45.78	42.33	10.62	7.78

ตารางที่ 5 ค่า water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่สภาวะต่างกัน

สภาวะการออสโมซิส			water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด)		solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด)	
ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (°บริกซ์)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (ชม.)	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่
50	30	6	35.25	28.99	6.78	4.21
50	70	6	39.17	40.25	13.84	9.22
70	30	6	43.25	36.03	10.34	6.09
70	70	6	52.72	51.56	16.76	11.35
50	50	4	35.80	33.71	9.76	5.66
50	50	8	39.86	39.62	10.85	6.80
70	50	4	46.12	42.91	11.18	7.10
70	50	8	50.95	47.65	14.30	8.81
60	30	4	37.47	30.12	6.22	3.68
60	30	8	41.58	33.46	10.09	5.17
60	70	4	42.46	46.47	12.10	8.90
60	70	8	45.19	50.51	15.84	10.66
60	50	6	44.36	43.19	10.90	8.00
60	50	6	44.72	40.97	10.54	8.05
60	50	6	44.15	41.93	11.99	5.22

ตารางที่ 6 ค่า water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายกลูโคสที่สภาวะต่างกัน

สภาวะการออสโมซิส			water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด)		solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด)	
ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (°บริกซ์)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (ชม.)	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่
50	30	6	28.76	26.28	1.41	0.91
50	70	6	41.50	40.03	3.88	1.19
70	30	6	40.50	33.35	0	1.80
70	70	6	53.04	52.61	1.89	1.72
50	50	4	37.14	32.93	1.56	0.79
50	50	8	41.08	40.80	2.91	0.57
70	50	4	45.98	44.60	2.34	1.41
70	50	8	53.63	53.66	2.89	1.50
60	30	4	34.43	28.62	2.25	0.63
60	30	8	40.22	33.42	3.21	1.07
60	70	4	44.95	44.29	2.91	0.93
60	70	8	48.29	45.47	3.54	1.47
60	50	6	46.78	44.17	2.92	1.59
60	50	6	47.27	43.24	3.45	1.83
60	50	6	46.24	43.50	3.18	1.53

2.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ศึกษา

จากการนำค่า water loss และ solid gain มาหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิและเวลา โดยวิธี multiple regression แสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการกำลังสอง ได้ผลดังตารางที่ 7-9 พบว่าค่า coefficient of determination (R^2) มีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 0.97 ยกเว้นสมการความสัมพันธ์ของค่า solid gain ของสารละลายกลูโคสเท่านั้นที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.73 และ 0.89 สำหรับมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ตามลำดับ สาเหตุที่ค่า R^2 ของชุดการทดลองดังกล่าวต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ นั้น อาจเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองซึ่งเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน อาทิ ความไม่สม่ำเสมอของความสุกของผลไม้ ความไม่สม่ำเสมอของขนาดชิ้นผลไม้ นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากธรรมชาติของน้ำตาล ซึ่งพบว่าจากผลการทดลองของกรุณา วงศ์กระจ่าง (2535) ในการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสในสารละลายกลูโคส ได้สมการความสัมพันธ์ของค่า solid gain ในสารละลายกลูโคสต่ำเช่นกัน (R^2 = 0.70) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายกลูโคสมีความหนืดสูงซึ่งอาจมีผลต่อค่า solid gain ของชิ้นมังคุดทำให้ค่า R^2 ที่ได้จากสารละลายน้ำตาลชนิดนี้ต่ำกว่าชนิดอื่นๆ แต่พบว่ามีรายงานการวิจัยหลายเรื่องได้ใช้สมการความสัมพันธ์ที่มี ค่า R^2 ต่ำเช่นกัน (กรุณา วงศ์กระจ่าง, 2535 ; Motycka, *et al.*, 1984)

ตารางที่ 7 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss, solid gain และ coefficient of determination (R^2) ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายซูโครส

	สมการ	R^2
กลีบเล็ก		
water loss	$Y = -56.96272 + 1.759748\ X_1 + .5045523\ X_2 + 3.796921\ X_3 + 3.923694\ E\text{-}03\ X_1 X_2 + 7.180873\ E\text{-}04\ X_2 X_3 + -4.849154\ E\text{-}02\ X_1 X_3 - 8.722395\ E\text{-}03\ X_1^2 + -6.108069\ E\text{-}03\ X_2^2 + -2.352705\ E\text{-}03\ X_3^2$	0.97
solid gain	$Y = 27.09214 + -.8621034\ X_1 + -.1854641\ X_2 + 1.60911\ X_3 + 1.246949\ E\text{-}03\ X_1 X_2 + 6.495903\ E\text{-}03\ X_2 X_3 + 1.272797\ E\text{-}02\ X_1 X_3 + 6.936122\ E\text{-}03\ X_1^2 + 2.253021\ E\text{-}03\ X_2^2 + -.159409\ X_3^2$	0.97
กลีบใหญ่		
water loss	$Y = -120.2071 + 2.39337\ X_1 + 1.482782\ X_2 + 7.603726\ X_3 + -1.761917\ E\text{-}03\ X_1 X_2 + -3.546212\ E\text{-}02\ X_2 X_3 + -5.213226\ E\text{-}02\ X_1 X_3 + 1.154693\ E\text{-}02\ X_1^2 + -8.164992\ E\text{-}03\ X_2^2 + 8.470558\ E\text{-}02\ X_3^2$	0.97
solid gain	$Y = 12.6023 + -.3671739\ X_1 + -7.980045\ E\text{-}02\ X_2 + .3198854\ X_3 + 4.106896\ E\text{-}04\ X_1 X_2 + 4.934893\ E\text{-}03\ X_2 X_3 + 1.410552\ E\text{-}02\ X_1 X_3 + 2.86316\ E\text{-}03\ X_1^2 + .349054\ E\text{-}03\ X_2^2 - 6.990457\ E\text{-}02\ X_3^2$	0.97

ตารางที่ 8 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss, solid gain และ coefficient of determination (R^2) ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส

	สมการ	R^2
กลีบเล็ก		
water loss	$Y = -4.550046 + .3182607\ X_1 + .1890692\ X_2 + 4.066489\ X_3 + 6.922068\ E\text{-}03\ X_1 X_2 + -8.624179\ E\text{-}03\ X_2X_3 + 9.600426\ E\text{-}03\ X_1X_3 - 1.541639\ E\text{-}03\ X_1^2 + -4.152493\ E\text{-}03\ X_2^2 + -.2690537\ X_3^2$	0.98
solid gain	$Y = 18.61079 + -.7348782\ X_1 + .1691549\ X_2 - 1.082873\ E\text{-}02\ X_3 + -8.020542\ E\text{-}04\ X_1 X_2 - 2.063867\ E\text{-}04\ X_2X_3 + 2.536223\ E\text{-}02\ X_1 X_3 + 6.371536\ E\text{-}03\ X_1^2 + 3.768391\ E\text{-}04\ X_2^2 - 6.401826\ E\text{-}02\ X_3^2$	0.97
กลีบใหญ่		
water loss	$Y = -46.10401 + 1.463066\ X_1 + .4868838\ X_2 + 1.982304\ X_3 + 5.336553\ E\text{-}03\ X_1 X_2 + 4.352156\ E\text{-}03\ X_2 X_3 + 1.476161\ E\text{-}02\ X_1X_3 + -9.971172\ E\text{-}03\ X_1^2 + -4.569181\ E\text{-}03\ X_2^2 + -1.564284\ E\text{-}02\ X_3^2$	0.98
solid gain	$Y = 7.130234 + -.3379461\ X_1 + 2.176602\ E\text{-}02\ X_2 + .7792266\ X_3 + 3.167563\ E\text{-}04\ X_1 X_2 + 1.715516\ E\text{-}03\ X_2 X_3 + 7.243796\ E\text{-}03\ X_1 X_3 + 3.098898\ E\text{-}03\ X_1^2 + 8.009126\ E\text{-}04\ X_2^2 + -7.651649\ E\text{-}02\ X_3^2$	0.92

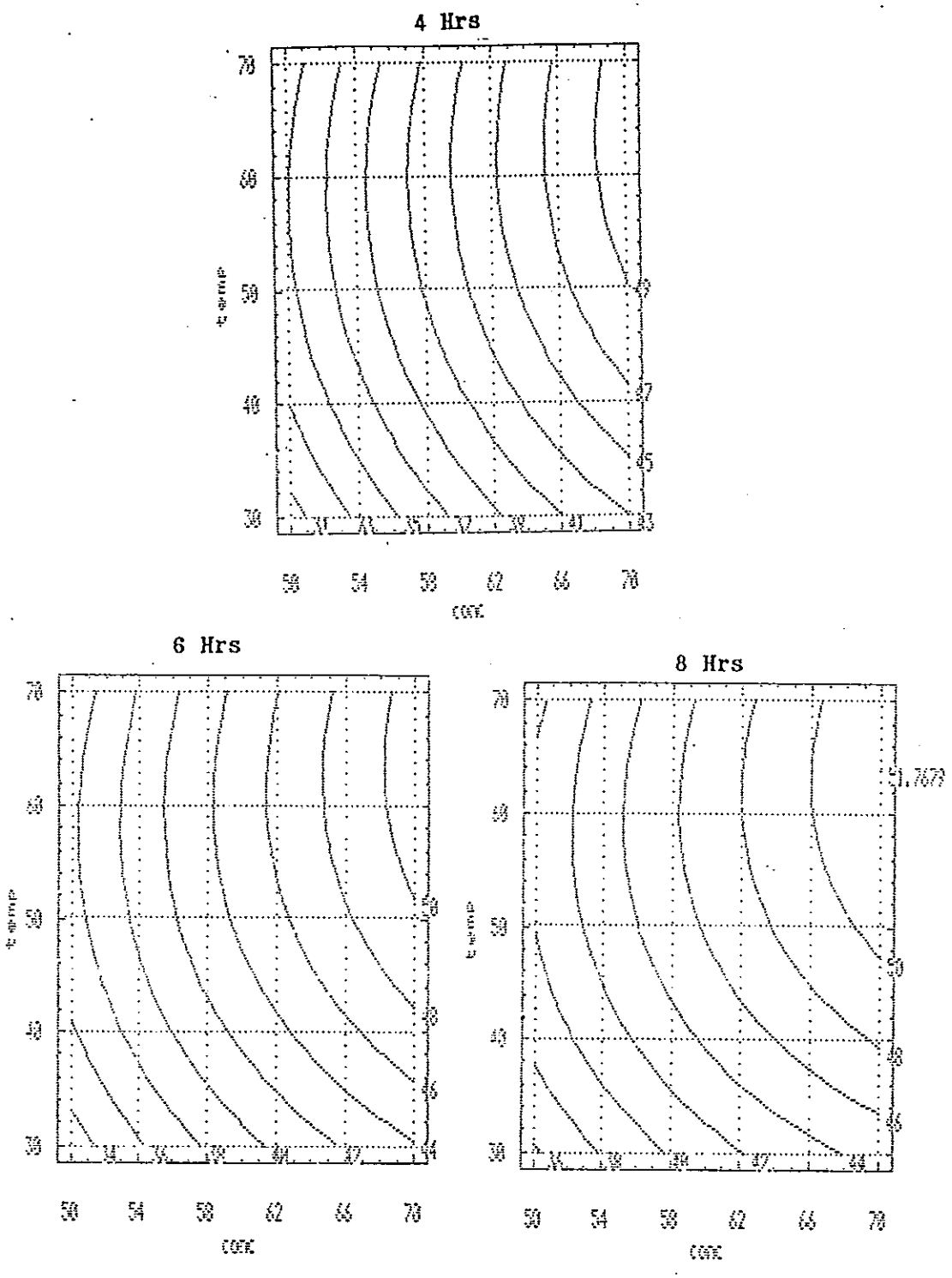
ตารางที่ 9 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss, solid gain และ coefficient of determination (R^2) ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายกลูโคส

	สมการ	R^2
กลีบเล็ก		
water loss	$Y = -88.61218 + 2.292537\ X_1 + 1.41838\ X_2 + 1.217601\ X_3 + -2.503529\ E\text{-}04\ X_1 X_2 + -1.535101\ E\text{-}02\ X_2X_3 + 4.625175\ E\text{-}02\ X_1X_3 + -1.665952\ E\text{-}02\ X_1^2 + -1.037001\ E\text{-}03\ X_2^2 + -.1608434\ X_3^2$	0.98
solid gain	$Y = -39.95986 + 1.231501\ X_1 + .1935362\ X_2 + .288946\ X_3 + -6.999433\ E\text{-}04\ X_1 X_2 + -2.091428\ E\text{-}03\ X_2X_3 + -1.009168\ E\text{-}02\ X_1X_3 + -9.743776\ E\text{-}03\ X_1^2 + -1.053152\ E\text{-}03\ X_2^2 + .0533236\ X_3^2$	0.73
กลีบใหญ่		
water loss	$Y = -43.97502 + .4366253\ X_1 + 1.429529\ X_2 + 2.807816\ X_3 + 6.887435\ E\text{-}03\ X_1 X_2 + -2.263891\ E\text{-}02\ X_2X_3 + 1.487503\ E\text{-}02\ X_1X_3 + -2.648803\ E\text{-}03\ X_1^2 + -1.327334\ E\text{-}02\ X_2^2 + -9.470321\ E\text{-}02\ X_3^2$	0.97
solid gain	$Y = -9.835764 + .1582805\ X_1 + 6.487366\ E\text{-}02\ X_2 + 1.233988\ X_3 + -4.504126\ E\text{-}04\ X_1 X_2 + 6.231154E\text{-}04\ X_2 X_3 + 3.869075E\text{-}03\ X_1 X_3 + -1.015396\ E\text{-}03\ X_1^2 + -3.596227\ E\text{-}04\ X_2^2 + -.1203465\ X_3^2$	0.89

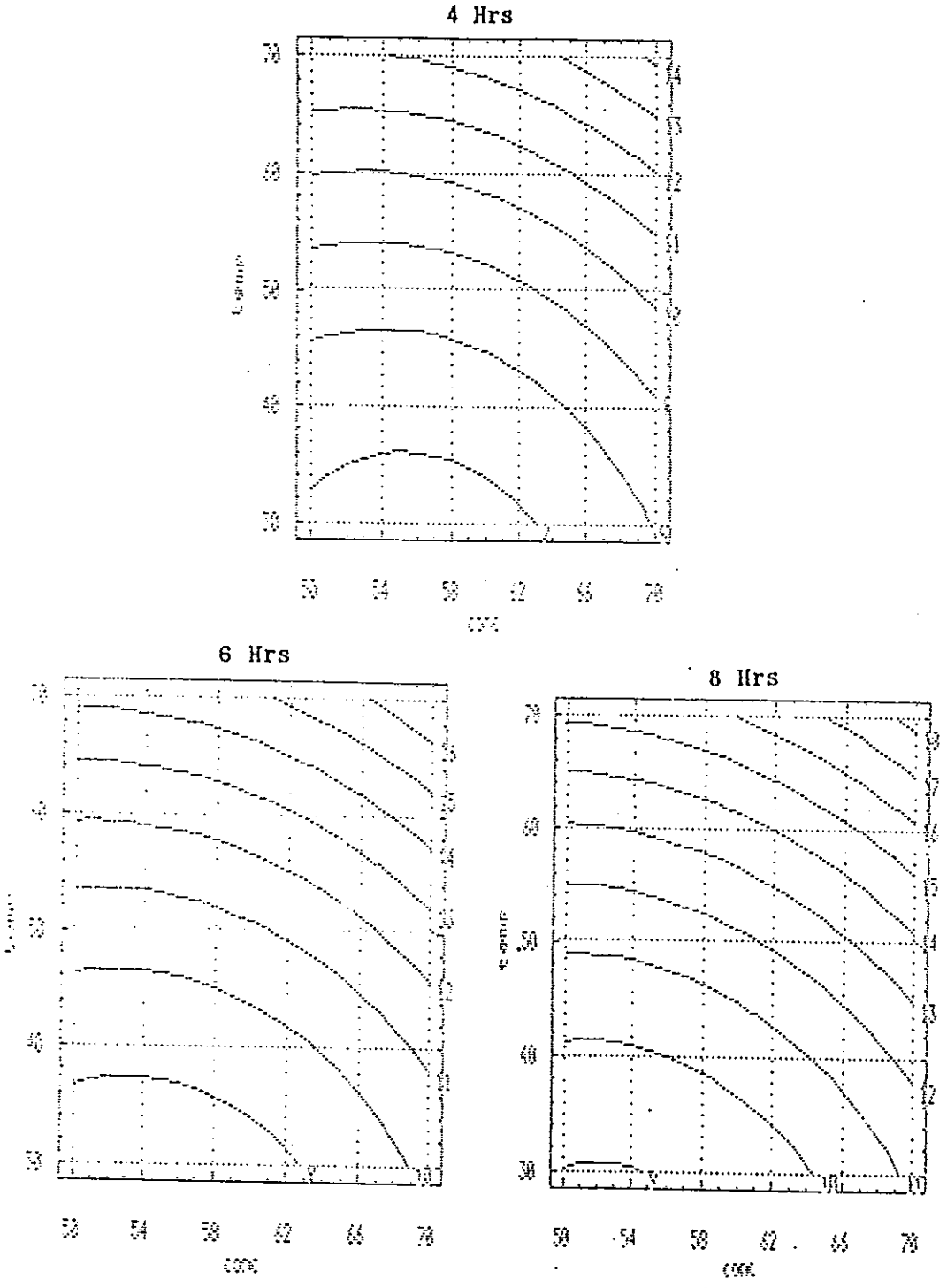
จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ สามารถนำมาคำนวณค่า water loss และ solid gain ภายในช่วงของตัวแปรที่ศึกษา และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STATGRAPHICS เพื่อสร้าง contour plots ของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาต่อค่า water loss และ solid gain ในน้ำตาลแต่ละชนิดที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม. ได้ผลดังนี้

