

การทำแห้งผักทองด้วยวิธีออสโมซิส



นางสาว วนิดา สระทองคำ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0606-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OSMOSIS DEHYDRATION OF PUMPKIN

Miss Wanida Sratongkum

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0606-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำแห้งผักทองด้วยวิธีออสโมซิส
โดย นางสาววนิดา สระทองคำ
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณีย์ อ่านเป็รื่อง

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจริต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณีย์ อ่านเป็รื่อง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วนิดา สระทองคำ : การทำแห้งผักทองด้วยวิธีออสโมซิส. (OSMOTIC DEHYDRATION OF PUMPKIN) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปราณี อานเป็ร้อง, 128 หน้า. ISBN 974-13-0606-7.

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยออสโมซิส ขั้นตอนแรก ศึกษาหาเวลาในการลวกผักทองโดยใช้ไอน้ำ พบว่าการลวก 6 นาที สามารถยับยั้งเอนไซม์ เปอร็อกซิเดสได้ ในขั้นตอนการออสโมซิสมีการศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างผักทองต่อซูโครสไซรัป ที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณน้ำ(Water Loss ; WL) และการเพิ่มปริมาณของของแข็ง (Solid Gain ; SG) พบว่า อัตราส่วน 1 : 3 เหมาะสมที่สุดในการออสโมซิส การศึกษาผลของความแก่อ่อนของ ผักทอง พบว่าผักทองอ่อนที่มีความชื้น 87-92% Total Soluble Solid (TSS) 6.0 - 9.0 °Brix ให้ค่า WL, SG และการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด ($P \leq 0.05$) จากการศึกษาผลของความเข้มข้น ของซูโครสไซรัป (50 และ 70 °Brix) อุณหภูมิ (50 และ 70 °C) และเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส (3 และ 5 ชั่วโมง) ต่อค่า WL และ SG พบว่าที่สภาวะในการออสโมซิส 70 °Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 5 ชั่วโมง ให้ค่า WL และ SG สูงสุด ($P \leq 0.05$) โดยสภาวะในการออสโมซิสที่ 50 °Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 5 ชั่วโมง และทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลา 8 ชั่วโมง 15 นาที มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด ต่อมาศึกษาการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปในการออสโมซิส ผักทอง พบว่าค่า WL และ SG เพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดซิตริก ($P \leq 0.05$) และการใช้กรดซิตริก 1.0% (โดยน้ำหนัก) มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด ต่อมาศึกษาการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับ ซูโครสไซรัปและกรดซิตริกในการออสโมซิสผักทอง พบว่าค่า WL และ SG เพิ่มขึ้นตามปริมาณ โซเดียมคลอไรด์ ($P \leq 0.05$) และการใช้โซเดียมคลอไรด์ 0.5% (โดยน้ำหนัก) มีคะแนนการยอมรับรวม สูงสุด ต่อมาศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง 50 , 60 และ 70 °C พบว่าที่อุณหภูมิ ทำแห้ง 60 °C ใช้เวลาทำแห้ง 8 ชั่วโมง 17 นาที มีปริมาณ β - carotene และคะแนนการยอมรับ รวมสูงสุด ($P \leq 0.05$)

ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4072369623 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: OSMOTIC DEHYDRATION / PUMPKIN / AIR DRYING / VEGETABLE /

WANIDA SRATONGKUM : OSMOTIC DEHYDRATION OF PUMPKIN.

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PRANEE ANPRUNG, Ph.D, 128 pp.

ISBN 974-13-0606-7.

This research investigated the appropriate for osmotic dehydration of pumpkin. The first step the appropriate condition for steam blanching was studied. Blanching for 6 minutes was found sufficient to inactivate peroxidase enzyme. In the process of osmosis, the ratio between pumpkin to sucrose syrup with the WL and SG were studied and found 1:3 appropriate condition for osmosis. The maturity of pumpkin were studied. It was found young pumpkin contained moisture 87-92% Total Soluble Solid (TSS) 6.0-9.0 °Brix had highest overall acceptable sensory score ($p \leq 0.05$). After that experiments were conducted on determination of concentration of sucrose at 50 and 70 °Brix, Temperature at 50 and 70 °C and time of osmosis at 3 and 5 hours. The result showed that the condition at 70 °Brix 70 °C and 5 hours had highest WL and SG ($p \leq 0.05$) and found the condition at 50 °Brix 70 °C and 5 hours and dehydration at 60 °C use about 8 hours 15 minutes had highest acceptable sensory score ($p \leq 0.05$). Citric acid was used with sucrose syrup on osmotic dehydration. The result showed that citric acid increased WL and SG were increased significantly ($p \leq 0.05$) 1 and % (w/w) received the highest overall acceptable sensory score. Sodium chloride was used with sucrose syrup and citric acid on osmotic dehydration. The result showed that sodium chloride increased WL and SG were increased significantly ($p \leq 0.05$) and 0.5% (w/w) received the highest overall acceptable sensory score. Next, experimental trials were conducted on determination of temperature for drying at 50, 60 and 70 °C. The result showed that 60 °C and 8 hours 15 minutes had β -carotene and highest overall acceptable sensory score ($p \leq 0.05$).

Department	Food Technology	Student's signature.....
Field of study	Food Technology	Advisor's signature.....
Academic year	2000	Co- advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปราวณี อานเป็รื่อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ ที่ได้สละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบพระคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งให้โอกาส กำลังใจและช่วยเหลือทุกอย่างแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	3
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
4. ผลการทดลอง.....	48
5. วิจารณ์ผลการทดลอง.....	86
6. สรุปผลการทดลอง.....	98
รายการอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก.....	106
ภาคผนวก ข.....	116
ภาคผนวก ค.....	123
ภาคผนวก ง.....	126
ประวัติผู้เขียน.....	128

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อฟักทอง ต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม.....	4
2.2	ความสัมพันธ์ของค่า a_w และปริมาณน้ำในอาหาร กับชนิดของจุลินทรีย์.....	10
4.1	ผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีของฟักทอง.....	48
4.2	ลักษณะทางกายภาพของฟักทอง.....	49
4.3	ค่าสีของฟักทองที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง.....	49
4.4	ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ลวกกับ Peroxidase activity.....	50
4.5	ผลของอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อซูโครสไซรัปต่อค่า water loss และ solid gain	50
4.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ water loss และ solid gain หลังการอบสโมคซึสใน ซูโครสไซรัปที่มีอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อสารละลายซูโครสไซรัปที่ระดับต่าง กัน.....	52
4.7	ผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อค่า Water Loss และ Solid Gain หลัง การอบสโมคซึสในซูโครสไซรัป.....	53
4.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Water Loss และ Solid Gain หลังการอบสโมคซึส ในซูโครสไซรัป โดยแปรระดับความแก่อ่อนของฟักทองต่างกัน.....	53
4.9	ผลของความแก่อ่อนของฟักทอง ต่อสีของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซึสและทำแห้ง แบบลมร้อน.....	54
4.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) สีของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซึสและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรระดับความแก่ อ่อนของฟักทองต่างกัน.....	54
4.11	ผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อค่าแรงตัดขาด.....	55
4.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงตัดขาดของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซึสและ ทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรระดับความแก่อ่อนของฟักทองต่างกัน.....	55
4.13	ผลของความแก่อ่อนต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....	56

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ ฟักทองที่ผ่านการอบไมซิสและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรระดับความแก่อ่อนของ ฟักทองต่างกัน.....	56
4.15 ผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป, อุณหภูมิ และเวลาต่ออัตราการอบไมซิสของ ฟักทอง.....	57
4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Water Loss และ Solid Gain หลังการอบไมซิส โดยแปรความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาต่างกัน.....	58
4.17 ผลของการอบไมซิสต่อเวลาการทำแห้งฟักทองแบบลมร้อน.....	61
4.18 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบไมซิสโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบลมร้อน	66
4.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบไมซิส โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบลมร้อน.....	67
4.20 ผลของการทำแห้งด้วยวิธีอบไมซิสต่อค่าการวัดสีของฟักทองอบแห้ง.....	68
4.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของฟักทองหลังการอบไมซิส โดยแปรความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและ เวลาต่างกัน.....	69
4.22 ผลของการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบไมซิสต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส	70
4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ ฟักทองที่ผ่านการอบไมซิสและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรความเข้มข้นของ ซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาต่างกัน.....	71
4.24 ผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปต่อ water loss และ solid gain.....	72
4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Water Loss และ Solid Gain หลังการอบไมซิส ในสารละลายซูโครสไซรัปที่มีการแปรปริมาณกรดซิตริกต่างกัน.....	72
4.26 ผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปต่อค่าการวัดสีของฟักทองอบแห้ง	73
4.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของฟักทองที่ผ่านการอบไมซิสและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรปริมาณกรดซิตริก ที่ใช้ร่วมกับซูโครสไซรัปในการอบไมซิสต่างกัน.....	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.28 ผลของการใช้กรดซิดริกร่วมกับซุโครสไซรัปต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส.....	74
4.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ ฟักทองที่ผ่านการอบไมซิสและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรปริมาณกรดซิดริกที่ใช้ ร่วมกับซุโครสไซรัปในการอบไมซิสต่างกัน.....	74
4.30 ผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซุโครสไซรัปและกรดซิดริกต่อ water loss และ solid gain.....	75
4.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ water loss และ solid gain หลังการอบไมซิสใน สารละลายซุโครสไซรัปร่วมกับกรดซิดริกและโซเดียมคลอไรด์ โดยแปรปริมาณ โซเดียมคลอไรด์ต่างกัน.....	76
4.32 ผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซุโครสไซรัปและกรดซิดริกในการทำแห้ง ฟักทองด้วยวิธีอบไมซิสต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส.....	77
4.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ ฟักทองที่อบไมซิสโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซุโครสไซรัปและกรดซิดริก โดยแปร ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในการอบไมซิสต่างกัน.....	77
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทำแห้งกับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองหลัง การอบไมซิส.....	78
4.35 ผลของอุณหภูมิต่อเวลาในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบไมซิสด้วย ลมร้อน.....	80
4.36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบไมซิสใน สารละลายซุโครสไซรัปร่วมกับกรดซิดริกและเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยแปรอุณหภูมิ ในการอบแห้งต่างกัน.....	81
4.37 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อปริมาณบีตา - แครโรทีน ของฟักทองอบแห้ง.....	81
4.38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณบีตา-แคโรทีนของฟักทองที่ผ่านการอบไม ซิสในสารละลายซุโครสไซรัปร่วมกับกรดซิดริกและเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยแปร อุณหภูมิในการอบแห้งต่างกัน.....	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.39 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อค่าสีของฟักทองอบแห้ง.....	82
4.40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิส โดยแปรอุณหภูมิอบแห้งต่างกัน.....	83
4.41 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส.....	83
4.42 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ ฟักทองที่ผ่านการที่อุณหภูมิต่างกัน.....	84
4.43 องค์ประกอบทางเคมีของฟักทองอบแห้ง.....	85
ค.1 การวิเคราะห์ข้อมูลของการวางแผนแบบ Completely Randomized Design.....	123
ค.2 การวิเคราะห์ข้อมูลของการวางแผนแบบ Randomized Completely Block Design	123
ค.3 การวิเคราะห์ข้อมูลของการวางแผนแบบ Factorial Completely Randomized Design.....	124
ค.4 การคิดค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูล Factorial.....	125

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของหม้อไอซ์พรีน	5
2.2 การรวมตัวของปีตา-แคโรทีนเรดิคัล.....	7
2.3 การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิส.....	13
2.4 ความสมดุลของน้ำและน้ำตาลระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส.....	13
3.1 ขั้นตอนการศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อชูโครสไซรัปที่เหมาะสมต่อ การออสโมซิส.....	32
3.2 ขั้นตอนการศึกษาผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อการทำแห้งฟักทองด้วย วิธีออสโมซิส.....	35
3.3 ขั้นตอนศึกษาผลของความเข้มข้นของชูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลาต่อ อัตราการออสโมซิสของฟักทอง.....	37
3.4 ขั้นตอนศึกษาหาเวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้วิธี การทำแห้งแบบลมร้อน.....	39
3.5 ขั้นตอนการศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับชูโครสไซรัป.....	42
3.6 ขั้นตอนการศึกษาผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับชูโครสไซรัปและ กรดซิตริกในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส.....	44
3.7 ขั้นตอนการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองหลังการออสโมซิส.....	46
4.1 ผลของความเข้มข้นของชูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาต่อค่า Water Loss.....	59
4.2 ผลของความเข้มข้นของชูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาต่อค่า Solid Gain.....	59
4.3 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสในชูโครสไซรัป 50° Brix อุณหภูมิ 50 °C เวลา 3 ชั่วโมง.....	62
4.4 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสในชูโครสไซรัป 50° Brix อุณหภูมิ 50 °C เวลา 5 ชั่วโมง.....	62
4.5 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสในชูโครสไซรัป 50° Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 3 ชั่วโมง.....	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.6 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในซูโครสไซรัป 50° Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 5 ชั่วโมง.....	63
4.7 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในซูโครสไซรัป 70° Brix อุณหภูมิ 50 °C เวลา 3 ชั่วโมง.....	64
4.8 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในซูโครสไซรัป 70° Brix อุณหภูมิ 50 °C เวลา 5 ชั่วโมง.....	64
4.9 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในซูโครสไซรัป 70° Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 3 ชั่วโมง.....	65
4.10 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในซูโครสไซรัป 70° Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 5 ชั่วโมง.....	65
4.11 เวลาในการทำแห้งฟักทองโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	79
4.12 เวลาในการทำแห้งฟักทองโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	79
4.13 เวลาในการทำแห้งฟักทองโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	80
ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ปีตา-แคโรทีนกับพื้นที่ใต้กราฟ.....	112
ก.2 Peak ของปีตา-แคโรทีนมาตรฐาน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC.....	113
ก.3 Peak ของปีตา-แคโรทีนในฟักทอง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC.....	114
ง.1 ลักษณะของฟักทองอ่อนที่ใช้ในงานวิจัย.....	126
ง.2 ลักษณะของฟักทองอ่อนที่ใช้ในงานวิจัย.....	127

บทที่ 1

บทนำ

ฟักทองเป็นผักชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการบริโภคเห็นได้จากปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้ปีละแสนตันเศษ เนื่องจากเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง แต่มีราคาถูก ประกอบไปด้วย โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร เกลือแร่ที่พบมากได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม เป็นต้น มีปริมาณวิตามินเอ และวิตามินซีสูง (Holland et al., 1991) เนื้อฟักทองในสวนที่กินได้ 100 กรัม มีวิตามินเอสูงถึง 2458 I.U. พบบีตา - แคโรทีน (β -carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ 1,100 ไมโครกรัม / 100 กรัม ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง โรคหัวใจ และหลอดเลือด รวมทั้งมีบทบาทในการกระตุ้นให้เกิดการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เมื่ออยู่ในรูปวิตามินเอจะมีบทบาทสำคัญคือช่วยบำรุงสายตา การเจริญเติบโต การบำรุงรักษาเซลล์บุผิวและการทำงานของระบบสืบพันธุ์ (Gross, 1991)

ฟักทองเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง แต่การใช้ประโยชน์และการบริโภคฟักทองยังค่อนข้างจำกัด นำมาประกอบอาหารได้ไม่กี่ชนิด ต่อมาได้มีการพัฒนานำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ฟักทองแผ่นกรอบใช้เป็นอาหารเด็ก (Torrey, 1974) ฟักทองกระป๋อง ฟักทองแช่แข็งและอบแห้ง (Gross, 1991) ทำให้สามารถบริโภคฟักทองได้หลายรูปแบบ สะดวก รวดเร็ว เก็บไว้ได้นาน การทำแห้งอาหารมีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณน้ำในอาหาร ป้องกันการเน่าเสียของอาหารจากเชื้อจุลินทรีย์ และเป็นการลดน้ำหนักเพื่อสะดวกต่อการขนส่งและการนำไปใช้ประโยชน์ (Luh and Woodroof, 1988) การทำแห้งผักด้วยวิธีออสโมซิสพบว่ามีข้อดีคือ อุณหภูมิหรือความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งไม่สูงจนเกินไป และอาหารไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานแบบวิธีอบแห้งธรรมดา จึงช่วยลดการสูญเสียและการถูกทำลายทางด้านสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสเนื่องจากความร้อน นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเกิด enzyme oxidative browning เนื่องจากในระหว่างกระบวนการผลิตผักผลไม้แช่อยู่ใน osmotic agent เช่น สารละลายเกลือหรือสารละลายน้ำตาลเข้มข้นไม่ได้สัมผัสกับอากาศ อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ในช่วง 50-70 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงนัก (Ponting et al., 1966 ; Islam and Flink, 1982)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกรรมวิธีการผลิตฟักทองอบแห้งด้วยวิธีอบสโมคซิง ได้แก่ ความแก่อ่อนของฟักทอง ขนาดและรูปร่าง อัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อสารละลายน้ำตาลชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบสโมคซิง การคนหรือการกวนระหว่างอบสโมคซิง รวมทั้งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหลังการอบสโมคซิง

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการและหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟักทองอบแห้งด้วยวิธีอบสโมคซิงโดยใช้ซูโครสไซรัป โดยมีขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของฟักทอง
2. ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการลวกฟักทองโดยใช้ไอน้ำ
3. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบสโมคซิง
 - 3.1 ศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อซูโครสไซรัปที่เหมาะสมต่อการอบสโมคซิง
 - 3.2 ศึกษาผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบสโมคซิง
 - 3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาต่อการอบสโมคซิง
 - 3.4 ศึกษาหาเวลาในการทำแห้งฟักทองหลังการอบสโมคซิงโดยใช้ลมร้อน
 - 3.5 ศึกษาผลของการอบสโมคซิงและการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง
4. ศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบสโมคซิง
5. ศึกษาผลของการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริกในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบสโมคซิง
6. ศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง
7. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟักทองอบแห้ง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือ ได้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับวิธีการและหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟักทองอบแห้งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเป็นการส่งเสริมทางด้านสุขภาพของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมและเพิ่มมูลค่าสินค้าทางการเกษตรด้วย

บทที่ 2

วิธีดำเนินงานวิจัย

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฟักทอง

ฟักทองมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucurbita moschata* Decne. อยู่ในตระกูล Cucurbitaceae เป็นพืชอายุปีเดียว(annual) พันธุ์ฟักทองมีทั้งแบบพันธุ์เลื้อย และพันธุ์พุ่ม แต่ในประเทศไทยส่วนมากนิยมปลูกพันธุ์เลื้อย และที่นิยมปลูกมากคือ พันธุ์พื้นเมืองหรือพันธุ์คางคก ซึ่งจะมีลักษณะผิวภายนอกขรุขระ สีผลเขียวปนเหลือง เนื้อเหนียวมัน รสชาติดี อายุการปลูกตั้งแต่หยอดเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวผลประมาณ 90-120 วัน แหล่งปลูกฟักทองที่สำคัญ คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคอื่นๆ ฟักทองสามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด แต่ชอบดินร่วนปนทราย มีความเป็นกรดต่ำ (pH) ของดินประมาณ 5.5-5.6 หรือดินเป็นกรดเล็กน้อย ชอบอากาศแห้ง ดินระบายน้ำได้ดี ไม่แฉะ ฤดูปลูกของฟักทอง อยู่ในช่วงปลายฝนถึง ฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายน - กุมภาพันธ์

แหล่งปลูกฟักทองที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดศรีสะเกษ อุตรดิตถ์ สกลนคร และจังหวัดในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมือง มี 5 พันธุ์ ตามลักษณะเฉพาะ ดังนี้

1. พันธุ์คางคกหรือพันธุ์ดำ มีปุ่มปมเป็นตุ่มทั่วผล ผิวขรุขระคล้ายหนังคางคก ก้านของผลยุบเข้าไป
2. พันธุ์ขี้อปลา ลักษณะผลคล้ายขี้อปลา
3. พันธุ์ผลมะพร้าว ลักษณะคล้ายผลมะพร้าว
4. พันธุ์คิงคอง มีพูใหญ่ พูคล้ายก้ามเนื้อคิงคอง
5. พันธุ์น้ำตก มีตุ่มปมปนน้อยกว่าพันธุ์คางคก ก้านของผลนูนออกมา

ฟักทองจะให้ผลผลิตเป็นฤดู ส่วนใหญ่จะออกมากในฤดูแล้ง แต่บางจังหวัดสามารถปลูกได้ตลอดปี ทำให้มีฟักทองออกสู่ตลาดตลอดปี ฟักทองเป็นผักที่มีการบริโภคภายในประเทศมาก เห็นได้จากประมาณผลผลิตที่ได้ปีละแสนตันเศษ นอกจากบริโภคภายในประเทศแล้วมีการส่งออก

ฟักทองเป็นจำนวนไม่น้อย ประเทศญี่ปุ่นให้ความสนใจฟักทองของไทยมาก (สุรัชย์ มัจฉาชีพ, 2535)

องค์ประกอบทางเคมีของฟักทอง

ฟักทองประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิด ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และวิตามิน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งมีในส่วนของเนื้อฟักทอง (กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2535) ฟักทองมีปริมาณวิตามินเอสูง เนื้อฟักทองในส่วนที่กินได้ 100 กรัม มีวิตามินเอสูงถึง 2458 I.U. พบบีตา-แคโรทีน (β -carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ 1,100 ไมโครกรัม / 100 กรัม (Gross, 1991)

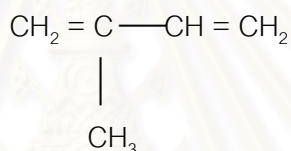
ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อฟักทอง ต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร (หน่วย)	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	124
โปรตีน (กรัม)	2.9
ไขมัน (กรัม)	1.5
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	24.6
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	21
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	17
เหล็ก (มิลลิกรัม)	4.9
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	3266
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.1
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.05
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	11
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	62

ที่มา : กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข(2535)

แคโรทีนอยด์

รงควัตถุในผักทองเป็นแคโรทีนอยด์ประกอบด้วย บีตา-แคโรทีน (β -carotene) และ แอลฟา-แคโรทีน (α -carotene) (Gross, 1991) โครงสร้างของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยหน่วยของ ไอโซพรีน (isoprene unit) ต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์แบบหัวต่อหางหรือหางต่อหาง แคโรทีนอยด์ทั้งหมดโดยเฉพาะบีตา - แคโรทีนมีคุณสมบัติเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ ซึ่งนับว่าเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อสุขภาพ (Fennema, 1996) แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ส้ม และแดง จัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายไขมัน โมเลกุลประกอบด้วยหมู่ไอโซพรีน (isoprene units) เชื่อมต่อกันแบบ conjugated double bond ดังแสดงในภาพที่ 2.1 โครงสร้างเช่นนี้ ทำให้แคโรทีนอยด์ไม่คงตัว สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของหมู่ไอโซพรีน (C_5H_8)

ที่มา : Goodwin (1980)

ชนิดของแคโรทีนอยด์ (Fennema, 1996 ; Goodwin, 1980)

แคโรทีนอยด์สามารถแบ่งตามสูตรโครงสร้างทางเคมีได้ 6 ชนิด คือ

1. Carotenoid hydrocarbons คือ แคโรทีนอยด์ที่โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ หรือรู้จักกันในชื่อของแคโรทีน เช่น บีตา-แคโรทีน (β -carotene) แอลฟา-แคโรทีน (α -carotene) แกมมา-แคโรทีน (γ -carotene) และไลโคพีน (lycopene)
2. Oxygenated carotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน หรือรู้จักกันในชื่อ แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่อยู่ในรูปต่างๆ ของแคโรทีน เช่น

อนุพันธ์รูปไฮดรอกซิล (hydroxyl) เช่น ซีแซนทีน (zeaxanthin)

อนุพันธ์รูปเมทอกซิล (methoxyl) เช่น สไปริลโลแซนทีน (spirilloxanthin)

อนุพันธ์รูปไกลโคซิล (glycosyl) เช่น ไมโซแซนโทฟิลล์ (myxoxanthophyll)

3. Retro-carotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่พันธะเดี่ยว และพันธะคู่ในระบบคอนจูเกต เกิดการเคลื่อนที่หนึ่งตำแหน่งทุกพันธะ เช่น เอสโซแซนทิน (eschtoltxanthin)

4. Seco and apocarotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่วงแหวนจะไม่มีคาร์บอนเรียกว่า เซโคแคโรทีนอยด์ (secocarotenoids) เช่น เซมิบีตาแคโรทีโนน (semi-betacarotenone) แต่ถ้าการเกิดปฏิกิริยาเกิดที่สายของโมเลกุลจะทำให้สูญเสียคาร์บอน และทำให้โครงสร้างโมเลกุลสั้นลง เรียกว่า อะโปแคโรทีนอยด์ (apocarotenoids) เช่น บีตา-ซิทรอริน (β -citraurin) บีตา-อะโป-8-แคโรทีนัล (β -apo-8-carotenal)

5. Nor-carotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่กำจัดคาร์บอนออกจากโมเลกุลโดยที่ไม่ได้ทำลายพันธะ เช่น เพอริดิโนน (peridinon)

6. Higher-carotenoids คือ แคโรทีนอยด์ที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 40 อะตอม อาจมีคาร์บอนจำนวน 45 หรือ 50 อะตอม เช่น เดคะพรีโนแซนทิน (decaprenoxanthin)

แหล่งของบีตา-แคโรทีน

บีตา-แคโรทีน พบได้ในธรรมชาติ เช่น ผัก ผลไม้ เห็ด และสาหร่าย ลักษณะที่พบมีรูปแบบต่างกันไป ดังนี้

1. เป็นหยดไขมันเล็กๆ ในเซลล์ของเนื้อเยื่อ เช่น แครอท
2. กระจายตัวเป็น colloidal ในส่วนที่เป็นไขมัน เช่น ปาล์ม น้ำมัน
3. จับกับโปรตีนใน aqueous phase เช่น ในผลไม้
4. เกิดเอสเทอร์กับกรดไขมัน เช่น ในผลไม้สุก

ประโยชน์ของบีตา-แคโรทีน

1. คุณค่าทางอาหาร

บีตา-แคโรทีน ประกอบด้วยวงแหวนบีตา-ไอโอโนน (β -ionone ring) 2 วง มีวิตามิน เอ แอคทีวิตีสูงสุดในกลุ่มแคโรทีนอยด์ตัวหลักๆ บีตา-แคโรทีนจะถูกดูดซึมในร่างกายได้ดีที่สุดประมาณร้อยละ 70 ซึ่งดูดซึมได้น้อยกว่าวิตามิน เอ ที่ดูดซึมได้ถึงร้อยละ 90 ของปริมาณสารที่ได้รับจากอาหาร และยิ่งรับประทานมากประสิทธิภาพการดูดซึมนั้นก็จะลดลงตามส่วน พบว่าไขมันในอาหารเป็นตัวที่จะช่วยขนส่งวิตามินเอและบีตา-แคโรทีนเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านเซลล์ของลำไส้เล็ก

ส่วนน้ำดีจะช่วยละลายบีตา-แคโรทีน และเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมให้ดียิ่งขึ้น บีตา-แคโรทีนสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ โดยอัตราส่วนของการเปลี่ยนเป็นวิตามิน เอ โดยประมาณ คือ 6 ต่อ 1 หมายความว่า ต้องอาศัยบีตา-แคโรทีน 6 ไมโครกรัม เพื่อเปลี่ยนเป็นวิตามิน เอ 1 ไมโครกรัม

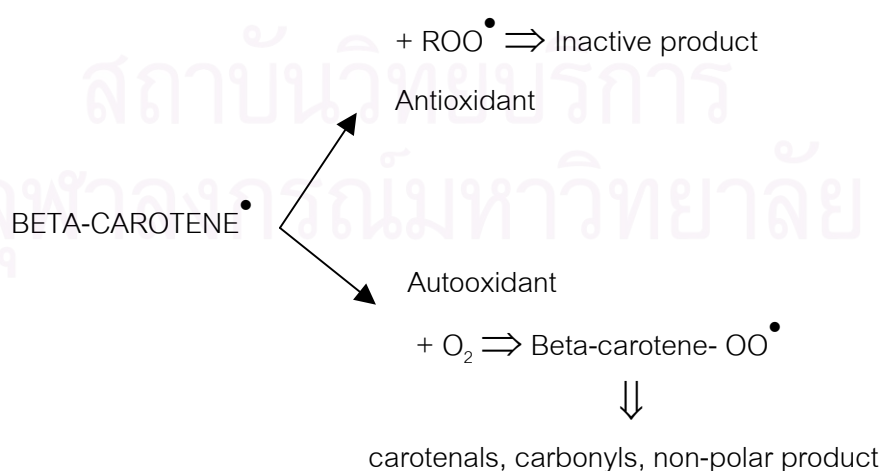
2. สีส้มอาหาร

แคโรทีนอยด์ เป็นกลุ่มรงควัตถุที่ให้สีเหลือง เหลืองส้ม จนถึงแดง พบมากในพืชที่มีสีเหลืองส้ม เช่น มะละกอสุก มะม่วง กัลฉ่าย และผักใบเขียว มีปริมาณมากในธรรมชาติ ซึ่งสารสกัดสีเหล่านี้ สามารถนำมาใช้ปรุงอาหารได้ การสกัดสีเหล่านี้อาจทำให้อยู่ในรูปของเกลือรูปผงละลายในน้ำมัน และอิมัลชัน สีจากแคโรทีนอยด์ที่รับรองว่าใช้ได้ ในอาหาร ได้แก่

1. บีตา-แคโรทีน ให้สีเหลืองจนถึงสีส้ม ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย
2. บีตา-อะโป-8-แคโรทีนอล ให้สีในช่วงสีส้ม จนถึงสีแดง
3. แคนตาแซนทีน ให้สีแดง

3. เป็นแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant)

บีตา-แคโรทีนสามารถลดการเกิด singlet oxygen ซึ่งเป็นสารที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลอิสระที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดโรคภัยต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง บีตา-แคโรทีนจึงสามารถป้องกันการทำลายเซลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยจะเข้าร่วมตัวกับเปอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radicals) ทำให้สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของกรดไขมันในเซลล์ได้ ซึ่งปฏิกิริยานี้ต้องเกิดขึ้นที่ partial pressure ต่ำ ประมาณ 2.10^{-2} atm (2% ออกซิเจน) ถ้าเกิดขึ้นที่ oxygen pressure สูง บีตา-แคโรทีนจะสูญเสียคุณสมบัติการเป็นแอนติออกซิแดนท์ และส่งผลให้เกิดออกซิเดชัน ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การรวมตัวของบีตา-แคโรทีนเรดิคัล

ที่มา : Goodwin (1980)

หลักการทำให้แห้งผักผลไม้

การทำให้อาหารแห้งโดยทั่วไปมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดปริมาณน้ำในอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้คือมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี(water activity ; a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้แช่อิ่มเก็บได้ที่มีความชื้น 15 – 20% ประโยชน์ของการทำให้แห้ง มีดังนี้คือช่วยป้องกันการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมี และเอนไซม์ ทำให้มีอาหารใช้รับประทานในยามขาดแคลนหรือในแหล่งห่างไกล สามารถเก็บอาหารไว้ได้นานโดยไม่ต้องใช้ตู้เย็นให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังเป็นการลดน้ำหนักของอาหารเพื่อสะดวกต่อการบรรจุเก็บรักษาและขนส่งอีกด้วย (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2527)

การทำให้ผลไม้แห้งโดยการใช้ความร้อนหรือวิธีอื่น เพื่อลดปริมาณน้ำในผักผลไม้ให้ต่ำลง มีผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้โดยเฉพาะน้ำตาลมีความเข้มข้นสูงจนกระทั่งถึงจุดที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปริมาณความชื้นที่จุลินทรีย์สามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้นั้นจะอ้างอิงค่าของ a_w ($a_w = P/P_0$ เมื่อ P คือความดันไอของน้ำ ซึ่งถูกจับไว้ในอาหาร และ P_0 คือความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน) จุลินทรีย์แต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีระดับ a_w แตกต่างกัน (จากตารางที่ 2.2) (Mossel, 1975) สำหรับผลไม้แห้งที่มีค่า a_w ประมาณ 0.65 มีความชื้น 15-20% จะสามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

การเลือกวิธีทำให้แห้งใดให้เหมาะสมกับผักผลไม้แต่ละชนิดจะต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้นในผักผลไม้ องค์ประกอบหรือคุณค่าทางอาหารที่สำคัญ ความไว (sensitivity) ต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตลอดจนลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทั้งนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตด้วย การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในการทำให้แห้งผักผลไม้คือการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลจากปฏิกิริยา enzymatic browning หรือ non-enzymatic browning ซึ่งกลไกที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยามี 3 แบบคือ

- Maillard reaction เกิดจากปฏิกิริยาของสารประกอบอะมิโน (amino compounds) ในผักผลไม้กับน้ำตาลรีดิวซ์(reducing sugars) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล
- Caramelization reaction เกิดจากการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลในสภาวะที่มีความร้อนสูง เมื่อเผาไหม้ น้ำตาลในสภาวะแอนไฮไดรต์ส (anhydrous condition) หรือเมื่อ

มีการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงกับกรดเจือจาง (polyhydroxy acid) เมื่อไม่มีสารประกอบอะมิโน จะเกิด caramelization ของ polyhydroxycarbonyl compounds

- Oxidative reaction ตัวอย่างเช่น การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) และสารจำพวกโพลีฟีนอล (polyphenol) ไปเป็น di- หรือ polycarbonyl compound

ดังนั้นในการทำแห้งจึงมักมีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) เพื่อป้องกันการเกิดสีผิดปกติและกลิ่นรสที่เกิดจากการทำลายของความร้อนในระหว่างการทำแห้งและยังสามารถรักษาสี กลิ่นรสที่ดีระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังป้องกันมิให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ด้วย การใส่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต้องคำนึงถึงการสูญเสียไประหว่างการทำให้แห้งและระหว่างการเก็บรักษาด้วย ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้แห้งที่กำหนดไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมผลไม้แห้งต้องไม่เกิน 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531 ; Mossel, 1975) แต่เนื่องจากมาตรฐานผลไม้แห้งของแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป ส่วนใหญ่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้แห้งที่กำหนดให้มีได้ในตลาดต่างประเทศอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าในประเทศไทย เช่น สหรัฐอเมริกากำหนดให้มีได้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในผลไม้อบแห้ง (สำนักเลขานุการคณะกรรมการพัฒนาการส่งออก, 2531) ดังนั้นการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิสจึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตผลไม้แห้งเพื่อการส่งออก เพราะโดยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือใช้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของค่า a_w และปริมาณน้ำในอาหาร กับชนิดของจุลินทรีย์

ช่วงของค่า a_w	ชนิดของจุลินทรีย์ที่ถูกยับยั้ง โดยค่าต่ำสุดของช่วงที่กำหนด	ชนิดของอาหารที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงที่กำหนด
1.0-0.95	Gram-negative rods ; bacterial spores: some yeasts	Foods containing 40%(w/w) sucrose or 7% (w/w) salt, e.g. many cooked sausages : bread crumbs.
0.95-0.91	Most cocci ; lactobacilli ; vegetative cells of bacillaceae; some moulds	Foods containing 55% (w/w) sucrose or 12% NaCl, e.g. dry ham; medium age cheese
0.91-0.87	Most yeasts	Foods containing 65% (w/w) sucrose (i.e. saturated); foods with 15% NaCl, e.g. salami; "old" cheese
0.87-0.80	Most moulds ; Staph. aureus	Flours, rice pulses etc. containing 15-17% water; fruit cake; sweetened condensed milk (aprox. 0.82)
0.80-0.75	Most halophilic bacteria	Foods with 26% NaCl (i.e. saturated) e.g. old genuine Hungarian salami; marzipan containing 15-17% water; jam and marmalade
0.75-0.65	Xerophilic moulds	Rolled oats, containing approx. 10% water
0.65-0.60	Osmophilic yeasts	Dried fruits, containing 15-20% water; toffees and caramels containing approx. 8% water
0.50	Area of a_w which will not allow any microbial proliferation	Noodles etc., containing aprox. 12% water; spices containing approx. 10% water
0.40		Whole egg powder containing 6% water; Biscuits, rusks, bread crusts, etc. containing 3-5% water
0.30		Whole milk powder, containing 2-3% water
0.20		Dried vegetables containing approx. 5 % water. Corn flakes.

ที่มา: Mossel (1975)

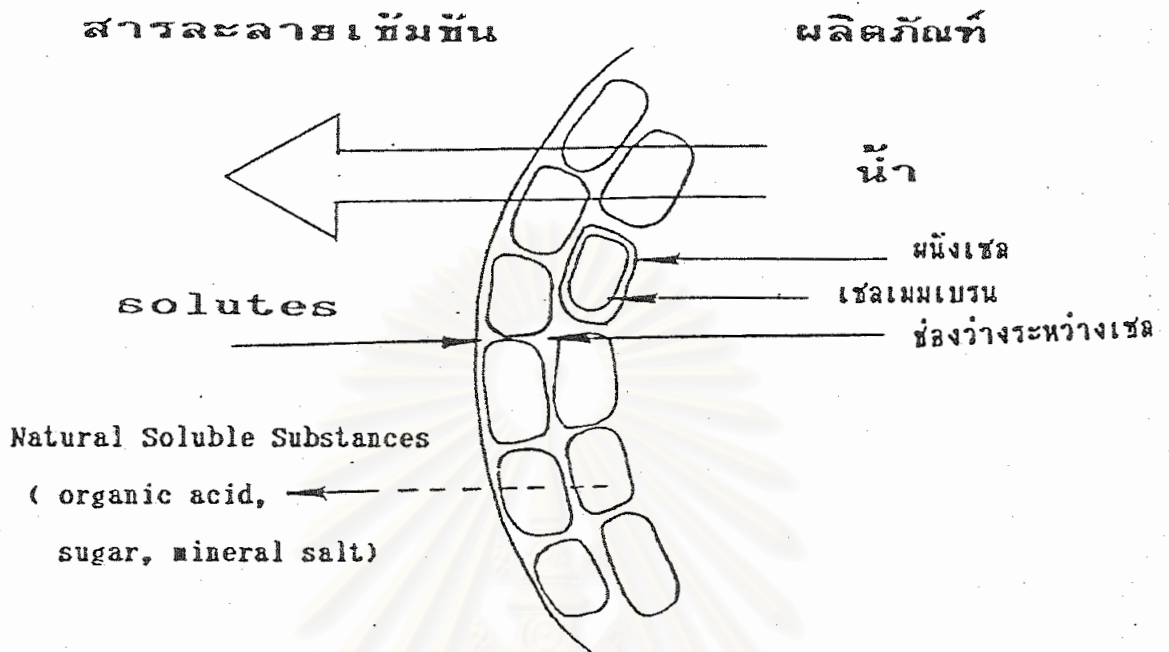
การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

อาหารที่นำมาทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสนี้ส่วนใหญ่จะเป็นประเภทที่เสื่อมเสียง่าย (perishable) เช่น ผัก ผลไม้ ที่มีน้ำอยู่ภายในค่อนข้างสูงและมีสารพวกน้ำตาล แป้ง และสารอื่นๆ รวมอยู่ในสภาพของสารละลายเจือจาง นอกจากนี้ยังเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งผักผลไม้ที่ไวต่อความร้อน หรือผักผลไม้ประเภทที่มีเนื้ออ่อนนุ่ม (soft fruit) ตัวอย่างผักผลไม้ที่ได้นำมาทำแห้งแบบออสโมซิสแล้วมี พักทอง มันฝรั่ง แครอท เห็ด กะหล่ำดอก มะเขือเทศ ฝรั่ง เซอร์รี่ มะม่วง สับปะรด มะละกอบ เป็นต้น แต่ยังมีผักผลไม้บางประเภทที่ไม่สามารถนำมาทำแห้งแบบออสโมซิสได้ เช่น หอม กระเทียม แดงโม เพราะเป็นพวกที่มีปริมาณน้ำอยู่น้อยหรือมากเกินไป และมีองค์ประกอบพวกน้ำตาลหรือแป้งอยู่น้อย เมื่อนำมาทำแห้งจะมีการแยกน้ำออกมาแล้วทำให้โครงสร้างไม่สามารถที่จะคงรูปร่างลักษณะของเซลล์ให้คงรูปอยู่ได้ จึงไม่สามารถนำมาทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสได้ เนื่องจากการทำแห้งโดยวิธีนี้ผักผลไม้ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานแบบวิธีอบแห้งธรรมดาจึงช่วยลดการถูกทำลายเนื่องจากความร้อน (heat damage) ต่อกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินในผลไม้ นอกจากนี้ความเข้มข้นสูงของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำงานได้น้อยลง ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนสีจึงไม่จำเป็นต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือใช้เพียงเล็กน้อย ผักผลไม้ที่ทำแห้งโดยวิธีนี้จึงยังคงรักษากลิ่นรส และสีตามธรรมชาติไว้ได้ (Ray, 1960 ; Ponting et al, 1966)

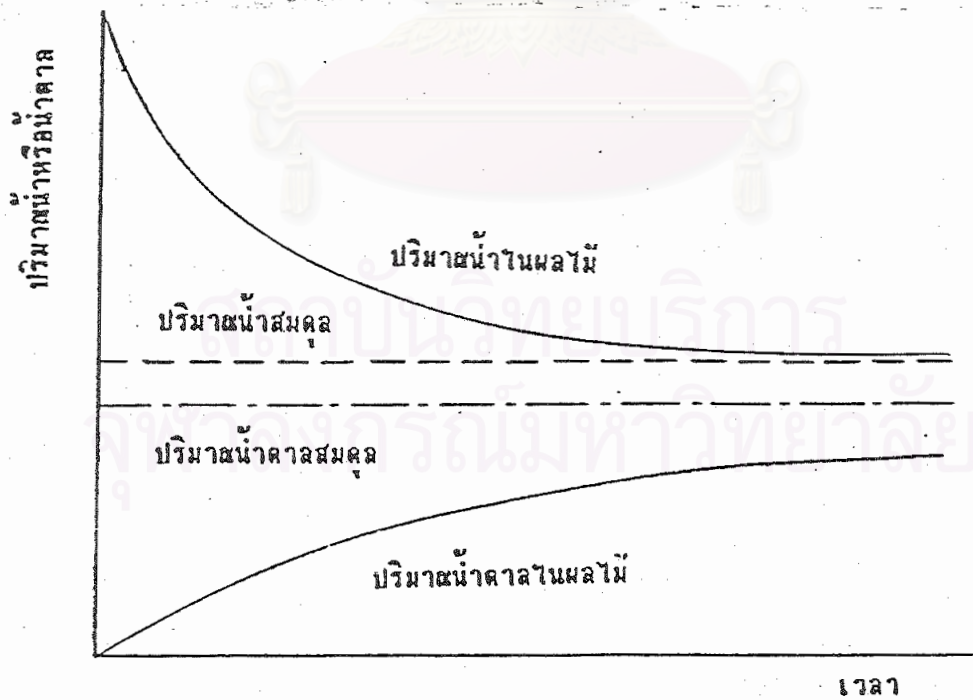
การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส คือ กระบวนการแยกน้ำออกจาก cellular material เช่น ผัก ผลไม้ โดยอาศัยหลักการของการออสโมซิสในการกำจัดน้ำบางส่วนจากผลไม้ก่อนนำไปอบแห้ง โดยกระบวนการออสโมซิสนี้สามารถกำจัดน้ำได้ประมาณร้อยละ 30-50 ของน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นผลไม้ ก่อนนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการ การแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น ซึ่งมีผลให้ปริมาณน้ำในผลไม้ลดลงและมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เพราะการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาล ซึ่งมีค่าออสโมติกต่ำกว่าจะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผักผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก โดยที่เซลล์เมมเบรนของผักผลไม้ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) กั้นอยู่ระหว่างสารละลายที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากัน การไหลที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (Raoult-Wack, 1994) กล่าวคือ น้ำจะแพร่ออกจากผลไม้ในขณะเดียวกันน้ำตาลก็จะ

แพร่เข้าไปในเนื้อผักผลไม้แต่การแพร่ของน้ำตาลจะเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสจึงอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ระหว่างน้ำตาลกับน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณของน้ำที่ต้องการจะดึงออกการแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นจะดำเนินไปจนกระทั่งสารละลายมีวอเตอร์แอกติวิตีที่สมดุล ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (Karel, 1975) แต่อัตราการอบแห้งของตัวอย่างผักผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสจะต่ำกว่าผักผลไม้ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากการแพร่ของตัวทำละลาย(solvent)เข้าไปในชิ้นผักผลไม้จะมีผลในการต้านทานการแพร่ออกของน้ำในชิ้นผลไม้ (Islam and Flink, 1982) การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในเนื้อผลไม้ทำให้ความต้านทานการถ่ายโอนมวลสาร(น้ำ)สูงขึ้น จากการศึกษาของ Karathanos, Kostaropoulos และ Saravacos(1995) พบว่า ชิ้นแอปเปิ้ลที่แช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้น 45% มีอัตราการทำแห้งต่ำกว่าชิ้นแอปเปิ้ลที่ผ่านการแช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้น 15% และชิ้นแอปเปิ้ลที่ผ่านการแช่ในน้ำตาลจะมีอัตราการทำแห้งต่ำกว่าชิ้นแอปเปิ้ลสด เนื่องจากน้ำตาลแทรกเข้าไปอยู่ตามรูเล็กๆ ภายในเนื้อแอปเปิ้ลมากขึ้นทำให้ความพรุนของเนื้อแอปเปิ้ลลดลง ซึ่งน้ำจะแพร่กระจายผ่านออกมาได้ยากขึ้นแต่การออสโมซิสก็สามารถช่วยรักษาคุณภาพทางด้านกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ เมื่อผลไม้ผ่านการออสโมซิสด้วยเวลาที่เหมาะสม แล้วนำชิ้นมาล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมาด้วยน้ำเย็นชับน้ำให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปอบแห้งต่อไปด้วยเครื่องอบแห้งแบบธรรมชาติหรือแบบสุญญากาศจนได้ความชื้นที่ต้องการ และนอกจากนี้การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสยังทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ขึ้นเช่น แครอทอบแห้ง เป็นต้น (Ponting et al., 1966)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.3 การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิส



ภาพที่ 2.4 ความสมดุลของน้ำและน้ำตาลระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

ขั้นตอนการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

คุณภาพวัตถุดิบมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงต้องมีหลักในการกำหนดปัจจัยของคุณภาพของวัตถุดิบ และควบคุมวัตถุดิบให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ สำหรับผัก ความแก่อ่อนของผักเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง ผักที่นำมาแปรรูปเป็นผักอบแห้งต้องมีความแก่อ่อนที่พอเหมาะ องค์ประกอบทางเคมีของผักสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ความแก่อ่อนของผักได้ เช่น ปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำ และปริมาณน้ำตาล ปริมาณน้ำในผักผลไม้จะค่อยๆ ลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนประกอบที่เป็นทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและส่วนที่ไม่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น ผักและผลไม้ที่แก่เต็มที่จะมีปริมาณน้ำตาลสูง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, 2540) ผักที่นำมาแปรรูปต้องผ่านการทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกรวมทั้งจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนออกมาให้หมดก่อนนำมาปอกเปลือก และตัดเป็นชิ้นตามความต้องการ

2. การลวก

เป็นขั้นตอนการให้ความร้อนแก่ผักผลไม้ เนื่องจากผักผลไม้อาจมีเอนไซม์ peroxidase หรือ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น รสชาติในผลิตภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้ โดยการให้ความร้อนด้วยน้ำร้อนหรือน้ำ การลวกจะทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป เมื่อนำไปออสโมซิสใน osmotic agent จะทำให้การออสโมซิสเกิดได้ดีและรวดเร็วขึ้น (Levi, Gagel and Juven, 1983)

การลวกมีวัตถุประสงค์หลักคือ ยับยั้งเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสี กลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการลวกและใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของการลวก คือ peroxidase, catalase และ lipoxygenase ในกระบวนการแปรรูปผักการยับยั้ง peroxidase เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะเป็นตัวที่ทนความร้อนมากที่สุด

และสามารถตรวจสอบได้ง่าย ภายหลังจากการลวกหากตรวจสอบไม่พบ peroxidase แสดงว่า เอนไซม์ตัวอื่นถูกยับยั้งด้วยเช่นกัน แต่การลวกจะมีผลต่อคุณภาพของอาหารในด้านคุณค่าทางอาหาร สีและรสชาติ รวมทั้งลักษณะเนื้อสัมผัส ดังนั้นควรหาเวลาที่เหมาะสมในการลวกที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้โดยที่คุณภาพของอาหารมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด (Fellows, 1990)

การลวกอาจทำได้ 3 วิธี ดังนี้คือ (Lee, Bourne and Buren, 1979 ; Kalra,1990)

1. Water blanching

การลวกด้วยวิธีนี้อาศัยความร้อนจากน้ำร้อน ทำได้โดยผ่านผักที่ล้างสะอาดแล้วไปยังเครื่อง rotary blancher ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการลวกภายในระยะเวลาที่เหมาะสม ส่วนมากมักลวกที่อุณหภูมิ 99 °C (210 °F) เป็นเวลา 2-3 นาที ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ การลวกต้องระมัดระวังการเกิด over blanching เพราะจะทำให้คุณภาพของผักหลังการอบแห้งที่ไม่ดี

ข้อเสียของการลวกโดยวิธีนี้ คือ มักมีการสูญเสียวิตามินที่ละลายในน้ำซึ่งมากหรือน้อยขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการลวก ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียสารอาหารระหว่างการลวกด้วยน้ำร้อนในแง่ของการถ่ายเทมวล ได้แก่ พื้นที่ผิว ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำร้อน และการหมุนเวียนหรือการกวนน้ำ

2. Steam blanching

การลวกโดยใช้ไอน้ำมักให้ผลดีและเป็นที่ยอมรับมากกว่าวิธี water blanching เนื่องจากวิธีนี้จะช่วยลดการสูญเสียของสารอาหารภายในเซลล์ของผักผลไม้ให้มีคุณภาพดี

3. Microwave blanching

ความร้อนที่ใช้ในวิธีนี้จะเป็นความร้อนที่ได้จากรังสีไมโครเวฟซึ่งมีความถี่สูงและประโยชน์ในการใช้วิธีนี้คือ ทำให้ไม่มีการสูญเสียสารจากเซลล์ของผักหรือผลไม้ คุณค่าทางอาหารและรสชาติจะสูญเสียไปน้อยมาก

3. ขั้นตอนการออสโมซิส

ผักผลไม้ที่ผ่านการตัดเป็นชิ้นตามลักษณะที่ต้องการ เมื่อนำมาแช่ในสารละลายน้ำตาล หรือ osmotic agent จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้น ซึ่งมีผลให้ปริมาณน้ำในผักผลไม้ลดลง และมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำตาลซึมเข้าไปและมีการแพร่ออกของน้ำที่อยู่ในเซลล์ของผักผลไม้ ในขั้นตอนการออสโมซิสจึงเป็นการลดปริมาณน้ำบางส่วนในผักผลไม้ก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะสามารถลดปริมาณน้ำลงได้ประมาณร้อยละ 30-50 การออสโมซิสทำได้โดยการเลือกอัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลต่อผักผลไม้ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่เหมาะสม แล้วแช่ชิ้นผักผลไม้ที่เตรียมไว้ในสารละลายน้ำตาลที่บรรจุอยู่ใน syrup bath ที่ควบคุมอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลา อาจมีการกวนสารละลายน้ำตาลรอบๆ ชิ้นผลไม้บางครั้งหรือตลอดเวลา เพื่อป้องกันการเจือจางที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งจากน้ำที่ถูกกำจัดออกมาจากชิ้นผักผลไม้ เมื่อผักผลไม้ผ่านการออสโมซิสด้วยเวลาที่เหมาะสมแล้ว นำขึ้นมาล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมาด้วยน้ำเย็น ชบน้ำให้แห้งแล้วนำไปอบแห้งต่อไป ขั้นตอนการออสโมซิสที่ให้ผลดีต้องสามารถลดปริมาณน้ำในผลไม้ได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ น้ำตาลซึมเข้าไปในเนื้อผลไม้ไม่มากนัก ซึ่งกระทำได้โดยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการ ออสโมซิส เช่น ขนาดและรูปร่างของชิ้นผักผลไม้ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ (Raoult-Wack,1994 and Ponting, 1973)

4. ขั้นตอนการอบแห้ง

ผักผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสแล้วจะยังคงมีปริมาณน้ำสูงอยู่จึงต้องนำมาผ่านขั้นตอนการอบแห้ง เพื่อลดปริมาณน้ำให้ต่ำลงถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งผักผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของชิ้นผักผลไม้ ปริมาณน้ำเริ่มต้น ความไวต่อความร้อน และปฏิกิริยาต่างๆ อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการอบแห้งจะต้องรักษาสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อของผักให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากกระบวนการทำให้แห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางชีวเคมี นิธิยา รัตนพนนท์ (2540) ได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงในรูปของการเปลี่ยนสี เปลี่ยนกลิ่น และลักษณะทั่วไปจากการทำให้แห้งไว้ดังนี้

1. การเกิดสีน้ำตาล ในระหว่างการทำให้แห้งน้ำที่อยู่ภายในเนื้อผักผลไม้จะเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวแล้วระเหยออกไป การเคลื่อนที่ของน้ำออกมาสู่ผิวนี้อาจอยู่ในรูปของเหลวหรือในรูปของไอน้ำก็ได้ การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะพาเอาของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล และกรดอะมิโนออกมาสู่ผิวด้วย เมื่อการทำแห้งดำเนินต่อไป ความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวของผักผลไม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและให้สีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้การทำให้ผักผลไม้แห้งที่อุณหภูมิสูงมักจะทำให้ผลไม้มีสีเข้ม

วิธีป้องกันการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการอบแห้งขึ้นผักผลไม้ ที่ผ่านขั้นตอนการออกซิไดส์แล้ว สามารถกระทำได้โดยแช่ขึ้นผักผลไม้ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สักครู่หนึ่งก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งนอกจากทำให้เกิดการซีมของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้าไปในเนื้อของผักผลไม้แล้วยังเป็นการล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมากับขึ้นผักผลไม้ด้วย (Bongirwar and Sreenivasan, 1977) สารซัลไฟต์สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้โดยไปทำปฏิกิริยากับโปรตีน ทำให้โปรตีนแตกออกได้ sulfonated proteins นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับน้ำตาลได้สาร hydroxy sulfonated ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้โปรตีนหรือกรดอะมิโนและน้ำตาลไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกันได้ มีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม(อุดมเกียรติ พรพรรณประเทศ, 2531)

2. การแตกตัวของน้ำตาล ในระหว่างการทำให้ผักแห้งน้ำตาลซูโครสที่มีอยู่ในผักจะแตกตัวเป็นน้ำตาลชั้นเดียว คือ น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโทส ทำให้ผิวเหนียวเหนอะหนะ เนื่องจากน้ำตาลทั้งสองชนิดนี้ มีสมบัติในการดูดความชื้นไว้ได้มากกว่าน้ำตาลซูโครส (Pancoast and Junk, 1980)

3. การสูญเสียกลิ่นระหว่างการทำให้ผักอบแห้ง สารให้กลิ่นบางชนิดจะระเหยออกไปทำให้ผักอบแห้งมีกลิ่นเปลี่ยนไปจากวัตถุดิบเริ่มต้น

ดังนั้นการทำผักอบแห้งจึงต้องเลือกวิธีที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทั้งในด้านสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส มีหลายประการ ดังนี้

1. ความแก่อ่อนของผักผลไม้

ระดับความแก่อ่อนของผักผลไม้มีผลต่ออัตราการออสโมซิส เนื่องจากผักผลไม้ที่มีความแก่อ่อนแตกต่างกันจะมีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่แตกต่างกันด้วย เช่น เซลล์เมมเบรน (cell membrane) ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble solid) และอัตราส่วนระหว่างโปรโตเพคตินกับเพคตินที่มีความสามารถในการละลายได้ในน้ำ (protopectin to soluble pectin) เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างที่แตกต่างกันนี้มีผลต่อการแพร่ผ่านของตัวทำละลาย เช่น น้ำตาล เข้าไปในเซลล์ของผักผลไม้แตกต่างกัน ผักผลไม้ที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอย่างหลวมๆ และมีรูพรุน พบว่าการแพร่ผ่านของตัวทำละลายเข้าไปในเซลล์ผักผลไม้จะเกิดได้สูงกว่าผักผลไม้ที่จับตัวกันแน่น นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส เนื่องจากความแก่อ่อนจะมีอิทธิพลต่อสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องคัดเลือกผักผลไม้ที่มีความแก่อ่อนเหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด (Torrey, 1974)

2. รูปร่างและขนาดของผักผลไม้

อิทธิพลของขนาดและรูปร่างจะมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนัก ถ้าพื้นที่ผิวของผักผลไม้ต่อหน่วยน้ำหนักมากขึ้น เมื่อนำมาแช่ใน osmotic agent จะทำให้อัตราการเกิดออสโมซิสสูงขึ้น ด้วยเพราะ osmotic agent จะสามารถดึงน้ำออกจากชิ้นผักผลไม้ได้มาก เนื่องจากสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวได้มากขึ้นและยังขึ้นกับประสิทธิภาพการซึมผ่านของน้ำด้วย เช่น ถ้าหากมีการขัดขวางของของแข็งที่ซึมเข้าไปในเนื้อของผักผลไม้จะทำให้มีการสูญเสียน้ำลดลง ดังเช่นมีผู้รายงาน (Lerici et al., 1985) ว่าการตัดแอปเปิ้ลแบบวงแหวนจะมีการสูญเสียน้ำมากที่สุด รองลงมาเป็นแบบลูกเต๋า ซึ่งการที่ตัดแบบลูกเต๋ามีการสูญเสียน้ำน้อยในขณะที่มีค่าพื้นที่ผิวมากนั้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) ซึ่งเป็นผลมาจากการมีปริมาณของแข็งซึมเข้าไปในชิ้นแอปเปิ้ลในปริมาณมาก

3. ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

การแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้นได้ เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของผักผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก ซึ่งแรงดันออสโมติกจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นมีค่าสูงแรงดันออสโมติกจะมีค่าสูงด้วย ดังแสดงในสมการดังนี้ (West and Todd, 1961)

$$\pi V = (g/M)RT$$

เมื่อ π = ค่าแรงดันออสโมติก (atmospheres)
 V = ปริมาตร (liters)
 g = น้ำหนักของตัวถูกละลาย (grams)
 R = ค่าคงที่ของแก๊ส (0.082 liter-atmosphere)
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์
 M = มวลโมเลกุลของตัวถูกละลาย (g/mole)

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบสารละลายน้ำตาลต่างชนิดที่ความเข้มข้นเดียวกัน สารละลายของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์จะมีผลให้แรงดันมีค่าเป็นสองเท่าของสารละลายน้ำตาลไดแซคคาไรด์ เนื่องจากที่ความเข้มข้นเดียวกันนี้ สารละลายของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์จะมีจำนวนโมเลกุลของน้ำตาลอยู่มากกว่าเป็นจำนวนสองเท่าของสารละลายน้ำตาลไดแซคคาไรด์ ดังนั้นชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

Lerici และคณะ (1985) ได้ให้คำจำกัดความของ osmotic agent ไว้ว่า “เป็นสารที่ใช้สำหรับเป็นตัวทำให้เกิดแรงเคลื่อนที่ออสโมซิส”

ปัจจัยที่ใช้ในการเลือก osmotic agent มีดังนี้

1. มีรสดี ทำให้ผลไม้แห้งน่ารับประทาน
2. มี water activity ต่ำ

3. มีแรงดันออสโมติกสูง
4. ไม่เป็นพิษ ง่าย และราคาถูก

osmotic agent ที่นิยมใช้ มี 3 ชนิด คือ

1. น้ำตาล ในการทำ osmotic dehydration ผลของน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มี 2 ประการ คือ ประการที่ 1 จะมีผลมากในการเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่ง oxidative browning ประการที่ 2 ใช้ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยไปในระหว่างการทำแห้ง แม้ว่าจะทำภายใต้สภาวะสุญญากาศสูงๆ (Ponting, 1973) นอกจากนี้น้ำตาลยังทำให้เกิดความสมดุลกับรสชาติอื่นๆ เช่น รสเปรี้ยว รสเค็ม รสขม เป็นต้น และน้ำตาลที่ความเข้มข้นสูงๆ ยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดได้และป้องกันการเน่าเสียของอาหารได้ เนื่องจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์กล่าวคือความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจะไปลดปริมาณน้ำอิสระในอาหารและยังไปเพิ่มแรงดันออสโมติกทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในภาวะแวดล้อมดังกล่าว แรงดันออสโมติกสูงๆ ทำให้จุลินทรีย์สูญเสียน้ำและตายได้ ด้วยเหตุนี้ผักและผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส การเชื่อม การกวน จึงสามารถเก็บไว้ได้นาน น้ำตาลที่นิยมใช้เป็นสารให้ความหวานคือ น้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส กลูโคส ซอร์บิทอล เป็นต้น (Pancoast and Junk, 1980)

2. กรด การเติมกรดลงไปในการละลายออสโมซิสนั้นมีผลในการเพิ่มอัตราการออสโมซิส เมื่อใช้ซูโครสเป็น osmotic agent ร่วมกับกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดแลคติก กรดซิตริก กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น การที่กรดไปช่วยเพิ่มอัตราการดึงน้ำออก เป็นเพราะกรดจะไปยับยั้งการเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อนของสารประกอบเพคตินในผักผลไม้ เช่น ในมะละกอมีสารประกอบเพคตินมาก สารนี้เมื่อเกิดเจลจะดึงเอาซูโครสเข้าไปด้วยซึ่งจะให้อัตราการสูญเสียน้ำน้อย เพราะเจลเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ (Moy, Lau and Dollar, 1978) นอกจากนี้กรดยังเป็นตัวช่วยเพิ่มกลิ่นและรส เนื่องจากจะไปมีผลต่อประสาทรับความรู้สึก กรดส่วนใหญ่ทำให้เกิดรสเปรี้ยว การเลือกใช้กรดนั้นต้องคำนึงกลิ่นรสที่ต้องการเป็นสำคัญ ส่วนใหญ่จะเลือกใช้กรดที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติในอาหารชนิดนั้นเป็นหลัก กรดยังช่วยถนอมอาหารและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารอีกด้วย โดยจะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้อีกด้วย (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

3. เกลือ พบว่า โซเดียมคลอไรด์ เป็น osmotic agent ที่นิยมใช้ ในการทำแห้งผัก ด้วยวิธีออสโมซิส โดยอาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับ osmotic agent ชนิดอื่นๆ เช่น น้ำตาล โดยปกติจะมีการใช้เกลือที่ความเข้มข้น 5-20% เนื่องจากเกลือมีความสามารถในการละลายต่ำ และมีรสเค็ม ถ้าใช้ในปริมาณสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การใช้เกลือทดแทนน้ำตาลบางส่วนจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เนื่องจากเกลือมีราคาถูก นอกจากนี้เกลือยังช่วยเพิ่มรสชาติให้กับอาหาร (Mazza, 1983) ในการทำแห้งมันฝรั่งด้วยวิธีออสโมซิสได้มีการใช้เกลือเข้ามาช่วยในการทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีลดลงต่ำลง โดยมีการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของเกลือต่อการลดปริมาณน้ำและการเพิ่มปริมาณของแข็งในมันฝรั่ง พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นมีผลให้ water loss และ solid gain เพิ่มขึ้นด้วย (Islam and Flink, 1982)

ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้น้ำตาลเป็น osmotic agent เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย และให้รสชาติที่ดี

จากการศึกษาของ Bolin และคณะ (1983) ได้ทดลองใช้น้ำตาลซูโครสและ high fructose corn syrup (HFCS) เป็น osmotic agent ในการออสโมซิสขึ้นแอปเปิ้ลหนา 15 mm. โดยสารละลายที่ใช้มีความเข้มข้น 70 °Brix อุณหภูมิ 70°C เวลา 6 ชั่วโมง พบว่า HFCS จะซึมผ่านเข้าไปในขึ้นแอปเปิ้ลได้มากกว่า และสามารถดึงน้ำออกได้มากกว่าสามารถลดน้ำหนักลงไปถึงร้อยละ 70 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่า water activity น้อยกว่าเมื่อใช้ซูโครส และยังมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะ HFCS จะเข้าไปแทนที่น้ำในเซลล์ได้มากกว่า เนื่องจากเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว แต่เมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแล้ว พบว่า ซูโครสจะได้รับการยอมรับมากกว่า HFCS จากการศึกษานี้ของ Ertekin และ Cakaloz (1995) พบว่า ในการทำแห้งถั่วลิสงเตาดำด้วยการออสโมซิสในสารละลายซูโครสไซรัป เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จาก 30-60% จะมีผลให้ water loss และ solid gain เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้สารละลายมีแรงดันออสโมติกสูงขึ้นด้วย

จากการศึกษาของ Fankas และ Lazar (1969) ในการทำแห้งขึ้นแอปเปิ้ลหนา 1.2 เซนติเมตร ด้วยวิธีออสโมซิส โดยการแช่ในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 50-75°Brix ที่อุณหภูมิ 30-60°C พบว่า การแช่ขึ้นแอปเปิ้ลในสารละลายซูโครสเข้มข้น 70°Brix ที่อุณหภูมิ

50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุด เนื่องจากสามารถลดน้ำหนักลงได้ร้อยละ 50 ของน้ำหนักเริ่มต้น สำหรับสารละลายซูโครสความเข้มข้น 75°Brix จากรายงานการวิจัย (Ponting et al., 1966) พบว่า มีความหนืดมากเกินไป เป็นผลให้การออสโมซิสเกิดได้น้อยลง ดังนั้น สารละลายน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการออสโมซิส ไม่ควรมีความเข้มข้นสูงกว่า 70°Brix

จากการศึกษา ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิส พบว่า ส่วนใหญ่นิยมใช้สารละลายซูโครส เนื่องจากหาได้ง่าย และให้รสชาติที่ดี สำหรับสารละลายน้ำตาลชนิดอื่นๆ ที่มีการศึกษา ได้แก่ สารละลายกลูโคส สารละลายฟรักโทส corn syrup solids solutions (Contreras and Smyrl, 1981) และ high fructose corn syrup (Bolin et al., 1983) ซึ่งชนิดของน้ำตาลมีผลให้การออสโมซิสเกิดเร็วหรือช้าได้ โดยน้ำตาลชนิดที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะช่วยในการออสโมซิสเกิดได้เร็วขึ้น แต่มีผลให้น้ำตาลซึมเข้าในเนื้อผักผลไม้ได้น้อยกว่าและต้องใช้เวลา นานกว่าในการกำจัดน้ำจากชิ้นผักผลไม้ สำหรับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ไม่มีข้อจำกัดที่แน่นอน เพียงแต่ต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายของน้ำตาลชนิดนั้นๆ ซึ่งพบว่า ส่วนใหญ่นิยมใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลในช่วง 50-70°Brix จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า น้ำหนักที่ลดลงและปริมาณน้ำที่ลดลงของผลไม้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลสูงขึ้นในทุกๆ ช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส ในงานวิจัยนี้ เลือการศึกษาความเข้มข้นของซูโครสไว้เป็น 50°Brix และ 70°Brix เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการออสโมซิสต่อไป

4. อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส

จากการศึกษาของ Bongirwar และ Sreenivasan (1977) โดยศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการออสโมซิสกล้วย ที่แช่ในสารละลายซูโครส 70°Brix เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิต่างกัน 4 อุณหภูมิ คือ 27 , 40, 50 และ 60°C พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนืดของสารละลายน้ำตาลลดลง เป็นผลให้เกิดการออสโมซิสได้ดีกว่า แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด คือ 50°C เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะมีผลกระทบต่อรสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้ จากการศึกษาของ Contreras และ Smyrl (1981) พบว่า สำหรับการออสโมซิส ที่อุณหภูมิสูงกว่า 45°C ควรมีการเติมกรดแอสคอร์บิกลงในสารละลายน้ำตาล เพื่อรักษาสีธรรมชาติของผลไม้เอาไว้

เนื่องจากกรดแอสคอร์บิก สามารถทำหน้าที่เป็น reducing agent ยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากเอนไซม์ได้ (Frank, 1983) ผลการศึกษาของ Levi และคณะ (1983) พบว่า การทำมะละกอแห้งเมื่อแช่มะละกอในน้ำเชื่อมที่มีอุณหภูมิสูงจะมีอัตราการสูญเสียน้ำมากกว่าในน้ำเชื่อมที่มีอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิของน้ำเชื่อมที่เหมาะสม คือ 20-45°C แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Lenart และ Lewicki (1987) พบว่า แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้เกิดการออกซิเดชันได้ดีกว่าโดยปริมาณน้ำที่ลดลงมีค่าสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลให้ปริมาณการซึมเข้าของน้ำตาลมีค่าสูงด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป (70-90°C) ยังเป็นการลวก (blanching) ผลไม้ไปพร้อมๆกันด้วย จึงมีผลให้น้ำตาลซึมเข้าเนื้อผลไม้ในปริมาณสูงมาก

สำหรับเวลาที่ใช้ในการออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ จากผลการศึกษาของ Fankas และ Lazar (1969) พบว่า การออกซิเดชันแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุด จากผลการศึกษาของ Lenart และ Lewicki (1987) พบว่า ที่อุณหภูมิ 90°C การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในชิ้นแอปเปิ้ลจนเข้าสู่สภาวะสมดุล ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิ 30°C ต้องใช้เวลามากกว่า 3 ชั่วโมง จึงจะทำให้เกิดสภาวะสมดุล จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ในการออกซิเดชัน พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดที่นิยมศึกษาคือ อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ 90°C การใช้อุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งเวลาในขั้นตอนการออกซิเดชันให้เร็วขึ้น แต่อาจมีผลเสียต่อสีและลักษณะเนื้อของผลไม้ได้ ในขณะที่การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ต้องใช้เวลานานกว่า แต่ก็มีข้อดีในแง่การประหยัดพลังงานและไม่มีผลกระทบต่อลักษณะปรากฏของผลไม้ ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาอุณหภูมิที่ 50 °C และ 70°C ส่วนเวลาที่ใช้ในการออกซิเดชันเป็น 3 และ 5 ชั่วโมง เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการออกซิเดชันต่อไป

5. อัตราส่วนระหว่างผักผลไม้ : สารละลายน้ำตาล (น้ำหนัก/น้ำหนัก)

จากผลการศึกษาของ Lenart และ Flink (1984) ซึ่งศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างผักและสารละลายน้ำตาลต่อการออกซิเดชันมันฝรั่งรูปลูกเต๋าขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยแปรอัตราส่วนเป็น 1:1, 1:2, 1:4, 1:6 และ 1:10 พบว่า อัตราการออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่ออัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดย Hawkes และ Flink (1978) ให้เหตุผลของการใช้สารละลายน้ำตาลในปริมาณที่มากเกินไป เพื่อเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เนื่องจากน้ำที่ถูกกำจัดจากผักผลไม้ในระหว่างการออกซิเดชัน ดังนั้น ในงานวิจัย

นี้ศึกษาอัตราส่วนระหว่าง พักทอง : สารละลายน้ำตาลเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 ต่ออัตราการออสโมซิสเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อดึงน้ำออกจากชิ้นพักทองได้มาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี

6. การคนขณะออสโมซิส

ในขณะที่เกิดการออสโมซิสความเข้มข้นของน้ำเชื่อมบริเวณรอบๆ ชิ้นผลไม้จะเจือจางลง ทำให้ประสิทธิภาพของการออสโมซิสต่ำลงด้วย Ponting และคณะ (1966) พบว่า เหตุผลที่มีการคนหรือการกวนก็เพื่อกระจายความเข้มข้นภายนอกกรอบชิ้นผลไม้ ซึ่งเดิมเจือจางลงเนื่องจากน้ำในผลไม้ไหลออกมา ทำให้เจือจางไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง หรือสารละลายที่เข้มข้นกว่าไหลมาแทนที่สารละลายที่เจือจางเป็นการเพิ่มอัตราการออสโมซิสให้เร็วขึ้น Ertekin และCakaloz (1995) รายงานว่า การกวนหรือการเขย่าจะช่วยลดเวลาในการออสโมซิส

Hawkes และ Flink (1978) ศึกษาผลของการกวนผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ การกวนมีผลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราการออสโมซิสและค่า mass transport coefficients แต่ที่ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและการต้านทานการถ่ายเทมวลก็เพิ่มขึ้นด้วย การกวนจะมีผลทำให้ค่า mass transport coefficient เพิ่มขึ้น แต่ในการวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาถึงผลของการกวนต่อการออสโมซิส เนื่องจากอุปกรณ์ไม่พร้อมสำหรับการทดลอง

7. การใช้สารเคมีอื่นร่วมกับซูโครสช่วยในการออสโมซิส

จากการศึกษาของ Hawkes และ Flink (1978) ซึ่งศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้สารผสมสองชนิดโดยใช้ร่วมกับซูโครส เพื่อช่วยลดต้นทุนของ osmotic agent และ/หรือ ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของการออสโมซิส โดยทำการศึกษาระบบที่ประกอบด้วยซูโครสร่วมกับกลีโคมอลโตเด็คซ์ทิน (maltodextrin) หรือแล็กโตส พบว่า สารผสมนี้มีประสิทธิภาพเกือบเท่าการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้นรวมเดียวกัน จากผลการศึกษาของ Moy และคณะ (1978) ได้ศึกษาถึงการใช้อินทรีย์ (organic acid) ร่วมกับซูโครสในการออสโมซิสมะละกอ และฝรั่ง พบว่า ความเป็นกรดช่วยเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ออกของน้ำในมะละกอ เนื่องจากการเปลี่ยน

คุณสมบัติของเนื้อเยื่อ เกิดเป็นเจลของเพคติน (pectin gelation) ในงานวิจัยนี้ เลือการศึกษาผลของกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (โดยน้ำหนัก)

Islam และ Flink (1982) ศึกษาผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิสฝรั่ง พบว่า เมื่อเพิ่มระดับของโซเดียมคลอไรด์ มีผลให้ปริมาณน้ำในมันฝรั่งลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของแข็งในมันฝรั่งก็เพิ่มขึ้นด้วย และถึงแม้ว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสในการออสโมซิส จะทำให้อัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้น แต่การใช้โซเดียมคลอไรด์ต้องจำกัดปริมาณ เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์มีรสเค็ม (Hawkes and Flink, 1978; Lerici et al., 1985) ในงานวิจัยนี้ เลือการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0%

8. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งภายหลังการออสโมซิส

จากการศึกษาของ Nanjundaswamy และคณะ (1978) พบว่า สับปะรดชิ้นหนา 1.2 เซนติเมตร และมะละกอรูปลีเหลี่ยม (1.2x1.2x2.5 เซนติเมตร) ที่ผ่านการออสโมซิส เพื่อลดน้ำหนักลงประมาณ ร้อยละ 50 แล้ว ต้องใช้เวลาในการอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และ 9 ชั่วโมงตามลำดับ เพื่อลดความชื้นลงต่ำกว่า 15% และจากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม รสชาติออกหวาน และยังคงกลิ่นรสของผลไม้ไว้ได้ จากรายงานการศึกษาภาวะที่ใช้ในการอบแห้งผลไม้หลังการออสโมซิส ทำให้ทราบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งส่วนใหญ่ อยู่ในช่วง 60-70°C ในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (กรรณา วงษ์กระจ่าง, 2535)

อัตราการอบแห้งของตัวอย่างผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสจะต่ำกว่าผลไม้ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากการแพร่ของตัวทำละลายเข้าไปในชิ้นผลไม้ จะมีผลมากในการต้านการแพร่ออกของน้ำในชิ้นผลไม้ (Islam and Flink, 1982) จากการศึกษาของ Rahman และ Lamp (1991) ถึงผลของ solid gain ต่ออัตราการอบแห้งของสับปะรดที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และผ่านการออสโมซิส โดยใช้ osmotic agent ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า เมื่อออสโมซิสใน osmotic agent ที่ความเข้มข้นสูง จะทำให้ชิ้นสับปะรดมี solid gain เพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำการอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลง เนื่องจากซูโครสซึ่งเป็นสารที่สามารถจับกับน้ำได้ดีจะแพร่

เข้าไปในเนื้อสับปะรด และไปจับกับน้ำที่เหลืออยู่ในชั้นสับปะรดหลังจากการออสโมซิส จึงทำให้เพิ่มการต้านการเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกของน้ำภายในชั้นสับปะรด ทำให้สับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสอบแห้งได้ช้ากว่าสับปะรดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า จะมี solid gain สูงกว่า ก็อบแห้งได้ช้ากว่าที่มี solid gain ต่ำ แต่ถึงแม้ว่าสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิส จะมีอัตราการอบแห้งต่ำกว่าสับปะรดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสก็ตาม การออสโมซิสก็สามารถช่วยรักษาคุณภาพทางด้านกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของสับปะรดไว้ได้ (Ponting et al., 1966)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

- ผักทองพันธุ์คางคก ปลุกแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซื้อเจ้าประจำจากตลาดสี่มุมเมือง น้ำหนักประมาณ 2.5 –3.0 กิโลกรัมต่อผล อายุการเก็บ 120-150 วัน
- น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (บริษัท มิตรผล จำกัด)
- กรดซิตริก (food grade)
- โซเดียมคลอไรด์ (food grade)

อุปกรณ์

- เทอร์โมมิเตอร์แบบ digital (Fluke, 51)
- Water bath ซึ่งมี Thermostat ควบคุม
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven ; WTB binder, E-53)
- ตู้อบลมร้อน (Tray Dyer)
- เครื่องวัดสี (Minolta Croma Meter, CR 300 series)
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture Analyser) รุ่น TA. XT2
- เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดหยาบ (Sartorius, 1907 MPS)
- เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด (Sartorius, A200S)
- เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography) ของบริษัท Shimadzu รุ่น LC-3A แบบ non- reverse phase column ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.6 มม. ความยาว 2.5 ซม. บรเวอร์ด้วย C₁₈ – silica gel ของ Zorbax Dupont Detector ของบริษัท Shimadzu รุ่น LDC-4100
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldatherm and Vapodest I, Gerhardt, KT 85)
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (Soxhelt Apparatus)

-เตาเผา

-รีแฟรคโตมิเตอร์ (hand refractometer ; Atago)

สารเคมี

-กระบวนการผลิต

sodium bisulfite A.R.

- การวิเคราะห์เปอร์ออกไซด์ แอคติวิตี

guaiacol A.R.

alcohol 95 % Commercial grade

hydrogen peroxide A.R.

- การวิเคราะห์ปริมาณบีตา-แคโรทีน

chloroform A.R.

standard β -carotene ของบริษัท Fuka A.R.

acetone A.R.

petroleum ether A.R.

acetonitrile HPLC

methanol HPLC

dichloromethane HPLC

anhydrous sodium sulfate A.R.

-การวิเคราะห์โปรตีน

sodium carbonate A.R.

sulfuric acid A.R.

sodium hydroxide Commercial grade

boric acid A.R.

kjeltabs Cu 3.5 A.R.

methyl red A.R.

- การวิเคราะห์ไขมัน

petroleum ether A.R.

วิธีวิเคราะห์

1. วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

- 1.1 ปริมาณความชื้น (ตามวิธีของ A.O.A.C. 1995) รายละเอียดในภาคผนวก ก.1
- 1.2 โปรตีน (ตามวิธีของ A.O.A.C. 1995) รายละเอียดในภาคผนวก ก.2
- 1.3 ไขมัน (ตามวิธีของ A.O.A.C. 1995) รายละเอียดในภาคผนวก ก.3
- 1.4 เถ้า (ตามวิธีของ A.O.A.C. 1995) รายละเอียดในภาคผนวก ก.4
- 1.5 คาร์โบไฮเดรต รายละเอียดในภาคผนวก ก.5
- 1.6 เพอร์ออกซิเดส แอคติวิตี้ (ดัดแปลงจากวิธีของ Ranganna, 1977) รายละเอียดในภาคผนวก ก.6
- 1.7 ปริมาณบีตา-แคโรทีน (ดัดแปลงจากวิธีของ Ranganna, 1977) และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง HPLC รายละเอียดในภาคผนวก ก.7
- 1.8 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid) ด้วยรีแฟรคโตมิเตอร์

2. วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

- 2.1 ค่าสี (L, a, b) โดยใช้เครื่อง Minolta Chroma Meter รายละเอียดในภาคผนวก ก.8
- 2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture analyser รุ่น TA.XT2 รายละเอียดในภาคผนวก ก.9

3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบทั้งผู้ฝึกฝนจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้แบบทดสอบในภาคผนวก ข. ซึ่งเป็นแบบทดสอบประเภท Descriptive analysis แบบ Unstructure

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ (AOAC, 1995)

ฟักทองพันธุ์คางคกหรือพันธุ์พื้นเมือง (*Cucurbita moschata Decne.*) ลักษณะผิวภายนอกขรุขระ (อารมณ์ เทศแก้ว, 2532) น้ำหนักของผลฟักทอง 2.5-3.0 kg เปลือกมีสีเขียวอ่อนปนเหลือง อายุการเก็บเกี่ยว 120 – 150 วัน ราคา 5 – 12 บาท / กิโลกรัม (ฟักทองอ่อน) 16-22 บาท / กิโลกรัม (ฟักทองแก่) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังนี้

- 3.1.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. 1995
- 3.1.2 ปริมาณน้ำตาล (Total Soluble Solid) ด้วยรีแฟคโตมิเตอร์
- 3.1.3 โปรตีน ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1995)
- 3.1.4 ไขมัน ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1995)
- 3.1.5 เถ้า ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1995)
- 3.1.6 คาร์โบไฮเดรต
- 3.1.7 ปริมาณบีตา-แคโรทีน โดย HPLC

3.2. การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการลวกฟักทอง

ฟักทองขนาดขึ้นหนา 1.3 ซม. ครั้งละ 8 ชิ้น ใส่ในรังถึงที่มีผ้าขาวบางปู ปิดฝาสนิท ร่อนน้ำเดือดทำการลวกโดยใช้ไอน้ำเป็นเวลา 0, 3, 4, 5, 6,7 และ 9 นาที หลังการลวกทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำเย็น นาน 5 นาที ทำให้แห้ง

ตัวแปรที่ศึกษา

เวลาในการลวกโดยใช้ไอน้ำเป็น 0, 3, 4, 5, 6,7 และ 9 นาที

ติดตามผล

ทดสอบ Peroxidase activity (ดัดแปลงจากวิธีของ Ranganna, 1977)

เลือกเวลาน้อยที่สุดที่ให้ผลการทดสอบเปอร์ออกซิเดส แอคติวิตี้ เป็น negative

3.3. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบสไมซิส

3.3.1 ศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อชูโครสไซรัปที่เหมาะสมต่อการอบสไมซิส

3.3.2 ศึกษาผลของความแก่อ่อนของฟักทองที่มีต่อการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบสไมซิส

3.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของชูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาต่ออัตราการอบสไมซิส

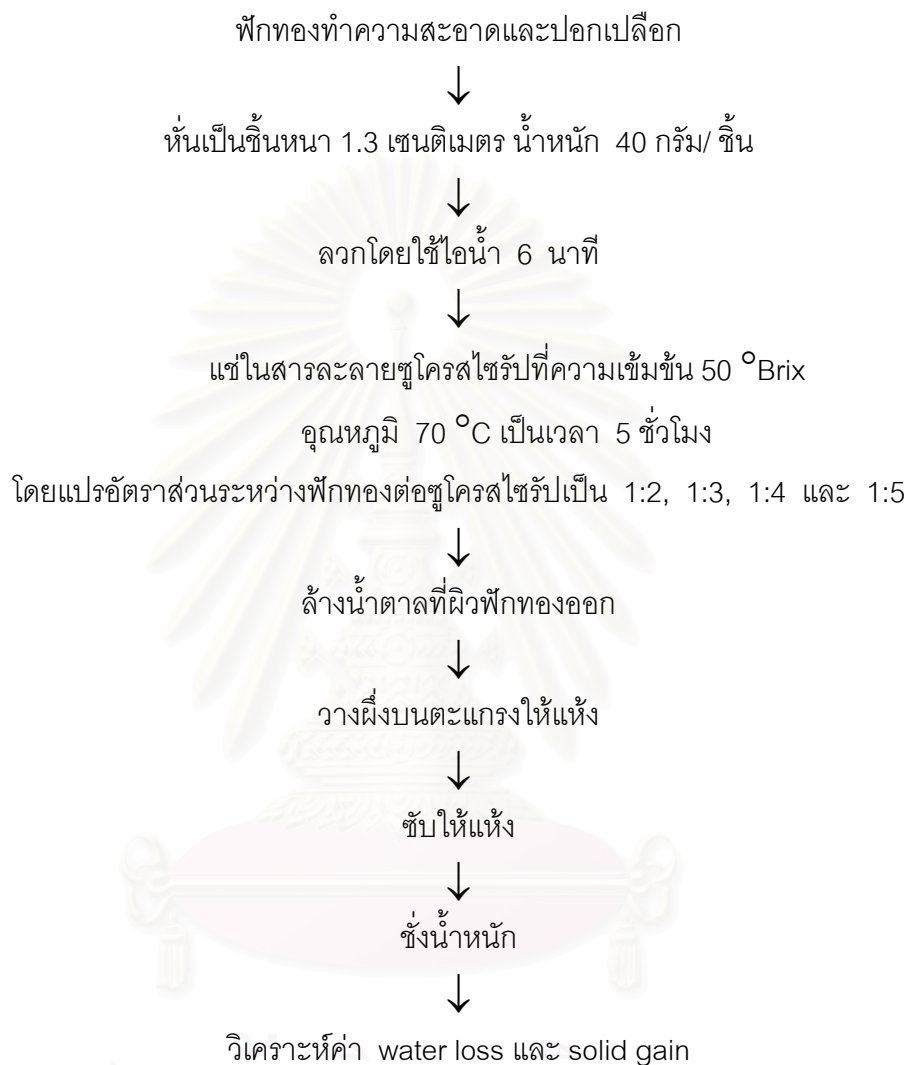
3.3.4 ศึกษาหาเวลาในการทำแห้งฟักทองด้วยลมร้อนหลังการอบสไมซิส

3.3.5 ศึกษาผลของการอบสไมซิสและการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง

3.3.1 การหาอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อชูโครสไซรัปที่เหมาะสมต่อการอบสไมซิส (โดยน้ำหนัก)

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างฟักทอง : ชูโครสไซรัป ที่มีต่อ water loss และ solid gain เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อดึงน้ำออกจากชิ้นฟักทองได้มาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี โดยแปรอัตราส่วนเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 เหตุผลที่จำเป็นต้องใช้สารละลายน้ำตาลในปริมาณที่มากเกินไป เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เนื่องจากน้ำที่ถูกกำจัดจากผักผลไม้ในระหว่างการอบสไมซิส

วิธีทดลองหาอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อชูโครสไซรัปที่เหมาะสมต่อการอบไมซิส



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อชูโครสไซรัปที่เหมาะสมต่อการอบไมซิส

ที่มา : Bongirwar และ Sreenivasan (1977)

ตัวแปรที่ศึกษา

อัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อซูโครสไซรัปเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5% (โดยน้ำหนัก)

ประเมินผลโดย

วิเคราะห์ค่า water loss และ solid gain

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 4 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

ประเมินผลโดยการวิเคราะห์ผลตอบสนองต่อตัวแปรที่ศึกษาในรูปของปริมาณน้ำที่ลดลงและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น โดยนำฟักทองที่ผ่านการอบสโมคด้วยสภาวะดังกล่าวข้างต้นวางผึ่งและซับน้ำออกให้แห้ง ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณของแข็งด้วยการอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) อุณหภูมิ 100 °C จนน้ำหนักคงที่ คำนวณ ค่า water loss และ solid gain โดยใช้สูตรดังนี้ (Hawkes and Flink, 1978)

$$\text{water loss} = \frac{(wwo) - (tw - ws)}{(wso + wwo)} \times 100$$

$$\text{solid gain} = \frac{(ws - wso)}{(wso + wwo)} \times 100$$

เมื่อ

wwo : ปริมาณน้ำในฟักทองสด (water content)

tw : น้ำหนักฟักทองภายหลังการแช่ (total wet weigh)

wso : ปริมาณของแข็งเริ่มต้นของฟักทองสด (Initial solids weigh)

ws : ปริมาณของแข็งทั้งหมดของฟักทองภายหลังการแช่ (total solids weigh)

3.3.2 การศึกษาผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อการทำแห้งด้วยวิธีอบสไมซิส

ความแก่อ่อนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งด้วยวิธีอบสไมซิส เนื่องจากความแก่อ่อนจะมีอิทธิพลต่อสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องคัดเลือกผักผลไม้ที่มีความแก่อ่อนเหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ตัวแปรที่ศึกษา

ฟักทองแก่	ความชื้น	81-83 %	TSS	12-14 ^o Brix
ฟักทองแก่	ความชื้น	84-86%	TSS	10-11 ^o Brix
ฟักทองอ่อน	ความชื้น	87-89%	TSS	8-9 ^o Brix
ฟักทองอ่อน	ความชื้น	90-92%	TSS	6-7 ^o Brix

ประเมินผลโดย

3.3.2.1. วิเคราะห์ค่า water loss และ solid gain

3.3.2.2. วัดค่าสี

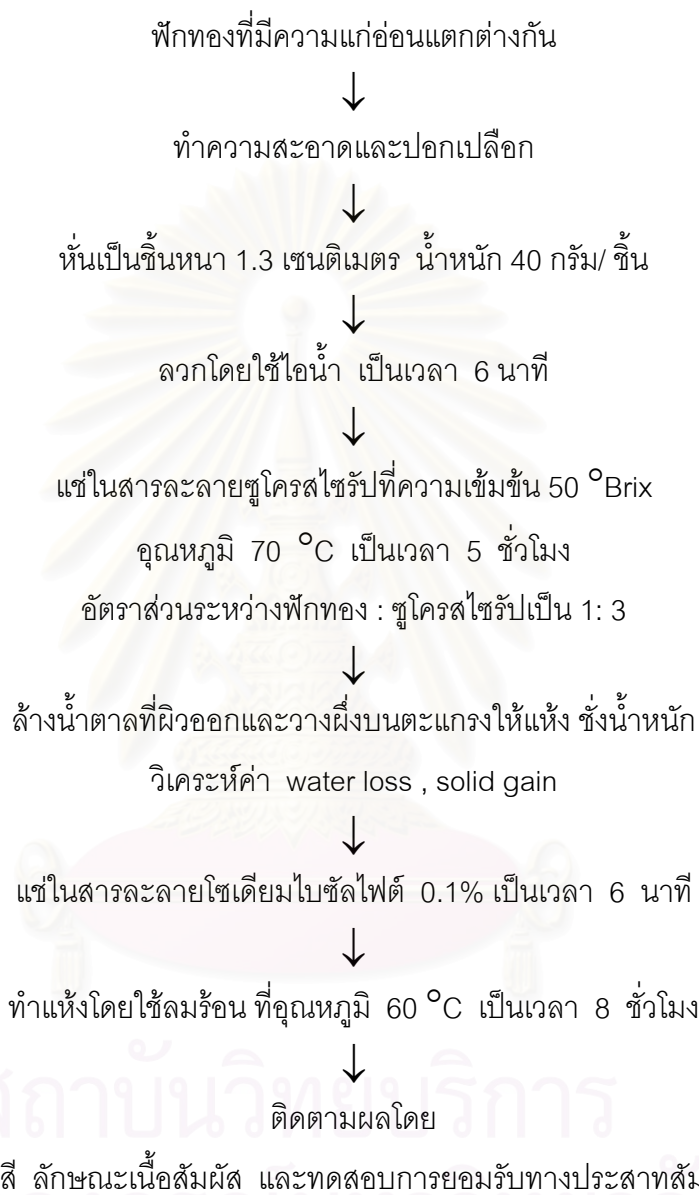
3.3.2.3. ลักษณะเนื้อสัมผัสของฟักทองอบแห้ง

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3.3.2.4. ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการทดลองโดยให้ผู้ทดสอบชิม 30 คน โดยใช้แบบทดสอบในภาคผนวก ข. ซึ่งเป็นแบบทดสอบประเภท Descriptive analysis แบบ Unstructure เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

วิธีทดลองผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส

3.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลาต่ออัตราการออสโมซิสของผักทอง

สำหรับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ไม่มีข้อจำกัดที่แน่นอน เพียงแต่ต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายของน้ำตาลชนิดนั้นๆ ซึ่งพบว่า ส่วนใหญ่นิยมใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลในช่วง $50-70^{\circ}\text{Brix}$ จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า น้ำหนักที่ลดลงและปริมาณน้ำที่ลดลงของผักผลไม้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลสูงขึ้นในทุกๆ ช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส และจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดที่นิยมศึกษาคือ อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ 90°C การใช้อุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งเวลาในขั้นตอนการออสโมซิสให้เร็วขึ้น แต่อาจมีผลเสียต่อสีและลักษณะเนื้อของผักผลไม้ได้ ในขณะที่การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ต้องใช้เวลาานานกว่า แต่ก็มีข้อดีในแง่การประหยัดพลังงาน และไม่มีผลกระทบต่อลักษณะปรากฏของผักผลไม้ อุณหภูมิที่นิยมใช้ในการออสโมซิสคือ $50-70^{\circ}\text{C}$ ในงานวิจัยนี้ เลือกศึกษาความเข้มข้นของซูโครสไซรัปเป็น 50°Brix และ 70°Brix อุณหภูมิที่ 50°C และ 70°C ส่วนเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสเป็น 3 และ 5 ชั่วโมง เพื่อหาความเข้มข้น อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการออสโมซิสต่อไป