สารละลายซูโครส

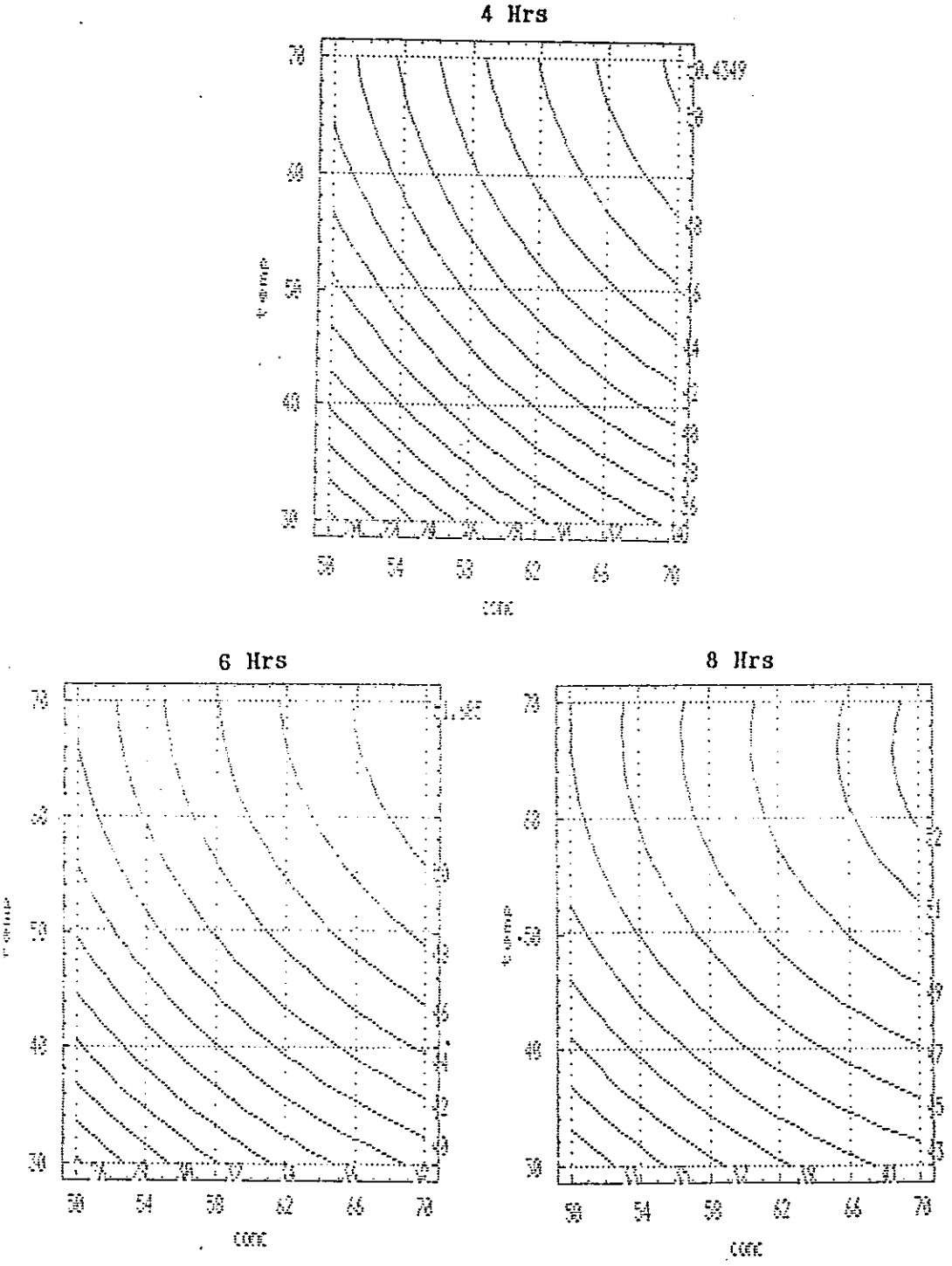
จาก contour plots ของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม. (ภาพที่ 8-11) จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสโดยอุณหภูมิและเวลาในการแช่คงที่ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น จะมีผลให้ค่า water loss และ solid gain สูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ravindran (1989) และ Beristain และคณะ (1990) ในทำนองเดียวกันจากการพิจารณาผลของอุณหภูมิเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและเวลาในการแช่คงที่ จะพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้ค่า water loss และ solid gain มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง เป็นผลให้การออสโมซิสเกิดขึ้นได้ดี (Bongirwa and Sreeniyanan, 1977) และเมื่อพิจารณาผลของเวลาในการแช่ขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและอุณหภูมิคงที่ พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า water loss และ solid gain เพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงสามารถคัดเลือกสภาวะของการแช่ในสารละลายซูโครสที่ให้ค่า water loss สูงสุดได้ที่เวลา 8 ชม. โดยใช้สภาวะการแช่ที่ความเข้มข้น 67-70 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 48-70 °ซ ซึ่งให้ค่า water loss จำนวน 50 กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด ในมังคุดกลีบเล็ก และสภาวะในการแช่ที่ความเข้มข้น 66-70 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 53-70 °ซ ให้ค่า water loss จำนวน 51 กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบใหญ่



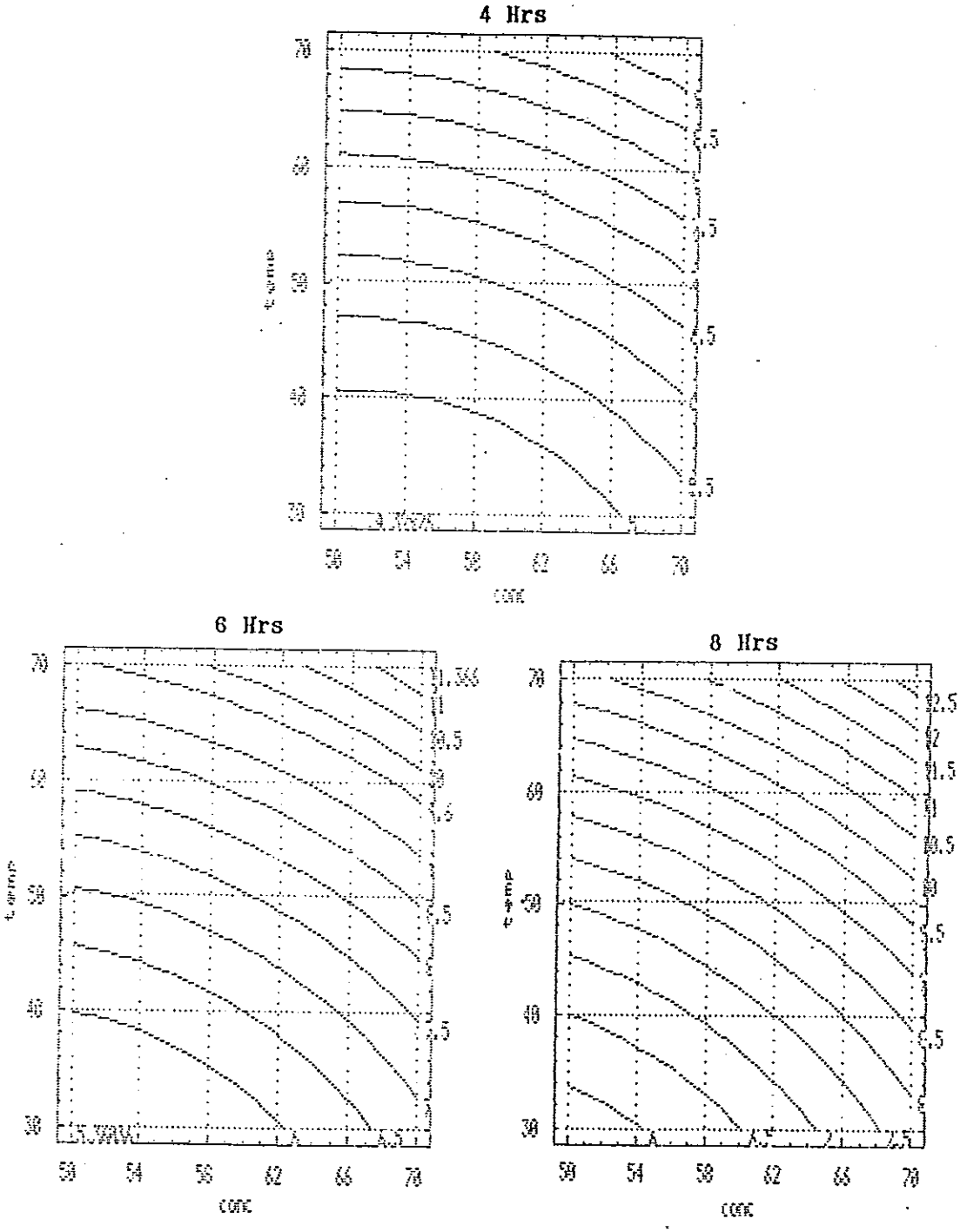
ภาพที่ 8 ค่า water loss (กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.



ภาพที่ 9 ค่า solid gain (กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.



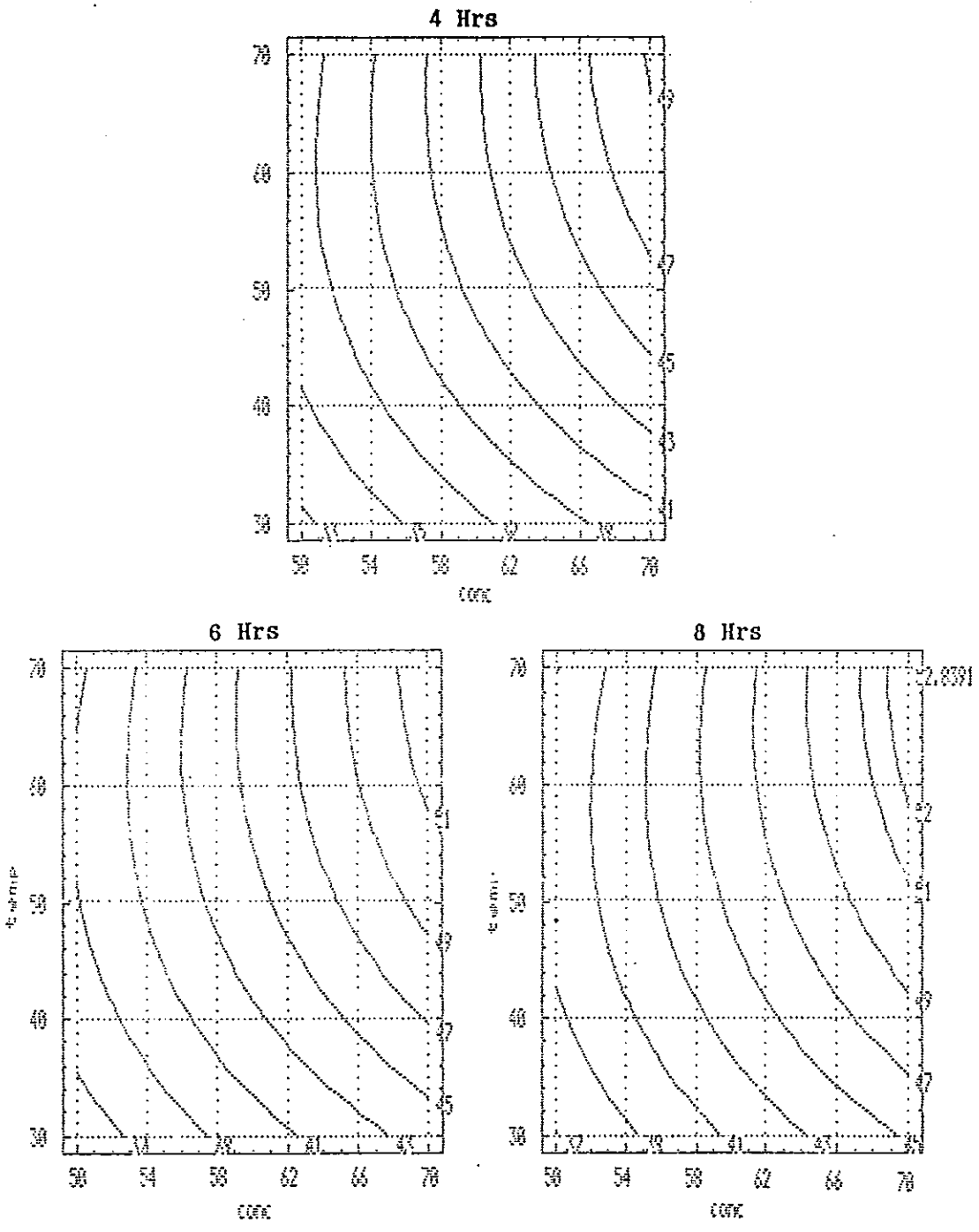
ภาพที่ 10 ค่า water loss (กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.



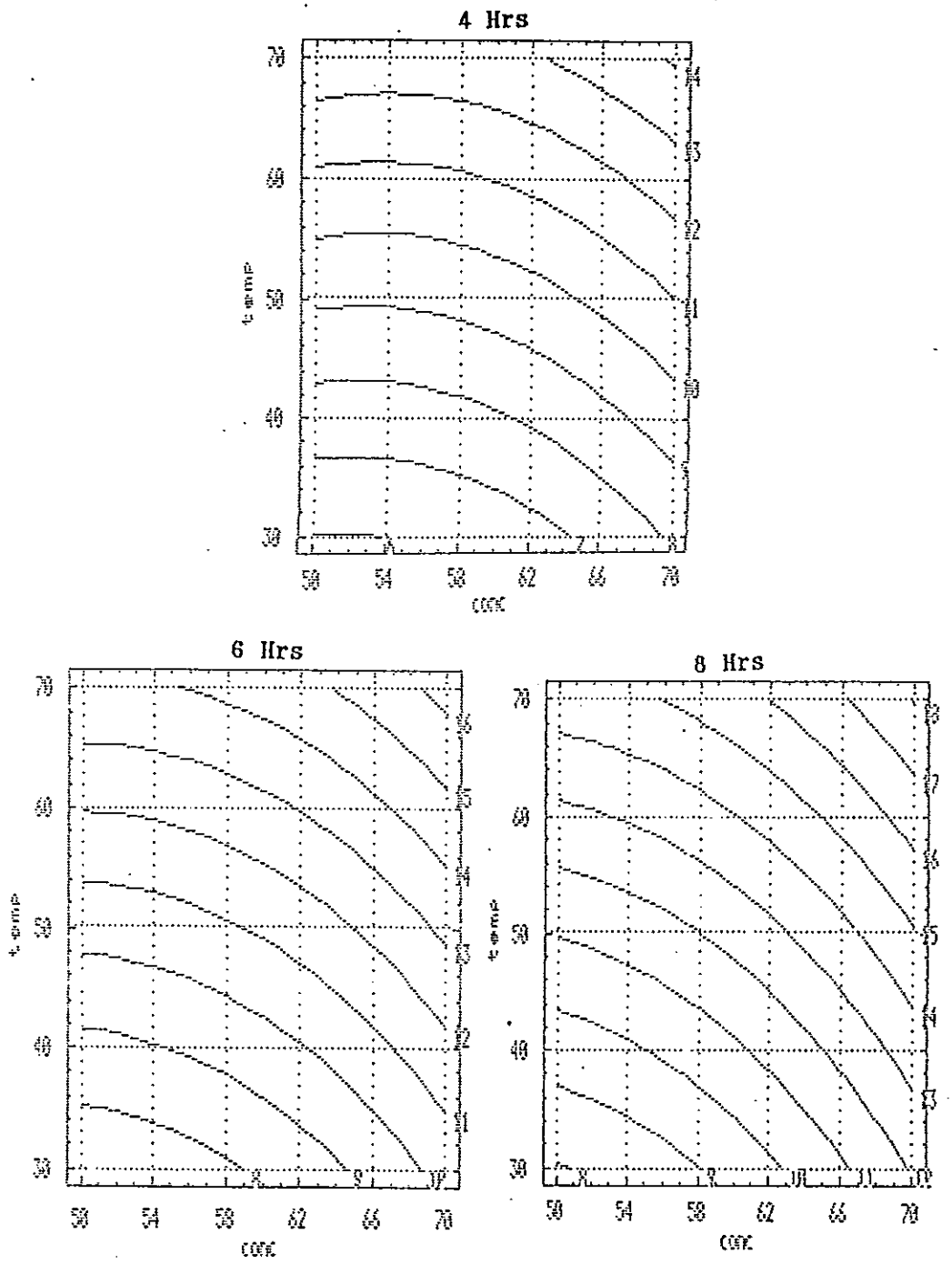
ภาพที่ 11 ค่า solid gain (กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.

สารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟรุกโตส

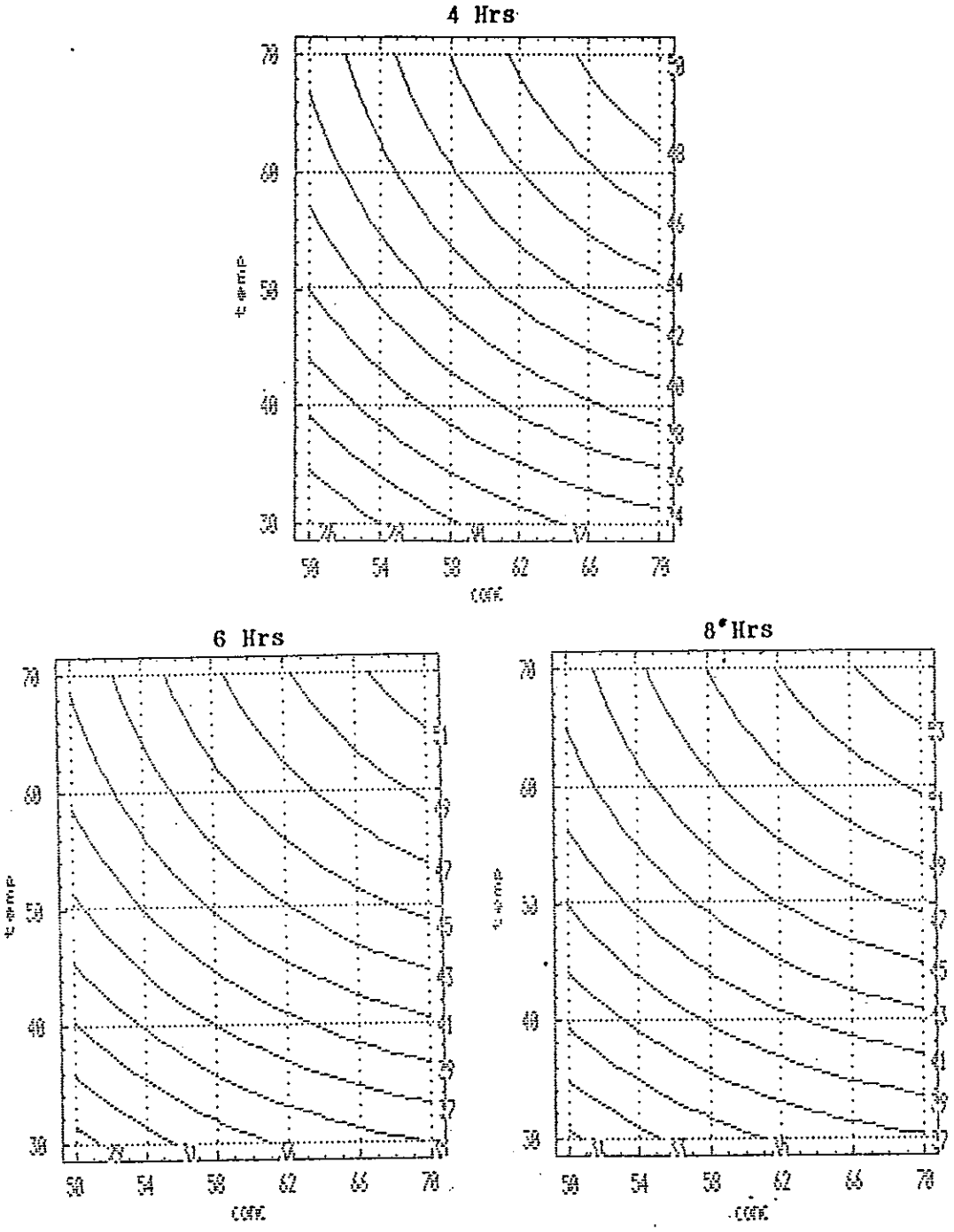
จาก contour plots ของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตสที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม. (ภาพที่ 12-15) พบว่ามีลักษณะทำนองเดียวกับ contour plots ของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสคือ เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการแช่คงที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่า water loss และ solid gain สูงขึ้นตามลำดับ และในทำนองเดียวกันเมื่ออุณหภูมิในการแช่สูงขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและเวลาในการแช่คงที่จะมีผลให้ค่า water loss และ solid gain ของมังคุดสูงขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาผลของเวลาในการแช่ขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและอุณหภูมิคงที่ พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า water loss และ solid gain เพิ่มขึ้นเช่นกัน จาก contour plots ของค่า water loss ของมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ สามารถคัดเลือกสภาวะของการแช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตที่ให้ค่า water loss สูงสุดได้ที่เวลา 8 ชม. โดยใช้สภาวะการแช่ที่ความเข้มข้น 67-70 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 52-70 °ซ ซึ่งให้ค่า water loss จำนวน 51 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด ในมังคุดกลีบเล็ก และที่ความเข้มข้น 62-70 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 54-70 °ซ ให้ค่า water loss จำนวน 51 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดลีบใหญ่