ตัวแปรที่ศึกษา

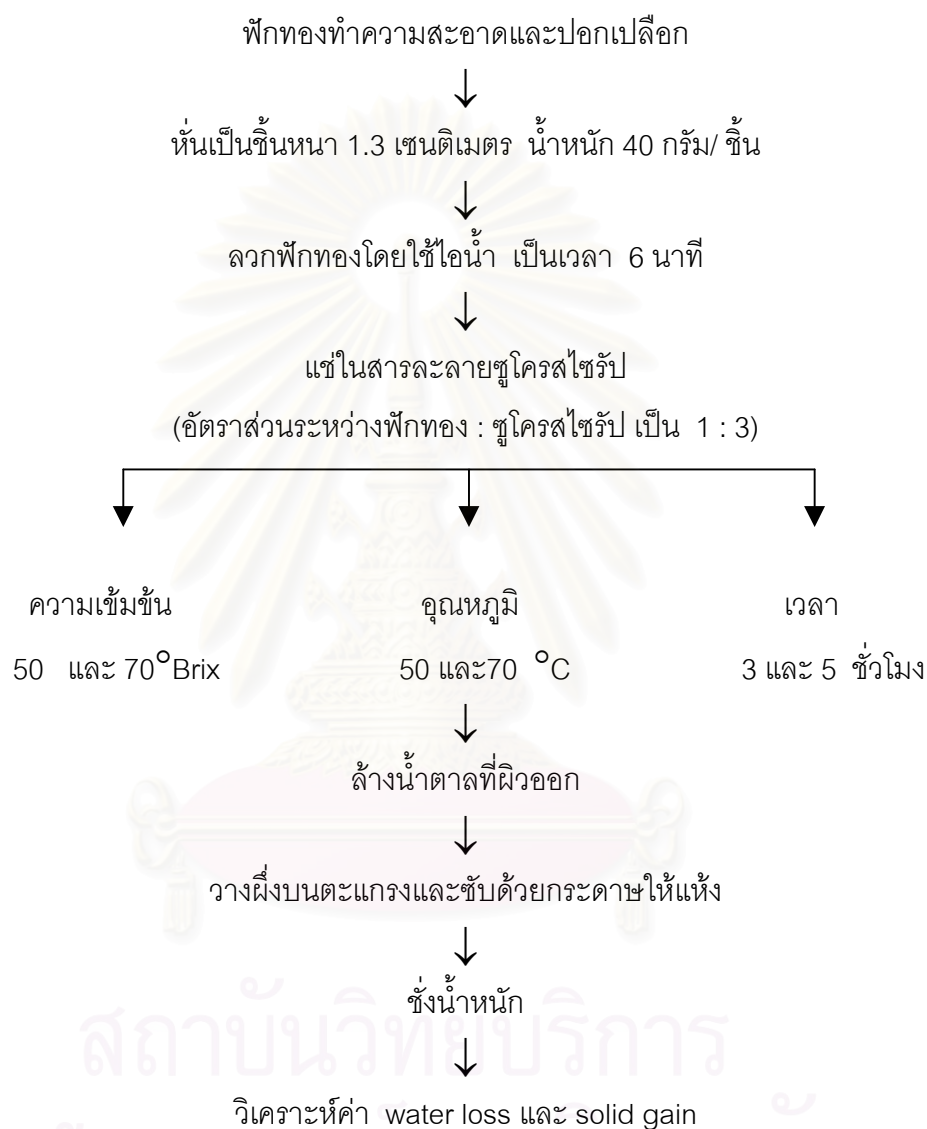
ความเข้มข้นของซูโครสไซรัปเป็น 50 และ 70°Brix อุณหภูมิ 50 และ 70°C และเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง

ประเมินผลโดย

วิเคราะห์ค่า water loss และ solid gain

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetrical Factorial ขนาด $2 \times 2 \times 2$ ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

วิธีทดลองผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลาต่อ
อัตราการอสโมซิสของผักทอง



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลาต่อ
อัตราการอสโมซิสของผักทอง

3.3.4 ศึกษาหาเวลาในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซีสโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบลมร้อน

จากการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งผักผลไม้หลังการอบสโมคซีส พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 60-70°C งานวิจัยนี้ศึกษาหาเวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซีสในตู้อบลมร้อนที่ปรับมาทำแห้งแบบลมร้อน โดยเลือกอุณหภูมิอบแห้งเป็น 60 °C ใช้เวลาในการอบแห้งเป็น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง หาปริมาณความชื้นในชิ้นฟักทองที่ผ่านการอบแห้งที่เวลาต่างๆ จากนั้นจึงทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง เพื่อหาเวลาในการทำแห้งฟักทองให้มีความชื้นประมาณ 15%

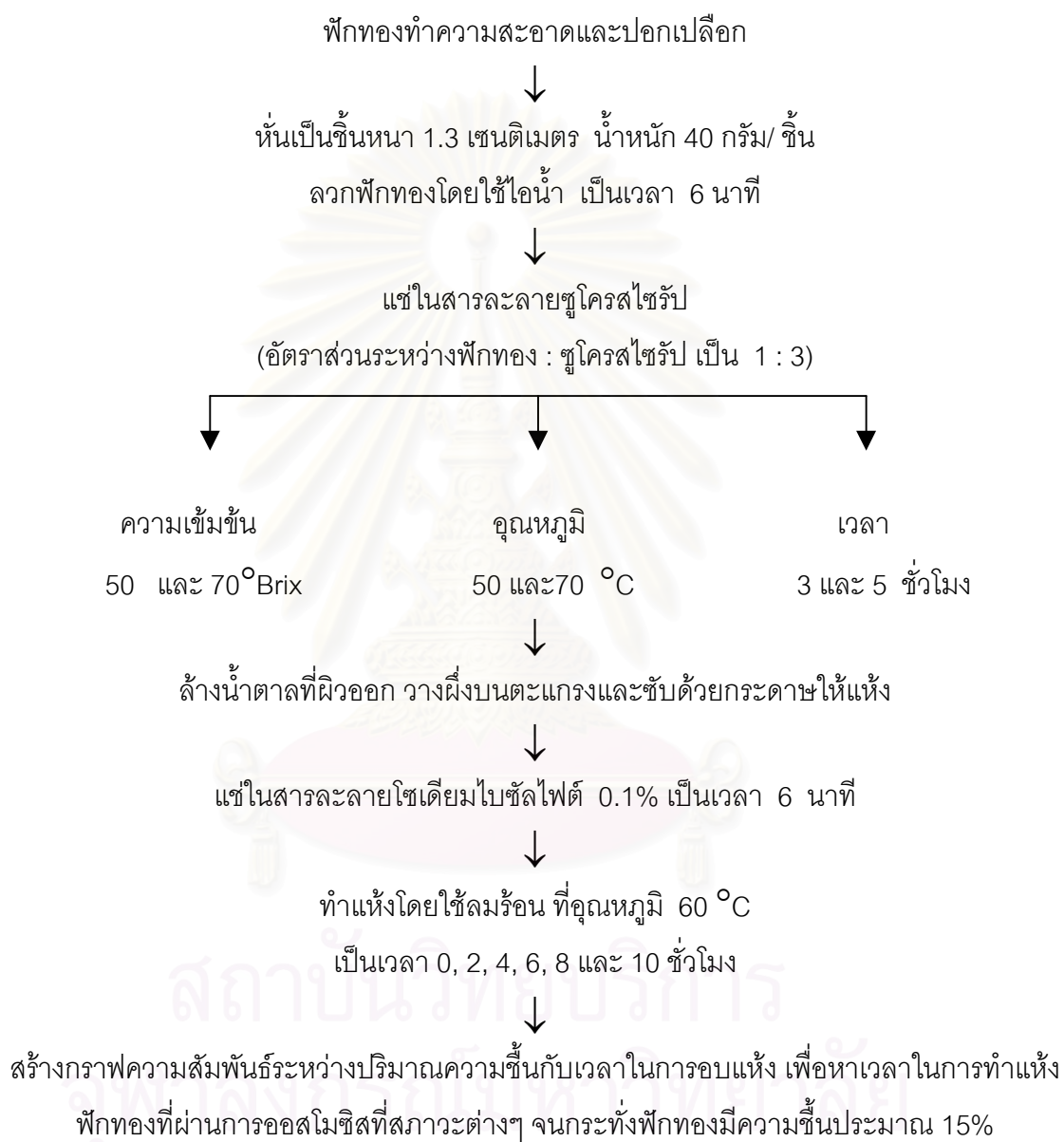
ติดตามผลโดย

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง เพื่อหาเวลาในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซีสที่สภาวะต่างๆ ในข้อ 3.3.3 จนกระทั่งฟักทองมีความชื้นประมาณ 15%

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีทดลองศึกษาหาเวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการออสโมซิส
โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบลมร้อน



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาหาเวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบลมร้อน

3.3.5 ศึกษาผลของการอบสโมซิกและการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง

นำฟักทองที่ผ่านการอบสโมซิกตามวิธีทดลองข้อ 3.3.3 และทำแห้งด้วยลมร้อนตามวิธีทดลองข้อ 3.3.4 มาทำการประเมินคุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

ประเมินผลโดย

3.3.5.1. วัดค่าสี

วางแผนการทดลองแบบและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3.3.5.2. ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยใช้แบบทดสอบในภาคผนวก ข. ซึ่งเป็นแบบทดสอบประเภท Descriptive analysis แบบ Unstructure เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3.4 ศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรับในการทำแห้งพริกทองด้วยวิธีออสโมซิส

การเติมกรดลงไปในสารละลายออสโมซิสนั้นมีผลในการเพิ่มอัตราการออสโมซิส นอกจากนี้กรดยังเป็นตัวช่วยเพิ่มกลิ่นและรส เนื่องจากจะไปมีผลต่อประสาทรับความรู้สึก กรดทำให้เกิดรสเปรี้ยว การเลือกใช้กรดนั้นต้องคำนึงกลิ่นรสที่ต้องการเป็นสำคัญส่วนใหญ่มักจะเลือกใช้กรดที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติในอาหารชนิดนั้นเป็นหลัก กรดยังช่วยถนอมอาหารและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารอีกด้วย โดยจะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้อีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรับในการทำแห้งพริกทองด้วยวิธีออสโมซิส (Moy, Lua and dollar, 1978)

ตัวแปรที่ศึกษา

แปรปริมาณกรดซิตริกเป็น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (โดยน้ำหนัก)

ประเมินผลโดย

3.4.1. วิเคราะห์ค่า water loss และ solid gain

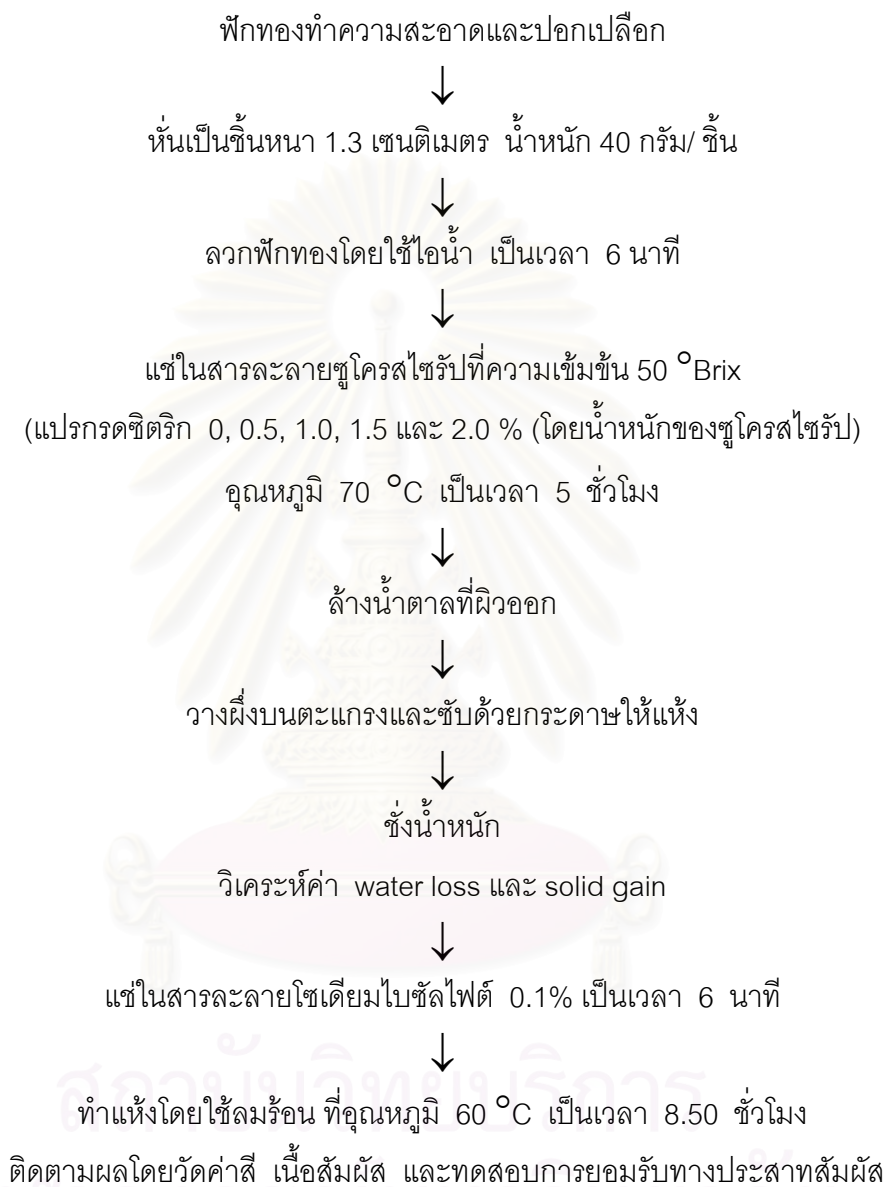
3.4.2. วัดค่าสี

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's & new multiple range test

3.4.3. ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน โดยใช้แบบทดสอบในภาคผนวก ข. ซึ่งเป็นแบบทดสอบประเภท Descriptive analysis แบบ Unstructure เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

วิธีศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัป

3.5. ศึกษาผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริกในการทำแห้งผักทองด้วยวิธีออสโมซิส

โซเดียมคลอไรด์ เป็น osmotic agent ที่นิยมใช้ ในการทำแห้งผักด้วยวิธีออสโมซิส โดยอาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับ osmotic agent ชนิดอื่นๆ เช่น น้ำตาล โดยปกติจะมีการใช้เกลือที่ความเข้มข้น 5-20% เนื่องจากเกลือมีความสามารถในการละลายต่ำและมีรสเค็ม ถ้าใช้ในปริมาณสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การใช้เกลือทดแทนน้ำตาลบางส่วนจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เนื่องจากเกลือมีราคาถูก นอกจากนี้เกลือยังช่วยเพิ่มรสชาติให้กับอาหารด้วย (Mazza, 1983) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริกในการทำแห้งผักทองด้วยวิธีออสโมซิส

ตัวแปรที่ศึกษา

แปรปริมาณโซเดียมคลอไรด์เป็น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (โดยน้ำหนัก)

ประเมินผลโดย

3.5.1. วิเคราะห์ค่า water loss และ solid gain

3.5.2. วัดค่าสี

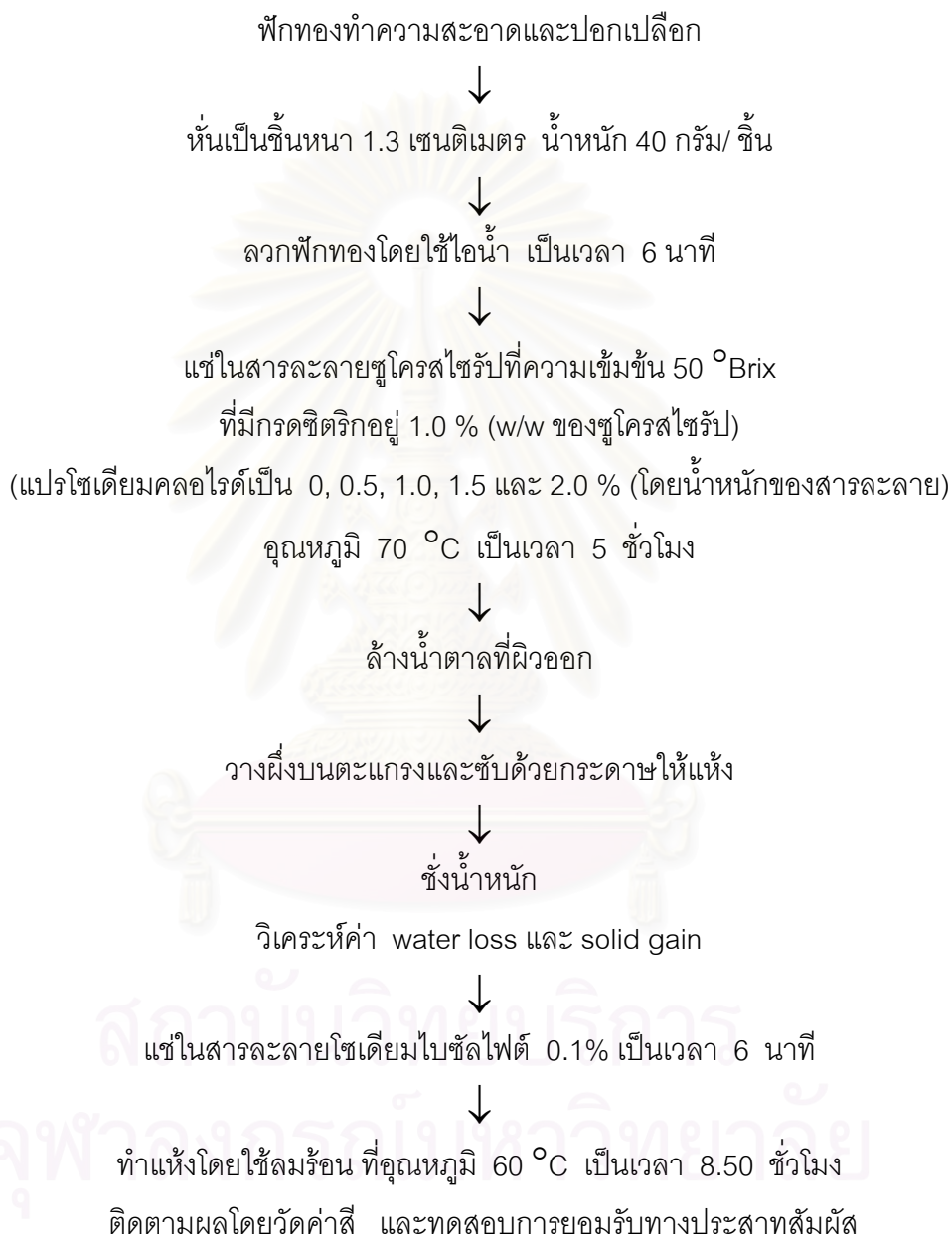
วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3.5.3. ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยให้ผู้ทดสอบชิม 30 คน โดยใช้แบบทดสอบในภาคผนวก ข. ซึ่งเป็นแบบทดสอบประเภท Descriptive analysis แบบ Unstructure เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

วิธีศึกษาผลของการใช้ไซโตเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริก

ในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการศึกษาผลของการใช้ไซโตเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริกในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส

3.6. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งผักทองหลังการอบไมซิส

ตัวแปรที่ศึกษา

แปรอุณหภูมิอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเป็น 50, 60 และ 70 °C

ประเมินผลโดย

3.6.1. หาเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ให้ต่ำกว่า 15%

3.6.2. วิเคราะห์ปริมาณ β -carotene ของผักทองอบแห้ง โดยใช้ HPLC

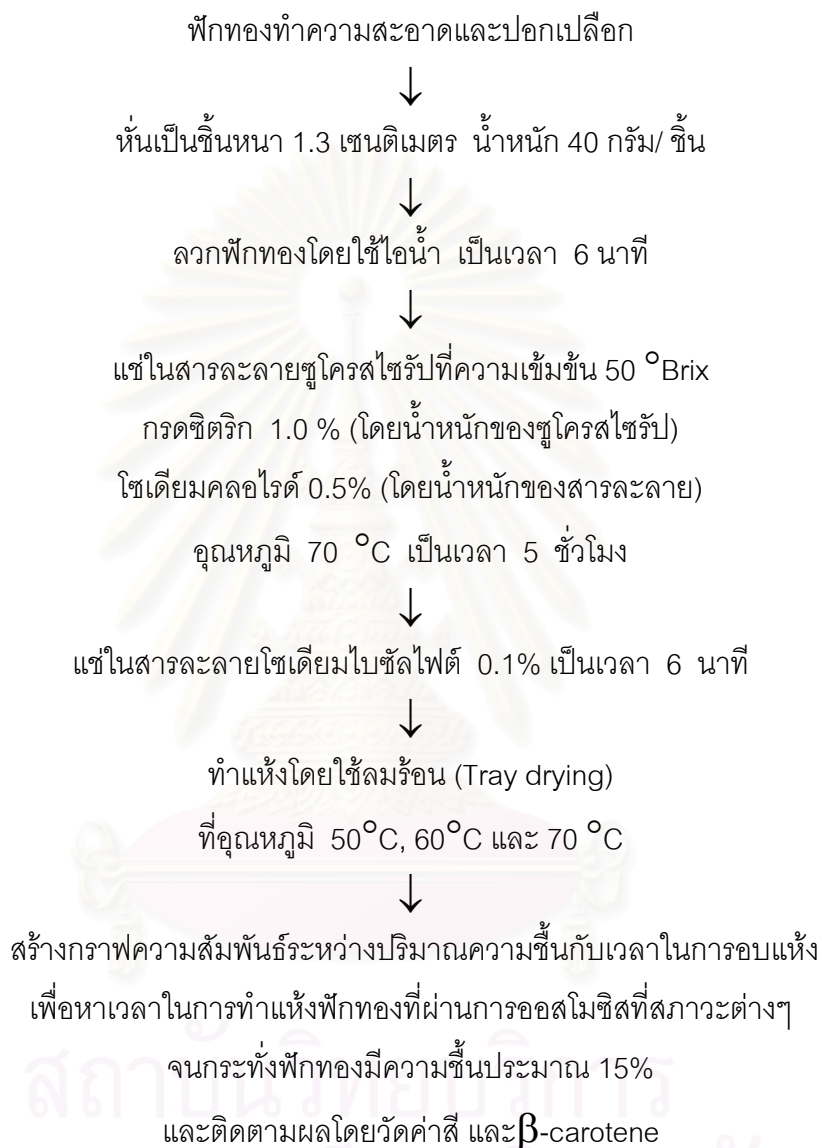
3.6.3. วัดค่าสี

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' & new multiple range test

3.6.4 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยใช้ผู้ทดสอบชิม 10 คน ที่ผ่านการฝึกฝน ใช้แบบทดสอบในภาคผนวก ข. ซึ่งเป็นแบบทดสอบประเภท Descriptive analysis แบบ Unstructure เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

วิธีศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองหลังการอบสโมคซิง



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองหลัง

3.7. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ฟักทองอบแห้ง

นำฟักทองที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

- 3.7.1. ปริมาณความชื้น ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1995)
- 3.7.2. ปริมาณน้ำตาล (Total Soluble Solid) ด้วยรีแฟคโตมิเตอร์
- 3.7.3. โปรตีน ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1995)
- 3.7.4. ไขมัน ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1995)
- 3.7.5. เถ้า ตามวิธีวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1995)
- 3.7.6. คาร์โบไฮเดรต
- 3.7.7. ปริมาณบีตา-แคโรทีน โดย HPLC



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ

ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อฟักทองพันธุ์คางคกที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟักทอง

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ² ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ฟักทองอ่อน	ฟักทองแก่
ความชื้น (%)	89.20±1.59	85.71±1.12
Total Soluble Solid (°Brix)	8.30±2.15	11.60±1.98
โปรตีน ¹	5.80 ±0.14	5.25±0.13
ไขมัน ¹	6.03±1.88	11.53±2.15
เถ้า ¹	6.81±1.63	9.84±1.73
คาร์โบไฮเดรต ³	81.36	73.38
β-carotene (µg/ 100 g)	6.9±0.97	9.91±0.79

¹ โดยน้ำหนักแห้ง

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

³ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

ลักษณะทางกายภาพของฟักทองที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของฟักทอง

ลักษณะทางกายภาพ	ดัชนีบ่งชี้
พันธุ์ฟักทอง	พันธุ์คางคก
น้ำหนักของผลฟักทอง	2.5-3.0 kg
สีของผลฟักทอง	เปลือกมีเขียวอ่อนปนเหลือง
ลักษณะผิว	ผิวขรุขระ
อายุการเก็บเกี่ยว	120 – 150 วัน
ราคา	5 – 12 บาท / กิโลกรัม (ฟักทองอ่อน) 16-22 บาท / กิโลกรัม (ฟักทองแก่)

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของฟักทองที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

วัตถุดิบ	ค่าการวัดสีของฟักทองอบแห้ง		
	L	a	b
ฟักทองแก่	73.37±0.27	-3.32±0.14	60.88±0.89
ฟักทองอ่อน	77.93±0.95	-3.63±0.31	65.83±0.77

การหา % Yield ของฟักทองหลังการตัดแต่ง

ขึ้นหนา 1.3 เซนติเมตร ได้ %Yield = 73.86 – 80.33 %

4.2. ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการลวกผักทองโดยใช้ไอน้ำ

นำผักทองที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 0, 3, 4, 5, 6, 7 และ 9 นาที มาทดสอบ Peroxidase activity ตามวิธีของ Ranganna (1977) ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ลวกกับ Peroxidase activity

เวลาในการลวก (นาที)	Peroxidase activity
0	Positive
3	Positive
4	Positive
5	light positive
6	negative
7	negative
9	negative

positive	หมายถึง	เกิดสีน้ำตาลแดง ภายใน 3.5 นาที
	แสดงว่า	แอกติวิตี้ของเอนไซม์ยังคงอยู่
light positive	หมายถึง	เกิดน้ำตาลอ่อนทั้งชั้นเนื้อเยื่อหรือเกิดสีน้ำตาลเข้มบางชั้น
	แสดงว่า	แอกติวิตี้ของเอนไซม์ยังคงอยู่เล็กน้อย
negative	หมายถึง	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีหรือมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้นหลัง 3.5 นาที แสดงว่า แอกติวิตี้ของเอนไซม์ถูกทำลายลง

จากผลการทดสอบแอกติวิตี้ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่หลังจากการลวกพบว่า การลวกเป็นเวลา 5 นาที สามารถยับยั้งแอกติวิตี้ของเอนไซม์ได้เพียงบางส่วนจึงให้ผลการทดสอบเป็น light positive แต่เมื่อใช้เวลาในการลวกตั้งแต่ 6 นาทีขึ้นไปจะสามารถยับยั้งแอกติวิตี้ของเอนไซม์ได้ทั้งหมดจึงให้ผลการทดสอบเป็น negative ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการลวกผักทอง คือ ลวกโดยใช้ไอน้ำเป็นเวลา 6 นาที

4.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบสไมซิส

4.3.1. ศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อสารละลายชูโครสที่เหมาะสมต่อการอบสไมซิส (โดยน้ำหนัก)

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างฟักทอง : ชูโครสไซรัป ที่มีต่อ water loss และ solid gain เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อดึงน้ำออกจากชิ้นฟักทองได้มาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี โดยแปรอัตราส่วนเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.5 ผลของอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อชูโครสไซรัปต่อค่า water loss และ solid gain

อัตราส่วนระหว่าง ฟักทอง : ชูโครสไซรัป (น้ำหนัก / น้ำหนัก)	water loss (g. น้ำ/100 g. ฟักทองสด)	solid gain (g. ของแข็ง/ 100 g.ฟักทองสด)
1 : 2	22.09 ± 0.68 ^b	13.71±0.58 ^b
1 : 3	25.91±0.68 ^a	17.04±0.56 ^a
1 : 4	26.27±0.85 ^a	17.32±0.72 ^a
1 : 5	26.84±0.21 ^a	17.80±0.28 ^a

a,b ชุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ water loss และ solid gain หลังการอบสโมซีส ใน ชูโครสไชรป์ที่มีอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อสารละลายชูโครสไชรป์ที่ระดับต่างกัน

SOV	df	MS	
		water loss	solid gain
อัตราส่วนระหว่าง			
ฟักทอง : ชูโครสไชรป์	3	18.82*	14.14*
error	12	0.42	0.30

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Completely Randomized Design (CRD) พบว่า อัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อชูโครสไชรป์มีผลต่ออัตราการอบสโมซีส นั่นคือมีผลต่อการลดปริมาณน้ำ (water loss) และการเพิ่มปริมาณของแข็ง (solid gain) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าอัตราการอบสโมซีสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนของสารละลายเพิ่มขึ้น และจากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมและเลือกใช้ในการศึกษา คือ อัตราส่วน 1 : 3

4.3.2 ศึกษาผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่ออัตราการอบสโมซีส

ความแก่อ่อนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งด้วยวิธีอบสโมซีส เนื่องจากความแก่อ่อนจะมีอิทธิพลต่อสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องคัดเลือกผักผลไม้ที่มีความแก่อ่อนเหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

โดยแปรความแก่อ่อนของฟักทองเป็น

ฟักทองแก่	ความชื้น 81-83 %	TSS 12-14 ^o Brix
ฟักทองแก่	ความชื้น 84-86%	TSS 10-11 ^o Brix
ฟักทองอ่อน	ความชื้น 87-89%	TSS 8-9 ^o Brix
ฟักทองอ่อน	ความชื้น 90-92%	TSS 6-7 ^o Brix

ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.2.1.) ผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อ water loss และ solid gain

ตารางที่ 4.7 ผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อค่า water loss และ solid gain หลังการอบสโมคซิสในซูโครสไซรัป

วัตถุดิบ	Moisture (%)	TSS (°Brix)	water loss (g. น้ำ/100 g. ฟักทองสด)	solid gain (g. ของแข็ง/ 100 g. ฟักทองสด)
ฟักทองแก่	81-83	12-14	17.72 ± 0.34 ^d	10.27 ± 0.29 ^d
ฟักทองแก่	84-86	10-11	21.30 ± 0.69 ^c	13.56 ± 0.86 ^c
ฟักทองอ่อน	87-89	7-9	23.88 ± 0.28 ^b	15.94 ± 0.49 ^b
ฟักทองอ่อน	90-92	6-7	26.53 ± 0.38 ^a	18.71 ± 0.08 ^a

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

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ water loss และ solid gain หลังการอบสโมคซิสในซูโครสไซรัป โดยแปรระดับความแก่อ่อนของฟักทองต่างกัน

SOV	df	MS	
		water loss	solid gain
ความแก่อ่อนของฟักทอง	3	56.41*	41.42*
error	12	0.20	0.27

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่า ความแก่อ่อนของฟักทองมีผลต่อ water loss และ solid gain อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าฟักทองอ่อนมีอัตราการอบสโมคซิสสูงกว่าฟักทองแก่

4.3.2.2.) ผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อสีของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิงและทำแห้งแบบลมร้อน

ตารางที่ 4.9 ผลของความแก่อ่อนของฟักทอง ต่อสีของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิงและทำแห้งแบบลมร้อน

วัตถุดิบ	Moisture (%)	TSS (°Brix)	ค่าการวัดสีของฟักทองอบแห้ง		
			L	a	B
ฟักทองแก่	81-83	12-14	35.35 ± 0.29 ^d	4.08 ± 0.08 ^a	14.56 ± 0.07 ^d
ฟักทองแก่	84-86	10-11	40.95 ± 0.47 ^c	4.43 ± 0.27 ^a	18.45 ± 0.57 ^c
ฟักทองอ่อน	87-89	7-9	42.75 ± 0.64 ^b	3.31 ± 0.16 ^b	21.77 ± 0.43 ^b
ฟักทองอ่อน	90-92	6-7	46.47 ± 0.05 ^a	3.34 ± 0.08 ^b	28.52 ± 0.52 ^a

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

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) สีของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิงและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรระดับความแก่อ่อนของฟักทองต่างกัน

SOV	df	MS		
		L	a	B
ความแก่อ่อนของฟักทอง	3	85.72*	1.24*	140.00*
error	12	0.09	0.03	0.20

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่า ความแก่อ่อนของฟักทองมีผลต่อสีของฟักทองอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยฟักทองอ่อนจะมีค่า L และ b สูงกว่าฟักทองแก่ และฟักทองแก่จะให้ค่า a ที่สูงกว่าฟักทองอ่อน

4.3.2.3.) ผลของความแก่อ่อนของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิงและทำแห้งด้วยลมร้อนต่อค่าแรงตัดขาด

ตารางที่ 4.11 ผลของความแก่อ่อนของฟักทอง ต่อค่าแรงตัดขาด

วัตถุดิบ(ฟักทองอบแห้ง)	TSS ($^{\circ}$ Brix)	Cutting force (N)
ฟักทองแก่	12-14	6.86 ± 0.19^d
ฟักทองแก่	10-11	9.53 ± 0.39^c
ฟักทองอ่อน	7-9	13.03 ± 0.28^b
ฟักทองอ่อน	6-7	16.45 ± 0.40^a

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

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงตัดขาดของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิงและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรระดับความแก่อ่อนของฟักทองต่างกัน

SOV	df	MS
ความแก่อ่อนของฟักทอง	3	69.80*
error	12	0.13

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่า ความแก่อ่อนของฟักทองเมื่อนำมาทำฟักทองอบแห้งจะให้ค่าแรงตัดขาด(cutting force) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าฟักทองอ่อนมีเนื้อสัมผัสแข็งกว่าฟักทองแก่

4.3.2.4.) ผลของความแก่อ่อนของฟักทองอบแห้งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.13 ผลของความแก่อ่อนต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วัตถุดิบ	TSS	สี	ลักษณะผิว	ความแน่นเนื้อ	รสชาติ	การยอมรับรวม
ฟักทองแก่	12-14	9.28±0.66 ^d	2.89±1.07 ^b	2.81±1.74 ^c	5.94±2.11 ^a	3.32±1.97 ^c
ฟักทองแก่	10-11	8.40±0.78 ^c	3.44±1.08 ^b	3.74±1.80 ^b	5.16±2.00 ^b	5.21±1.31 ^b
ฟักทองอ่อน	8-9	5.05±1.54 ^b	4.96±1.46 ^a	5.17±1.49 ^a	5.50±1.70 ^{ab}	6.99±1.40 ^a
ฟักทองอ่อน	6-7	3.81±1.55 ^a	5.30±1.84 ^a	5.32±1.71 ^a	5.22±1.82 ^b	7.22±1.32 ^a

a,b,c ชุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิงและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรระดับความแก่อ่อนของฟักทองต่างกัน

SOV	df	MS				
		สี	ลักษณะผิว	ความแน่นเนื้อ	รสชาติ	การยอมรับรวม
ความแก่อ่อนของฟักทอง	3	205.970*	40.644*	43.220*	3.850*	98.907*
block	29	2.748	7.708	6.830	11.567	8.117
error	87	1.023	2.098	1.542	1.030	1.598

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของฟักทองอบแห้ง พบว่าความแก่อ่อนของฟักทองจะมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี ลักษณะผิว ความแน่นเนื้อ รสชาติ และการยอมรับรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยฟักทองอ่อนได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าฟักทองแก่

4.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลาต่ออัตราการอบไมซีล

ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาความเข้มข้นของซูโครสไซรัปเป็น 50°Brix และ 70°Brix อุณหภูมิที่ 50 °C และ 70°C ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบไมซีลเป็น 3 และ 5 ชั่วโมง เพื่อหาความเข้มข้น อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบไมซีล จากการทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.15.