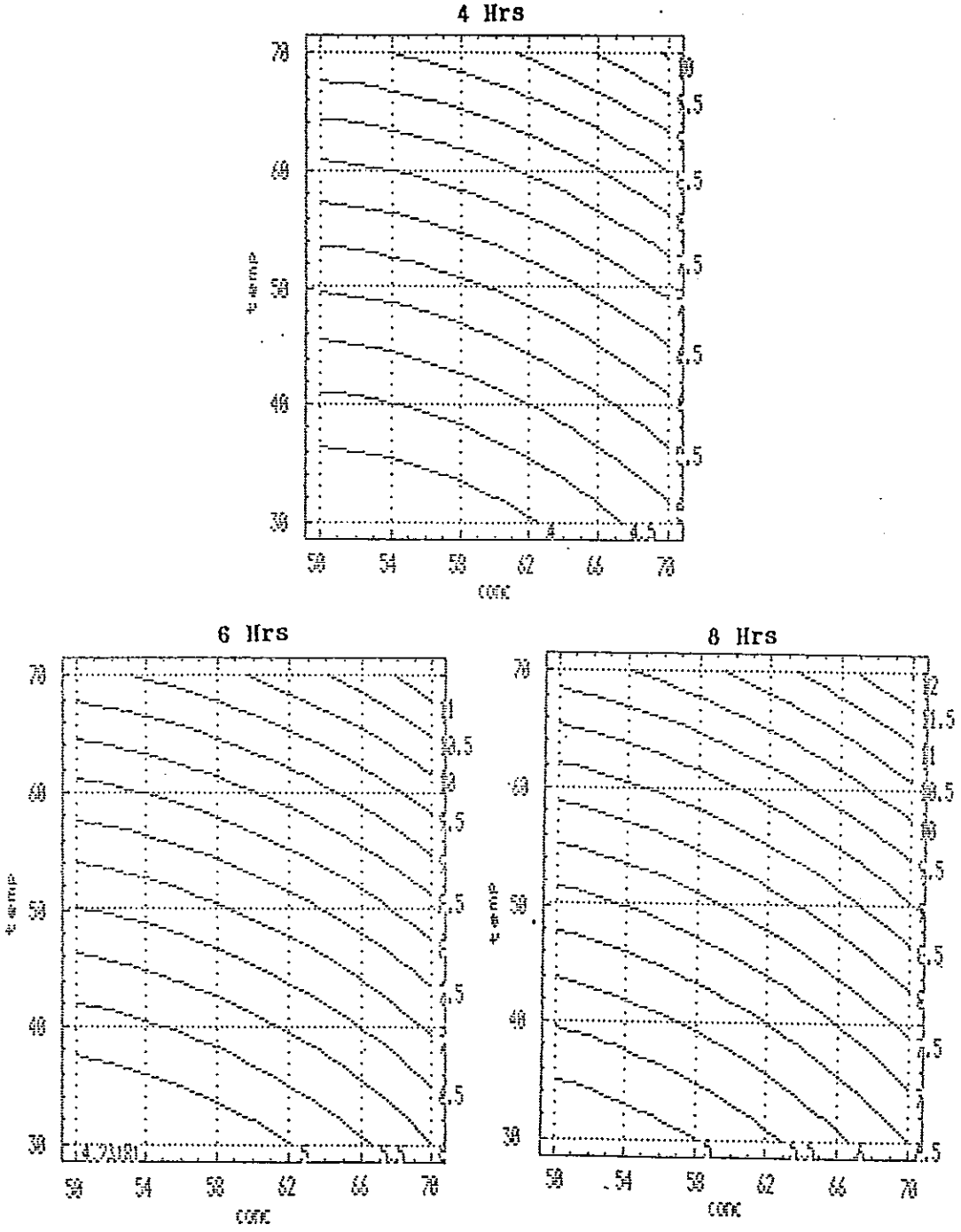
ภาพที่ 12 ค่า water loss (กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.



ภาพที่ 13 ค่า solid gain (กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตรส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.



ภาพที่ 14 ค่า water loss (กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.

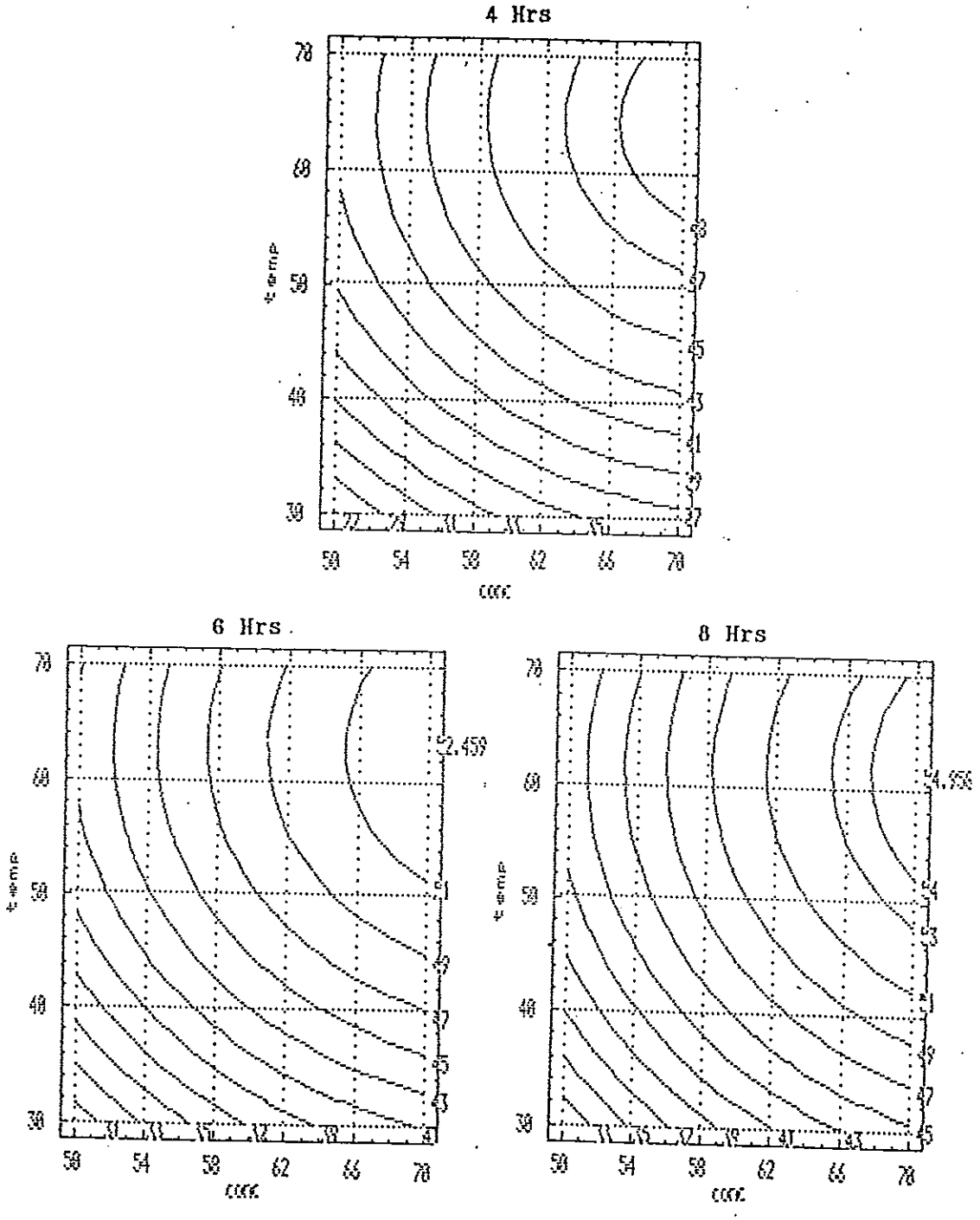


ภาพที่ 15 ค่า solid gain (กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสและฟรุกโตส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.

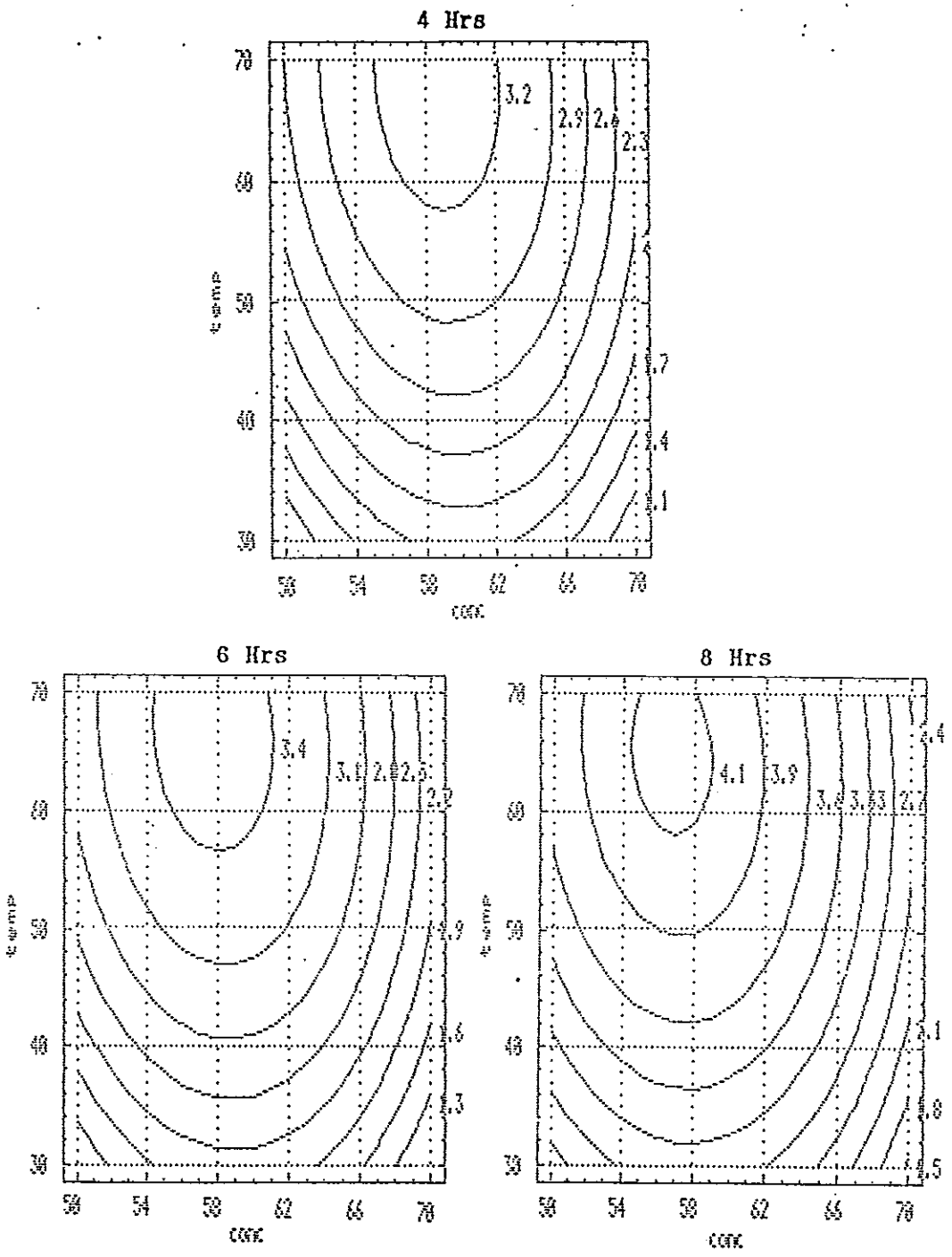
สารละลายกลูโคส

จาก contour plots ของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายกลูโคสที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม. (ภาพที่ 16-19) พบว่า contour plots ของค่า water loss ของมังคุดกลีบเล็กและใหญ่มีลักษณะทำนองเดียวกับ contour plots ของค่า water loss ของมังคุดทั้งสองขนาดที่แช่ในสารละลายซูโครส และสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส คือค่า water loss จะแปรผันตามความเข้มข้น อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่ ส่วน contour plots ของค่า solid gain ของมังคุดกลีบเล็กและใหญ่ที่แช่ในสารละลายกลูโคสจะแตกต่างจาก contour plots ของค่า solid gain ของมังคุดที่แช่ในสารละลายซูโครส และสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตสคือ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายกลูโคส (ภาพที่ 17) จะให้ค่าสูงสุดในช่วงความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 54 - 62 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 70 °ซ เมื่อความเข้มข้นสูงกว่า 62 °บริกซ์ ค่า solid gain จะลดลง ส่วนในมังคุดกลีบใหญ่ (ภาพที่ 19) พบว่าค่า solid gain จะสูงสุดในช่วงเวลา 6 ชม. หลังจากนั้นค่าจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาค่า solid gain ของมังคุดทั้งกลีบเล็กและใหญ่ที่แช่ในสารละลายกลูโคสจะมีค่าต่ำกว่า solid gain ของมังคุดในสารละลายน้ำตาล 2 ชนิดแรกมาก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของกรุณา วงค์กระจ่าง (2535) และ Heng และคณะ (1990) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารละลายกลูโคสมีความหนืดสูงกว่าสารละลายซูโครสและฟรุกโตส เพราะในสารละลายกลูโคสมีส่วนประกอบของน้ำตาลโมเลกุลใหญ่อยู่มาก ดังนั้นจึงมีความสามารถในการออสโมซิสเข้าไปในเนื้อมังคุดได้น้อย ทำให้ค่า solid gain ของมังคุดในน้ำตาลชนิดนี้มีค่าต่ำกว่าน้ำตาล 2 ชนิดแรกมาก ยิ่งเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลให้สูงมาก (เกิน 62 °บริกซ์) ค่า solid gain จะต่ำลงเนื่องจากสารละลายมีความหนืดมากขึ้น คาดว่าที่ความเข้มข้นสูงนี้ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 °ซ ค่า solid gain จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นการลดความหนืดของสารละลายลง การแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายน้ำตาลกลูโคสในระยะเวลาที่นานขึ้น จะเกิดปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของน้ำที่ออสโมซิสออกมาจากชิ้นมังคุดจะล้อมรอบชิ้นมังคุดนั้นทำให้โมเลกุลของน้ำตาลออสโมซิสเข้าไปในชิ้นมังคุดได้น้อยลง เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลภายนอกชิ้นมังคุดลดลง คาดว่าถ้าระบบมีการกวนหรือมีการเคลื่อนที่ของสารละลายน้ำตาล ค่า solid gain ก็จะเพิ่มขึ้น แต่ไม่ได้เป็นที่ต้องการของงานวิจัยนี้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออสโมซิสในสภาวะที่ให้ค่า water loss สูง และค่า solid gain ต่ำ

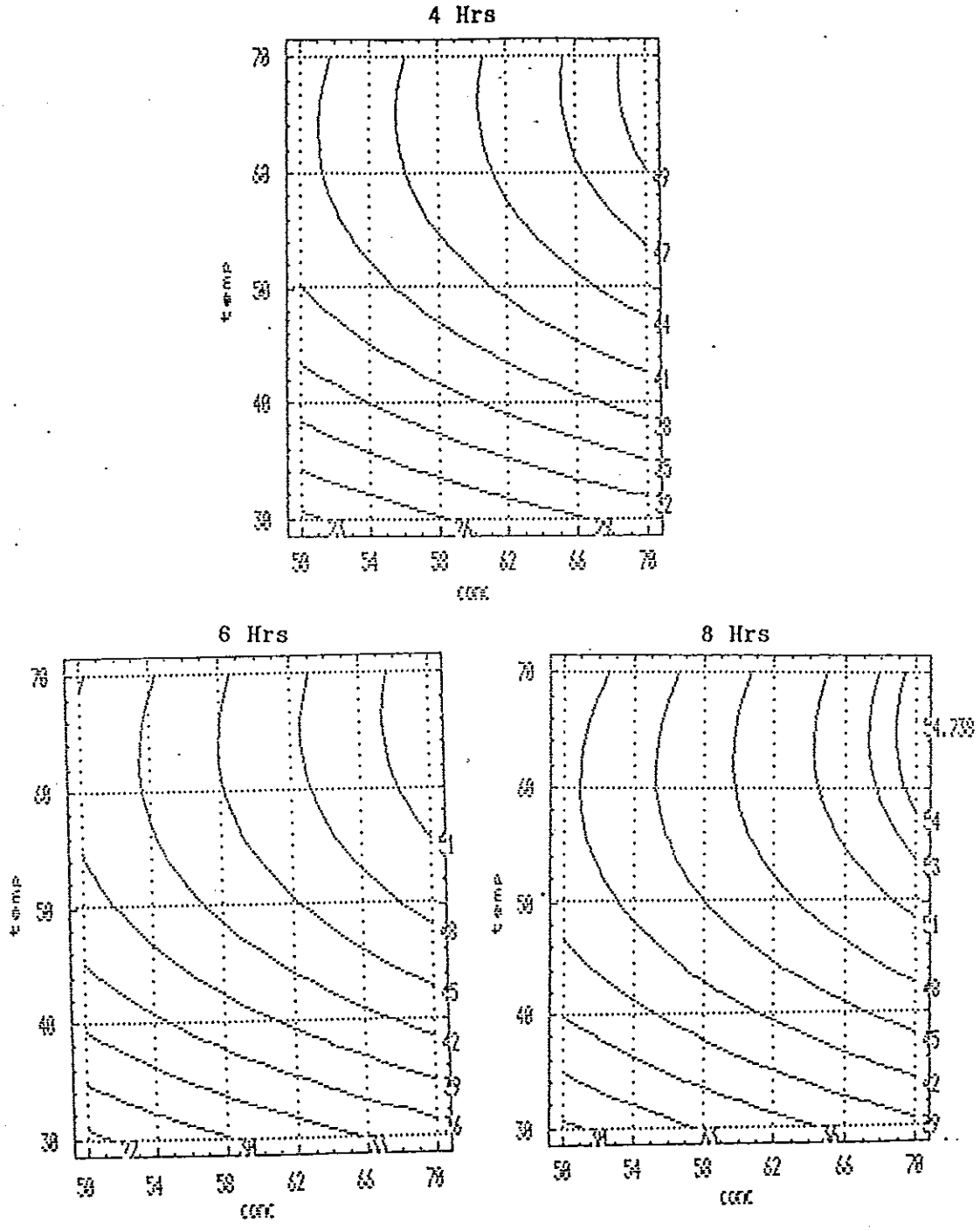
จาก contour plots ของค่า water loss ของมังคุดที่แช่ในสารละลายกลูโคส สามารถคัดเลือกสภาวะของการแช่ที่ทำให้ค่า water loss สูงสุดในสารละลายชนิดนี้ได้ที่เวลา 8 ชม. โดยใช้สภาวะการแช่ที่ความเข้มข้น 69-70 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 52-70 °ซ ซึ่งให้ค่า water loss 54 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด ในมังคุดกลีบเล็ก และที่ความเข้มข้น 68-70 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 54-70 °ซ ให้ค่า water loss 53 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบใหญ่



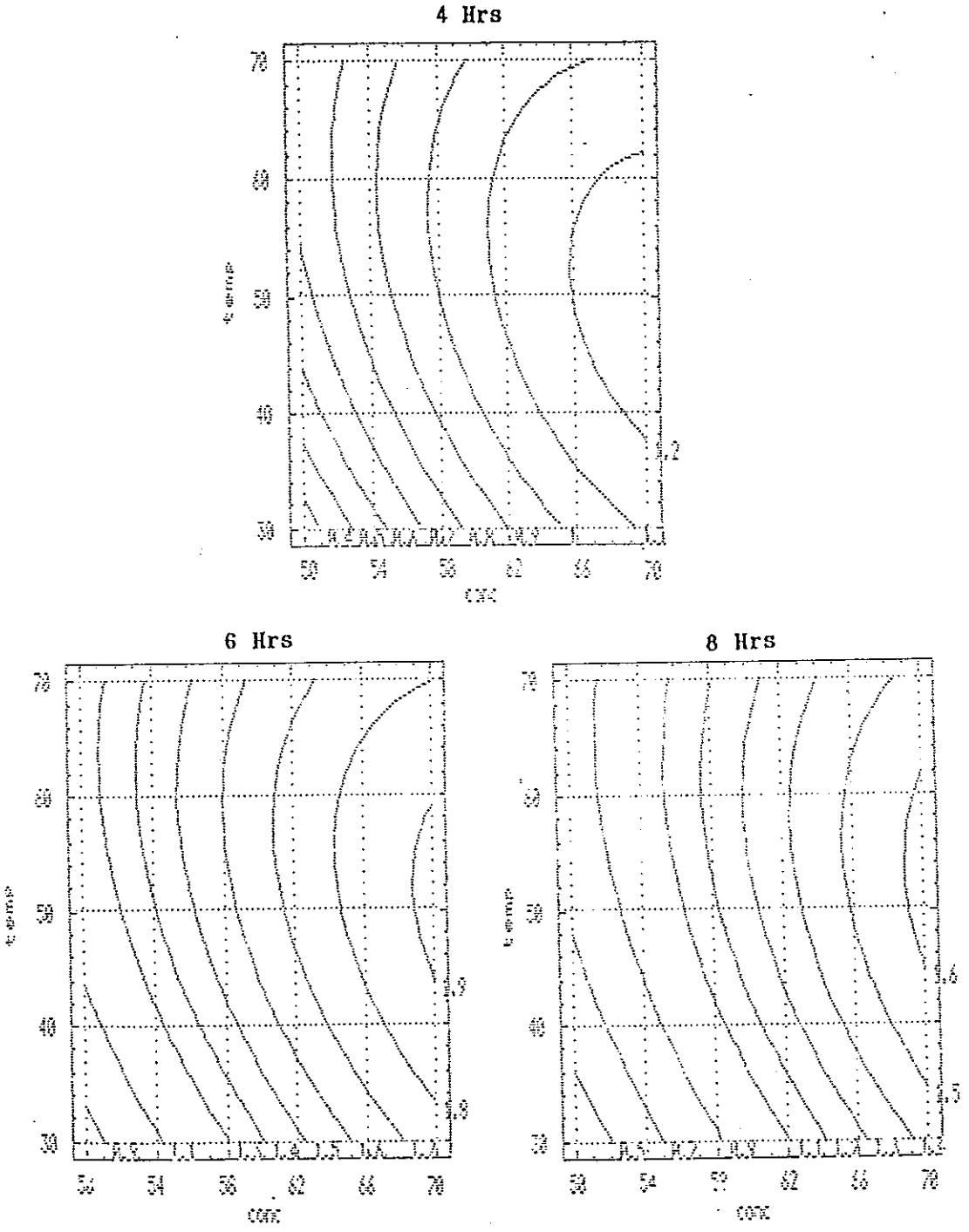
ภาพที่ 16 ค่า water loss (กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายกลูโคส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.



ภาพที่ 17 ค่า solid gain (กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายกลูโคส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.



ภาพที่ 18 ค่า water loss (กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายกลูโคส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.



ภาพที่ 19 ค่า solid gain (กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด) ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายกลูโคส ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชม.

สรุปค่าสูงสุดและต่ำสุดของ water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดในสารละลายน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด ภายใต้สภาวะที่คัดเลือก ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าสูงสุดและต่ำสุดของ water loss และ solid gain ของชิ้นมังคุดในสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ

ชนิดของสารละลายน้ำตาล		เวลาที่ใช้ในการแช่ (ชม.)	ค่าต่ำสุด		ค่าสูงสุด	
			กลีบเล็ก	กลีบใหญ่	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่
ซูโครส	water loss	4	30.28	19.46	50.08	50.43
	(กรัมน้ำ / 100 กรัม	6	33.02	25.63	50.93	51.68
	มังคุดสด)	8	35.74	31.13	51.76	52.39
	solid gain	4	6.64	4.39	14.16	9.45
	(กรัมของแข็ง / 100	6	8.45	5.36	16.88	11.36
	กรัมมังคุดสด)	8	8.95	5.74	18.33	12.71
ซูโครสร่วมกับฟรุกโตส	water loss	4	32.67	25.86	49.21	50.05
	(กรัมน้ำ / 100 กรัม	6	35.86	28.31	52.10	52.25
	มังคุดสด)	8	36.90	30.61	52.83	54.32
	solid gain	4	5.97	3.37	14.12	10.06
	(กรัมของแข็ง / 100	6	7.20	4.23	16.34	11.34
	กรัมมังคุดสด)	8	7.91	4.47	18.05	12.01
กลูโคส	water loss	4	26.91	22.47	48.73	49.94
	(กรัมน้ำ / 100 กรัม	6	29.83	26.33	52.45	52.67
	มังคุดสด)	8	31.47	29.42	54.95	54.73
	solid gain	4	0.80	0.34	3.32	1.25
	(กรัมของแข็ง / 100	6	0.92	0.69	3.50	1.94
	กรัมมังคุดสด)	8	1.46	0.35	4.15	1.63

2.1.3 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิสต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

เนื่องจากอุณหภูมิในการแช่อาจมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุด จึงได้ทดลองแช่มังคุดที่สภาวะอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุดของสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด ในสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิด เพื่อเปรียบเทียบสีของผลิตภัณฑ์ พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิสเพื่อให้ค่า water loss สูงตามสภาวะที่คัดเลือกไว้ไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้ค่า L ลดลงเล็กน้อย ส่วนค่า a และ b จะแตกต่างไปตามแต่ละชนิดของสารละลายน้ำตาล (ตารางที่ 11-13)

ตารางที่ 11 ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายซูโครสเป็นเวลา 8 ชม.

สภาวะที่ใช้ในการออสโมซิส		ค่าการวัดสีของมังคุดกึ่งแห้ง		
ความเข้มข้น (^{0}บริกซ์)	อุณหภูมิ (^{0}ซ)	L	a	b
กลีบเล็ก				
67	70	22.28^{ns}	-0.06^{ns}	2.85^{ns}
70	48	22.57	0.07	2.69
กลีบใหญ่				
66	70	21.28^{ns}	1.08^{ns}	2.37^{ns}
70	53	21.65	0.89	2.71

หมายเหตุ : ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 12 ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตสเป็นเวลา 8 ชม.

สภาวะที่ใช้ในการออสโมซิส		ค่าการวัดสีของมังคุดกึ่งแห้ง		
ความเข้มข้น (°บริกซ์)	อุณหภูมิ (°ซ)	L	a	b
กลีบเล็ก				
67	70	21.23^{ns}	-0.10^{ns}	2.79^{ns}
70	52	21.78	-0.25	3.18
กลีบใหญ่				
62	70	19.87^{ns}	-0.06^{ns}	1.12^{ns}
70	54	20.05	0.91	2.06

หมายเหตุ : ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 13 ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายกลูโคสเป็นเวลา 8 ชม.

สภาวะที่ใช้ในการออสโมซิส		ค่าการวัดสีของมังคุดกึ่งแห้ง		
ความเข้มข้น (°บริกซ์)	อุณหภูมิ (°ซ)	L	a	b
กลีบเล็ก				
67	70	23.49^{ns}	-0.07^{ns}	2.79^{ns}
70	52	24.21	0.12	2.98
กลีบใหญ่				
68	70	22.33^{ns}	1.32^{ns}	2.93^{ns}
70	54	22.08	0.26	2.31

หมายเหตุ : ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

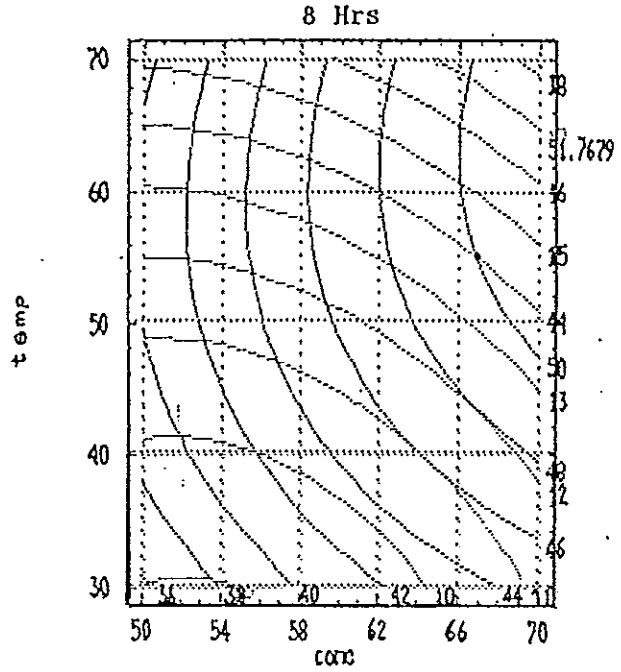
2.1.4 การพิจารณาสภาวะการออสโมซิสจากค่า water loss และ solid gain

จากการพิจารณาค่า water loss และ solid gain โดยมีจุดประสงค์ที่จะเลือกสภาวะที่ให้ค่า water loss สูง และ solid gain ต่ำ ซึ่งเกณฑ์ในการคัดเลือกจะยึดค่า water loss ที่สูงสุดเป็นหลัก แล้วนำค่า solid gain และปัจจัยอื่นๆ มาพิจารณาร่วมซึ่งได้แก่ ความสามารถในการละลายของน้ำตาล อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ลักษณะของผลิตภัณฑ์ และต้นทุนในการผลิต เป็นต้น อย่างไรก็ตามแนวทางหนึ่งในการพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมสามารถทำได้จากการซ้อนกราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดที่ออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิด ได้ผลดังภาพที่ 20-25

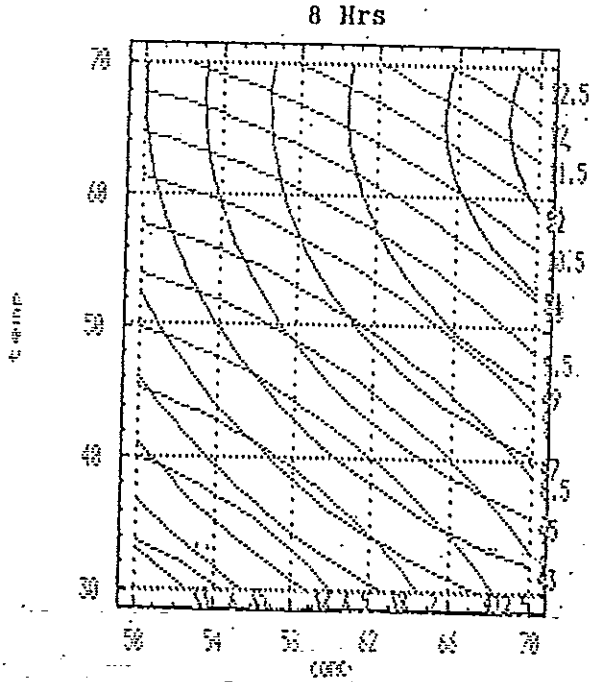
สารละลายซูโครส

จากการพิจารณาค่า water loss ของการออสโมซิสมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ในสารละลายซูโครส ในตารางที่ 10 พบว่าที่เวลา 8 ชม. จะให้ค่า water loss สูงสุดคือ 51.76 และ 52.39 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด ตามลำดับ จึงได้เลือกพิจารณาเส้นกราฟของ water loss 50 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด ที่เวลา 8 ชม. สำหรับมังคุดกลีบเล็ก (ภาพที่ 8) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด พบว่าสภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้น 66 - 70 °บริกซ์ และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 48-70 °ซ ส่วนมังคุดกลีบใหญ่พบว่าเส้นกราฟของ water loss 52 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด (ภาพที่ 10) แต่จะเห็นว่าเส้นกราฟดังกล่าวสั้นมาก ดังนั้นจึงได้พิจารณาเส้นกราฟ water loss 51 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสดแทน เพราะจะทำให้มีโอกาสในการเลือกสภาวะได้กว้างกว่า ซึ่งสภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้น 66-70 °บริกซ์ และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 53-70 °ซ จึงทำการเลือกสภาวะบนเส้นกราฟที่ให้ค่า water loss สูงสุดนี้ และจากการศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วงที่คัดเลือก พบว่าไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ (ตารางที่ 11) ดังนั้นเมื่อนำค่า solid gain มาพิจารณาร่วม โดยการซ้อนกราฟของค่า water loss และ solid gian ที่เวลา 8 ชม. (ภาพที่ 20-21) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด และ solid gain ต่ำ โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการออสโมซิสร่วมด้วย จึงได้เลือกสภาวะความเข้มข้น 67 °บริกซ์ อุณหภูมิ 55 °ซ เป็นเวลา 8 ชม. ซึ่งให้ค่า water loss 50 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด และค่า solid gain 14 กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และเลือกสภาวะความเข้มข้น 66 °บริกซ์ อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา

8 ชม. ซึ่งให้ค่า water loss 51 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด และค่า solid gain 10.5 กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ในสารละลายซูโครส



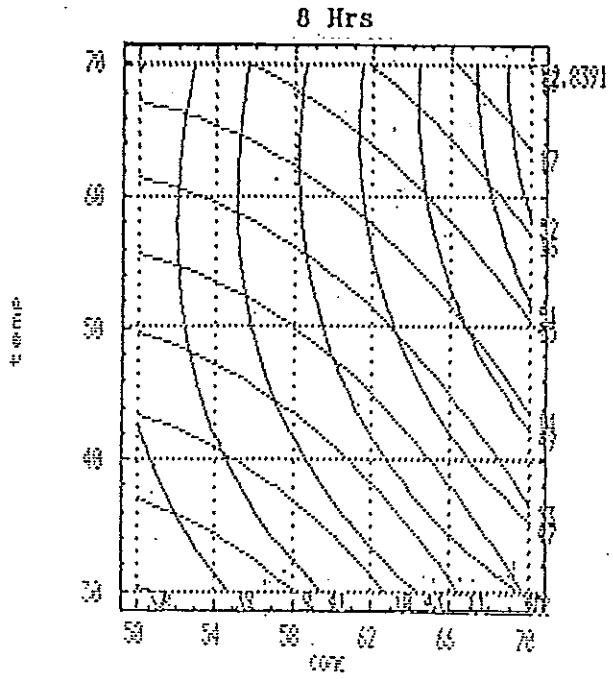
ภาพที่ 20 กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครส เป็นเวลา 8 ชม.



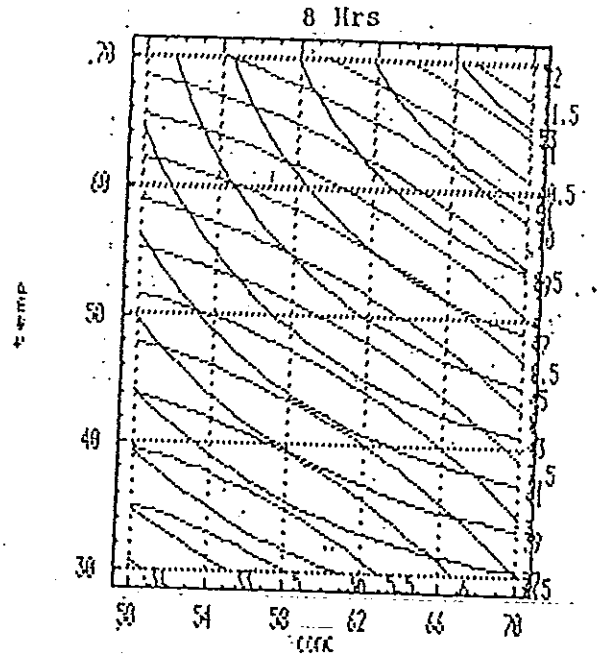
ภาพที่ 21 กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครส เป็นเวลา 8 ชม.

สารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส

จากผลการออสโมซิสมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ในตารางที่ 10 พบว่าที่เวลา 8 ชม. จะให้ค่า water loss สูงสุดคือ 52.83 และ 54.32 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด ตามลำดับ จากกราฟแสดงค่า water loss ของมังคุดกลีบเล็กในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส (ภาพที่ 12) พบว่าเส้นกราฟของ water loss 52 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด แต่จะเห็นว่าเส้นกราฟดังกล่าวสั้นมาก ดังนั้นจึงได้พิจารณาเส้นกราฟ water loss 51 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสดแทน เพราะจะทำให้มีโอกาสในการเลือกสภาวะได้กว้างกว่า ซึ่งสภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้น 67-70 °บริกซ์ และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 52-70 °ซ และด้วยเหตุผลเดียวกันนี้จึงได้เลือกพิจารณาเส้นกราฟของ water loss 51 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด แทนเส้นกราฟ 53 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด (ภาพที่ 14) ซึ่งเส้นกราฟของ water loss 51 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด อยู่ในช่วงความเข้มข้น 62-70 °บริกซ์ และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 54-70 °ซ จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วงที่คัดเลือก พบว่าไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ (ตารางที่ 12) ดังนั้นเมื่อนำค่า solid gain มาพิจารณาร่วม โดยการซ้อนกราฟของค่า water loss และ solid gian ที่เวลา 8 ชม. (ภาพที่ 22-23) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด และ solid gain ต่ำ โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการออสโมซิสร่วมด้วย จึงได้เลือกสภาวะความเข้มข้น 68 °บริกซ์ อุณหภูมิ 62 °ซ เป็นเวลา 8 ชม. ซึ่งให้ค่า water loss 51 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด และค่า solid gain 16 กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และเลือกสภาวะความเข้มข้น 63 °บริกซ์ อุณหภูมิ 67 °ซ เป็นเวลา 8 ชม. ซึ่งให้ค่า water loss 51 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด และค่า solid gain 10.5 กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส



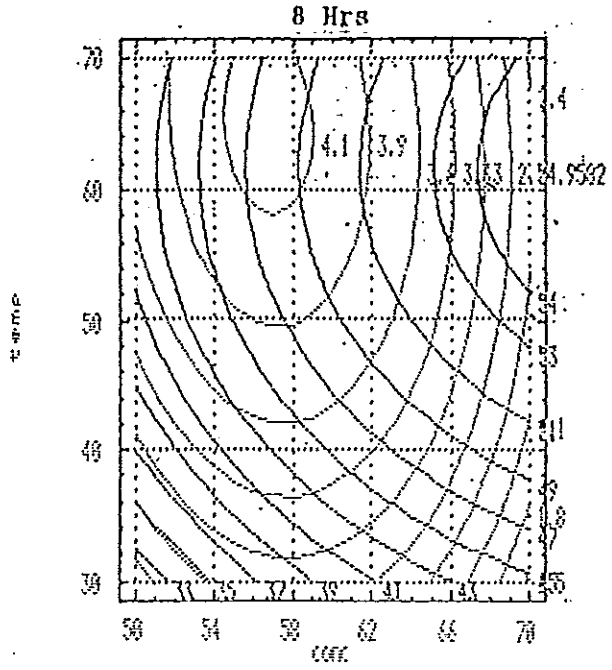
ภาพที่ 22 กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส เป็นเวลา 8 ชม.



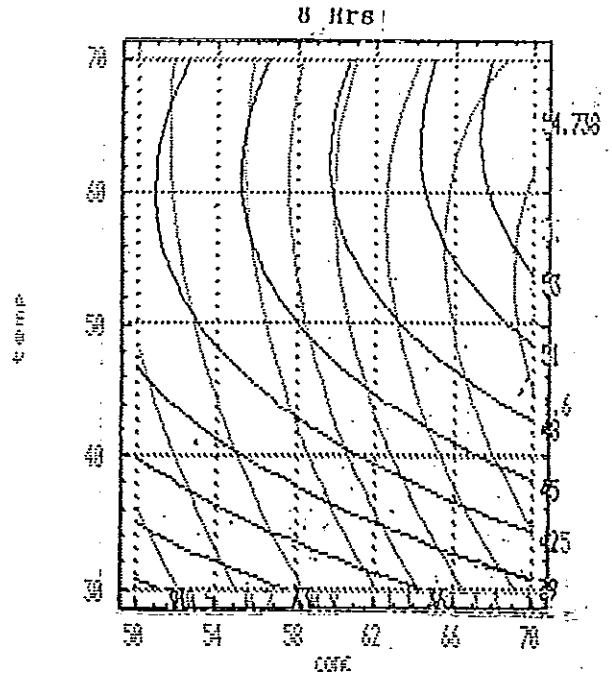
ภาพที่ 23 กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส เป็นเวลา 8 ชม.

สารละลายกลูโคส

จากการพิจารณาค่า water loss ของการออสโมซิสมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ในสารละลายกลูโคส ในตารางที่ 10 พบว่าที่เวลา 8 ชม. จะให้ค่า water loss สูงสุดคือ 54.95 และ 54.73 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด ตามลำดับ สำหรับมังคุดกลีบเล็กเลือกพิจารณาเส้นกราฟของ water loss 54 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด ที่เวลา 8 ชม. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด (ภาพที่ 16) สภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้น 67-70 °บริกซ์ และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 52-70 °ซ ส่วนมังคุดกลีบใหญ่พบว่าเส้นกราฟของ water loss 54 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด (ภาพที่ 18) แต่จะเห็นว่าเส้นกราฟดังกล่าวสั้นมาก ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นจึงได้พิจารณาเส้นกราฟ water loss 53 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสดแทน ซึ่งสภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้น 68-70 °บริกซ์ และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 54-70 °ซ จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วงที่คัดเลือกพบว่าไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ (ตารางที่ 13) ดังนั้นเมื่อนำค่า solid gain มาพิจารณาร่วม โดยการซ้อนกราฟของค่า water loss และ solid gian ที่เวลา 8 ชม. (ภาพที่ 24-25) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด และ solid gain ต่ำ โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการออสโมซิสร่วมด้วย จึงได้เลือกสภาวะความเข้มข้น 69 °บริกซ์ อุณหภูมิ 54 °ซ เป็นเวลา 8 ชม. ซึ่งให้ค่า water loss 54 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด และค่า solid gain 2.7 กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และเลือกสภาวะความเข้มข้น 69 °บริกซ์ อุณหภูมิ 56 °ซ เป็นเวลา 8 ชม. ซึ่งให้ค่า water loss 53 กรัมน้ำ / 100 กรัมมังคุดสด และค่า solid gain 1.6 กรัมของแข็ง / 100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ในสารละลายกลูโคส



ภาพที่ 24 กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายกลูโคส เป็นเวลา 8 ชม.



ภาพที่ 25 กราฟของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ที่แช่ในสารละลายกลูโคส เป็นเวลา 8 ชม.

2.2 ผลของ water loss และ solid gain ของมังคุดจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด สำหรับน้ำตาลแต่ละชนิดที่ได้จากการทำนายจากกราฟที่ 20-25 เปรียบเทียบกับค่าได้จากการทำการทดลองออสโมซิสมังคุดในสภาวะที่คัดเลือกจากกราฟเหล่านั้น แสดงไว้ในตารางที่ 14 พบว่าค่า water loss และ solid gain ที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 14 ค่า water loss และ solid gain ที่ได้จากการทำนายเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

ชนิดของสารละลายน้ำตาล	ขนาดของกลีบมังคุด	ค่าที่ทำนายจากสมการ		ค่าที่ได้จากการทดลอง	
		WL	SG	WL	SG
ซูโครส	เล็ก	50.0	14.0	49.3	12.4
	ใหญ่	51.0	10.5	52.2	9.9
ซูโครสร่วมกับฟรุกโตส	เล็ก	51.0	16.0	50.7	14.1
	ใหญ่	51.0	10.5	51.9	10.0
กลูโคส	เล็ก	54.0	2.7	52.8	3.9
	ใหญ่	53.0	1.6	51.5	2.3

2.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง
สภาวะที่เหมาะสมของน้ำตาลแต่ละชนิด

จากการนำมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมในเ
ทำการอบด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 °ซ จนผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมา
(ซึ่งเป็นความชื้นต่ำสุดของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง) ผลการวัดค่าสีและค่า Aw
ตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าสีและค่า Aw ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิ
เหมาะสมของน้ำตาลแต่ละชนิด

คุณลักษณะ		ซูโครส		ซูโครสร่วมกับฟรุกโตส		
		กลีบเล็ก	กลีบใหญ่	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่	กลีบเล็ก
ค่าสี	L	22.39	21.5	21.4	19.94	23.87
	a	-0.03	0.76	-0.11	0.77	0.04
	b	2.74	2.55	2.77	2.02	3.10
ค่า Aw		0.68	0.67	0.58	0.60	0.71

2.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมของน้ำตาลแต่ละชนิด

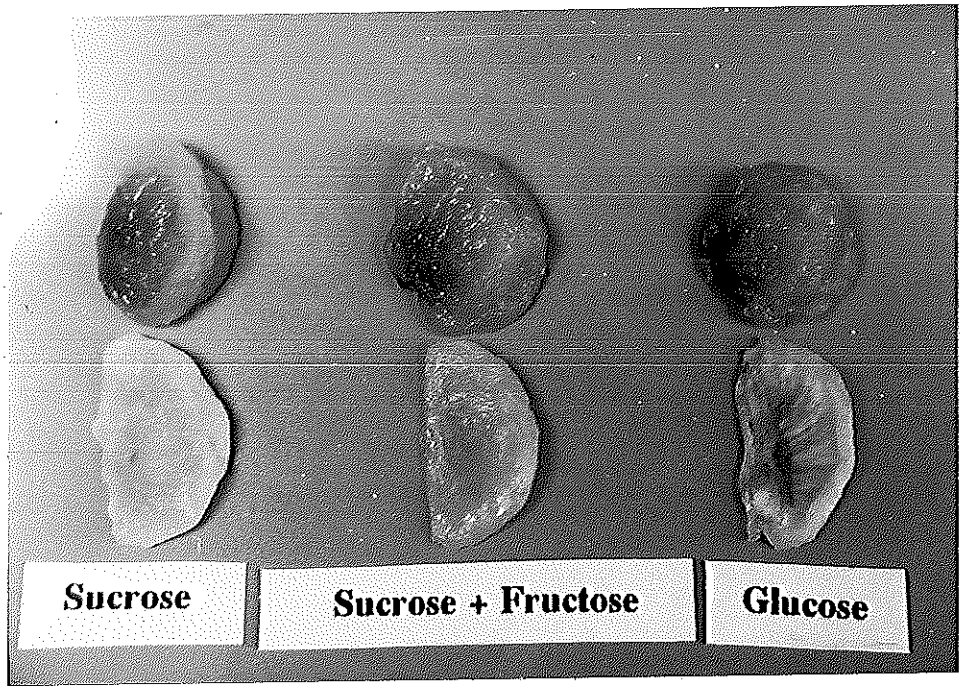
ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกชนิดของน้ำตาลที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด โดยวิธี Ranking จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน พบว่ามังคุดกึ่งแห้งทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟรุกโตสได้คะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครส ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายกลูโคสพบว่าได้คะแนนการยอมรับน้อยที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 16) ลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในภาพที่ 26

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกสภาวะในการออสโมซิสผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส เนื่องจากได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุด ประกอบกับราคาของน้ำตาลฟรุกโตส/กิโลกรัมต่ำกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ เพื่อทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่อไป

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมของน้ำตาลแต่ละชนิด

ชนิดของสารละลายน้ำตาล	คะแนนการยอมรับรวม	
	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่
ซูโครส	69[a]	63[a]
ซูโครสร่วมกับฟรุกโตส	76[a]	73[a]
กลูโคสซีรัป	35[b]	39[b]

หมายเหตุ : ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน โดยให้คะแนน 1=ชอบน้อยที่สุด 3=ชอบมากที่สุด
ตัวอักษร (a , b) ที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



ภาพที่ 26 ผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะที่เหมาะสมในสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิด

3. ผลของวิธีการอบแห้งต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

เมื่อนำมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสภาวะที่คัดเลือกแล้ว (สารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตสที่ความเข้มข้น 68 °บริกซ์ อุณหภูมิ 62 °ซ เวลา 8 ชม. สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และความเข้มข้น 63 °บริกซ์ อุณหภูมิ 67 °ซ เวลา 8 ชม. สำหรับมังคุดกลีบใหญ่) มาอบแห้งด้วยตู้อบ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน พบว่าการอบผลิตภัณฑ์ให้มีความชื้นร้อยละ 25, 20 และ 15 ด้วยตู้อบลมร้อนใช้เวลา 3 ชั่วโมง 20 นาที, 4 ชั่วโมง 40 นาที และ 6 ชั่วโมง 30 นาที ตามลำดับสำหรับมังคุดกลีบเล็ก และใช้เวลา 7 ชั่วโมง 20 นาที, 10 ชั่วโมง 20 นาที และ 15 ชั่วโมง ตามลำดับสำหรับมังคุดกลีบใหญ่ ส่วนการอบด้วยตู้อบสุญญากาศใช้เวลา 5 ชั่วโมง 50 นาที, 7 ชั่วโมง 10 นาที และ 8 ชั่วโมง 40 นาที ตามลำดับสำหรับมังคุดกลีบเล็ก และใช้เวลา 13 ชั่วโมง, 15 ชั่วโมง และ 17 ชั่วโมง 20 นาที ตามลำดับสำหรับมังคุดกลีบใหญ่ ซึ่งผลที่ได้ขัดแย้งกับทฤษฎีในการอบแห้งคือการอบด้วยด้วยตู้อบสุญญากาศควรจะใช้เวลาในการอบสั้นกว่าการอบในตู้อบลมร้อน ทั้งนี้เนื่องจากตู้อบลมร้อนจะใช้ลมเย็นที่ได้จากการหมุนของ blower ผ่านไปยังขดลวดร้อนส่งไปยังถาดอาหารทำให้เกิดการหมุนเวียนอากาศอยู่เกือบตลอดเวลา มีผลให้อัตราการระเหยของน้ำจากชิ้นมังคุดเกิดได้เร็วกว่าการใช้ตู้อบแบบสุญญากาศซึ่งควบคุมการทำงานโดยใช้ปั๊มดูดอากาศออกจากตู้ และมีการหยุดพักเป็นช่วงๆ ทำให้ความชื้นไม่สามารถถูกดูดออกมาได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำจากชิ้นมังคุดเกิดได้ช้ากว่า ดังนั้นจึงไม่สามารถนำเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์จากตู้อบทั้งสองมาเปรียบเทียบกันได้

3.1 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งหลังการอบจนกระทั่งมีความชื้นร้อยละ 25, 20 และ 15 ด้วยการอบแบบลมร้อนเปรียบเทียบกับการอบแบบสุญญากาศด้วยเครื่องวัดสี JUKI (ตารางที่ 17) พบว่าวิธีการอบมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) การอบแบบลมร้อนจะทำให้ค่า L ของผลิตภัณฑ์ทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่มีค่าสูงกว่าการอบแบบสุญญากาศ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนจะมีลักษณะขุ่นขาวกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบด้วยตู้อบสุญญากาศ ทั้งนี้สาเหตุอาจจะเนื่องมาจากการอบด้วยตู้อบลมร้อนมีพัดลมเป่าให้มีการเคลื่อนที่ของอากาศตลอดเวลา ความเร็วลมที่ใช้มีผลทำให้น้ำบริเวณผิวของชิ้นมังคุดระเหยอย่างรวดเร็ว อาจทำให้น้ำตาลที่อยู่ภายในบริเวณผิว

ของชิ้นมังคุดเกิดการตกผลึก ผลิตภัณฑ์จึงมีคุณลักษณะขุ่นขาวเป็นชั้นผลึกของน้ำตาลสีขาว จึงทำให้ค่า L ที่วัดได้มีค่าสูง ส่วนการอบด้วยตู้อบสุญญากาศการระเหยของน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ โดยน้ำจากภายในชิ้นมังคุดจะเคลื่อนมาแทนที่น้ำบริเวณผิวมังคุดตลอดเวลา ดังนั้นการกระจายตัวของของแข็งในกลีบมังคุดจึงเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์มีลักษณะใสจนสามารถมองเห็นสีของเมล็ดซึ่งจะมีผลค่า L ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบด้วยสุญญากาศซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อน นอกจากนี้จากการทดลองพบว่าระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งไม่มีผลต่อความแตกต่างของค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ แต่มีผลต่อค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ คือเมื่อระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงมีผลให้ค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของจิราภรณ์ สอดจิตร์ (2536) ที่พบว่าสับปะรดอบแห้งที่มีความชื้นลดลงจะมีค่า Aw ลดลงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 17 ค่าสีและค่า Aw ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 25, 20 และ 15 จากการอบด้วยตู้อบลมร้อน และตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 °ซ

วิธีการอบ	ความชื้น (ร้อยละ)	ค่าสี			ค่า Aw
		L	a	b	
กลีบเล็ก					
อบลมร้อน	25	30.59^{c}	-0.47^{ns}	4.28^{b}	0.72
	20	30.19^{c}	-0.40	4.18^{b}	0.66
	15	27.92^{b}	-0.33	3.78^{b}	0.60
อบสุญญากาศ	25	21.62^{a}	-0.01	2.68^{a}	0.75
	20	21.47^{a}	-0.03	2.86^{a}	0.67
	15	21.26^{a}	-0.12	2.49^{a}	0.55
กลีบใหญ่					
อบลมร้อน	25	27.41^{b}	-0.28^{ns}	2.87^{b}	0.78
	20	27.69^{b}	-0.34	2.88^{b}	0.71
	15	25.04^{b}	-0.41	2.93^{b}	0.64
อบสุญญากาศ	25	20.82^{a}	0.34	1.46^{a}	0.72
	20	20.55^{a}	0.24	1.91^{a}	0.64
	15	19.97^{a}	0.18	1.45^{a}	0.56