ตารางที่ 4.15 ผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป, อุณหภูมิ และเวลาต่ออัตราการอบไมซีลของฟักทอง

สภาวะที่ใช้ในการอบไมซีล			water loss	Solid gain
ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป (°Brix)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hr.)	(g. น้ำ/100 g. ฟักทองสด)	(g. ของแข็ง/ 100 g. ฟักทองสด)
50	50	3	13.93±0.61 ^h	5.95±0.24 ^h
		5	17.71±0.66 ^g	7.50±0.40 ^g
	70	3	22.68±0.36 ^e	10.78±0.34 ^e
		5	28.90±0.56 ^c	15.94±0.42 ^c
70	50	3	20.63±0.14 ^f	8.61±0.28 ^f
		5	25.39±0.47 ^d	11.93±0.96 ^d
	70	3	33.48±0.81 ^b	18.78±0.92 ^b
		5	36.59±0.07 ^a	22.86±0.67 ^a

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

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ water loss และ solid gain หลังการอบสโมคซิส โดยแปรความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

SOV	df	MS	
		water loss	Solid gain
ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป (A)	1	438.188*	207.388*
อุณหภูมิ (B)	1	817.017*	418.753*
AB	1	11.166*	7.009*
เวลา (C)	1	148.454*	70.418*
AC	1	0.796 ^{ns}	1.436*
BC	1	2.877*	1.670*
ABC	1	4.463*	0.677*
Error	16	0.196	0.085

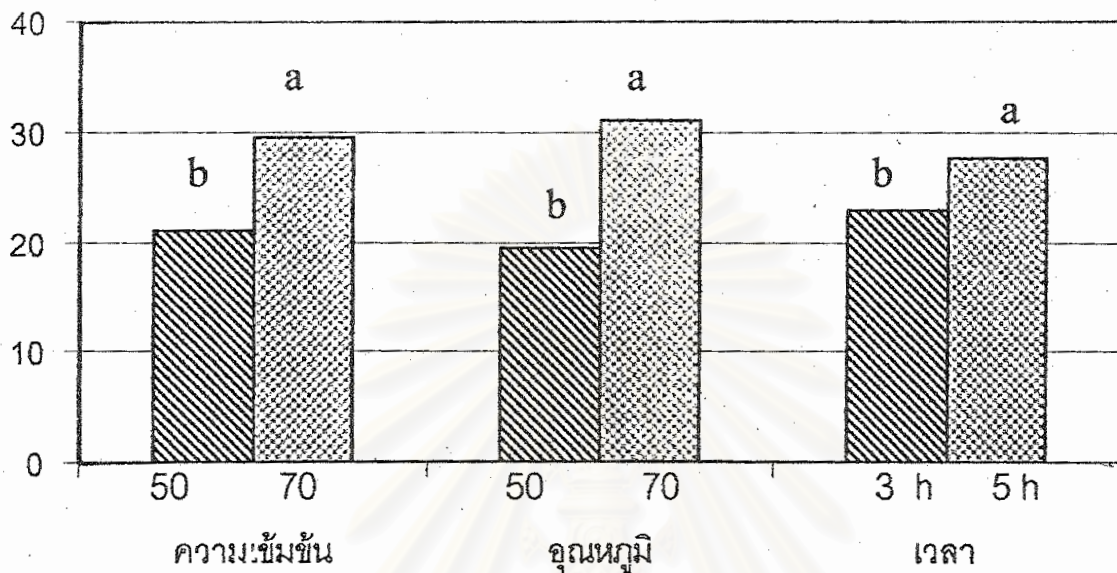
* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetrical Factorial ขนาด $2 \times 2 \times 2$ พบว่า ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลา มีอิทธิพลร่วมกันต่อผลของ water loss และ solid gain อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลาเพิ่มขึ้น จะมีผลให้อัตราการอบสโมคซิสเพิ่มขึ้น

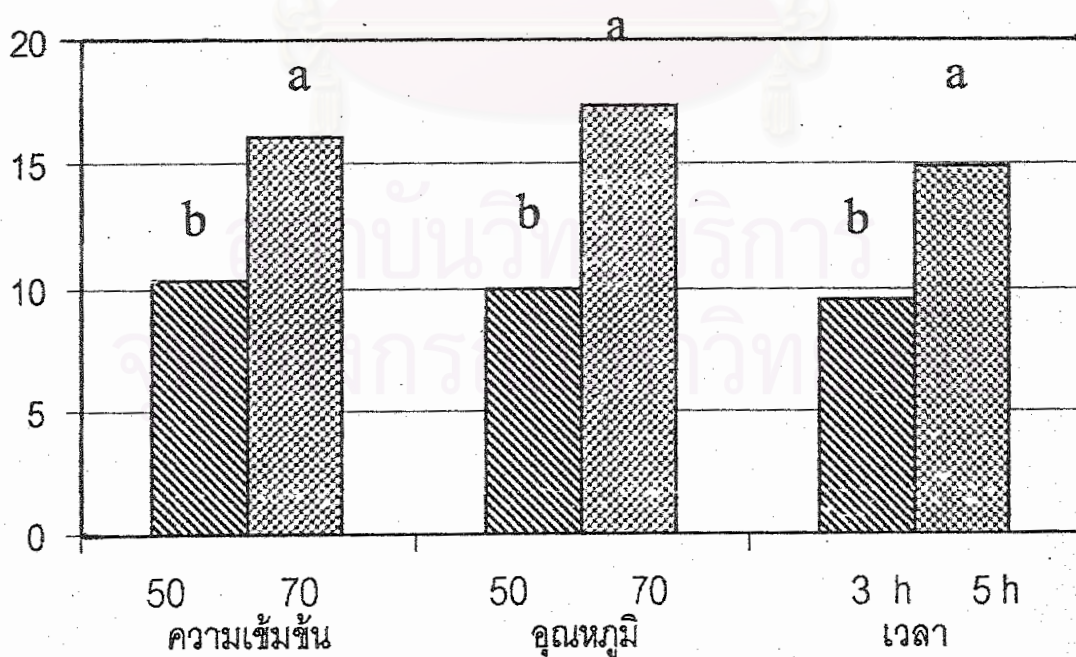
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

% Water Loss



ภาพที่ 4.1 ผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาต่อค่า water loss

%Solid Gain



ภาพที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาต่อค่า solid gain

4.3.4 ศึกษาหาเวลาในการทำแห้งผักทองที่ผ่านการอบสโมซิกโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบลมร้อน

จากการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งผักผลไม้หลังการอบสโมซิก พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 60-70°C งานวิจัยนี้ศึกษาหาเวลาที่ใช้ในการทำแห้งผักทองที่ผ่านการอบสโมซิกในตู้อบลมร้อน โดยเลือกอุณหภูมิอบแห้งเป็น 60 °C ใช้เวลาในการอบแห้งเป็น 0,2, 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง หาปริมาณความชื้นในขึ้นผักทองที่ผ่านการอบแห้งที่เวลาต่างๆ จากนั้นจึงทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง เพื่อหาเวลาในการทำแห้งผักทองให้มีความชื้นประมาณ 15% ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.17.

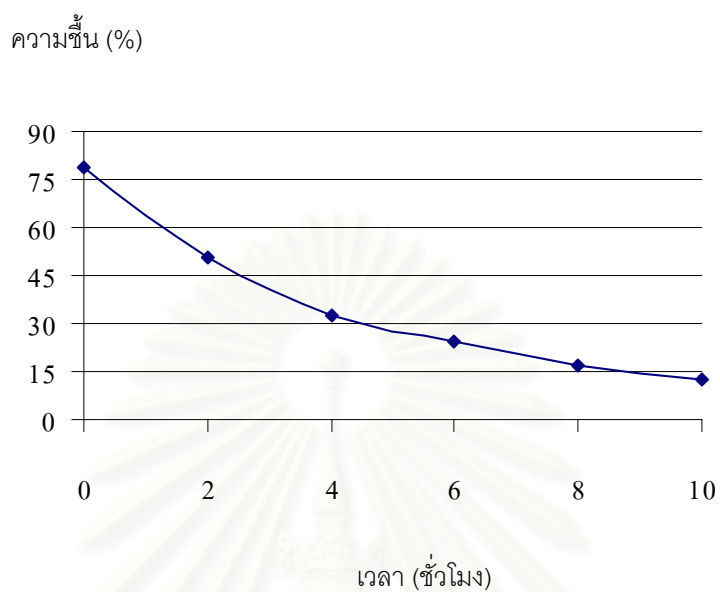


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

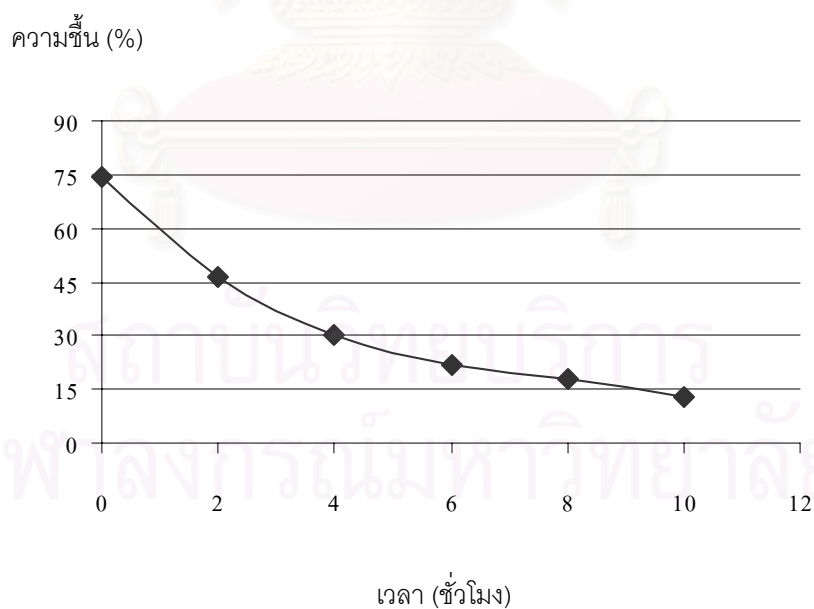
ตารางที่ 4.17 ผลของการอบสโมลิตต่อเวลาการทำแห้งฟักทองแบบลมร้อน

เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความชื้นของฟักทอง (%น้ำหนักเปียก)			
	สภาวะที่ใช้ในการอบสโมลิต (ความเข้มข้นซูโครสไซรัป/ อุณหภูมิ/ เวลา)			
	50 / 50 / 3	50 / 50 / 5	50 / 70 / 3	50 / 70 / 5
0	78.65±0.96	74.35±1.02	68.94±0.99	65.86±1.37
2	50.33±1.18	46.67±1.14	43.20±0.97	38.23±1.02
4	32.41±0.86	30.44±0.68	23.80±0.97	28.49±1.14
6	24.61±0.82	22.08±0.75	19.08±0.76	20.95±0.55
8	17.04±0.74	17.95±0.39	15.78±0.32	16.14±0.37
10	12.63±0.37	12.76±0.41	10.78±0.47	11.10±0.69
	70 / 50 / 3	70 / 50 / 5	70 / 70 / 3	70 / 70 / 5
0	72.37±1.19	67.25±1.32	60.76±1.11	55.65±1.16
2	42.64±0.70	40.70±0.62	38.35±1.31	35.40±1.20
4	28.62±0.78	30.00±0.55	25.37±0.98	23.27±1.11
6	19.89±0.95	21.26±0.90	19.10±0.81	18.39±0.70
8	16.11±0.42	16.78±0.57	13.71±0.81	12.76±0.40
10	11.80±0.67	12.23±0.53	10.00±0.19	9.03±0.33

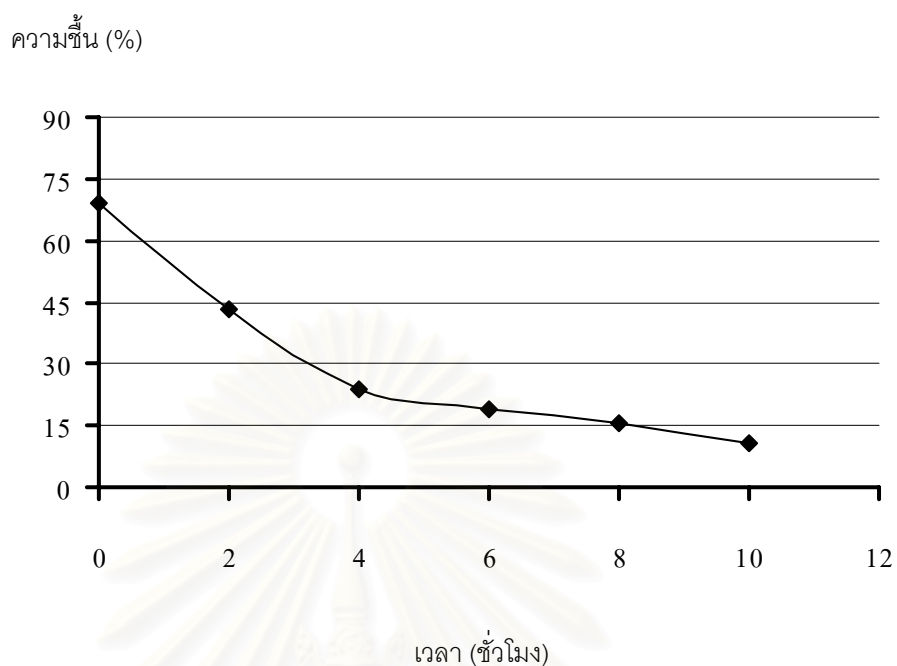
ศูนย์ส่งเสริมเทคโนโลยี



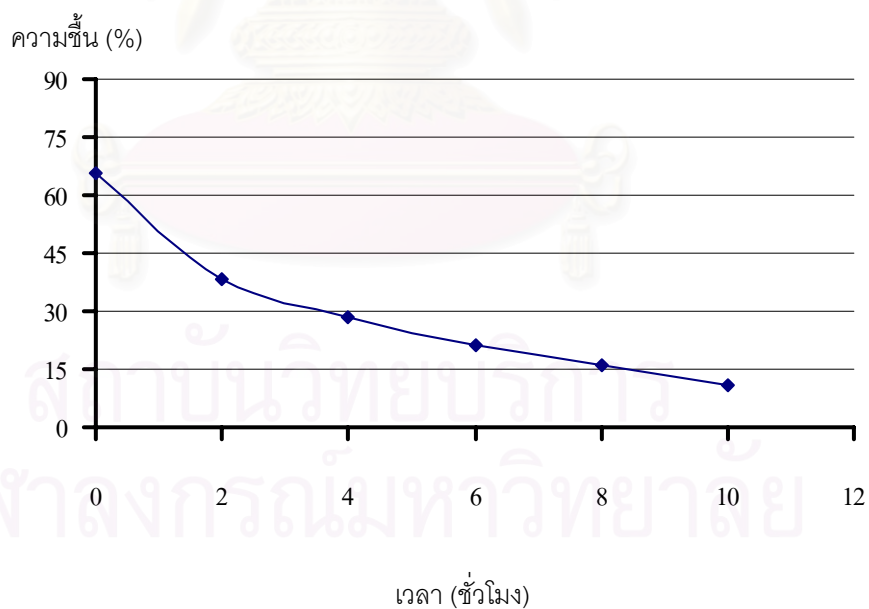
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง
ผักทองที่ผ่านการออกซิโมซิสในซูโครสไซรัป 50° Brix อุณหภูมิ 50 °C เวลา 3 ชั่วโมง



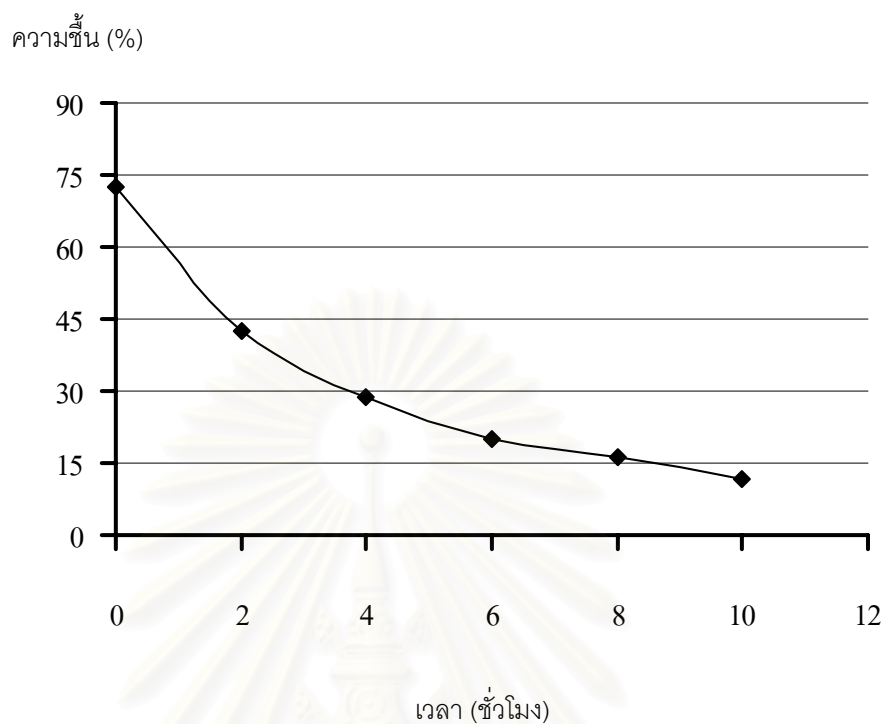
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง
ผักทองที่ผ่านการออกซิโมซิสในซูโครสไซรัป 50° Brix อุณหภูมิ 50 °C เวลา 5 ชั่วโมง



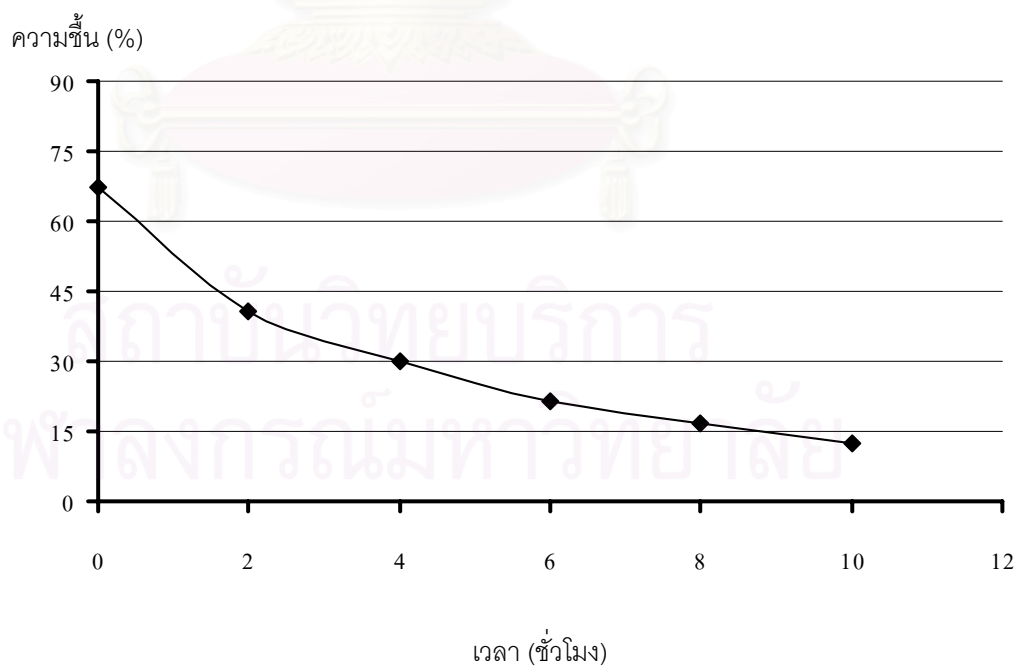
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง
 ฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสในซูโครสไซรัป 50° Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 3 ชั่วโมง



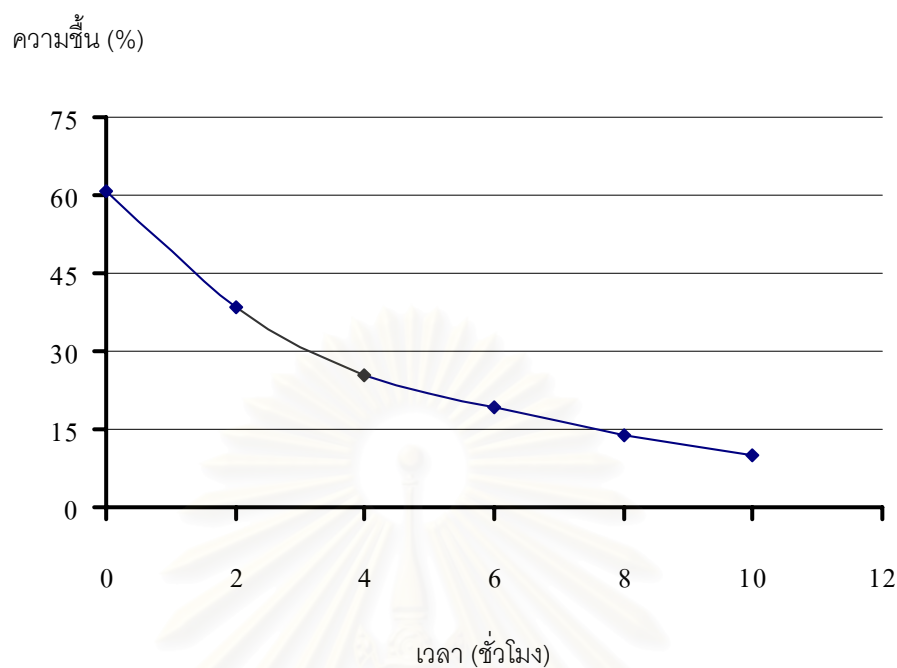
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง
 ฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสในซูโครสไซรัป 50° Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 5 ชั่วโมง



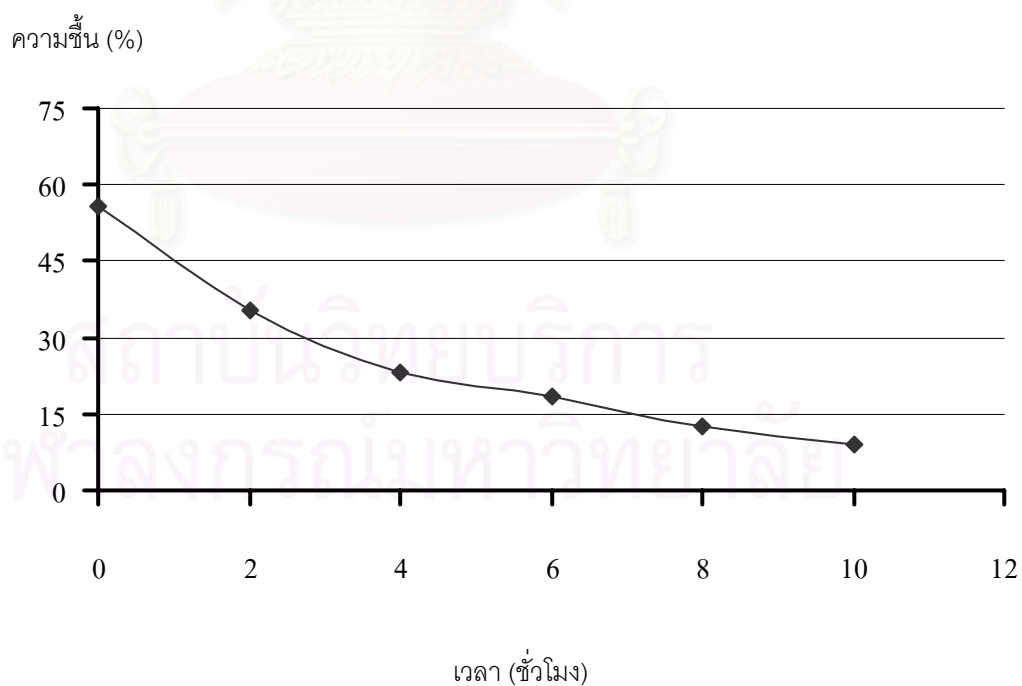
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง
 ฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสในซูโครสไซรัป 70° Brix อุณหภูมิ 50 °C เวลา 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง
 ฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสในซูโครสไซรัป 70° Brix อุณหภูมิ 50 °C เวลา 5 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง
 พักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในซูโครสไซรัป 70° Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง
 พักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในซูโครสไซรัป 70° Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.18 เวลาที่ใช้ในการทำแห้งผักทองที่ผ่านการอบสโมซิดโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบลมร้อน

สภาวะในการอบสโมซิด			เวลาในการทำแห้ง โดยใช้ลมร้อน (ชั่วโมง)
ความเข้มข้นซูโครสไซรัป (°Brix)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hr.)	
50	50	3	9.38±0.08 ^a
		5	9.42±0.06 ^a
	70	3	8.17±0.03 ^d
		5	8.15±0.11 ^d
70	50	3	8.50±0.04 ^b
		5	8.41±0.03 ^c
	70	3	7.23±0.05 ^e
		5	6.49±0.05 ^f

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

ตารางที่ 4.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการ
 ออสโมซิสโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบลมร้อน

SOV	df	MS
ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป (A)	1	7.6287*
อุณหภูมิ (B)	1	11.886*
AB	1	0.207*
เวลา (C)	1	0.230*
AC	1	0.284*
BC	1	0.182*
ABC	1	0.146*
Error	16	0.001

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetrical Factorial ขนาด $2 \times 2 \times 2$ พบว่า ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลา มีอิทธิพลร่วมกันต่อเวลาในการทำแห้งได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.5 ศึกษาผลของการอบสโมซิทและการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง

นำฟักทองที่ผ่านการอบสโมซิทตามวิธีทดลองข้อ 3.3 และทำแห้งด้วยลมร้อนตามวิธีทดลองข้อ 3.4 มาทำการประเมินคุณภาพในด้านต่างๆ ได้ผลดังนี้

4.3.5.1.) ผลของการอบสโมซิทและการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อค่าสีของฟักทองอบแห้ง

ตารางที่ 4.20 ผลของการทำแห้งด้วยวิธีอบสโมซิทต่อค่าการวัดสีของฟักทองอบแห้ง

สภาวะในการอบสโมซิท			ค่าการวัดสีของฟักทองอบแห้ง		
ความเข้มข้น ซูโครสไซรัป (°Brix)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hr.)	L	a	b
50	50	3	44.19±0.53 ^a	2.18±0.05 ^e	25.85±0.43 ^a
		5	39.63±0.23 ^c	2.53±0.13 ^e	21.30±0.71 ^c
50	70	3	43.40±0.29 ^b	2.20±0.10 ^e	24.75±0.39 ^b
		5	39.82±0.28 ^c	3.09±0.58 ^d	22.08±0.56 ^c
70	50	3	39.69±0.60 ^c	3.36±0.29 ^{cd}	19.75±0.75 ^d
		5	38.20±0.72 ^d	3.61±0.29 ^{bc}	15.22±0.51 ^e
70	70	3	37.19±0.11 ^e	3.83±0.18 ^b	12.29±0.48 ^f
		5	35.20±0.25 ^f	4.56±0.21 ^a	11.99±0.49 ^g

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

ตารางที่ 4.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของฟักทองหลังการอบสโมซิกและทำแห้งด้วยลมร้อน โดยแปรสภาวะในการอบสโมซิกและเวลาในการทำแห้งต่างกัน

SOV	df	MS		
		L	a	b
สภาวะในการอบสโมซิกและ				
เวลาทำแห้งด้วยลมร้อน	7	27.01*	2.08*	79.53*
error	16	0.19	0.06	0.29

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) พบว่า สภาวะในการอบสโมซิกและเวลาในการทำแห้งด้วยลมร้อนมีผลต่อสีของฟักทองอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของซูโครส ไซรัป อุดหนุน และเวลาในการอบสโมซิกเพิ่มขึ้น จะมีผลให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้น

4.3.5.2.) ผลของการอบสโมซิทและการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ พักทองอบแห้ง

ตารางที่ 4.22 ผลของการทำแห้งพักทองด้วยวิธีอบสโมซิทต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

สภาวะที่ใช้ในการอบสโมซิท			เวลาทำแห้ง	สี	ลักษณะผิว	ความแน่น
ความเข้มข้น ซูโครสไฮรอป	อุณหภูมิ	เวลา	ด้วยลมร้อน (ชั่วโมง)			เนื้อ
(°Brix)	(°C)	(hr.)				
50	50	3	9.38	4.45±0.76 ^d	6.07±0.94 ^a	4.23±0.91 ^{ed}
		5	9.42	4.82±0.94 ^{cd}	5.86±0.88 ^a	4.29±0.89 ^{cd}
	70	3	8.17	4.83±1.06 ^{cd}	5.87±0.94 ^a	4.39±0.85 ^{cd}
		5	8.15	4.97±0.91 ^c	5.62±1.03 ^{ab}	3.98±0.86 ^d
70	50	3	8.50	5.24±1.09 ^{bc}	5.27±1.01 ^{bc}	4.68±0.87 ^{bc}
		5	8.41	5.68±0.99 ^{ab}	5.21±1.09 ^{bc}	4.92±1.01 ^b
	70	3	7.23	5.71±1.13 ^{ab}	5.17±0.93 ^{bc}	5.63±0.85 ^a
		5	6.49	6.03±0.95 ^a	5.07±0.87 ^c	5.41±1.13 ^a

สภาวะที่ใช้ในการอบสโมซิท			ความหวาน	กลิ่นและรส	การยอมรับ
ความเข้มข้น ซูโครสไฮรอป	อุณหภูมิ	เวลา		ชาติ	รวม
(°Brix)	(°C)	(hr.)			
50	50	3	3.86±0.85 ^e	4.30±0.96 ^{bcd}	4.78±0.94 ^d
		5	4.41±0.96 ^d	4.43±0.89 ^{abcd}	5.64±0.94 ^c
	70	3	4.61±0.84 ^d	4.15±1.08 ^{cd}	5.75±0.71 ^c
		5	5.10±1.00 ^c	4.07±0.96 ^c	8.00±0.87 ^a
70	50	3	4.75±0.90 ^{cd}	4.71±0.93 ^{ab}	5.87±1.08 ^c
		5	5.06±0.85 ^c	4.56±1.08 ^{abc}	5.62±0.97 ^c
	70	3	5.49±0.77 ^b	4.85±0.86 ^a	6.81±0.96 ^b
		5	6.29±0.89 ^a	4.70±0.99 ^{ab}	5.75±0.74 ^c

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

ตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองที่ผ่านการอบไมซีลและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรสภาวะการอบไมซีลและทำแห้งแบบลมร้อนต่างกัน

SOV	df	MS					
		สี	ลักษณะผิว	ความแน่นเนื้อ	ความหวาน	กลิ่นและรสชาติ	การยอมรับรวม
สภาวะการอบไมซีลและ							
การทำแห้งแบบลมร้อน	7	8.877*	4.421*	10.324*	16.144*	2.394*	43.660*
block	29	1.093	2.263	1.523	2.292	2.496	1.641
Error	202	0.811	0.729	0.747	0.572	0.725	0.71

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่า สภาวะการอบไมซีลและทำแห้งแบบลมร้อนต่างกัน มีผลต่อค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้าน สี ลักษณะผิว ความแน่นเนื้อ ความหวาน กลิ่นและรสชาติ และค่าการยอมรับรวมของฟักทองอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่สภาวะการอบไมซีลความเข้มข้น 50 °Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 5 ชั่วโมง และทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา ชั่วโมง ให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด

4.4. ศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไשרิปในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบไมซีล

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไשרิปในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบไมซีล โดยแปรปริมาณกรดซิตริกเป็น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (โดยน้ำหนักของซูโครสไשרิป) ได้ผลการทดลองดังนี้

4.4.1.) ผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซุโครสไשרิปต่ออัตราการอบสโมซิช

ตารางที่ 4.24 ผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซุโครสไשרิปต่อ water loss และ solid gain

สภาวะในการอบสโมซิช กรดซิตริก (%โดยน้ำหนัก)	water loss (g. น้ำ/100 g. ฟักทองสด)	Solid gain (g. ของแข็ง/ 100 g. ฟักทองสด)
0	28.23±0.31 ^d	14.37±0.33 ^d
0.5	29.37±0.36 ^c	16.43±0.50 ^c
1.0	31.82±0.68 ^b	18.86±0.75 ^b
1.5	32.89±0.32 ^a	20.72±0.55 ^a
2.0	32.63±0.42 ^a	20.41±0.39 ^a

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

ตารางที่ 4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ water loss และ solid gain หลังการอบสโมซิชในสารละลายซุโครสไשרิปที่มีการแปรปริมาณกรดซิตริกต่างกัน

SOV	df	MS	
		water loss	Solid gain
ปริมาณกรดซิตริก	4	12.93*	22.11*
error	10	0.19	0.28

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซุโครสไשרิป พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้กรดซิตริก จะทำให้ water loss และ solid gain เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.2.) ผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสโซลไซร์ปต่อค่าการวัดสีของฟักทองอบแห้ง

ตารางที่ 4.26 ผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสโซลไซร์ปต่อค่าการวัดสีของฟักทองอบแห้ง

กรดซิตริก (%โดยน้ำหนัก)	ค่าการวัดสีของฟักทองอบแห้ง		
	L	a	b
0	42.27±0.21 ^a	1.55±0.16 ^d	20.50±0.30 ^d
0.5	41.56±0.44 ^b	1.72±0.08 ^{cd}	21.02±0.79 ^{cd}
1.0	40.21±0.19 ^c	1.94±0.16 ^{bc}	22.04±0.78 ^{bc}
1.5	39.42±0.41 ^d	2.01±0.21 ^b	23.54±0.52 ^a
2.0	38.96±0.45 ^d	2.90±0.31 ^a	22.99±0.34 ^{ab}

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

ตารางที่ 4.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิงและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรปริมาณกรดซิตริกที่ใช้ร่วมกับซูโครสโซลไซร์ปในการอบสโมคซิงต่างกัน

SOV	df	MS		
		L	a	b
ปริมาณกรดซิตริก	4	5.92*	0.83*	4.94*
error	10	0.13	0.04	0.34

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสโซลไซร์ป พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้กรดซิตริกจะต่อสีของฟักทองอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.3.) ผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับชูโครสไชร้ปต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.28 ผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับชูโครสไชร้ปต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส

กรดซิตริก (%w/w)	สี	ลักษณะผิว เปียก-แห้ง	ความแน่น เนื้อ	กลิ่นรส	รสหวาน	รสเปรี้ยว	การยอมรับ รวม
0	4.17±1.14 ^c	6.22±0.87 ^a	4.55±1.26 ^e	4.05±0.83 ^a	5.93±0.78 ^a	0.83±0.63 ^e	5.17±0.72 ^b
0.5	4.22±1.10 ^c	6.12±0.73 ^a	5.02±1.11 ^d	3.58±0.94 ^b	5.36±0.71 ^b	3.56±0.83 ^d	5.63±0.94 ^b
1.0	4.37±1.13 ^c	5.61±0.74 ^b	5.44±0.99 ^c	3.46±0.76 ^b	5.06±0.73 ^b	5.31±0.83 ^c	7.71±0.96 ^a
1.5	4.83±1.13 ^b	5.48±0.68 ^b	6.44±0.93 ^b	2.85±0.81 ^c	3.71±0.78 ^c	7.36±0.71 ^b	5.23±0.94 ^b
2.0	5.96±0.87 ^a	4.91±1.05 ^c	7.19±1.05 ^a	2.37±0.67 ^d	2.98±0.68 ^d	8.24±0.62 ^a	3.69±1.02 ^c

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

ตารางที่ 4.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองที่ผ่านการออกซิเดชันและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรปริมาณกรดซิตริกที่ใช้ร่วมกับชูโครสไชร้ปในการออกซิเดชันต่างกัน

SOV	df	MS						
		สี	ลักษณะ ผิว	ความ แน่นเนื้อ	กลิ่นรส	รสหวาน	รสเปรี้ยว	การยอมรับ รับรวม
ปริมาณกรดซิตริก	4	16.721*	8.442*	34.704*	13.071*	44.933*	266.636*	62.898*
block	29	4.102	1.922	3.594	2.297	1.215	0.6850	0.805
error	116	0.427	0.370	0.540	0.239	0.375	0.493	0.865

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของฟักทองอบแห้ง พบว่าการใช้กรดซิตริกร่วมกับชูโครสไชร้ปจะมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี ลักษณะผิว(เปียก-แห้ง) ความแน่นเนื้อ กลิ่นรส ความหวาน ความเปรี้ยว และการยอมรับรวมแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปในปริมาณ 1% (โดยน้ำหนักของซูโครสไซรัป) ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด

4.5. ศึกษาผลของการใช้ไซโตเดียมคอลลอยด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริก

ไซโตเดียมคอลลอยด์ เป็น osmotic agent ที่นิยมใช้ ในการทำแห้งผักด้วยวิธีออสโมซิส โดยอาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับ osmotic agent ชนิดอื่นๆ เช่น น้ำตาล ซึ่งเกลือจะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มรสชาติให้กับอาหารด้วย (Mazza, 1983) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลของการใช้ไซโตเดียมคอลลอยด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริกในการทำแห้งผักของด้วยวิธีออสโมซิส โดยแปรปริมาณไซโตเดียมคอลลอยด์เป็น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (โดยน้ำหนัก) ได้ผลดังนี้

4.5.1.) ผลของการใช้ไซโตเดียมคอลลอยด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริกต่ออัตราการออสโมซิส

ตารางที่ 4.30 ผลของการใช้ไซโตเดียมคอลลอยด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริกต่อ water loss และ solid gain

สถานะในการออสโมซิส	water loss	solid gain
กรดซิตริก	(g. น้ำ/100 g.	(g. ของแข็ง/ 100 g.
(%โดยน้ำหนัก)	ผักของสด)	ผักของสด)
0	30.87 ± 0.56^c	18.01 ± 0.17^c
0.5	31.90 ± 0.20^b	19.52 ± 0.32^b
1.0	32.42 ± 0.55^b	19.57 ± 0.55^b
1.5	34.26 ± 0.33^a	21.26 ± 0.24^a
2.0	34.31 ± 0.31^a	21.09 ± 0.19^a

a,b,... ชุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ water loss และ solid gain หลังการอบสโมลในสารละลายซูโครสไซรัปร่วมกับกรดซิตริกและโซเดียมคลอไรด์ โดยแปรปริมาณโซเดียมคลอไรด์ต่างกัน

SOV	df	MS	
		water loss	solid gain
ปริมาณโซเดียมคลอไรด์	4	6.80*	4.93*
error	10	0.17	0.11

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริก พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้โซเดียมคลอไรด์ จะทำให้ water loss และ solid gain เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่การเพิ่มขึ้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.5.2.) ผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซุโครสไซรัปและกรดซิตริกในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิสต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.32 ผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซุโครสไซรัปและกรดซิตริกในการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิสต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส

โซเดียมคลอไรด์ (%โดยน้ำหนัก)	สี	ความแน่น เนื้อ	รสเค็ม	รสหวาน	รสเปรี้ยว	การยอมรับ รวม
0	5.17±0.94 ^c	5.19±1.61 ^b	1.69±0.89 ^e	4.67±1.19 ^{ab}	5.98±1.37 ^a	5.65±1.44 ^b
0.5	5.70±0.99 ^b	5.91±1.56 ^a	2.79±1.15 ^d	5.02±1.32 ^a	5.13±1.28 ^b	7.30±1.37 ^a
1.0	5.85±0.87 ^b	5.86±1.41 ^a	4.07±1.56 ^c	4.28±1.33 ^{bc}	5.08±1.26 ^b	5.64±1.35 ^b
1.5	6.59±1.09 ^a	5.97±1.38 ^a	4.96±1.42 ^b	3.92±1.03 ^{cd}	4.65±1.02 ^{bc}	4.87±1.25 ^c
2.0	6.83±0.78 ^a	6.38±1.15 ^a	5.97±1.45 ^a	3.40±0.92 ^d	4.38±1.28 ^c	4.61±1.34 ^c

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

ตารางที่ 4.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองที่ออสโมซิสโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซุโครสไซรัปและกรดซิตริก โดยแปรปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในการออสโมซิสต่างกัน

SOV	df	MS					การยอมรับ รับรวม
		สี	ความ แน่นเนื้อ	รสเค็ม	รสหวาน	รสเปรี้ยว	
ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์	4	13.830*	5.558*	86.537*	11.992*	11.095*	33.033*
block	29	2.675	6.652	5.590	4.462	4.804	4.223
error	116	0.433	0.905	0.766	0.595	0.748	1.220

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของฟักทองอบแห้ง พบว่า การใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริก จะมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี ความแน่นเนื้อ ความเค็ม ความหวาน ความเปรี้ยว และการยอมรับรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้โซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 0.5% (โดยน้ำหนักของซูโครสไซรัป) ในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสมีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด

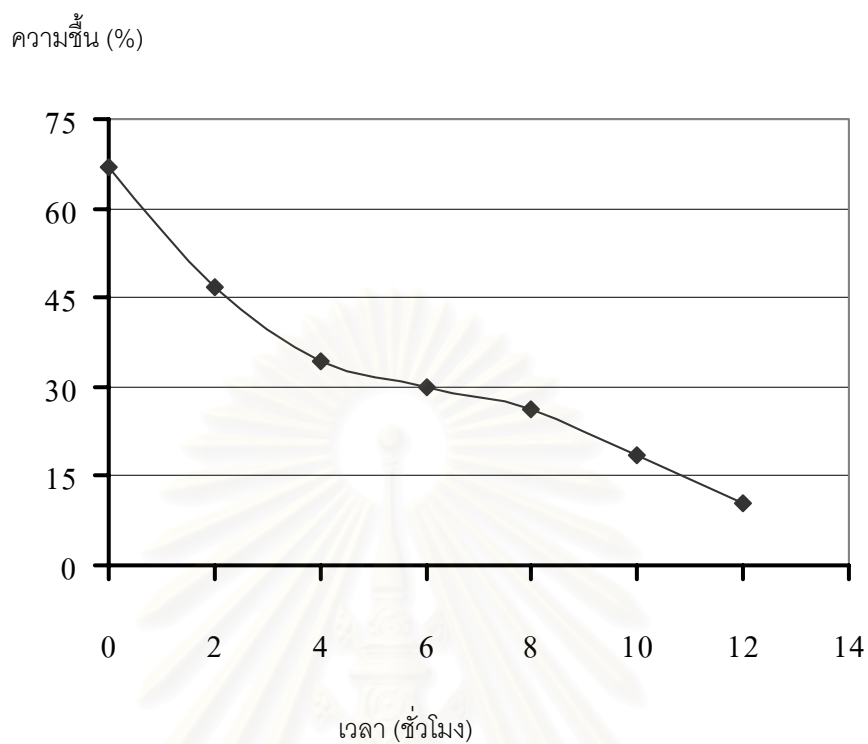
4.6. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองหลังการออสโมซิส

แปรอุณหภูมิอบแห้งเป็น 50, 60 และ 70 °C ได้ผลดังนี้

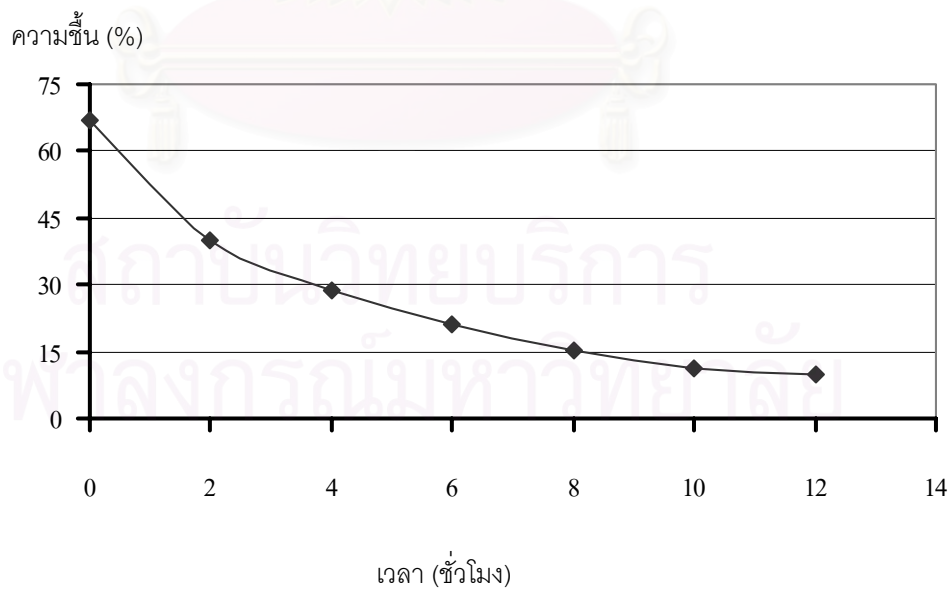
4.6.1.) ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อเวลาในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสด้วยลมร้อน

ตารางที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทำแห้งกับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งฟักทองหลังการออสโมซิส

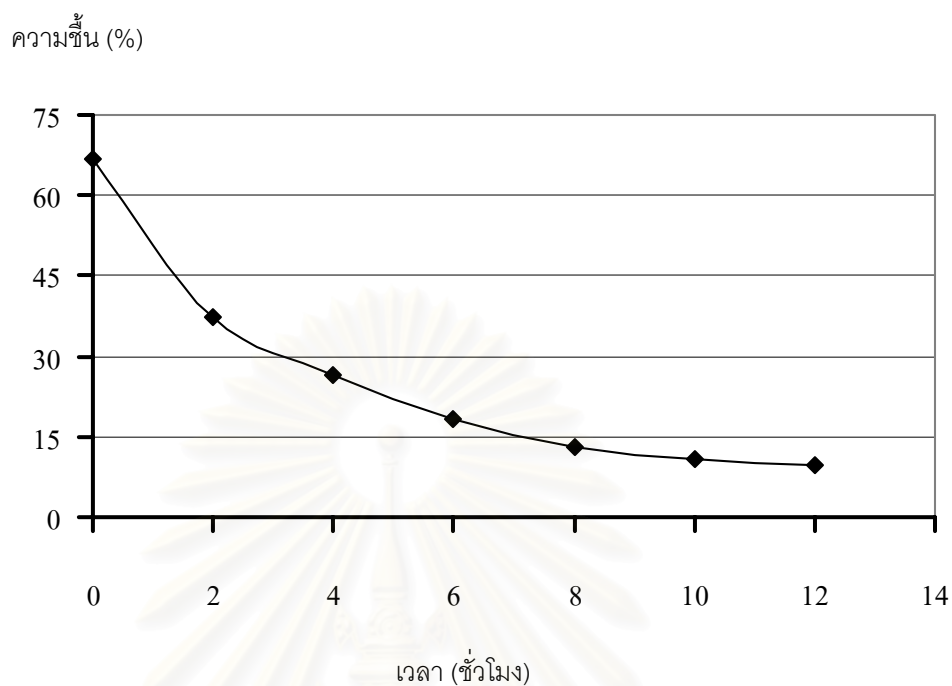
เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความชื้นของฟักทอง (%น้ำหนักเปียก)		
	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อน (°C)		
	50	60	70
0	66.93±1.18	66.93±1.18	66.93±1.18
2	46.81±0.66	40.00±0.66	37.37±0.97
4	34.46±0.60	28.74±0.77	26.40±1.05
6	29.80±0.81	20.95±0.45	18.14±0.50
8	27.04±0.36	15.14±0.30	12.99±0.59
10	17.08±0.80	11.15±0.58	10.64±0.88
12	10.33±0.81	10.02±0.37	9.70±0.39



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C

ตารางที่ 4.35 ผลของอุณหภูมิมอบแห้งต่อเวลาในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสไมซิสด้วยลมร้อน

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	เวลาในการทำแห้ง ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
50	10.53 ± 0.19 ^a
60	8.17 ± 0.18 ^b
70	7.05 ± 0.20 ^c

a,b,c ชุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในสารละลายซูโครสไซรัปร่วมกับกรดซิตริกและเกลือโซเดียมคลอไรด์โดยแปรอุณหภูมิในการอบแห้งต่างกัน

SOV	df	MS
อุณหภูมิอบแห้ง	2	43511*
error	9	129.61

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาในการทำแห้งฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในสารละลายซูโครสไซรัปร่วมกับกรดซิตริกและโซเดียมคลอไรด์โดยแปรอุณหภูมิในการอบแห้งต่างกัน พบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อเวลาอบแห้งแบบลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ใช้เวลาอบแห้งน้อยกว่าที่ 60°C และ 50°C ตามลำดับ

4.6.2.) ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อปริมาณบีตา - แคโรทีนของฟักทองอบแห้ง

ตารางที่ 4.37 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อปริมาณบีตา - แคโรทีนของฟักทองอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)	ปริมาณบีตา-แคโรทีน ($\mu\text{g./ 100 g.}$) \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
50	12.69 ± 0.69^a
60	12.33 ± 0.41^a
70	10.18 ± 0.35^b

a,b, ชุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณบีตา-แคโรทีนของผักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในสารละลายซูโครสไซรั่วมกับกรดซิตริกและเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยแปรอุณหภูมิในการอบแห้งต่างกัน

SOV	df	MS
อุณหภูมิอบแห้ง	2	7.35*
error	9	0.26

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีอิทธิพลต่อปริมาณบีตา-แคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 และ 60 °C ปริมาณบีตา-แคโรทีนมีค่าไม่แตกต่างกันและมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70 °C

4.6.3.) ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อค่าสีของผักทองอบแห้ง

ตารางที่ 4.39 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อค่าสีของผักทองอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (°C)	ค่าการวัดสีของผักทองอบแห้ง		
	L	a	b
50	40.57±0.36 ^a	3.78±0.13 ^b	18.32±0.24 ^b
60	40.27±0.24 ^a	3.45±0.16 ^b	20.69±0.50 ^a
70	38.25±0.25 ^b	4.69±0.19 ^a	15.24±0.28 ^c

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

ตารางที่ 4.40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสในสารละลายซูโครสไซรัปร่วมกับกรดซิตริกและโซเดียมคลอไรด์โดยแปรอุณหภูมิในการอบแห้งต่างกัน

SOV	df	MS		
		L	a	b
อุณหภูมิอบแห้ง	2	7.19*	1.65*	29.90*
error	9	0.08	0.03	0.13

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของฟักทองที่ผ่านการอบสโมคซิสและทำแห้งแบบลมร้อน โดยแปรปริมาณกรดซิตริกที่ใช้ร่วมกับซูโครสไซรัปในการอบสโมคซิสต่างกัน พบว่า อุณหภูมิอบแห้งมีอิทธิพลต่อสีของผลิตภัณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 60 °C จะให้ค่าสีเหลืองสูงกว่าที่อุณหภูมิ 50°C และ 70 °C ตามลำดับ และที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเข้ม

4.6.4.) ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.41 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส

อุณหภูมิทำแห้ง (°C)	สี	ลักษณะผิวเปลือก-แห้ง	ลักษณะผิวที่เยียว-เต่ง	ความแน่นเนื้อ	กลิ่นรสฟักทองอบแห้ง	การยอมรับรวม
50	4.31±0.65 ^b	6.37±0.72 ^a	7.10±0.52 ^a	4.81±0.90 ^c	3.53±0.59 ^c	7.48±0.85 ^a
60	4.56±0.79 ^b	5.90±0.70 ^b	6.75±0.59 ^a	5.19±0.89 ^b	3.82±0.74 ^b	7.52±0.40 ^a
70	5.93±0.61 ^a	4.38±0.76 ^c	5.12±0.73 ^b	6.67±0.91 ^a	4.81±0.90 ^a	5.63±0.77 ^b

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

ตารางที่ 4.42 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟักทองที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

SOV	df	MS					
		สี	ลักษณะผิว เปียก-แห้ง	ลักษณะผิว เหี่ยว-เต่ง	ความ แน่นเนื้อ	กลิ่นรสฟักทอง อบแห้ง	การยอมรับ รวม
อุณหภูมิทำแห้ง	2	7.606*	10.819*	11.166*	9.657*	4.504*	11.660*
block	9	1.221*	1.288*	0.777*	2.348*	1.544*	1.115*
error	18	0.100	0.148	0.190	0.051	0.082	0.184

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของฟักทองอบแห้ง พบว่า อุณหภูมิทำแห้งมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี ลักษณะผิวของฟักทองอบแห้ง ทั้งด้านความเปียก-แห้งและลักษณะเหี่ยว-เต่งของชิ้นฟักทอง ความแน่นเนื้อ กลิ่นรสของฟักทองอบแห้ง และการยอมรับรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าที่ อุณหภูมิ 50 และ 60°C ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับรวมสูงและมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าที่ 70°C

4.7. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ผักทองอบแห้ง

ตารางที่ 4.43 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ผักทองอบแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ² ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	14.40±0.18
โปรตีน ¹	2.34±0.40
ไขมัน ¹	2.42±0.23
เถ้า ¹	1.04±0.05
คาร์โบไฮเดรต ³	94.2
β-carotene (μg/100g)	13.77±2.04

¹ โดยน้ำหนักแห้ง

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

³ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ

ฟักทองที่ใช้ในงานวิจัยเป็นฟักทองพันธุ์ค้างคอก น้ำหนักของผล 2.5 –3.0 กิโลกรัม สีของผลถ้าเป็นฟักทองอ่อนเปลือกจะมีสีเขียวอ่อนแต่ถ้าเป็นฟักทองแก่เปลือกมีสีเขียวเข้ม ลักษณะผิวภายนอกขรุขระ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าฟักทองอ่อนมีความชื้น 89.20 % Total Soluble Solid (TSS) 8.30 °Brix และฟักทองแก่มีความชื้น 85.71 % TSS 11.60 °Brix ซึ่งค่าความชื้น และ TSS จะใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงความแก่อ่อนของฟักทอง โดยฟักทองอ่อนจะมีความชื้นสูงกว่าฟักทองแก่แต่จะมีปริมาณ หรือ TSS ต่ำกว่า จากการวิเคราะห์ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าฟักทองอ่อนมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ โปรตีน 5.80 % ไขมัน 6.03 % เถ้า 6.81 % คาร์โบไฮเดรต 81.36 % (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณบีตา-แคโรทีน 6.9 ไมโครกรัม/ 100 กรัม ฟักทองสด ส่วนฟักทองแก่มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ โปรตีน 5.25 % ไขมัน 11.53 % เถ้า 9.84 % คาร์โบไฮเดรต 73.38 % (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณบีตา-แคโรทีน 9.91 ไมโครกรัม/ 100 กรัมฟักทองสด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบจะเห็นว่าฟักทองแก่มีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงกว่าฟักทองอ่อนเนื่องจาก ฟักทองแก่มีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูงซึ่งบีตา-แคโรทีนสามารถกระจายตัวเป็น colloidal อยู่ในส่วนที่เป็นไขมัน

5.2 ผลการศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการลวกฟักทองโดยใช้ไอน้ำ

การลวกมีความสำคัญในการเตรียมวัตถุดิบประเภทผัก การลวกฟักทองก่อนนำมา ออสมอซิสและอบแห้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี กลิ่น รสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยเลือกใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของการลวก เนื่องจากเอนไซม์ตัวนี้สามารถทนความร้อนสูงกว่าเอนไซม์ตัวอื่นๆ และการตรวจสอบทำได้ง่าย หลังจากการลวกหากตรวจสอบไม่พบแอกติวิตี้ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์ตัวอื่นถูกยับยั้งด้วยเช่นกัน (Fellows, 1990) สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการลวกโดยใช้

ไอน้ำ เนื่องจากวิธีนี้จะช่วยลดการสูญเสียของสารอาหารภายในเซลล์ของพืชทอง ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดี และในการทดสอบเลือกใช้สาร guaiacol เป็น substrate ซึ่งจะให้สีในการทดสอบที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

จากการทดลองนำพืชทองที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 0, 3, 4, 5, 6, 7 และ 9 นาที มาทดสอบ Peroxidase activity ตามวิธีของ Ranganna (1977) ได้ผลดังตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้นเอนไซม์ที่อยู่ในพืชทองจะถูกทำลายได้มากขึ้น โดยสีน้ำตาลในพืชทองจะลดลงตามเวลาที่มากขึ้น ซึ่งสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้เกิดจาก guaiacol ทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ได้เป็น tetraguaiacol จากผลการทดสอบพบว่าเวลาในการลวกจนถึง 4 นาที ให้ผลเป็น positive นั่นคือเกิดสีน้ำตาลแดงภายใน 3.5 นาที แสดงว่าแอกติวิตี้ของเอนไซม์ยังคงอยู่ ส่วนการลวกเป็นเวลา 5 นาที สามารถยับยั้งแอกติวิตี้ของเอนไซม์ได้เพียงบางส่วนจึงให้ผลการทดสอบเป็น light positive นั่นคือเกิดน้ำตาลอ่อนทั้งขึ้นเนื้อเยื่อหรือเกิดสีน้ำตาลเข้มบางขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาในการลวกตั้งแต่ 6 นาทีขึ้นไป จะสามารถยับยั้ง แอกติวิตี้ของเอนไซม์ได้ทั้งหมดจึงให้ผลการทดสอบเป็น negative คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีหรือมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้นหลัง 3.5 นาที แสดงว่าแอกติวิตี้ของเอนไซม์ถูกทำลายลง ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมและการลวกมีประสิทธิภาพเพียงพอในการยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสคือ ลวกโดยใช้ไอน้ำเป็นเวลา 6 นาที

5.3. ผลของการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งพืชทองด้วยวิธีออสโมซิส

5.3.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างพืชทองต่อซูโครสโซร็ปต่ออัตราการออสโมซิสในพืชทอง

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างพืชทอง : ซูโครสโซร็ป ที่มีต่อ water loss และ solid gain เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อดึงน้ำออกจากชิ้นพืชทองได้มาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี โดยแปรอัตราส่วนเป็น 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 พบว่าอัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 1:2 เป็น 1:3 1:4 และ 1:5 และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการออสโมซิสคือ 1:3 อัตราส่วนระหว่างพืชทองต่อซูโครสโซร็ปเราต้องหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยจำเป็นต้องใช้ซูโครสโซร็ปในปริมาณมากเกินพอเพื่อเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเนื่องจากน้ำที่ถูกกำจัดออกจากพืชทองในระหว่างการออสโมซิส ซึ่งน้ำที่ถูกดึงออกมาจะทำให้สารละลายน้ำตาลเจือจางลง การออสโมซิสจะเกิดได้ช้าลง ดังนั้นการใช้อัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลมากจะทำให้อัตรา

การออสโมซิสเกิดเร็วกว่าการใช้สารละลายน้อยๆ แต่ถ้าใช้สารละลายน้ำตาลมากเกินไปจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นและยังมีปัญหาในเรื่องการจัดการกับสารละลายหลังการออสโมซิสอีก (Hawkes and Flink, 1978)

5.3.2 ผลของความแก่อ่อนของผักของต่อการทำแห้งผักของด้วยวิธีออสโมซิส

ความแก่อ่อนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส เนื่องจากความแก่อ่อนจะมีอิทธิพลต่อสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องคัดเลือกผักผลไม้ที่มีความแก่อ่อนเหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยแปรความแก่อ่อนของผักของ ดังนี้

ผักของแก่	ความชื้น	81-83 %	TSS	12-14 ^o	Brix
ผักของแก่	ความชื้น	84-86%	TSS	10-11 ^o	Brix
ผักของอ่อน	ความชื้น	87-89%	TSS	8-9 ^o	Brix
ผักของอ่อน	ความชื้น	90-92%	TSS	6-7 ^o	Brix

จากการทดลอง ได้ผลดังนี้

5.3.2.1.) ผลของความแก่อ่อนของผักของต่ออัตราการออสโมซิส

โครงสร้างของผนังเซลล์ของผักจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความแก่อ่อน ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่ออัตราการออสโมซิส พบว่าผักของอ่อนจะมีอัตราการออสโมซิสสูงกว่าผักของแก่ เนื่องจากผักของอ่อนมีปริมาณน้ำอยู่สูงเมื่อแช่ลงในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผักของกับสารละลายภายนอกสูงกว่าผักของแก่ ระดับความแก่อ่อนของผักผลไม้ไม่มีผลต่ออัตราการออสโมซิส เนื่องจากผักผลไม้ที่มีความแก่อ่อนแตกต่างกันจะมีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่แตกต่างกันด้วย เช่น เซลล์เมมเบรน (cell membrane) ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble solid) และอัตราส่วนระหว่างโปรโตเพคตินกับเพคตินที่มีความสามารถในการละลายได้ในน้ำ (protopectin to soluble pectin) เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างที่แตกต่างกันนี้มีผลต่อการแพร่ผ่านของตัวทำละลาย เช่น น้ำตาล เข้าไปในเซลล์ของผักผลไม้แตกต่างกัน ผักของอ่อนมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอย่างหลวมๆและมีรูพรุน พบว่าการแพร่ผ่านของตัวทำละลายเข้าไปในเซลล์ของ