หมายเหตุ : ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

3.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการอบจนกระทั่งมีความชื้นร้อยละ 25, 20 และ 15 ได้ผลดังตารางที่ 18-19 พบว่าสภาวะในการอบที่แตกต่างกันมีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ในด้าน สี เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) และมีผลต่อคะแนนด้านความเหี่ยวย่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ที่ผ่านการอบแบบลมร้อนจะมีสีค่อนไปทางขุ่นขาวมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแบบสุญญากาศ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี JUKI (ตารางที่ 17) และจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าที่ระดับความชื้นเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแบบลมร้อนจะมีลักษณะที่เหี่ยวย่นมากกว่าการอบแบบสุญญากาศ เนื่องจากความเร็วลมในตู้อบลมร้อนทำให้น้ำที่ผิวของชิ้นมังคุดระเหยออกมาอย่างรวดเร็วในขณะที่น้ำภายในระเหยออกมาได้น้อย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่อบแบบลมร้อนมีลักษณะเหี่ยวย่นมากกว่าการอบแบบสุญญากาศ ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสและคะแนนการยอมรับรวมของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะในการอบไม่มีผลต่อกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผ่านการออสโมซิสที่สภาวะเดียวกันจึงไม่มีความแตกต่างกันในด้านกลิ่นและรสชาติ และการอบแห้งก็ใช้อุณหภูมิที่ระดับเดียวกันจึงไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างของลักษณะดังกล่าว จากผลการประเมินการยอมรับรวมพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการอบแบบสุญญากาศมากกว่าการอบแบบลมร้อน และให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่อบจนกระทั่งมีความชื้นร้อยละ 20 มากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกสภาวะในการอบดังกล่าวในการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง เพื่อทำการประเมินคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังการอบดังแสดงในภาพที่ 27

ตารางที่ 18 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กที่สภาวะการอบต่างกัน

สภาวะของการอบแห้ง		คะแนนเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						
วิธีการอบ	ความชื้นของผลิตภัณฑ์	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นและรสชาติ				เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
		สี	ความเหี่ยวย่น	รสหวาน	รสเปรี้ยว	กลิ่นผิดปกติ		
ลมร้อน	25	2.46±1.58^{a}	3.59±1.50^{ab}	4.84±1.93^{ns}	1.87±1.44^{ns}	0.81±0.56^{ns}	3.35±1.73^{a}	4.10±1.75^{a}
	20	2.33±1.50^{a}	4.06±1.96^{b}	4.60±1.79	1.69±1.17	0.76±0.58	3.54±1.66^{ab}	4.32±1.52^{a}
	15	2.86±1.89^{a}	4.10±1.75^{b}	4.90±1.84	1.72±0.91	0.80±0.60	4.33±1.58^{bc}	3.83±1.83^{a}
สุญญากาศ	25	5.20±1.22^{b}	2.54±1.01^{a}	4.94±1.36	1.66±0.63	0.76±0.47	3.84±1.86^{ab}	6.38±1.16^{bc}
	20	5.36±1.22^{b}	2.99±1.06^{ab}	5.12±1.29	1.98±1.43	0.63±0.39	4.30±2.15^{bc}	7.21±1.20^{c}
	15	5.39±1.47^{b}	3.60±1.36^{ab}	5.22±1.70	1.58±1.09	0.45±0.43	4.98±1.96^{c}	5.06±1.64^{ab}

หมายเหตุ : คะแนนการประเมิน 0-10 ตามแบบประเมิน ในภาคผนวก ข. 2

ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

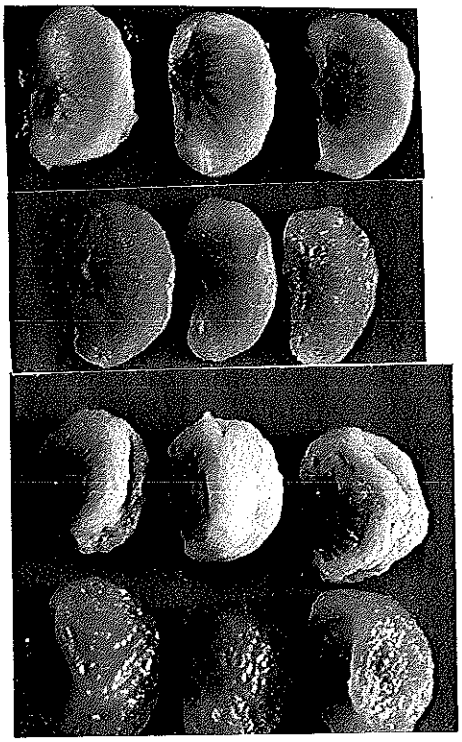
ตารางที่ 19 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ที่สภาวะการอบต่างกัน

สภาวะของการอบแห้ง		คะแนนเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						
วิธีการอบ	ความชื้นของผลิตภัณฑ์	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นและรสชาติ				เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
		สี	ความเหี่ยวย่น	รสหวาน	รสเปรี้ยว	กลิ่นผิดปกติ		
ลมร้อน	25	2.53±1.72^{a}	5.79±2.04^{ab}	5.52±1.73^{ns}	1.73±1.61^{ns}	0.77±0.43^{ns}	4.06±1.96^{a}	3.27±1.80^{a}
	20	2.54±1.74^{a}	6.42±1.73^{b}	5.54±1.79	1.47±1.47	0.93±0.47	4.27±2.11^{a}	3.84±1.70^{ab}
	15	2.86±1.70^{a}	6.66±1.38^{b}	5.60±1.33	1.62±1.25	0.99±0.48	5.29±1.48^{abc}	3.74±1.63^{ab}
สุญญากาศ	25	5.82±1.75^{b}	5.32±2.37^{a}	5.66±1.92	1.47±0.91	0.84±0.41	4.89±2.25^{ab}	4.83±0.93^{bc}
	20	5.88±1.60^{b}	5.76±2.15^{ab}	5.68±2.00	1.36±0.85	0.88±0.42	5.76±1.62^{bc}	6.37±0.75^{d}
	15	6.04±1.63^{b}	5.94±2.22^{ab}	5.89±1.94	1.45±1.05	0.97±0.48	6.62±1.52^{c}	5.66±1.26^{cd}

หมายเหตุ : คะแนนการประเมิน 0-10 ตามแบบประเมิน ในภาคผนวก ข. 2

ตัวอักษร (a, b, c, d) ที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



ก ข ค

ก ความชื้น 25 %
ข ความชื้น 20 %
ค ความชื้น 15 %

A อบลมร้อน
B อบสุญญากาศ

ภาพที่ 27 ลักษณะผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

4. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิส ดังแสดงในตารางที่ 20 เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของมังคุดกึ่งแห้งกับมังคุดสด (ตารางที่ 3) พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ปริมาณกรดแอสคอร์บิก และค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของน้ำตาลในสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิสแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อมังคุด ผลิตภัณฑ์ทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่มีค่า L ต่ำกว่ามังคุดสด อาจเนื่องจากผลของความร้อนจากการอบแห้งทำให้เกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์และเนื้อของผลิตภัณฑ์จะสุกจึงมีลักษณะใสมากกว่ามังคุดสด ผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กจะมีสีเหลืองมากกว่ากลีบใหญ่ (ค่า b สูงกว่า) ส่วนผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบใหญ่จะมีสีแดงมากกว่า (ค่า a สูงกว่า) เนื่องจากมังคุดกลีบเล็กซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเนื้อมังคุดเมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ส่วนมังคุดกลีบใหญ่จะมีส่วนของเมล็ดขนาดใหญ่เมื่อได้รับความร้อนเมล็ดจะมีสีแดง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์กลีบใหญ่มีค่า a สูงกว่าผลิตภัณฑ์กลีบเล็ก และจากผลของความร้อนในการอบแห้งทำให้น้ำบางส่วนระเหยออกจากเนื้อเยื่อมังคุดประกอบกับมีการแพร่ของน้ำตาลเข้าไปในชิ้นมังคุดมีผลให้ค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ลดลง

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก (ตารางที่ 21) โดยผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กจะได้คะแนนการยอมรับรวมมากกว่าผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากมังคุดกลีบใหญ่มีเมล็ดขนาดใหญ่ มีผลให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ด้อยกว่ามังคุดกลีบเล็ก ประกอบกับผลิตภัณฑ์กลีบใหญ่จะมีความเหี่ยวย่นมากกว่าผลิตภัณฑ์กลีบเล็กจึงทำให้คะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์กลีบเล็กสูงกว่า

ตารางที่ 20 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

องค์ประกอบ		กลีบเล็ก*	กลีบใหญ่*
ทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)		20.30±0.37	20.01±1.04
กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (มิลลิกรัม/100 กรัม)		0.79±0.03	0.79±0.03
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/100 กรัม)		1.98±0.10	1.47±0.12
น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)		69.90±0.29	64.32±0.44
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)		51.76±1.13	48.23±2.62
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{0}บริกซ์)		24.3±0.21	23.8±0.15
ทางกายภาพ			
ค่าสี	L	21.47±0.37	20.55±0.35
	a	-0.03±0.34	-0.24±0.05
	b	2.86±0.18	1.91±0.10
pH		3.25±0.07	3.55±0.07
Aw		0.66±0.01	0.64±0.005

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์โดยใช้น้ำหนักเปียก

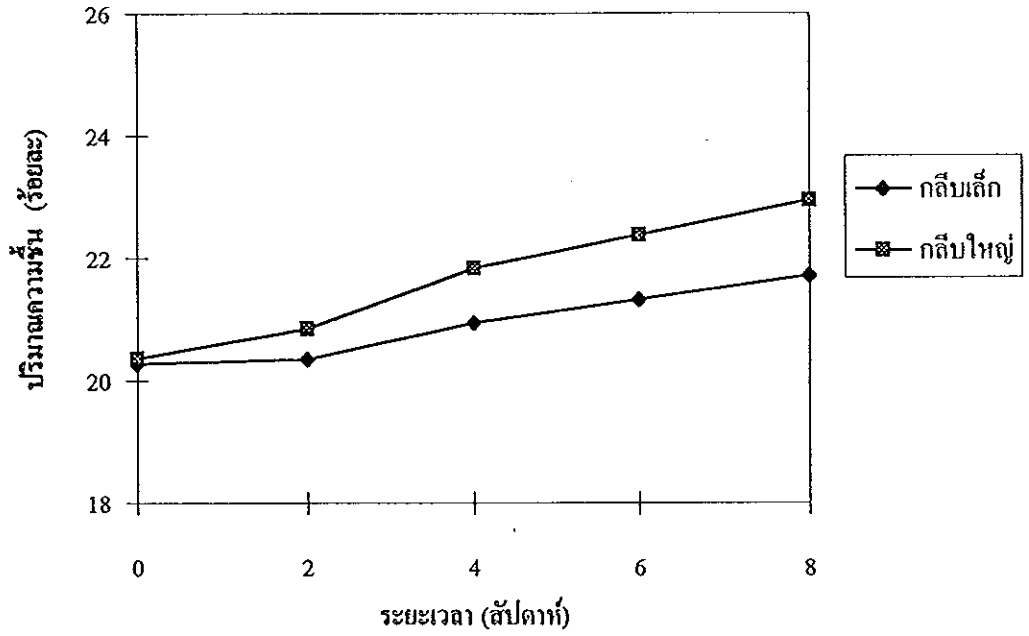
ตารางที่ 21 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

ขนาดกลีบ	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						
	ลักษณะปรากฏ		กลิ่นและรสชาติ			เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
	สี	ความเหี่ยวย่น	รสหวาน	รสเปรี้ยว	กลิ่นรสผิดปกติ		
กลีบเล็ก	5.36±1.22	2.99±1.06	5.12±1.29	1.98±1.43	0.63±0.39	4.30±2.15	7.12±1.2
กลีบใหญ่	5.88±1.60	5.76±2.15	5.68±2.00	1.36±0.85	0.88±0.42	5.76±1.62	6.37±0.75

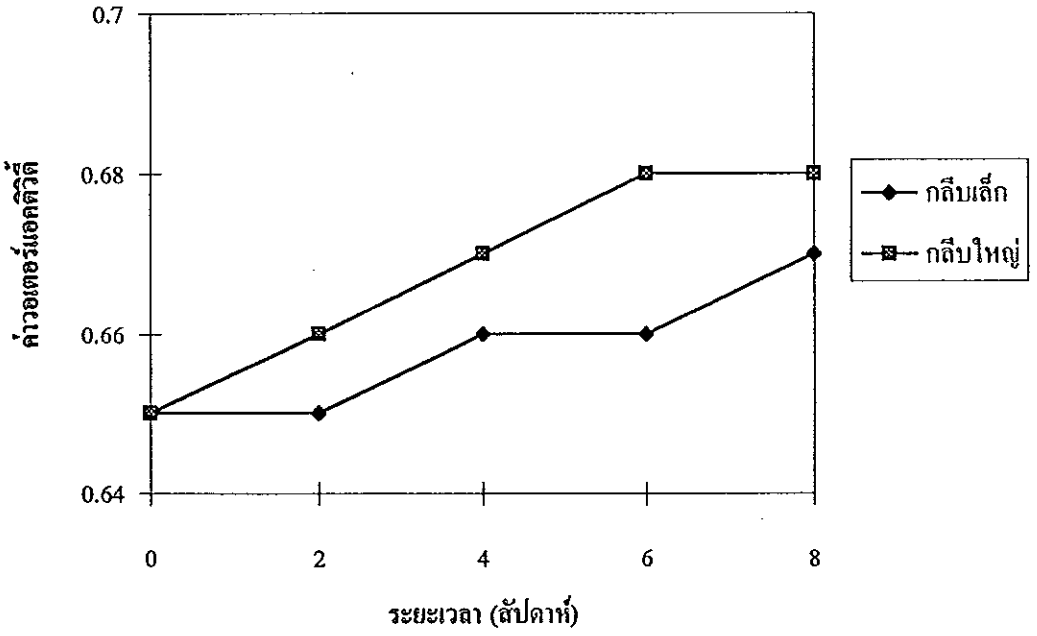
หมายเหตุ : * คะแนนการประเมิน 0-10 ตามแบบประเมิน ในภาคผนวก ข. 2

5. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

จากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ขนาด 4.5 x 6.5 ตร.นิ้ว ความหนา 0.15 มม. บรรจุปริมาณ 100 กรัม/ถุง เก็บที่อุณหภูมิห้อง ประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ทุกๆ 2 สัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน พบว่า ปริมาณความชื้น และค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ภาพที่ 28-29) การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 22) มีแนวโน้มค่า L ลดลงทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ผลิตภัณฑ์กลีบเล็กมีสีแดงมากขึ้น (ค่า a เพิ่มขึ้น) ส่วนผลิตภัณฑ์กลีบใหญ่มีสีเหลืองมากขึ้น (ค่า b เพิ่มขึ้น) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ความแตกต่างของสีระหว่างผลิตภัณฑ์กลีบเล็กและผลิตภัณฑ์กลีบใหญ่อาจเนื่องมาจากในผลิตภัณฑ์กลีบใหญ่มีเมล็ดขนาดใหญ่ซึ่งมีส่วนทำให้สีของผลิตภัณฑ์แตกต่างออกไป พบปริมาณราและยีสต์ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ของระยะเวลาการเก็บรักษา ในปริมาณไม่เกิน 100 โคโลนี/กรัม (ภาพที่ 30) พบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดที่บังคับไว้คือ ผลไม้แห้งต้องมีจำนวนราและยีสต์ไม่เกิน 100 โคโลนี/กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต่อคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 23-24) พบว่าลักษณะปรากฏ กลิ่นและรสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน ผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับของผู้บริโภคในระดับปานกลางถึงชอบมาก



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา



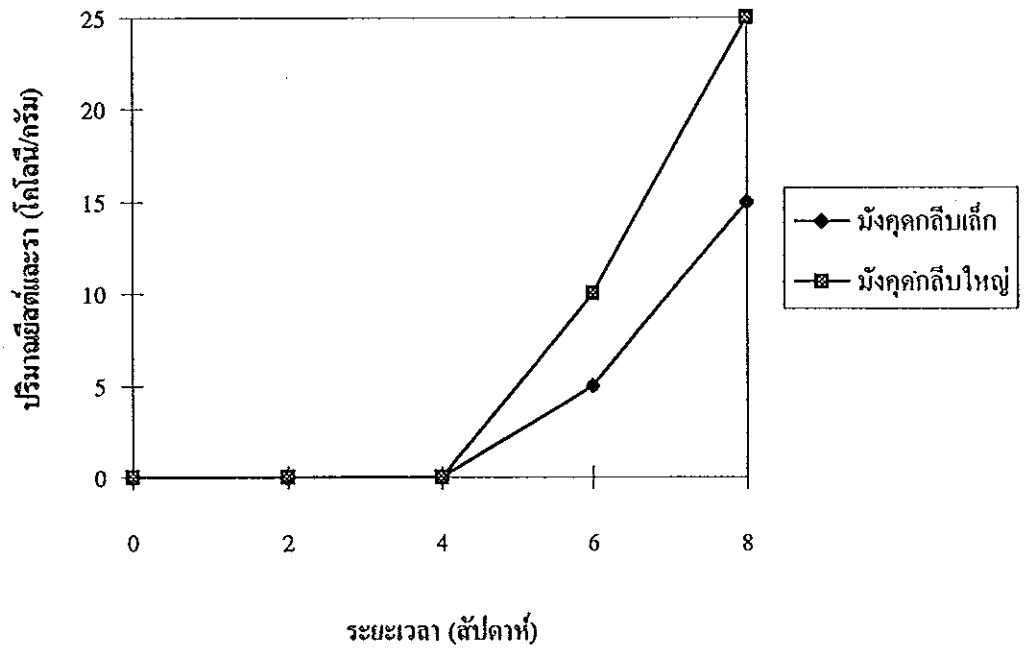
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 22 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง					
	กลีบเล็ก			กลีบใหญ่		
	L	a	b	L	a	b
0	21.47^{ns}	-0.03^{a}	2.19^{ns}	20.67^{ns}	0.55^{ns}	0.96^{b}
2	21.23	0.13^{a}	2.22	20.43	0.82	1.23^{ab}
4	21.16	0.21^{a}	2.27	20.16	0.84	1.31^{ab}
6	21.18	0.36^{a}	2.62	20.02	0.92	1.43^{b}
8	20.91	0.76^{b}	2.67	19.88	1.02	1.51^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์และราของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 23 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย						
	ลักษณะปรากฏ		กลิ่นและรสชาติ			เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
	สี	ความเหี่ยวย่น	รสหวาน	รสเปรี้ยว	กลิ่นรสผิดปกติ		
0	5.35^{ns}	3.04^{ns}	5.11^{ns}	1.98^{ns}	0.63^{ns}	4.30^{ns}	7.12^{ns}
2	5.35	3.09	5.18	2.18	0.76	4.27	7.02
4	5.54	3.20	4.79	2.28	0.85	4.08	6.98
6	5.74	3.10	4.87	2.26	0.98	3.52	7.01
8	5.90	3.26	4.97	2.43	1.13	3.08	6.84

หมายเหตุ : คะแนนการประเมิน 0-10 ตามแบบประเมิน ในภาคผนวก ข. 2

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 24 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย						
	ลักษณะปรากฏ		กลิ่นและรสชาติ			เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
	สี	ความเหี่ยวย่น	รสหวาน	รสเปรี้ยว	กลิ่นรสผิดปกติ		
0	5.88^{ns}	5.42^{ns}	5.67^{ns}	1.35^{ns}	0.88^{ns}	5.76^{ns}	6.37^{ns}
2	6.04	5.30	5.16	1.64	0.58	5.77	6.08
4	6.14	5.86	5.36	1.37	0.80	5.82	6.01
6	6.46	5.86	5.49	1.64	0.95	5.76	6.44
8	6.70	5.87	5.44	1.94	1.14	5.55	6.11

หมายเหตุ : คะแนนการประเมิน 0-10 ตามแบบประเมิน ในภาคผนวก ข. 2

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

บทที่ 4

สรุป

การนำวิธี response surface methodology มาใช้ในงานวิจัยนี้ทำให้สามารถศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณน้ำที่ลดลง (water loss) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain) ของมังคุดในระหว่างการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลต่างชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสเพื่อให้ได้ ค่า water loss สูง และ solid gain ต่ำ คือการใช้สารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ด้วยสภาวะความเข้มข้น 68 °บริกซ์ อุณหภูมิ 62 °ซ เวลา 8 ชั่วโมง สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และความเข้มข้น 63 °บริกซ์ อุณหภูมิ 67 °ซ เวลา 8 ชั่วโมง สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการออสโมซิสมังคุดก่อนการนำไปอบแห้ง ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่คือ การอบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 °ซ จนผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 20 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนเป็นระยะเวลา 2 เดือน ปรากฏว่าความชื้น และค่า Aw เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่า L ลดลงเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น พบปริมาณราและยีสต์ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ในปริมาณเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามพบว่าผลิตภัณฑ์ยังได้รับการยอมรับในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมากตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา

ข้อแนะนำ

1. ในการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส นอกจากปัจจัยต่างๆ ที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อการลดปริมาณน้ำและการเพิ่มของของแข็งของผลไม้ ซึ่งน่าจะได้มีการศึกษาต่อไป อาทิเช่น การกวนหรือทำให้สารละลายน้ำตาลมีการเคลื่อนที่ในระหว่างการแช่การแช่ผลไม้ในสารละลายผสมของน้ำตาลชนิดต่างๆ รวมทั้งศึกษาในผลไม้ชนิดอื่นต่อไปด้วย

2. ในการอบแห้งโดยการใช้ตู้อบลมร้อน ไม่ควรใช้ความเร็วลมในการอบสูงเกินไป เพราะแม้จะมีผลดีคือใช้เวลาในการอบน้อย แต่การใช้ความเร็วลมที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหี่ยวย่นมากขึ้น

3. การศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้นานยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2534. รายงานสภาพการเพาะปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้นประจำปี การเพาะปลูก 2531/2532 และ 2532/2533 ชื่อพืชมังคุด (mangosteen) กรมส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

กรุณา วงศ์กระจ่าง. 2535. การทำสับปะรดแห้งด้วยวิธีออสโมซิส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกียรติ ลีละเศรษฐกุล และคารา พวงสุวรรณ. 2530. การปรับปรุงคณภาพมังคุด. ว. คหการ-เกษตร. 11 : 72-75.

จิราภรณ์ สอดจิตร์. 2536. กลไกการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของสับปะรดแห้งด้วยวิธีออสโมติก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล. 2533. การศึกษาการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานคริทร์.

ทวีศักดิ์ วัฒนกูล. 2532. มังคุด: ราชินีแห่งผลไม้. ว. ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร เมษายน-กันยายน : 25-51 .

นิวัฒน์ พรหมแพทย์. 2533. มังคุดเพื่อการส่งออก. ชมรมผลไม้แห่งประเทศไทย.กรุงเทพฯ.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2529. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ .

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุจิรา กิจธารทอง. 2534. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2529. ดัชนีแสดงระดับสีของผลมังคุด. เอกสารเผยแพร่ ห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ.

สิงหนาท พวงจันทร์แดง. 2535. การศึกษาผลของกระบวนการก่อนการอบแห้งและอุณหภูมิต่อการทำแห้งลิ้นจี่อบแห้ง. ว.เกษตร 8(1):1-10.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง. มอก. 919-2532. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

หลวงบุเรศบำรุงการ. 2518. การปลูกมังคุดและละมุดฝรั่ง. สำนักพิมพ์แพร่วิทยา. กรุงเทพฯ หน้า 1-80 .

อ่อนรวี รัตนาพันธุ์. 2533. หลักการทำผลไม้แห้งด้วยวิธีออสโมติก. อาหาร. 20(40):24-245.

Adambounou, T.L., Castaigne, F. and Dillon, J.C. 1983. Abaissement de I' activity de I can de legumes tropicaux partielle. Sciences des Aliments 3:551. cited by Lerici, C.R., Pinavaia, G., Dalla Rosa, M. and Bartriucei, L. 1985. Osmotic dehydration of fruit : Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. J. Food Sci. 50:1217-1226.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Arlington. The Association of Official Analytical Chemist.

Bailey,L.H. 1953. Mangosteen. In: The Standard Cyclopedia of Horticulture Vol.22 New York. The MacMillan Co. pp:1989-1990 .

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

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

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

Camiran, W.M., Forry, R.R., Pepper, K., Boyle, F.P. and Stanley, W.L. 1968. Dehydration of membrane-coated foods by osmosis. J. Sci. Food Agric. 19:472.

Caronel, E.R. 1983. Mangosteen. In:Promissing Fruits of the Philippines. College of Agriculture, Univ. of Philippines. Los Banos. pp. 307-321.

Contreras, J.E. and Smyrl, T.C. 1981. An evaluation of osmotic concentration of apple ring using corn syrup solid solution. Can. Inst. Food Sci. Technol. 14:310-315.

Crafis, A.S., Currier, H.B. and Stocking, C.R. 1949. Water in the Physiology of Plants. The Ronald Press Company, New York.

Department of Health, Nutrition Division. 1992. Nutritive value of Thai food, 1987. In: Thai Fruit Products. (ed. Horticultural Crop Promotion Division Department of Agricultural Extension) Mitkaset Advertising and Marketing Co., Ltd:61.

Farkas, D.F. and Lazar M.E. 1969. Osmotic dehydration of apple pieces: Effect of temperature and syrup concentration on rates. Food Technol.23(5):90-92

Frank, A.L. 1983. Basic Food Chemistry. Westport, Connecticut: The AVI Publishing Company, Inc.

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

Heng, K. Guilbert, S. and Cuq, J.L. 1990. Osmotic dehydration of papaya: Influence of process variables on the product quality. Sciences DES Aliments. 10:831-848. อ้างโดย กรุณา วงศ์กระจ่าง. 2535. การทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Henika, R.G. 1972. Simple and effective system for use with response surface methodology. Cereal Science Today 17:309-314.

Henselman, M.R., Donatoni, S.M. and Henika R.G. 1974. Use of response surface methodology in the acceptable high protein bread. J. Food Sci. 36:943-946.

Intengan, C.L. et al., 1968. Food Composition Table Recommended for Use in the Philippines. Food Nut. Res. Inst. Handb.1. Nat. Sci. Dev. Board, Manila. Cited by Caronel, E.R. 1983. Promising Fruits of the Philippines. College of Agriculture, Univ. of Philippines. Los Bonos. pp. 307-321.

Kawamata, S. 1977. Studies on determining the sugar composition of fruits by GLC. Bull. Tokyo Agric. Expt. Stat. 10:53-67 Cited by Augustin, M.A. and Azudin. M.N. 1986. Storage of mangosteen (Garcinia mangostana Linn). ASEAN Food J. 2:78-80.

Karel, M. 1975. Dehydration of Foods. In : Principles of Food Science: Part II Physical Principles of Food Preservation (ed .M. Karel, O.R. Fennema, D.B. Lund, Marcel Dekker.) New York and Basel. อ้างโดย ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2529 กรรมวิธีการแปรรูป. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Lenart, A. and Lewicki, P.P. 1988. Osmotic dehydration of apples at high temperature. In: Sixth International Drying Symposium IDS'88. Versailees France. อ้างโดย กรุณา วงศ์กระจ่าง. 2535. การทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย.

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

Martin, F.W. 1980. Durian and Mangosteen. In: Tropical and Subtropical Fruits. (ed. S. Nagy and P.E. Shaw.) Westport, Connecticut. The AVI Publishing Co. Inc. pp. 407-411.

Motycka, R.R., Devon, R.E. and Bechtel, P.J. 1984. Response surface methodology approach to the optimization of boneless ham yield. J.Food Sci. 49 : 1386-1389.

Moy, J.H., Lau, N.B.H. and Dollar, A.M. 1978. Effect 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 fruit-Recent modification and applications. Process Biochem. 8:18-20.

Ponting, J.D., Waters., G.G., Forry, R.R., Jackson, R. and Stanley, W. L. 1966. Osmotic dehydration of fruit. Food Technol. 20:125-128.

Rahman, M.S. and Lamb, J. 1990. Osmotic dehydration of pineapple. J. Food Sci. & Technol. 27(3) : 150-152.

Raoult-Wack, A.L., Lafont,F. and Guilbert,S. 1989. Osmotic dehydration: Study of mass transfer in terms of engineering properties. In Drying' 89 (ed. A.S, Mujumdar and M.A, Roques.).Montpellier, France. 487-495.

Ravindran, G. 1989. Osmotic dehydration of pineapple. In: Trend in Food Science. (ed. W.S. Line and C.W. Foo) Proceedings of the 7 th World Congress of Food Science and Technology. Singapore, 28 Sept-2 Oct. 1987. pp.109-112.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ทางกายภาพ และจุลินทรีย์

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1.1 ปริมาณความชื้น โดยวิธีทำแห้งในตู้อบสุญญากาศ (A.O.A.C., 1990)

อุปกรณ์

1. ตู้อบสุญญากาศ
2. ภาชนะหาความชื้น
3. เดสิเคเตอร์
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า

วิธีการ

ชั่งตัวอย่างมังคุดที่บดละเอียดแล้วประมาณ 2-5 กรัม ใส่ในภาชนะหาความชื้นที่มีฝาปิด นำเข้าตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 70^{0} ซ โดยควบคุมความดันในตู้อบไม่ให้เกิน 100 มม. ของปรอท เป็นเวลา 7-8 ชั่วโมง ปิดฝาอย่างรวดเร็ว ทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักทันทีเมื่อตัวอย่างเย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง ทำการอบซ้ำจนน้ำหนักในแต่ละครั้งไม่แตกต่างมากกว่า 3 มก.

การคำนวณ

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

1.2 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย Hand refractometer

วิธีการ

นำตัวอย่างน้ำมังคุดที่ผ่านการคั้น และกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อกรองเอาเส้นใยออก วัดด้วย Hand refractometer อ่านปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในหน่วยองศาบริกซ์

1.3 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก โดยการไตเตรทกับสารละลายด่างมาตรฐาน 0.1 N (A.O.A.C., 1990)

วิธีการ

นำตัวอย่างมังคุด 10 กรัม เติมน้ำเล็กน้อย ต้มให้เดือด 2-3 นาที ทำให้เย็น ถ่ายใส่ขวดปริมาตร 50 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นแล้วกรอง ปิเปตส่วนที่กรองได้ 10 มล. ใส่ขวดชมพู่ขนาด 50 มล. แล้วเติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด นำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)} = \frac{\text{ไตเตอร์} \times N \times n \times 100 \times 50}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times 10}$$

เมื่อ N = นอร์มอลของโซเดียมไฮดรอกไซด์

n = มิลิอิควิวาเลนท์ของกรดซิตริก = 0.07

1.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด โดย Lane and Eynon volumetric method (A.O.A.C., 1990)

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล.
2. .ปิเปต ขนาด 10 และ 50 มล.
3. บูเรตต์ขนาด 50 มล.
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มล. และ 500 มล.
5. เตาให้ความร้อน (hot plate)
6. กระดาษกรอง

สารเคมีและการเตรียม

1. สารละลายเฟ-ลิง A

- ชั่งคอปเปอร์ซัลเฟต เพนตาไฮเดรต ($CuSO_4 .5H_2O$) 34.639 กรัม
- ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 500 มล.
- กรองผ่านกระดาษกรอง

2. สารละลายเฟ-ลิง B

- ชั่งโพแทสเซียมโซเดียมทาเทรต เตตราไฮเดรต ($KNaC_4H_4O_6.H_2O$) หนัก 173 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 กรัม
- ปรับปริมาตรด้วยน้ำหนักให้ได้ 500 มล.

3. Neutral lead acetate solution

- ละลาย neutral lead acetate 112.5 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 250 มล.

4. Potssium Oxalate solution

- ละลาย potassium oxalate 55 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 250 มล.

5. Standard dextrose 1 %

- ละลายซูโครสบริสุทธิ์ 9.5 กรัม และกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 5 มล. ในน้ำกลั่น 100 มล. เก็บไว้ 2-3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาปรับปริมาตรเป็น 1,000 มล. ปรับสภาพสารละลายน้ำตาลให้เป็นกลางก่อนนำมาใช้ในการไตเตรท โดยปิเปตสารละลายน้ำตาลที่เตรียมไว้มา 50 มล. ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 200 มล. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีชมพู แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริค 1 นอร์มอล ทีละหยดจนสีหายไปปรับปริมาตรให้ได้ 200 มล. นำมาไตเตรทกับสารละลายเฟ-ลิง

<u>วิธีการ</u>

1. การหาค่ามาตรฐานสารละลายเฟ-ลิง

การหาค่ามาตรฐานใช้ Incremental method หรือ Prelimitary method และ Standard method หรือ Accurate method ดังนี้

1.1 Preliminary method

- ปิเปตสารละลายเฟ-ลิง A และ B อย่างละ 5 มล. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
- เติมสารละลาย dextrose จากบิวเรตต์ประมาณ 15 มล. ต้มให้เดือด แล้วเติมสารละลาย dextrose ต่อไปอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งสีน้ำเงินจางลง

- เติม methylene blue 1% 3-4 หยด ค่อยๆ เติมสารละลายน้ำตาลลงไปอีกจนสีน้ำเงินหายไป และเกิดตะกอนแดงขึ้น

- บันทึกปริมาตรสารละลายน้ำตาลที่ใช้

1.2 Accurate method

- ปิเปตสารละลายเฟ-ลิง A และ B มาอย่างละ 5 มล. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.

- ใส่สารละลาย dextrose ลงในขวดรูปชมพู่ ให้ปริมาตรน้อยกว่าจุดยุติประมาณ 1 มล.

- เขย่า ต้มให้เดือดโดยเร็วและสม่ำเสมอนาน 2 นาที

- เติม methylene blue 2-3 หยด

- ไตเตรท โดยใส่ครั้งละ 2-3 หยด ให้ถึงจุดยุติภายในเวลา 3 นาที (ขณะไตเตรทสารละลายในขวดรูปชมพู่ต้องเดือดตลอดเวลา และเขย่าให้เข้ากัน)

- อ่านปริมาตรของ dextrose (มล.) ที่ใช้

- คำนวณค่า factor ของสารละลายเฟ-ลิงดังนี้

<u>การคำนวณหา factor</u>

จากทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงซูโครสเป็นน้ำตาลอินเวอร์ดังสมการ

$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$

(ซูโครส) HCl conc. (กูลโคส) + (ฟรุกโตส)

น้ำหนักโมเลกุล 342.296 180.156 180.156

ซูโครสหนัก 342.296 กรัมจะได้น้ำตาลอินเวอร์ท = 2 x180.156

= 360.312 กรัม

$$\text{ค่าแฟคเตอร์} = \frac{360.312\ XY\ (50)}{342.296 \times 1000 \times 200}$$

เมื่อ X = น้ำหนักซูโครสที่ใช้

Y = ปริมาตรสารละลายซูโครสที่ทำปฏิกริยาพอดีกับเฟ-ลิง A และ B 10 มล.

2. การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด

2.1 การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

- ชั่งตัวอย่างซึ่งผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 100 มล.
- ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 N
- ต้มนาน 1 ชั่วโมง มีการคนเป็นครั้งคราว
- เติมน้ำต้มเพื่อปรับให้มีปริมาตรเท่าเดิมก่อนต้ม
- ทำให้เย็น แล้วถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มล.
- เติมสารละลายนิวทรัลเลดอะซิเตต 2 มล. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
- ตกตะกอนส่วนที่เกินพอด้วยสารละลายโปตัสเซียมออกซาเลท 2 มล.
- ปรับปริมาตร แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง
- นำไปไตเตรทตามวิธีในข้อ 1

2.2 การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

- ปิเปตตัวอย่างที่กรองได้จากข้อ 2.1 มา 25 มล. เติมน้ำกลั่นเป็น 100 มล.
- เติมกรดไฮดรอคลอริค 5 มล.
- ต้มให้เดือด 10 นาที
- ทำให้เย็นแล้วถ่ายใส่ขวดปริมาตรขนาด 250 มล. ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 N
- ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 250 มล. กรองผ่านกระดาษกรอง
- นำไปไตเตรทตามวิธีในข้อ 1

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{\text{แฟคเตอร์} \times \text{ปริมาณเจือจาง} \times 100}{\text{ไตเตอร์} \times \text{ปริมาณตัวอย่าง}}$$

1.5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก โดย 2, 6 - dichlorophenol indophenol visual titration method (A.O.A.C., 1990)

หลักการ กรดแอสคอบิกจะรีดิวซ์ indicator dye (2,6 Dicholrphenol) ให้เป็นสารที่ไม่มีสีที่จุดยุติ 2,6 Dichlorophenol ที่เหลือจะปรากฏเป็นสีชมพูในสารละลายกรดแอสคอร์บิก โดยรักษาความเป็นกรดของปฏิกริยา และหลีกเลี่ยงการเกิด antioxidation ของกรดแอสคอร์บิกที่พีเอชสูงๆ

อุปกรณ์

1. ปิเปต ขนาด 5และ 10 มล.
2. บีกเกอร์ ขนาด 100 และ 125 มล.
3. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 50 มล.
4. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มล.
5. ไมโครบูเรตต์ ขนาด 25 มล.
6. กระดาษกรองเบอร์ 4

สารเคมีและการเตรียม

1. กรดเมตาฟอสฟอริก เข้มข้น 3 %

- ชั่งกรดเมตาฟอสฟอริก 30 กรัม ละลายในน้ำกลั่น
- ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

2. กรดแอสคอบิกมาตรฐานเข้มข้น 0.1 มก/ล.

- ชั่งแอล-กรดแอสคอบิก น้ำหนักแน่นอน 25 มก.
- เติม 3 % กรดเมตาฟอสฟอริก และปรับปริมาตรเป็น 25 มก.
- ปิเปตสารละลายข้างต้นมา 10 มล. เจือจางด้วย 3 % กรดเมตา - ฟอสฟอริกเป็น 100 มล.

3. สารละลายสี 2,6 Dichlorophenol indophenol

- ชั่ง 2,6 Dichlorophenol sodium salt 50 มล.
- ละลายในน้ำกลั่นต้มเดือด 150 มล ซึ่งมีโซเดียมไบคาบอเนตอยู่ 42 มก.
- ทำให้เย็น และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 200 มล.
- เก็บไว้ในตู้เย็น และปรับมาตรฐานใหม่ทุกครั้งที่ใช้

วิธีการ

1. การปรับมาตรฐานสี (หา dye factor)

- ปิเปตกรดแอสคอร์บิกมาตรฐานมา 5 มล ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มล. (ทำ 3 ซ้ำ)

- เติม 3 % กรดเมตตาฟอสฟอริก 5 มล.

- เติมสารละลายสี 2,6 Dichlorophenol indophenol ในไมโครบูเรตต์

- ไตเตรท กรดแอสคอบิกมาตรฐานด้วย indophenol จนเกิดสีชมพูนาน 15 วินาที อ่าน มล.ของ 2, 6 Dichlorophenol indophenol ที่ใช้

- คำนวณหา dye factor คือ มก.กรดแอสคอบิกที่ทำปฏิกริยาพอดีกับ 1 มล. indophenol โดย

dye factor = 0.5 / ไตเตอร์

2. การเตรียมตัวอย่างมังคุด

- ชั่งเนื้อมังคุดมา 15-20 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มล.

- เติม 3 % กรดเมตตาฟอสฟอริก 50 มล.

- ปั่นใน homogenizer ความเร็ว 3000 rpm นาน 1-2 นาที

- ปรับปริมาตรด้วย 3 % กรดเมตตาฟอสฟอริกเป็น 100 มล.

- กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 4

3. การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

- ปิเปตตัวอย่างที่กรองแล้วมา 5 มล. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มล. (ทำ 3 ซ้ำ)

- เติม 3 % กรดเมตตาฟอสฟอริก 5 มล.

- ไตเตรทด้วย indophenol จนได้สีชมพูนาน 15 วินาที (ปริมาตรที่ใช้ไม่ควรเกิน 3-5 มล.)

- ไตเตรท blank โดยใช้ 3 % กรดเมตตาฟอสฟอริกแทนตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (มก. / 100 ก.เนื้อมังคุด)} = \frac{\text{ไตเตอร์ x dye factor x มล.ที่ปรับ x 100}}{\text{มล.ตัวอย่างที่ใช้ x น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ

2.1 ความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ พีเอชมิเตอร์

วิธีการ

มังคุดสด : นำตัวอย่างมังคุดมาบีบและคั้นน้ำ กรองผ่านผ้าขาวบาง มังคุดกึ่งแห้ง : นำมังคุดกึ่งแห้ง 5 กรัม เติมน้ำ 10 มล ปั่นนาน 2 นาที กรองผ่านผ้าขาวบาง วัดค่าความเป็นกรดด่างด้วยพีเอชมิเตอร์ที่ผ่านการปรับด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานพีเอช 4.0 และ 7.0

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางจุลินทรีย์

3.1 ปริมาณรา โดยวิธี spread plate (Marvin, 1976)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Potato dextrose agar (PDA)

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 10 กรัม ลงในถ้วยบดตัวอย่างที่ปลอดเชื้อ

2. เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จำนวน 90 มล. แล้วปั่นด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 1 นาที นำไปตั้งทิ้งในตู้เย็น 30 นาที

3. ทำการเจือจางอาหารด้วยสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ 9 มล. ให้มีระดับความเจือจางเป็น 1:100, 1:1000, 1:10000 ตามลำดับ

4. ปีเปตตัวอย่างอาหารจากระดับความเจือจาง 4 ระดับ ระดับละ 2 ซ้ำ ลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร PDA จานละ 0.1 มล. ใช้แท่งแก้วงอที่ฆ่าเชื้อแล้วเกลี่ยจนผิวหน้าของอาหารแห้ง

5. บ่มที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2^{0} ซ) เวลา 72 ชั่วโมง

ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกึ่งแห้ง

1. แบบทดสอบชิมเรียงลำดับความชอบ

ชื่อผู้ทดสอบชิม..... วันที่..... เวลา.....

<u>คำแนะนำ</u> กรุณาชิมตัวอย่างที่เสนอให้จากซ้ายไปขวา และเรียงลำดับคะแนนความชอบ
ตัวอย่างที่เสนอให้ กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

<u>กำหนดให้</u>

3 = ชอบมากที่สุด
2 = ชอบปานกลาง
1 = ชอบน้อยที่สุด

รหัสตัวอย่าง _____ _____ _____
ลำดับคะแนนความชอบ _____ _____ _____

ข้อเสนอแนะ.....
.....

ขอบคุณ

2. แบบทดสอบชิมแบบพรรณาเชิงปริมาณ

ชื่อผู้ทดสอบชิม..... วันที่..... เวลา.....

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและขีดเส้นตั้งฉากกับเส้นของแต่ละปัจจัย พร้อมรหัสตัวอย่าง ตรงบริเวณที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

1. ลักษณะปรากฏ

สี _____

ขาว น้ำตาล

ความเหี่ยวย่น _____

น้อย มาก

2. กลิ่นและรสชาติ

รสหวาน _____

น้อย มาก

รสเปรี้ยว _____

น้อย มาก

กลิ่นรสผิดปกติ _____

น้อย มาก

3. เนื้อสัมผัส _____

นุ่ม เหนียว

4. การยอมรับรวม _____

น้อย มาก

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ขอบคุณ

ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กที่ผ่านการอบแห้งในสภาวะที่ต่างกัน จากการวัดด้วยเครื่องวัดสี JUKI

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
TREAT (T)	5	316.4343	63.2868	50.99 **
REP (R)	2	2.6701	1.3350	1.08 ns
ERROR	10	12.4110	1.2411	
TOTAL	17	331.5155		
ค่า a				
TREAT (T)	5	0.6766	0.1353	2.04 ns
REP (R)	2	0.1214	0.0607	<1
ERROR	10	0.6628	0.0662	
TOTAL	17	1.4610		
ค่า b				
TREAT (T)	5	9.4999	1.8999	9.05 **
REP (R)	2	0.0200	0.0100	<1
ERROR	10	2.1005	0.2100	
TOTAL	17	11.6205		

หมายเหตุ : ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)
ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)
T หมายถึง สภาวะในการอบแห้ง
R หมายถึง จำนวนซ้ำของการทดลอง

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งในสภาวะที่ต่างกัน จากการวัดด้วยเครื่องวัดสี JUKI

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
TREAT (T)	5	190.6017	38.1203	8.45 **
REP (R)	2	0.1102	0.0551	<1
ERROR	10	45.1369	4.5136	
TOTAL	17	235.8489		
ค่า a				
TREAT (T)	5	1.8102	0.3620	2.18 ns
REP (R)	2	0.6641	0.3320	2.00 ns
ERROR	10	1.6597	0.1659	
TOTAL	17	4.1341		
ค่า b				
TREAT (T)	5	7.8158	1.5631	17.15 **
REP (R)	2	0.3768	0.1884	2.07 ns
ERROR	10	0.9114	0.0911	
TOTAL	17	9.1040		

หมายเหตุ : ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

T หมายถึง สภาวะในการอบแห้ง

R หมายถึง จำนวนซ้ำของการทดลอง

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กที่ผ่านการอบแห้งในสภาวะที่ต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ				
- สี				
BLOCK (B)	9	72.1745	8.0194	7.39 **
TREATMRNT (T)	5	116.6434	23.3287	21.49 **
MOIS (M)	1	114.9550	114.9550	105.91 **
OVEN (O)	2	1.0840	0.5420	<1
MxO	2	0.6043	0.3022	<1
ERROR	45	48.8412	1.0854	
TOTAL	59	237.6597		
- ความเหี่ยวย่น				
BLOCK (B)	9	61.5693	6.8410	5.51 **
TREATMRNT (T)	5	18.5903	3.7180	2.99 *
MOIS (M)	2	6.1815	3.0907	2.49 ns
OVEN (O)	1	11.3535	11.3535	9.14 **
MxO	2	1.0552	0.5276	<1
ERROR	45	55.8921	1.2420	
TOTAL	59	136.0518		
กลิ่นและรสชาติ				
- รสหวาน				
BLOCK (B)	9	109.9610	12.2178	13.17 **
TREATMRNT (T)	5	2.3808	0.4761	<1
MOIS (M)	2	0.4765	0.2382	<1
OVEN (O)	1	1.4726	1.4726	1.59 ns
MxO	2	0.4315	0.2157	<1
ERROR	45	41.7600	0.9280	
TOTAL	59	154.1018		

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
- รสเปรี้ยว				
BLOCK (B)	9	38.8228	4.3136	5.98 **
TREATMRNT (T)	2	1.1240	0.2248	<1
MOIS (M)	5	0.3392	0.1696	<1
OVEN (O)	1	0.0058	0.0058	<1
MxO	2	0.7790	0.3895	<1
ERROR	45	32.4584	0.7212	
TOTAL	59	72.4052		
- กลิ่นรสผิดปกติ				
BLOCK (B)	9	7.1312	0.7923	4.92 **
TREATMRNT (T)	5	0.9750	0.1950	1.21 ns
MOIS (M)	2	0.2673	0.1336	<1
OVEN (O)	1	0.4690	0.4690	2.91 ns
MxO	2	0.2386	0.1193	<1
ERROR	44	7.0914	0.1611	
TOTAL	58	15.1976		
เนื้อสัมผัส				
BLOCK (B)	9	140.6575	15.6286	17.12 **
TREATMRNT (T)	5	18.0383	3.6076	3.95 **
MOIS (M)	2	11.8425	5.9212	6.49 **
OVEN (O)	1	6.0166	6.0166	6.59 **
MxO	2	0.1790	0.0895	<1
ERROR	45	41.0750	0.9127	
TOTAL	59	199.7708		

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
การยอมรับรวม				
BLOCK (B)	9	67.2413	7.4712	3.59 **
TREATMRNT (T)	5	89.4853	17.8970	8.59 **
MOIS (M)	2	16.4947	8.2473	3.96 **
OVEN (O)	1	66.6338	66.6338	32.00 **
MxO	2	6.3567	3.1783	1.53 ns
ERROR	45	93.7125	2.0825	
TOTAL	59	250.4392		

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งในสภาวะที่ต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ				
- สี				
BLOCK (B)	9	126.5376	14.0597	22.53 **
TREATMRNT (T)	5	161.4623	32.2924	51.74 **
MOIS (M)	1	0.4123	0.2061	<1
OVEN (O)	2	160.4916	160.4916	257.13 **
MxO	2	0.5584	0.2792	<1
ERROR	45	28.0870	0.6241	
TOTAL	59	316.0870		
- ความเหี่ยวย่น				
BLOCK (B)	9	178.4850	19.8316	22.33 **
TREATMRNT (T)	5	11.7812	2.3562	2.65 *
MOIS (M)	2	5.8705	2.9352	3.30 *
OVEN (O)	1	5.7350	5.7350	6.46 *
MxO	2	0.1755	0.0877	<1
ERROR	45	39.9742	0.8883	
TOTAL	59	230.2404		
กลิ่นและรสชาติ				
- รสหวาน				
BLOCK (B)	9	180.0735	20.0081	14.16 **
TREATMRNT (T)	5	0.8953	0.1790	<1
MOIS (M)	2	0.2923	0.1461	<1
OVEN (O)	1	0.5226	0.5266	<1
MxO	2	0.0803	0.0401	<1
ERROR	45	63.5805	1.4129	
TOTAL	59	244.5493		

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
- รสเปรี้ยว				
BLOCK (B)	9	60.8650	6.7627	23.31 **
TREATMRNT (T)	2	0.9335	0.1867	<1
MOIS (M)	5	0.3934	0.1967	<1
OVEN (O)	1	0.4860	0.4860	1.68 ns
MxO	2	0.0540	0.0270	<1
ERROR	44	12.7651	0.2901	
TOTAL	58	74.5636		
- กลิ่นรสผิดปกติ				
BLOCK (B)	9	6.4498	0.7166	7.05 **
TREATMRNT (T)	5	0.3392	0.0678	<1
MOIS (M)	2	0.2979	0.1489	1.47 ns
OVEN (O)	1	0.0001	0.0001	<1
MxO	2	0.0412	0.0206	<1
ERROR	44	4.469	0.1015	
TOTAL	58	11.2588		
เนื้อสัมผัส				
BLOCK (B)	9	92.7789	10.3087	5.07 **
TREATMRNT (T)	5	45.8664	9.1732	4.51 **
MOIS (M)	2	22.4106	11.2053	5.51 **
OVEN (O)	1	22.2528	22.2528	10.94 **
MxO	2	1.2029	0.6014	<1
ERROR	45	91.5712	2.0349	
TOTAL	59	230.2165		

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
การยอมรับรวม				
BLOCK (B)	9	29.6125	3.2902	1.92 ns
TREATMRNT (T)	5	73.8572	14.7714	8.63 **
MOIS (M)	2	11.3790	5.6895	3.32 *
OVEN (O)	1	60.1000	60.1000	35.09 **
MxO	2	2.3780	1.1890	<1
ERROR	45	77.0657	1.7125	
TOTAL	59	180.5354		

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กระหว่างการเก็บรักษา

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
TREAT (T)	4	0.4787	0.1196	<1
REP (R)	2	0.3014	0.1507	<1
ERROR	8	2.6322	0.3290	
TOTAL	14	3.4124		
ค่า a				
TREAT (T)	4	1.0821	0.2705	6.26 *
REP (R)	2	0.0750	0.0375	<1
ERROR	8	0.3458	0.0432	
TOTAL	14	1.5030		
ค่า b				
TREAT (T)	4	0.6407	0.1601	2.41 ns
REP (R)	2	0.0880	0.0440	<1
ERROR	8	0.5317	0.0664	
TOTAL	14	1.2605		

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)
ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)
T หมายถึง สภาวะในการอบแห้ง
R หมายถึง จำนวนซ้ำของการทดลอง

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ ระหว่างการเก็บรักษา

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
TREAT (T)	4	1.2085	0.3021	1.02 ns
REP (R)	2	0.9477	0.4738	1.60 ns
ERROR	8	2.3724	0.2965	
TOTAL	14	4.5877		
ค่า a				
TREAT (T)	4	0.3720	0.0930	<1
REP (R)	2	0.0368	0.0184	<1
ERROR	8	1.5465	0.1933	
TOTAL	14	1.9554		
ค่า b				
TREAT (T)	4	0.5508	0.1377	3.02 ns
REP (R)	2	0.0040	0.0020	<1
ERROR	8	0.3649	0.0456	
TOTAL	14	0.9198		

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

T หมายถึง สภาวะในการอบแห้ง

R หมายถึง จำนวนซ้ำของการทดลอง

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็ก ระหว่างการเก็บรักษา

SV	DF	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ				
- สี				
TREAT (T)	4	2.3362	0.5840	<1
REP (R)	9	6.2815	0.6979	<1
ERROR	36	71.0304	1.9730	
TOTAL	49	79.6483		
- ความเหี่ยวย่น				
TREAT (T)	4	0.3213	0.0803	<1
REP (R)	9	32.6136	3.6237	2.19 *
ERROR	36	59.6770	1.6576	
TOTAL	49	92.6120		
กลิ่นและรสชาติ				
- รสหวาน				
TREAT (T)	4	1.0710	0.2677	<1
REP (R)	9	25.3972	2.8219	<1
ERROR	36	146.6680	4.0741	
TOTAL	49	173.1362		
- รสเปรี้ยว				
TREAT (T)	4	1.0838	0.2709	<1
REP (R)	9	15.3941	1.7104	<1
ERROR	36	87.5236	2.4312	
TOTAL	49	104.0016		

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
- กลิ่นรสผิดปกติ				
TREAT (T)	4	1.5106	0.3776	<1
REP (R)	9	6.9394	0.7710	1.21 ns
ERROR	36	22.9355	0.6370	
TOTAL	49	31.3856		
เนื้อสัมผัส				
TREAT (T)	4	11.1083	2.7770	<1
REP (R)	9	39.9449	4.4383	1.55 ns
ERROR	36	100.1382	2.8610	
TOTAL	49	151.1915		
การยอมรับรวม				
TREAT (T)	4	0.4043	0.1010	<1
REP (R)	9	9.2100	1.0233	<1
ERROR	36	41.0400	1.1725	
TOTAL	49	50.6544		

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

T หมายถึง สภาวะในการอบแห้ง

R หมายถึง จำนวนผู้ทดสอบชิม

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่ ระหว่างการเก็บรักษา

SV	DF	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ				
- สี				
TREAT (T)	4	4.3487	1.08717	<1
REP (R)	9	6.0792	0.6754	<1
ERROR	36	42.1963	1.1721	
TOTAL	49	52.6242		
- ความเหี่ยวย่น				
TREAT (T)	4	2.9734	0.7433	<1
REP (R)	9	22.6822	2.5202	1.62 ns
ERROR	36	55.9051	1.5529	
TOTAL	49	81.5608		
กลิ่นและรสชาติ				
- รสหวาน				
TREAT (T)	4	1.3630	0.3407	<1
REP (R)	9	28.0392	3.1154	<1
ERROR	36	149.8340	4.1620	
TOTAL	49	179.2362		
- รสเปรี้ยว				
TREAT (T)	4	2.3341	0.5835	<1
REP (R)	9	24.3915	2.7101	2.96 *
ERROR	36	32.0433	0.9155	
TOTAL	49	58.7690		

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
- กลิ่นรสผิดปกติ				
TREAT (T)	4	1.6611	0.4152	<1
REP (R)	9	7.6172	0.8463	1.39 ns
ERROR	36	21.3062	0.6087	
TOTAL	49	30.5846		
เนื้อสัมผัส				
TREAT (T)	4	0.4393	0.1098	<1
REP (R)	9	10.2238	1.1359	<1
ERROR	36	47.0507	1.3069	
TOTAL	49	57.7138		
การยอมรับรวม				
TREAT (T)	4	1.4423	0.3605	<1
REP (R)	9	18.1979	2.0219	1.93 ns
ERROR	36	36.6519	1.0471	
TOTAL	49	56.2923		

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

T หมายถึง สภาวะในการอบแห้ง

R หมายถึง จำนวนผู้ทดสอบชิม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางนฤมล พงษ์พิริยะเดชะ

วัน เดือน ปีเกิด 2 มกราคม 2504

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
การศึกษาบัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา	2526

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

อาจารย์ 1 ระดับ 4 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อ.เมือง จ. นครราชสีมา