ฟักทองอ่อนจะเกิดได้สูงกว่าฟักทองแก่ที่โครงสร้างมีการจับตัวกันแน่นเนื่องจากฟักทองแก่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูงซึ่งแป้งจะทำให้โครงสร้างของฟักทองมีรูปทรงลดลง (Ponting et al., 1966 ; Ertekin and Cakaloz, 1995)

5.3.2.2.) ผลของความแก่อ่อนของฟักทองต่อสีของฟักทองอบแห้ง

ความแก่อ่อนของฟักทองมีผลต่อสีของฟักทองอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยฟักทองอ่อนจะมีค่า L และ b สูงกว่าฟักทองแก่ แต่จะมีค่า a ต่ำกว่าฟักทองแก่ เนื่องจาก ฟักทองอ่อนมีค่า Total Soluble Solid หรือปริมาณน้ำตาลในวัตถุดิบเริ่มต้นต่ำกว่าฟักทองแก่ และสีของผลฟักทองอ่อนที่เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นก็มีค่า L และ b สูงกว่าฟักทองแก่ แสดงดังตารางที่ 4.3 ดังนั้นเมื่อนำมาทำฟักทองอ่อนมาอบแห้งจึงมีสีอ่อนกว่าฟักทองแก่

5.3.2.3.) ลักษณะเนื้อสัมผัสของฟักทองอบแห้ง

ฟักทองอ่อนเมื่อนำมาทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสแล้วจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าฟักทองแก่ เนื่องจากฟักทองอ่อนมีอัตราการออสโมซิสที่สูงกว่าคือน้ำตาลสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ได้มากทำให้ฟักทองอ่อนมีปริมาณของแข็งมากกว่าและฟักทองแก่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูงเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้โครงสร้างอ่อนตัวลง พบว่าโครงสร้างของของแข็งที่มาจากน้ำตาลจะมีความแข็งแรงกว่าโครงสร้างของของแข็งที่มาจากแป้ง จึงมีผลให้ค่าแรงตัดขาดในฟักทองอ่อนมีค่าสูงกว่าฟักทองแก่ ผลดังตารางที่ 4.11

5.3.2.4.) ผลความแก่อ่อนของฟักทองต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส

จากผลการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของฟักทองอบแห้งโดยใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน ได้ผลดังตารางที่ 4.13 พบว่า ความแก่อ่อนของฟักทองจะมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี ลักษณะผิว ความแน่นเนื้อ รสชาติ และการยอมรับรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการทดลองพบว่าฟักทองอ่อนจะมีสีออกสีเหลืองส่วนฟักทองแก่สีจะเป็นสีน้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลเข้มเนื่องจากสีของฟักทองที่เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นของฟักทองดังแสดงในตาราง 4.3 จะเห็นว่าสีของฟักทองอ่อนที่เป็นวัตถุดิบจะมีค่า L และ b สูงกว่า

ฟักทองแก่ตั้งนั้นเมื่อนำมาทำแห้งจึงมีความสว่างและมีสีเหลืองกว่าซึ่งสัมพันธ์กับค่าการวัดสีดังตารางที่ 4.9 ฟักทองอ่อนเมื่อนำมาทำแห้งจะมีผิวที่เต่งกว่าและมีความแน่นเนื้อหรือแข็งมากกว่า ฟักทองแก่ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงตัดขาดดังตารางที่ 4.11 แต่ฟักทองแก่จะให้รสชาติของฟักทองคือมีความมันมากกว่าฟักทองอ่อนเนื่องจากฟักทองแก่มีปริมาณน้ำตาลและไขมันสูงกว่า เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับรวมฟักทองอ่อนจะได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่า ฟักทองแก่ ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกใช้ฟักทองอ่อนซึ่งมีความชื้น 87-92% TSS 6.0-9.0 °Brix ในการทดลองในขั้นตอนการออสโมซิสต่อไป เนื่องจากมีอัตราการออสโมซิสและคุณภาพหลังการทำแห้งดีกว่า

5.3.3 ผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลาต่ออัตราการออสโมซิส

จากการศึกษาความเข้มข้นของซูโครสไซรัปเป็น 50°Brix และ 70°Brix อุณหภูมิที่ 50°C และ 70°C ส่วนเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสเป็น 3 และ 5 ชั่วโมง โดยติดตาม water loss และ solid gain เพื่อหาความเข้มข้น อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการออสโมซิส จากการทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.15 พบว่า ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลามีอิทธิพลร่วมกันต่อผลของ water loss และ solid gain อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั่นคือเมื่อความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิ และเวลาเพิ่มขึ้น จะมีผลให้อัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้น โดยสภาวะการออสโมซิสในซูโครสไซรัปที่ความเข้มข้น 70°Brix อุณหภูมิ 70°C เวลาในการออสโมซิส 5 ชั่วโมง จะสามารถดึงน้ำออกมาจากชิ้นฟักทองได้มากที่สุด

การแช่ชิ้นฟักทองในสารละลายซูโครสไซรัปทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิส เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ของฟักทองกับสารละลายน้ำตาลภายนอก ทำให้น้ำแพร่ออกจากชิ้นฟักทองและในขณะเดียวกันน้ำตาลก็แพร่เข้าไปในชิ้นฟักทองด้วย ซึ่งแรงดันออสโมติกจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัป นั่นคือเมื่อความเข้มข้นของซูโครสไซรัปมีค่าสูง แรงดันออสโมติกจะมีค่าสูง จะส่งผลให้ค่า water loss และ solid gain สูงขึ้นด้วย (Hawkes and Flink, 1978 ; Raoult-Wack, 1994)

อุณหภูมิในการออสโมซิสเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เพราะว่ามีผลต่ออัตราการออสโมซิส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงจะทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป คือเยื่อหุ้มอ่อนตัว

ลงจึงมีผลให้ความแน่นของฟักทองเปลี่ยนไปด้วย ทำให้การซึมผ่านของน้ำและน้ำตาลเป็นไปได้ดีกว่าและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ (Ponting et al., 1966) สำหรับเวลาที่ใช้ในการอบสโมซิชจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิในการอบสโมซิชสูงขึ้นจะช่วยลดเวลาในการอบสโมซิชได้

5.3.4 ผลของการอบสโมซิชต่อเวลาในการทำแห้งฟักทองด้วยลมร้อน

นำฟักทองที่ผ่านการอบสโมซิชในซูโครสไซรัปความเข้มข้น 50°Brix และ 70°Brix อุณหภูมิ 50 °C และ 70°C ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบสโมซิชเป็น 3 และ 5 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบลมร้อนที่สภาวะการอบสโมซิชต่างๆ จากการทดลองได้ผลดังตาราง 4.18 พบว่าสภาวะในการอบสโมซิชในสารละลายที่มีความเข้มข้น อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน จะมีผลต่อเวลาในการทำแห้งด้วยลมร้อนที่ 60°Cแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั่นคือ ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาในการอบสโมซิชมีอิทธิพลร่วมกันต่อเวลาทำแห้ง โดยฟักทองที่ผ่านการอบสโมซิชในสภาวะที่ใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน และมีอัตราการอบสโมซิชสูง จะใช้เวลาในการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C น้อยกว่าฟักทองที่ผ่านการอบสโมซิชในสภาวะและอัตราการอบสโมซิชที่ต่ำกว่า เช่น ฟักทองที่ผ่านการอบสโมซิชในซูโครสไซรัปเข้มข้น 70 °Brix อุณหภูมิ 70°C เวลาในการอบสโมซิช 5 ชั่วโมง ใช้เวลาทำแห้ง 6 ชั่วโมง 49 นาที ส่วนฟักทองที่การอบสโมซิชในซูโครสไซรัปเข้มข้น 50 °Brix อุณหภูมิ 50°C เวลาในการอบสโมซิช 3 ชั่วโมง พบว่าใช้เวลาทำแห้ง 9 ชั่วโมง 38 นาที เนื่องจากฟักทองที่ผ่านการอบสโมซิชที่สภาวะความเข้มข้น อุณหภูมิสูงและใช้เวลานาน จะทำให้น้ำถูกกำจัดออกไปในปริมาณที่สูงกว่าเมื่อนำมาทำแห้งจะช่วยลดเวลาในการทำแห้งลงได้ (Flink, 1979; Islam and Flink, 1982)) และการอบสโมซิชก็สามารถช่วยรักษาคุณภาพทางด้านกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของผักผลไม้ไว้ได้ เมื่อผลไม้ผ่านการอบสโมซิชด้วยสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำไปอบแห้งต่อไปจนได้ความชื้นที่ต้องการ และนอกจากนี้การนำฟักทองมาทำแห้งด้วยวิธีอบสโมซิชยังทำให้เกิดผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ขึ้นด้วย (Ponting et al., 1966 ; Karathanos, Kostaropoulos and Saravacos, 1995)

5.3.5 ผลของการอบโมซิสและการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง

5.3.5.1) ผลของการทำแห้งด้วยวิธีอบโมซิสต่อค่าสีของฟักทองอบแห้ง

นำฟักทองที่ผ่านการอบโมซิสในซูโครสไซรัปความเข้มข้น 50°Brix และ 70°Brix อุณหภูมิ 50°C และ 70°C ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบโมซิสเป็น 3 และ 5 ชั่วโมง และเวลาทำแห้งแบบลมร้อนที่สภาวะการอบโมซิสต่างๆ จากการทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.20 พบว่า สภาวะในการอบโมซิสและเวลาทำแห้งด้วยลมร้อนมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ฟักทองอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาในการอบโมซิสเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวัดค่าสีพบว่ามีค่า L และ b ลดลง แต่จะมีค่า a เพิ่มขึ้น นั่นคือฟักทองอบแห้งจะมีสีเหลืองและความสว่างลดลงแต่จะมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่สภาวะที่มีอัตราการอบโมซิสสูงจะมีปริมาณน้ำตาลแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์ของฟักทองมาก เมื่อนำไปทำแห้งถึงแม้ว่าจะใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่า แต่ปริมาณน้ำตาลที่สูงก็มีผลให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ การเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการทำแห้งเกิดจากน้ำที่อยู่ภายในชั้นฟักทองเคลื่อนที่ออกมาสู่อากาศแล้วระเหยออกไป การเคลื่อนที่ของน้ำออกมาสู่อากาศนี้อาจอยู่ในรูปของเหลวหรือในรูปของไอน้ำก็ได้ การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะพาเอาของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่นน้ำตาล และกรดอะมิโนออกมาสู่อากาศด้วย เมื่อการทำแห้งดำเนินต่อไปความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวของฟักทองจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและให้สีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้การทำให้ผลไม้แห้งที่อุณหภูมิสูงมักจะทำให้ผลไม้มีสีเข้ม วิธีป้องกันการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการอบแห้งขึ้นผักผลไม้ที่ผ่านขั้นตอนการอบโมซิสแล้ว สามารถกระทำได้โดยแช่ขึ้นผักผลไม้ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สักครู่หนึ่งก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งนอกจากทำให้เกิดการซีมของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้าไปในเนื้อของฟักทองแล้วยังเป็นการล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมากับชั้นผักผลไม้ด้วย (Bongirwar and Sreenivasan, 1977) สารซัลไฟต์สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้โดยไปทำปฏิกิริยากับโปรตีน ทำให้โปรตีนแตกออกได้ sulfonated proteins นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับน้ำตาลได้สาร hydroxy sulfonated ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้โปรตีนหรือกรดอะมิโนและน้ำตาลไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกันได้ มีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (อุดมเกียรติ พรพรรณประเทศ, 2531)

5.3.5.2.) ผลของการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำผักทองที่ผ่านการออสโมซิสในซูโครสไซรัปความเข้มข้น 50°Brix และ 70°Brix อุณหภูมิ 50 °C และ 70°C เวลาในการออสโมซิสเป็น 3 และ 5 ชั่วโมง และเวลาทำแห้งแบบลมร้อนที่สภาวะการออสโมซิสต่างๆ ดังวิธีทดลองในข้อ 3.3.3 และ 3.3.4 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.22 พบว่า สภาวะในการออสโมซิสและเวลาทำแห้งด้วยลมร้อนมีผลต่อการยอมรับทางประสาทของผลิตภัณฑ์ผักทองอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่สภาวะการออสโมซิสความเข้มข้น 50 °Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 5 ชั่วโมง และทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง 15 นาที ให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงมีสีเหลืองของผักทอง ลักษณะผิวก็ยังเต่งไม่เหี่ยวยุบ และความแน่นเนื้อพบว่ามีความแข็งเล็กน้อย ส่วนความหวานและรสชาติอยู่ในระดับปานกลางคือไม่หวานจนเกินไป ซึ่งจะเลือกที่สภาวะการออสโมซิสและเวลาในการทำแห้งนี้ในการทดลองขั้นต่อไป

5.4. ผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปในการทำแห้งผักทองด้วยวิธีออสโมซิส

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปในการทำแห้งผักทองด้วยวิธีออสโมซิส โดยแปรปริมาณกรดซิตริกเป็น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (โดยน้ำหนักของซูโครสไซรัป) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.24 พบว่า การใช้กรดซิตริกผลต่อค่า water loss และ solid gain อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อระดับกรดซิตริกเพิ่มขึ้นมีผลให้ ค่า water loss และ solid gain เพิ่มขึ้น เมื่อระดับกรดซิตริกเพิ่มขึ้นจาก 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (โดยน้ำหนัก) มีค่า water loss เป็น 28.23, 29.37, 31.82, 32.89 และ 32.63 ตามลำดับ และ solid gain เป็น 14.37, 16.43, 18.86, 20.72 และ 20.41 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของ molar concentration ของกรดซิตริกซึ่งสามารถแตกตัวเป็นไอออนที่มีขนาดเล็ก ไอออนของกรดซิตริกสามารถแตกตัวและซึมผ่านเซลล์เมมเบรนได้ง่ายกว่า นอกจากนี้เป็นผลมาจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของชิ้นผักทองกับสารละลายภายนอก เนื่องจากจำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลายเมื่อใช้กรดร่วมกับมีปริมาณมากกว่าเมื่อไม่ใช้กรดซิตริก ทำให้น้ำตาลแพร่ผ่านเข้าไปในชิ้นผักทองและในขณะเดียวกันก็ทำให้น้ำถูกดึงออกมาได้มากขึ้นด้วย มีผลให้ค่า water loss และ solid gain มีค่าสูงขึ้น (Moy et al., 1978)

จากผลของการใช้กรดซิตริกร่วมกับซุโครสไซรัปต่อค่าสีได้ผลดังตารางที่ 4.26 พบว่าการใช้กรดซิตริกร่วมด้วยจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า a และ b สูงขึ้น แต่จะมีค่า L ลดลงกว่าพักทองอบแห้งที่ผ่านการอบสโมคซิสในซุโครสไซรัปที่ไม่ได้เติมกรด นั่นคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความสว่างลดลงแต่จะมีสีแดงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมกรดจะไปเพิ่มปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์และการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการทำให้แห้งเกิดจากน้ำตาลที่อยู่ภายในชั้นพักทองเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวแล้วระเหยออกไป การเคลื่อนที่ของน้ำออกมาสู่ผิวนี้อาจอยู่ในรูปของเหลวหรือในรูปของไอน้ำก็ได้ การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะพาเอาของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่นน้ำตาล กรดอะมิโนและกรดซิตริกออกมาสู่ผิวด้วย เมื่อการทำแห้งดำเนินต่อไปความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวของพักทองจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและให้สีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิสูง

จากผลการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของพักทองอบแห้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.28 พบว่า การใช้กรดซิตริกร่วมกับซุโครสไซรัปจะมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้าน สี ลักษณะผิว ความแน่นเนื้อ กลิ่นรส ความหวาน ความเปรี้ยว และการยอมรับรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใช้กรดซิตริกร่วมกับซุโครสไซรัปในปริมาณ 1% (โดยน้ำหนักของซุโครสไซรัป) ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด ซึ่งผลิตภัณฑ์ยังคงมีสีเหลือง ผิวเปียกชุ่มน้ำตาลเล็กน้อย มีระดับความแข็งปานกลางคือไม่แข็งและนิ่มเกินไป นอกจากนี้ยังมีรสหวานและเปรี้ยวอยู่ในระดับปานกลางซึ่งผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับรวมสูงสุด

5.5. การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซุโครสไซรัปและกรดซิตริก

โซเดียมคลอไรด์ เป็น osmotic agent ที่นิยมใช้ ในการทำแห้งผักด้วยวิธีออสโมซิส โดยอาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับ osmotic agent ชนิดอื่นๆ เช่น น้ำตาล ซึ่งเกลือจะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มรสชาติให้กับอาหารด้วย (Mazza, 1983) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซุโครสไซรัปและกรดซิตริกในการทำแห้งพักทองด้วยวิธีออสโมซิส โดยแปรปริมาณโซเดียมคลอไรด์เป็น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (โดยน้ำหนัก)

จากผลการทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.30 พบว่า การใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับชูโครสไฮรัปและกรดซิตริกมีผลต่อค่า water loss และ solid gain อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อระดับโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นมีผลให้ ค่า water loss และ solid gain เพิ่มขึ้น แต่มีค่าเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อระดับโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจาก 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% (โดยน้ำหนัก) มีค่า water loss เป็น 25.87, 26.90, 27.42, 29.26 และ 29.31 ตามลำดับ และ solid gain เป็น 13.01, 14.52, 14.57, 16.06 และ 16.09 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของ molar concentration ของโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งสามารถแตกตัวเป็นไอออนที่มีขนาดเล็ก ไอออนของเกลือสามารถซึมผ่านเซลล์เมมเบรนได้ง่ายกว่า ทำให้ปริมาณของแข็งมีค่าสูงกว่า แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกดึงออกมามีค่าสูงขึ้นด้วย เนื่องจากจำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลายมีในปริมาณมากกว่าเมื่อไม่ใช้โซเดียมคลอไรด์ (West and Todd, 1961)

จากผลการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของฟักทองอบแห้ง พบว่า การใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับชูโครสไฮรัปและกรดซิตริก จะมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี ความแน่นเนื้อ ความเค็ม ความหวาน ความเปรี้ยว และการยอมรับรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณ 0.5% (โดยน้ำหนักของชูโครสไฮรัป) ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด ซึ่งผลิตภัณฑ์ยังคงมีสีเหลือง มีระดับความแข็งปานกลางคือไม่แข็งและนิ่มเกินไป นอกจากนี้ยังมีรสหวาน เปรี้ยวและเค็มอยู่ในระดับปานกลาง ผลิตภัณฑ์มีรสกลมกล่อมครบทั้ง 3 รส คือ เปรี้ยว หวานและเค็มซึ่งผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับรวมสูงสุด โดยปกติจะมีการใช้เกลือที่ความเข้มข้น 5-20% เนื่องจากเกลือมีความสามารถในการละลายต่ำและมีรสเค็มถ้าใช้ในปริมาณสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การใช้เกลือทดแทนน้ำตาลบางส่วนจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เนื่องจากเกลือมีราคาถูก นอกจากนี้เกลือยังช่วยเพิ่มรสชาติให้กับอาหารด้วย (Mazza, 1983) ในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสได้มีการใช้เกลือเข้ามาช่วยในการทำให้ค่า water activity ลดต่ำลง โดยมีการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของเกลือต่อการลดปริมาณน้ำและการเพิ่มปริมาณของแข็งในมันฝรั่ง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นมีผลให้สามารถลดปริมาณน้ำและเพิ่มปริมาณของแข็งให้มากขึ้นด้วย (Islam and Flink, 1982)

5.6. ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งผักทองหลังการอบสโมคซิง

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งต่อเวลาการทำแห้งด้วยลมร้อน แปรอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาเป็น 50°C , 60°C และ 70°C ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.35 พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งด้วยลมร้อนสูงขึ้นจาก 50°C , 60°C และ 70°C จะใช้เวลาในการทำแห้งลดลง ดังนี้ คือ 10 ชั่วโมง 53 นาที 8 ชั่วโมง 17 นาที และ 7 ชั่วโมง 5 นาที ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จะสูงขึ้น เพราะความดันไอภายในและภายนอกแตกต่างกันมาก ทำให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านออกทางรูพรุนได้มากขึ้น ดังนั้นที่อุณหภูมิทำแห้งที่ 70°C จะสามารถลดปริมาณน้ำในผักทองได้เร็วกว่าที่ 50°C และ 60°C แต่การใช้อุณหภูมิที่สูงถึงแม้ว่าจะสามารถลดปริมาณน้ำได้รวดเร็วแต่เราต้องคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งด้วย โดยขั้นตอนต่อไปจะศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งผักทองหลังการอบสโมคซิงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านปริมาณบีตา-แคโรทีน ค่าสีและการยอมรับทางประสาทสัมผัส

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณบีตา-แคโรทีน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.37 พบว่าที่อุณหภูมิ 50°C และ 60°C ค่าบีตา-แคโรทีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70°C เนื่องจากที่อุณหภูมิ 70°C มีความร้อนสูงซึ่งมีผลไปทำลายบีตา-แคโรทีนในผักทองได้ ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาในการทำแห้งต่ำกว่า

จากผลของอุณหภูมิทำแห้งต่อค่าสีได้ผลดังตารางที่ 4.39 พบว่า อุณหภูมิทำแห้งด้วยลมร้อนมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งด้วยลมร้อนสูงขึ้นจาก 50°C , 60°C และ 70°C จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า L และ b ต่ำลง แต่จะมีค่า a เพิ่มขึ้น นั่นคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความสว่างและมีสีเหลืองลดลงแต่จะมีสีแดงเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการทำแห้งน้ำที่อยู่ภายในชั้นผักทองจะเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวแล้วระเหยออกไป การเคลื่อนที่ของน้ำออกมาสู่ผิวนี้อาจอยู่ในรูปของเหลวหรือในรูปของไอน้ำก็ได้ การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะพาเอาของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่นน้ำตาล กรดอะมิโนและกรดซิตริกออกมาสู่ผิวด้วย เมื่อการทำแห้งดำเนินต่อไปความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวของผักทองจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและให้สีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้จะ

เกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้การทำให้ผลไม้แห้งที่อุณหภูมิสูงมักจะทำให้ผลไม้มีสีเข้ม (Ponting, 1973)

จากการประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของฟักทองอบแห้งได้ผลดังตารางที่ 4.41 พบว่า อุณหภูมิในการทำให้แห้งมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี ลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์ ความแน่นเนื้อ กลิ่นรสของฟักทองอบแห้ง และการยอมรับรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิทำให้แห้งที่ 50°C และ 60°C ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุดและมีค่าการยอมรับรวมไม่แตกต่างกัน และผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70°C ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเหลืองซึ่งได้ผลสอดคล้องกับค่าการวัดสีดังตารางที่ 4.39 ซึ่งพบว่า 50°C และ 60°C จะมีค่า L ไม่แตกต่างกัน ผิวมีลักษณะที่เปียกชุ่มด้วยน้ำตาลและมีความเต่งไม่เหี่ยว มีระดับความแข็งปานกลางคือไม่แข็งเกินไป

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิทำให้แห้งด้วยลมร้อนมีผลต่อเวลาในการทำให้แห้ง ปริมาณปีตา-แคโรทีน ค่าสี และการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยพบว่าอุณหภูมิทำให้แห้งที่ 50°C และ 60°C ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุดและมีค่าการยอมรับรวมไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาในด้านต่างๆ เช่น เวลาทำให้แห้ง ค่าสีร่วมด้วยแล้ว พบว่า ที่อุณหภูมิทำให้แห้งที่ 60°C จะใช้เวลาในการทำให้แห้งเร็วกว่า โดยที่อุณหภูมิทำให้แห้งที่ 50°C ใช้เวลาทำให้แห้ง 10 ชั่วโมง 53 นาที แต่เวลาในการทำให้แห้งที่อุณหภูมิทำให้แห้งที่ 60°C ใช้เวลาเพียง 8 ชั่วโมง 17 นาที ซึ่งใช้เวลาสั้นกว่าเมื่อพิจารณาค่าสีพบว่า อุณหภูมิทำให้แห้งที่ 60°C จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองกว่า ดังนั้นจากการทดลองจึงเลือกอุณหภูมิทำให้แห้งที่ 60°C

5.7. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ฟักทองอบแห้ง

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ฟักทองอบแห้งมีดังนี้คือ ความชื้น 14.40% โปรตีน 2.34% ไขมัน 2.42% เถ้า 1.04% คาร์โบไฮเดรต 94.2% (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณปีตา-แคโรทีน 13.77 ไมโครกรัม/ 100 กรัมฟักทองอบแห้ง

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

- 6.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟักทองมีดังนี้คือฟักทองแก่มีความชื้น 89.20% TSS 8.30 โปรตีน 5.80% ไขมัน 6.03% เถ้า 6.81% คาร์โบไฮเดรต 81.36 (โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณปีตา-แคโรทีน 6.90 ไมโครกรัม/ 100 กรัมฟักทองสด ฟักทองอ่อนมีความชื้น 85.71% TSS 11.60 โปรตีน 5.25% ไขมัน 11.53% เถ้า 9.84% คาร์โบไฮเดรต 73.38 (โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณปีตา-แคโรทีน 9.91 ไมโครกรัม/ 100 กรัมฟักทองสด
- 6.2 เวลาที่เหมาะสมในการลวกฟักทองโดยใช้ไอน้ำคือ 6 นาที
- 6.3 สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีอบสโมซิก คือ
 - 6.3.1 อัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อซูโครสไซรัป 1 : 3
 - 6.3.2 ฟักทองอ่อนที่มีความชื้น 87-92% TSS 6.0-9.0 °Brix มีอัตราการอบสโมซิกและการยอมรับทางประสาทสัมผัสดีกว่าฟักทองแก่
 - 6.3.3 ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาในการอบสโมซิกมีอิทธิพลร่วมกันต่อ water loss และ solid gain อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - 6.3.4 ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป อุณหภูมิและเวลาในการอบสโมซิกมีอิทธิพลร่วมกันต่อเวลาในการทำแห้งด้วยลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - 6.3.4 สภาวะในการอบสโมซิกที่ 50 °Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 5 ชั่วโมง และทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลา 8 ชั่วโมง 15 นาที มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด
- 6.4 อัตราการอบสโมซิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปในการอบสโมซิกฟักทองและการใช้กรดซิตริก 1.0 % (โดยน้ำหนักของซูโครสไซรัป) ให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด
- 6.5 อัตราการอบสโมซิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริกในการอบสโมซิกฟักทอง และการใช้โซเดียมคลอไรด์ 0.5 % (โดยน้ำหนักของสารละลาย) ให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด

- 6.6 ปริมาณ β -carotene และการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 50°C และ 60°C มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70°C แต่เวลาในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60°C สั้นกว่าที่ 50°C มาก ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิทำแห้งเป็น 60°C
- 6.7 องค์ประกอบทางเคมีของผักทองอบแห้งมีดังนี้คือ ความชื้น 14.40% โปรตีน 2.34% ไขมัน 2.42% เถ้า 1.04% คาร์โบไฮเดรต 94.20 (โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณบีตา-แคโรทีน 18.77 ไมโครกรัม/ 100 กรัมผักทองอบแห้ง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรรณ วรณะกระจ่าง. 2535. การทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. 2540. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางการอาหาร. กรุงเทพมหานคร : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 184.
- นิตยา รัตนปนนท์. 2543. ผลของกระบวนการแปรรูปต่ออาหารและสารอาหาร. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 71-75.
- ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2529. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สงขลา : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่. หน้า 419-420.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2531. ผลไม้อบแห้ง: อุตสาหกรรมแปรรูปที่กำลังสด. ส.ม.อ.สาร. 162:2-4.
- ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. วัตถุดิบอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร, กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 76.
- ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย. 2533. แนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีการบรรจุภัณฑ์ที่น่าจับตามอง. ข่าวสารศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. ปีที่ 6 : ฉบับที่ 31.
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2527. กรรมวิธีการอบแห้ง, กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 1.
- สาธารณสุข, กระทรวง. 2535. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทย. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข : กรุงเทพมหานคร.
- สุรัชย์ มัจฉาชีพ. 2535. พืชเศรษฐกิจในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แพรวพินทยา. หน้า 230-231.

สำนักเลขานุการคณะกรรมการพัฒนาการส่งออก กรมพาณิชย์สัมพันธ์, สำนักงาน. 2531. ผลไม้
แปรรูป: โอกาสและแนวทางการพัฒนา. รายงานผลการอภิปรายโต๊ะกลม.
กรุงเทพมหานคร: บริษัทปฤษฐธุรกิจ จำกัด.
อุดมเกียรติ พรรณประเทศ. 2531. ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใน ผัก ผลไม้สด ดอง และแช่แข็ง.
วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 30(4) : 239-246.

ภาษาอังกฤษ

- A.O.A.C. 1995. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical chemists.,
15th ed. Washington DC.
- Bolin, H.R., Huxsoll, C.C., Jackson, R., and NG, K.C. 1983. Effect of osmotic agents and
concentration on fruit quality. Journal of Food Science. 48 : 202-205.
- Bongirwar, D.R., and Sreenivasan, A. 1977. Studies on osmotic dehydration of banana.
Journal of Food Science and Technology. 14 : 104-112.
- Contreras, J.E., and Smyrl, T.G. 1981. An evaluation of osmotic concentration of
apple rings using corn syrup solids solutions. Canadian Institute of Food
Science and Technology Journal. 14(4) : 310-314.
- Ertekin, F. K., and Cakaloz, T. 1995. Osmotic dehydration of peas: I. Influence of
process variables on mass transfer. Journal of Food Processing and
Preservation. (20) : 87-104.
- Fankas, D.F., and Lazar, M.E. 1969. Osmotic dehydration of apple pieces: Effect of
temperature and syrup concentration on rates. Food Technology. 23 (5):
688-690.
- Frank, A.L. 1983. Basic Food Chemistry. Westport CT : The AVI Publishing Company,
Inc. pp. 287-288.
- Fellows, P. J. 1990. Food Processing Technology Principles and Practice. England : Ellis
Horwood Limited. pp. 201-208.
- Fennema, O.R. 1996. Carotenoid. Food Chemistry ., 3rd ed. New York : Marcel
Dekker, Inc. pp. 545-551.

- Goodwin, T.M. 1980. The Biochemistry of the Carotenoids vol. 1 Plants. 2nd ed. : London : Chapman and Hall.
- Gross, J. 1991. Pigments in Vegetables : Chlorophylls and Carotenoids. New York : The AVI Publishing.
- Hawkes, J. and Flink, J.M. 1978. Osmotic concentration of fruit slices prior freeze dehydration. Journal of Food Processing and Preservation. 2 :265-284.
- Holland, B., Welch, A.A., Unwin, I.D., Buss, D.H., Pual, A.A., and Southgate, D.A.T. 1991. The Composition of Food., 5th ed. United Kingdom : The Royal Society of Chemistry Ministry of Agriculture.pp. 264.
- Islam, M.N., and Flink, J.N. 1982. Dehydration of potato : II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. Journal of Food Technology. 17 : 403.
- Kalra, C.L. 1990. Role of blanching in vegetable processing. Indian Food Packer Sep. - Oct. : 3 – 8.
- Karathanos, V.T., Kostaropoulos, A. E., and Saravacos, G. D. 1995. Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. Drying Technology. 13 (5-7) : 1503-1521.
- Karel, M. 1975. Principle of Food Science. In O.R Fennema (ed.), Food Science A Series of Monographs. Volume 2. New York : Marcel Dekker Inc. pp. 350.
- Lee, C.Y., Bourne, M.C., and Buren, J.P.V. 1979. Effect of blanching treatments on the firmness of carrots. Journal of Food Science. 44 (2) : 615-616.
- Lenart , A., and Flink, I.M. 1984. Osmotic concentration of potato I. Criteria for the end-point of the osmosis process. Journal of Food Technology. 19 : 45 – 63.
- Lenart, A., and Lewicki, P.P. 1987. Kinetics of osmotic dehydration of the plant tissue. In S.M. Arun (ed.), Drying' 87. Washington : Hemisphere Publishing Corp. pp.239.
- Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Dollar, R.M., and Bartolucci, L. 1985. Osmotic dehydration of fruits: Influence of osmotic agent on drying behavior and product quality. Journal of Food Science. 50(5):1217-1219.
- Levi, A.,Gagel, S., and Juven, B. 1983. Intermediate moisture tropical fruit products for developing counties I. Technological data on papaya. Journal of Food Technology. 18(6) : 667-685.

- Luh, B.S., and Woodroof, S.G. 1988. Commercial Vegetable Processing. 2nd ed. New York : An AVI Book Publishing. pp. 549-568.
- Mazza, G. 1983. Dehydration of carrots : effect of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. Journal of Food Technology. 18 : 113 –123.
- Mossel, D.A.A. 1975. Water Relations of Foods. London : Academic Press Inc. Ltd.
- Moy, J.H., Lau,N.B.H., and Dollar, A.M. 1978. Effect of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits. Journal of Food Processing and Preservation. 2 :131-135.
- Nanjundaswamy, A.M., Radbakrisnah, S.G., Balachandran, C., Garoja, S., and Murthy Reddy, K.B.S. 1978. Studied on development of new categories of dehydrated products from indigeneous fruits. Indian Food Packer. 91-99.
- Pancoast, H.M., and Junk, W.R. 1980. Handbook of Sugar, 2nd ed. Westport CT: The AVI Publishing Company Inc. pp.409-411.
- Ponting, J.D. 1973. Osmotic dehydration of fruit-recent modification and applications. Process Biochemistry. December : 18 – 20.
- Ponting, J.D., Watters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R., and Stanley, W.L. 1966. Osmotic dehydration of fruits. Food Technology . 20 (10) : 125 - 130.
- Ranganna, S. 1977. Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Product. New Delhi : Tata McGraw – Hill,pp. 169-170.
- Rahman, M.S., and Lamp,J. 1991. Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. Journal of Food Process Engineering. 14:163-171.
- Raoult-Wack, A.L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in Food Science & Technology 5 : 255 – 260.
- Ray, P.M. 1960. On the theory of osmotic water movement. Plant-Physical. 35(6): 783-784.
- Smogyi, L.P., and Luh, B.S. 1986. Dehydration of Fruits.In J.G. Woodroof and B.S. Luh (eds.), Commercial Fruit Processing, 2nd ed. Westport CT:The AVI Publishing Company,Inc. pp.385.

Torrey, M. 1974. Dehydration of Fruits and Vegetables. New Jersey : Noyes data corporation.

West, E.S. and Todd, W.R. 1961. Osmotic Pressure. Textbook of Biochemistry. New York: The Macmilan Company, Inc. p. 71.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์และตรวจสอบ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ดัดแปลงวิธีของ A.O.A.C., 1995)

อุปกรณ์

ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 5 กรัม ใส่ใน aluminium dish (ซึ่งอบแห้งที่ 100 °C 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) จนน้ำหนักคงที่)
2. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นานประมาณ 24 ชั่วโมง
3. นำออกจากตู้อบ และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก
4. นำไปอบอีกประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
5. คำนวณปริมาณความชื้น หรือน้ำที่หายไป

การคำนวณ

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

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (ดัดแปลงจากวิธีของ A.O.A.C. , 1995)

อุปกรณ์

Gerhardt Kjeldahltherm Digestion Unit และ Gerhardt Vapodest

สารเคมี

1. สารละลายซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 N ที่ standardized ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3)
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50%
4. สารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 4%
5. สารเร่งปฏิกิริยา (Kjeltabs Cu 3.5)
6. โมดิฟายด์เมธิลเรดอินดิเคเตอร์ (เตรียมโดยละลายเมธิลเรดจำนวน 0.125 กรัม และเมธิลดีนบลูจำนวน 0.0825 กรัม ในเอทานอล 90% 100 มิลลิลิตร)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา (Kjeltabs Cu 3.5) 2 เม็ด
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร
4. นำไปย่อยด้วยเครื่อง Kjeldahltherm ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในการย่อยเป็นช่วงที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 250 °C เป็นเวลา 15 - 20 นาที
ช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 380 °C เป็นเวลา 30 - 45 นาที หรือจนตัวอย่างเป็นสีฟ้าอ่อนหรือไม่มีสี แล้วย่อยต่อไปอีก 30 นาที
5. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร ต่อ Kjeldahl tube เข้ากับเครื่อง Vapodest เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50 % จนกลายเป็นสีดำ
6. เตรียมขวดหรือฟลาสก์ที่มีสารละลายกรดบอริก 4% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ซึ่งเติม Methyl red – methylene blue 2 – 3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์
7. กลั่นตัวอย่างลงในขวดมีสารละลายปริมาตร 250 มิลลิลิตร
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในกรดบอริกมาไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณ ไนโตรเจน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4/1000 \times DF \times 100}{\text{sample weight}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times 6.25$$

กำหนดให้

Vb = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรทกับblank

Va = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

N = normality ของกรดซัลฟูริก (โมลต่อลิตร)

DF = dilution factor

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (A.O.A.C. , 1995)

อุปกรณ์

Soxhlet Apparatus

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเธอร์

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่แห้ง 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 แล้วนำไปใส่ใน Thimble ใส่ใน extraction tube ของ Soxhlet apparatus
2. ใส่ Petroleum ether ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมของ Soxhlet apparatus ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
3. นำไป reflux บน heating mantle ใช้อุณหภูมิ 40 – 60 °C เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นก่อนนำขวดก้นกลมออก
4. ระเหยเอา petroleum ether ออกจากขวดก้นกลมที่สกัดไขมัน จากนั้นนำไปอบที่ อุณหภูมิ 100 °C 4 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
5. ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์
6. ชั่งน้ำหนัก Soxhelt flask แล้วคำนวณหาปริมาณไขมัน

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 1995)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnace)
2. crucible
3. hot plate

วิธีวิเคราะห์

1. นำcrucible ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C จนได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่าง 3 - 5 กรัม ใส่ใน crucible แล้วนำตัวอย่างไปเผาด้วย hot plate จนตัวอย่างไม่มีควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 4 ชั่วโมง หรือจนตัวอย่างที่ใช้เป็นเถ้าสีขาว
4. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้ เพื่อคำนวณหาปริมาณเถ้า

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าหลังเผา (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

ก.5 การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (\%)} = 100 - [\text{โปรตีน(\%)} + \text{ไขมัน (\%)} + \text{เถ้าทั้งหมด (\%)}]$$

ก.6 การทดสอบเปอร์ออกซิเดส แอคติวิตี (Peroxidase activity)

ดัดแปลงจากวิธีของ Ranganna (1977)

สารเคมี

1. สารละลาย guaiacol 1%
2. สารละลาย hydrogen peroxide 0.5%

วิธีวิเคราะห์

1. ลวกผักทองขนาดขึ้นหนา 1.3 เซนติเมตร ด้วยไอน้ำที่เวลาต่างๆ กัน
2. บดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักผักทองมา 5 กรัม
3. ใส่ผักทองบดจำนวน 5 กรัมลงในหลอดทดลองขนาดความกว้าง 1 นิ้ว
4. เติมน้ำ 5 มิลลิลิตร สารละลาย guaiacol 1 มิลลิลิตร และสารละลาย H_2O_2 1

มิลลิลิตร

5. ผสมให้เข้ากัน โดยพลิกหลอดกลับไปกลับมา สังเกตปฏิกิริยา หลังจากตั้งทิ้งไว้ 3.5

นาที

การตรวจสอบปฏิกิริยา

เกิดสีน้ำตาลแดงในชั้นผัก เป็น positive

ไม่มีสีน้ำตาลแดง เป็น negative

ระดับปฏิกิริยาเป็นตัวชี้กิจกรรมของเปอร์ออกซิเดส

negative : ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีหรือมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้นหลัง 3.5 นาที

trace : เกิดสีน้ำตาลแดงเป็นจุดๆ โดยเฉพาะตรงส่วน vein

light positive : เกิดน้ำตาลอ่อนทั้งชั้นเนื้อเยื่อหรือเกิดสีน้ำตาลเข้มบางชั้น

positive : เกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรง

* ทั้ง negative และ trace ถือว่าการลวกยับยั้งได้เพียงพอ

ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณบีตา-แคโรทีน

ดัดแปลงจากวิธีของ Ranganna (1977)

สารเคมี

1. acetone
2. petroleum ether (b.p.65-70°C)
3. anhydrous sodium sulfate
4. standard β - carotene ของบริษัท Fuka
5. acetonitrile
6. methanol
7. dichloromethane

เครื่องมือ

non-reverse phase HPLC ของ Shimadzu รุ่น LC-3A ใช้ column ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง กลาง 4.6 มิลลิเมตร ยาว 25 ซม. บรรจุด้วย C_{18} - silica gel UV- visible detector ของ LDC รุ่น 4100 mobile phase เป็น acetonitrile : dichloromethane : methanol (70 : 20 : 10), flow rate 1.6 มิลลิลิตร/ นาที

การสร้างกราฟมาตรฐานของบีตา-แคโรทีน (standard curve of β - carotene)

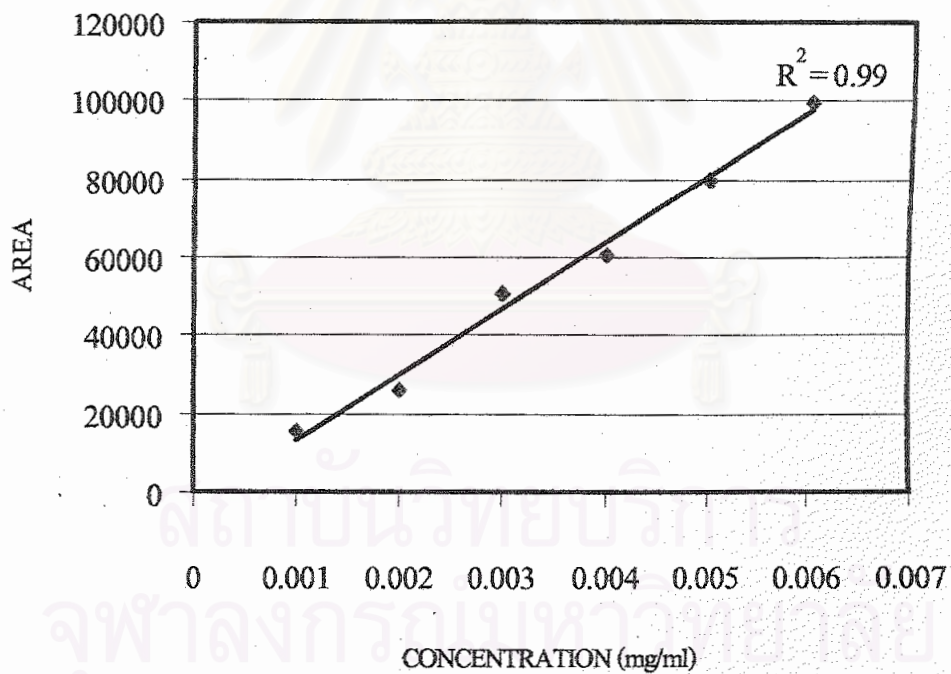
1. การเตรียมสารละลาย β - carotene stock solution : ชั่งสารบีตา-แคโรทีนด้วย น้ำหนักที่แน่นอน 25 มิลลิกรัม นำมาละลายใน Chloroform 2.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วย petroleum ether ลงใน volumetric flask ปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของบีตา-แคโรทีนเป็น 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หรือ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2. ดูดสารละลาย stock มา 10 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย petroleum ether

3. เตรียมสารละลายมาตรฐาน : นำสารละลายที่ได้จากการเตรียมในข้อ 2 มา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, และ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร ที่มี acetone 3 มิลลิลิตร ปรับด้วยปริมาตร petroleum ether สารละลาย

มาตรฐาน 1 มิลลิลิตร จะมีความเข้มข้นของบีตา-แคโรทีน 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 และ 10.0 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

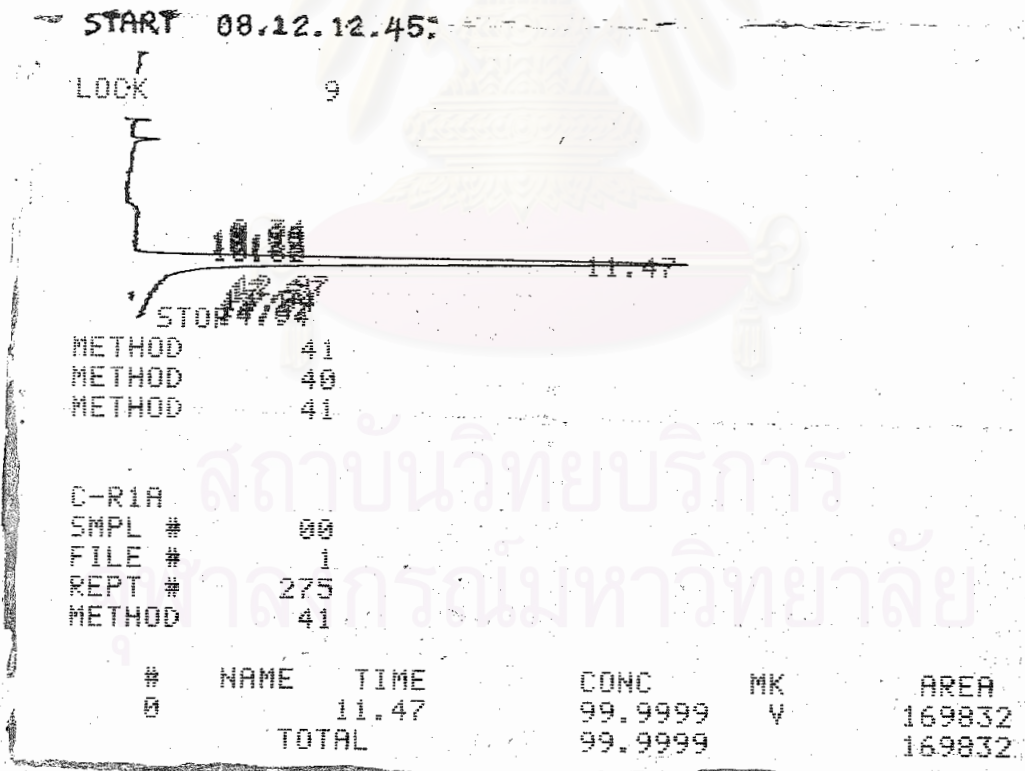
4. วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC injection volume ครั้งละ 5 ไมโครลิตร แล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ peak (แกน Y) กับความเข้มข้นของบีตา-แคโรทีน (แกน X) จะได้กราฟเส้นตรง ดังภาพที่ ก.1



ภาพที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานบีตา-แคโรทีน กับพื้นที่ใต้กราฟ

การสกัด

1. ชั่งตัวอย่าง 30 กรัม สำหรับพืชทองสด และ 10 กรัมสำหรับพืชทองอบแห้ง นำมาบดให้ละเอียด ทำการสกัดด้วย acetone นำสารละลายที่สกัดได้กรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No.1) สกัดและกรองต่อจนกระทั่งตัวอย่างไม่มีสี
2. นำ filtrate ถ่ายลงสู่ separating funnel แล้วเติม petroleum ether 10 – 15 มิลลิลิตร ลงไป
3. ถ่าย pigment เข้าสู่ petroleum ether phase โดยเจือจาง acetone ด้วยน้ำผสม sodium sulfate 5% สกัด acetone phase ซ้ำด้วย petroleum ether จนกว่าไม่มีสีเหลือปรากฏใน acetone phase
4. กรองส่วนสกัดของ petroleum ether ผ่านกระดาษกรอง (Whatman No.1) ถ่ายลง volumetric flask 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย petroleum ether นำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC



ภาพที่ ๒.2 peak ของปีตา-แคโรทีนมาตรฐาน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

START 01.12.14.43.



C-RIA
 SMPL # 00
 FILE # 2
 REPT # 157
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		12.61	99.9999	V	89771
	TOTAL		99.9999		89771

ภาพที่ ก.3 peak ของปีตา-แคโรทีนของผักทอง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

ก.8 การวัดสีของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Minolta Chroma Meter

อุปกรณ์

Minolta Chroma Meter, CR 300 series.

วิธีทดลอง

วัดสีของผลิตภัณฑ์ผักทองอบแห้งบนชิ้นเดียวกัน 8 จุด จากนั้นเฉลี่ยเป็น 1 ค่า ในแต่ละซ้ำใช้ตัวอย่าง 3 ชิ้น ค่าที่อ่านได้จากเครื่องคือ ค่า L, a และ b โดยที่

ค่า L แทนค่าความสว่าง

ค่า a แทนค่าสีแดง (+) แทนค่าสีแดง (-) แทนค่าสีเขียว

ค่า b แทนค่าสีเหลือง (+) แทนค่าสีเหลือง (-) แทนค่าสีน้ำเงิน

ก.9 การทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser

อุปกรณ์

Texture Analyser รุ่น TA.XT2

วิธีทดลอง

1. ติดตั้ง PC Computer เข้ากับเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส
2. ติดใบมีดที่เป็นหัวตัดเข้ากับเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส
3. calibrate force ก่อนวัดทุกครั้ง
4. เลือกรูปแบบการวัดเป็น

Mode : Measure Force in Compression

Option : Return to Start

Force Unit : Newton

Pre-test Speed : 5.0 mm./s

Test speed : 5.0 mm./s

Post-test Speed : 10.0 mm./s

Distance : 15 mm.

Trigger Type : Auto – 5 g.

Data Acquisition Rate : 200 pps.

Probe Type : HDP/ BS

Graph Type : Force v Time

5. วางชิ้นพริกทองบนแท่นวัดครั้งละ 1 ชิ้น วัดลักษณะเนื้อสัมผัสบนชิ้นเดียวกัน 5 จุด จากนั้นเฉลี่ยเป็น 1 ค่า ในแต่ละซ้ำใช้ตัวอย่าง 3 ชิ้น เริ่มวัด PC Computer จะแสดงกราฟที่วัดได้ ออกมาลักษณะดังรูปที่ ก. วัดค่าสูงสุดของ Peak แสดงเป็นค่าแรงตัดขาด (Newton)

ภาคผนวก ข.

1. แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสผักทองอบแห้งในการศึกษาความแก่อ่อนของ
ผักทอง (แบบทดสอบประเภท Descriptive Analysis แบบ Unstructure scale)

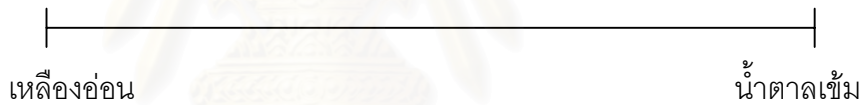
แบบสอบถามสำหรับผลิตภัณฑ์ผักทองอบแห้งโดยวิธีออสโมซิส

ชื่อผู้ทดสอบ.....เพศ.....หญิง.....ชาย อายุ.....ปี

วันที่ทำการทดสอบ.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ผักทองอบแห้ง โดยลากเส้นตั้งฉากบนเส้นสเกล เพื่อ
แสดงการประเมินที่ตรงกับความรู้สึกท่าน และเขียนเลขรหัสตัวอย่างกำกับที่เส้นตั้งฉากด้วย
ลักษณะปรากฏ

สี

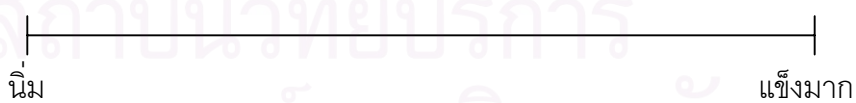


ลักษณะผิวภายนอก



ลักษณะเนื้อสัมผัส

ความแน่นเนื้อ

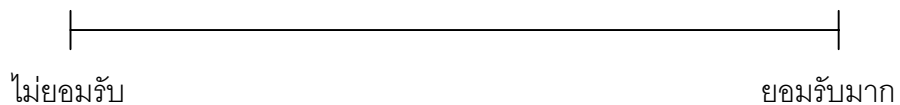


กลิ่นและรสชาติ

กลิ่นและรสชาติน้อย

กลิ่นและรสชาติมาก

ลักษณะการยอมรับรวม



ข้อเสนอแนะ.....

2. แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสฝักทองอบแห้งในการศึกษาผลของการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิส (แบบทดสอบประเภท Descriptive Analysis แบบ Unstructure scale)

แบบสอบถามสำหรับผลิตภัณฑ์ฝักทองอบแห้งโดยวิธีออสโมซิส

ชื่อผู้ทดสอบ.....เพศ.....หญิง.....ชาย อายุ.....ปี

วันที่ทำการทดสอบ.....

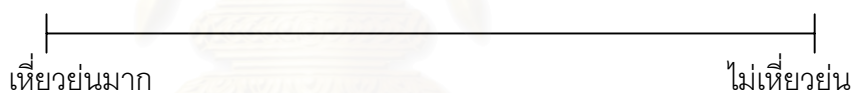
คำแนะนำ กรุณาทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ฝักทองอบแห้ง โดยลากเส้นตั้งฉากบนเส้นสเกล เพื่อแสดงการประเมินที่ตรงกับความรู้สึกท่าน และเขียนเลขรหัสตัวอย่างกำกับที่เส้นตั้งฉากด้วย

ลักษณะปรากฏ

สี



ลักษณะผิวภายนอก



ลักษณะเนื้อสัมผัส

ความแน่นเนื้อ



รสชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ลักษณะการยอมรับรวม



ข้อเสนอแนะ.....

.....

3. แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสฝักทองอบแห้งในการศึกษาผลของการใช้กรดซิตริก ร่วมกับซูโครสไซรัปในการอบสโมซิช (แบบทดสอบประเภท Descriptive Analysis แบบ Unstructure scale)

แบบสอบถามสำหรับผลิตภัณฑ์ฝักทองอบแห้งโดยวิธีอบสโมซิช

ชื่อผู้ทดสอบ.....เพศ.....หญิง.....ชาย อายุ.....ปี

วันที่ทำการทดสอบ.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ฝักทองอบแห้ง โดยลากเส้นตั้งฉากบนเส้นสเกล เพื่อแสดงการประเมินที่ตรงกับความรู้สึกท่าน และเขียนเลขรหัสตัวอย่างกำกับที่เส้นตั้งฉากด้วย

ลักษณะปรากฏ

สี



ลักษณะผิวภายนอก



ลักษณะเนื้อสัมผัส

ความแน่นเนื้อ

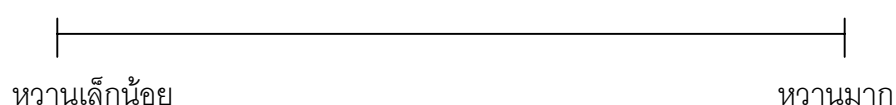


กลิ่นและรสชาติ

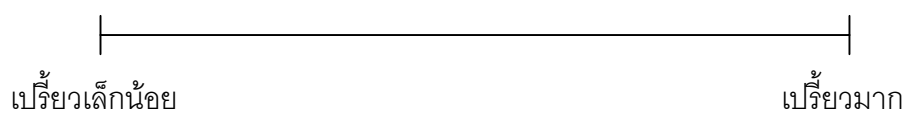
กลิ่นและรสชาติน้อย

กลิ่นและรสชาติมาก

ความหวาน



ความเปรี้ยว



ลักษณะการยอมรับรวม



ข้อเสนอแนะ.....

.....



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสฝักทองอบแห้งในการศึกษาผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัปและกรดซิตริกในการอบสโมซิช (แบบทดสอบประเภท Descriptive Analysis แบบ Unstructure scale)

แบบสอบถามสำหรับผลิตภัณฑ์ฝักทองอบแห้งโดยวิธีอบสโมซิช

ชื่อผู้ทดสอบ.....เพศ.....หญิง.....ชาย อายุ.....ปี

วันที่ทำการทดสอบ.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ฝักทองอบแห้ง โดยลากเส้นตั้งฉากบนเส้นสเกล เพื่อแสดงการประเมินที่ตรงกับความรู้สึกท่าน และเขียนเลขรหัสตัวอย่างกำกับที่เส้นตั้งฉากด้วย

ลักษณะปรากฏ

สี



ลักษณะเนื้อสัมผัส

ความแน่นเนื้อ



รสชาติ

ความเค็ม



ความหวาน



ความเปรี้ยว

เปรี้ยวเล็กน้อย

เปรี้ยวมาก

ลักษณะการยอมรับรวม

ไม่ยอมรับ

ยอมรับมาก

ข้อเสนอแนะ.....



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสฟักทองอบแห้งในการศึกษาผลของอุณหภูมิทำแห้ง
(แบบทดสอบประเภท Descriptive Analysis แบบ Unstructure scale)

แบบสอบถามสำหรับผลิตภัณฑ์ฟักทองอบแห้งโดยวิธีออสโมซิส

ชื่อผู้ทดสอบ.....เพศ.....หญิง.....ชาย อายุ.....ปี

วันที่ทำการทดสอบ.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ฟักทองอบแห้ง โดยลากเส้นตั้งฉากบนเส้นสเกล เพื่อ
แสดงการประเมินที่ตรงกับความรู้สึกท่าน และเขียนเลขรหัสตัวอย่างกำกับที่เส้นตั้งฉากด้วย

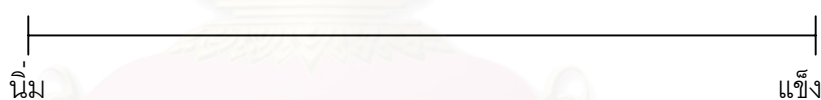
ลักษณะปรากฏ

สี



ลักษณะเนื้อสัมผัส

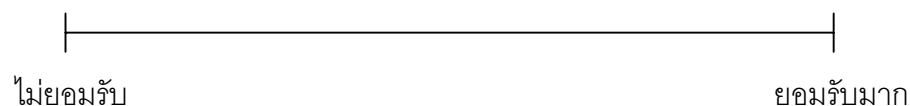
ความแน่นเนื้อ



ลักษณะผิว



ลักษณะการยอมรับรวม



ข้อเสนอแนะ.....

.....

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค.1 การวิเคราะห์ข้อมูลของการวางแผนแบบ Completely Randomized Design(CRD)

ตาราง ค.1 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Completely Randomized Design(CRD)

SOV.	Df.	SS.	MS.	F calculated	F table
Treatment	t-1	$\sum_t EX_t.^2/r - X..^2/rt$	SS_T/df_T	MS_T/MS_E	$f(\%sif., df_T, df_E)$
Error	t(r-1)	by subtraction	SS_E/df_E		
Total	tr-1	$\sum_{ij} EX_{ij}^2/r - X..^2/rt$			

ค.2 การวิเคราะห์ข้อมูลของการวางแผนแบบ Randomized Complete Block Design(RCBD)

ตาราง ค.2 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Randomized Complete Block Design(RCBD)

SOV.	Df.	SS.	MS.	F calculated	F table
Treatment	t-1	$\sum_t EX_t.^2/r - X..^2/rt$	SS_T/df_T	MS_T/MS_E	$f(\%sif., df_T, df_E)$
Block	r-1	$\sum_j EX_{.j}^2/r - X..^2/rt$	SS_{blk}/df_{lk}	MS_{blk}/MS_E	$f(\%sif., df_{lk}, d)$
Error	(t-1)(r-1)	by subtraction			
Total	rt-1	$\sum_{ij} EX_{ij}^2/r - X..^2/rt$			

ค.3 การวิเคราะห์ข้อมูลของการวางแผนแบบ Factorial Completely Randomized Design

ตาราง ค.3 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Factorial Completely Randomized Design

SOV.	df.	SS.	MS.	F calculated	F table
Factor					
A	a-1	$\sum_i EX_{i...}^2 / bcr - X_{...}^2 / abcr$	SS_A / df_A	MS_T / MS_E	$f(\%sig., df_A, df_E)$
B	b-1	$\sum_j EX_{.j..}^2 / acr - X_{...}^2 / abcr$	SS_B / df_B	MS_B / MS_E	$f(\%sig., df_B, df_E)$
C	c-1	$\sum_k EX_{...k}^2 / abr - X_{...}^2 / abcr$	SS_C / df_C	MS_C / MS_E	$f(\%sig., df_C, df_E)$
AB	(a-1)	$\sum_{ij} EX_{ij..}^2 / cr - X_{...}^2 / abcr$	SS_{AB} / df_{AB}	MS_{AB} / MS_E	$f(\%sig., df_{AB}, df_E)$
	(b-1)	$-SS_A - SS_B$			
AC	(a-1)	$\sum_{ik} EX_{i.k.}^2 / cr - X_{...}^2 / abcr$	SS_{AC} / df_{AC}	MS_{AC} / MS_E	$f(\%sig., df_{AC}, df_E)$
	(c-1)	$-SS_A - SS_C$			
BC	(b-1)	$\sum_{jk} EX_{.jk.}^2 / cr - X_{...}^2 / abcr$	SS_{BC} / df_{BC}	MS_{BC} / MS_E	$f(\%sig., df_{BC}, df_E)$
	(c-1)	$-SS_A - SS_C$			
ABC	(a-1)	$\sum_{ijk} EX_{ijk.}^2 / cr - X_{...}^2 / abcr$	SS_{ABC} / df_{ABC}	MS_{ABC} / MS_E	$f(\%sig., df_{ABC}, df_E)$
	(b-1)	$-SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB}$			
	(c-1)	$-SS_{AC} - SS_{BC} - SS_{ABC}$			
Error	abc(r-1)	by subtraction	SS_E / df_E		
Total	abc(r-1)	$\sum_{ijkl} EX_{ijkl}^2 / Cr - X_{...}^2 / abcr$			

ค.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncun's New Multiple Range Test

-คิดค่าเฉลี่ย กรณีข้อมูลแบบ factorial คิดค่าเฉลี่ยสำหรับแต่ละตัวแปร และปฏิสัมพันธ์ต่างๆ

ตาราง ค.4 การคิดค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูลแบบ factorial

Factor	ค่าเฉลี่ย	R
A	${}_iEX_{i...}/R$	bcr
B	${}_jEX_{.j.}/R$	acr
C	${}_kEX_{...k}/R$	abr
AB	${}_{ij}EX_{ij.}/R$	cr
AC	${}_{ik}EX_{i.k}/R$	br
BC	${}_{jk}EX_{.jk}/R$	ar
ABC	${}_{ijk}EX_{ijk}/R$	r

-เรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากน้อยไปหามาก

คำนวณค่า $S_y = (MS_E/r)^{1/2}$ r=จำนวนซ้ำ

กรณีข้อมูลแบบ factorial r=R ตามตารางที่ ค.3

-เปิดตารางอ่านค่า Significant Studentized Range(SSR) ที่ % sig. ที่ต้องการ ตั้งแต่ p=2.57'

p=n-1 ที่ df_E (n=จำนวนค่าเฉลี่ยทั้งหมดที่ต้องการเปรียบเทียบ)

-คำนวณค่า LSH= $S_y \times SSR$

-เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ LSR ตามค่าของ p

ภาคผนวก ง.



สถาบันวิทยบริการ
ภาพที่ ง1. ลักษณะของฟักทองอ่อนที่ใช้ในงานวิจัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 2. ลักษณะของฟักทองแก่ที่ใช้ในงานวิจัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วนิดา สระทองคำ เกิดวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดเพชรบูรณ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปี 2539 และเข้าศึกษาระดับปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย