สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเพิ่มมูลค่าฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่และการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็ปเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในพื้นที่ป่าชายเลน

Value Creation of New Food Product from *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny Pod and Development of Web-based Application for Community Technology Transfer in Mangrove Areas

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร
ผู้ร่วมโครงการ นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล
นายกฤษณะ ชินสาร

มหาวิทยาลัยบูรพา

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)
มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เริ่มยืมวันที่
- 7 ส.ค. 2556

AG 00964 14
- 6 มิ.ย. 2556
321239
ห 015 6812

อภินันทนาการ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติเป็นอย่างสูงที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ขอขอบคุณฝ่ายวิจัยส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการประสานงานอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัย ท้ายนี้ขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย
ตุลาคม 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกวนและฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน ขั้นตอนแรก เป็นการศึกษาการผลิตแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมกวนกึ่งสำเร็จรูป การศึกษาการลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง โดยการต้มฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในน้ำเดือดเป็นเวลา 90 นาที ปอกเปลือกและสไลด์เป็นแผ่นหนา 0.5 เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นเวลา 30 นาที แปรความเข้มข้นเป็น 0 (ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย) 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ (w/v) จากนั้นนำมาต้มในน้ำเดือดอีก 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring test พบว่าการลดความฝาดขมโดยไม่ผ่านขั้นตอนการแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นวิธีการลดความฝาดขมที่เหมาะสมสำหรับฝักพังกาหัวสุมดอกแดง จากนั้นทำการผลิตแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงโดยนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการลดความฝาดขมไปอบด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง แล้วบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช ได้เป็นแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง การศึกษาหาสูตรต้นแบบของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน โดยแปรปริมาณน้ำที่ใช้ในสูตรเป็น 81.54 กรัม และ 40.77 กรัม ผลการทดลองพบว่า สูตรต้นแบบผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนที่เหมาะสม คือ แป้งพังกาหัวสุมดอกแดง 18.45 กรัม น้ำ 40.77 กรัม น้ำกะทิ 100 กรัม และน้ำตาลทราย 74 กรัม การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป พบว่าสูตรผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม คือ แป้งพังกาหัวสุมดอกแดง 18.45 กรัม น้ำ 80 กรัม กะทิผง 22.50 กรัม และน้ำตาลทราย 74 กรัม และวิธีการทำให้สุกที่เหมาะสม คือ การอบส่วนผสมในไมโครเวฟกำลังไฟ 400 วัตต์ เป็นเวลา 8 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ขั้นที่ 2 เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง โดยศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นฝักพังกาหัวสุมดอกแดงด้วยการต้มก่อนการออสโมซิส โดยการแปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (2 และ 3%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (20 และ 30 นาที) และเวลาการต้มในน้ำ (15 และ 30 นาที) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 2% เป็นเวลา 30 นาที และต้มในน้ำเดือด 30 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง ศึกษาผลของการใช้และไม่ใช้ซอร์บิทอล 10% w/v และกลีเซอรอล 20% w/v ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส (50% w/v) ในสารละลายออสโมติก พบว่า การใช้ซอร์บิทอล 10% w/v และกลีเซอรอล 20% w/v ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดและมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง ศึกษาเวลาการทำแห้งฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสโดยการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C พบว่า ต้องใช้เวลาในการทำแห้ง 5 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w 0.882 และปริมาณความชื้น 36.42% และจากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงสามารถเก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ร่วมกับการเติมสารดูดความชื้น และเก็บในตู้เย็นได้นานอย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ปลอดภัยสำหรับการบริโภค และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

ABSTRACT

This research was to develop the instant sweetened mashed product and the intermediate moisture *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny pod by osmotic dehydration combined with air drying. First step was to study the production of *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny flour and the development of instant sweetened mashed product. The reduction of the bitterness of *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny pod was studied. *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny pods were boiled in boiling water for 90 minutes, peeled and sliced to be 0.5 cm. thickness. Then, the slices were soaked in sodium carbonate solution at the concentration of 0 (do not soak), 1, 2 and 3% (w/v) and boiled in boiling water for 2 times (30 minutes each). The sensory evaluation by scoring test showed that 0% sodium carbonate solution was the appropriated method to reduce the bitterness of *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny pod. Next, *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny flour was produced. The bitterless *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny slices were dried in a hot air oven at 60°C for 7 hours. The chips were ground and sieved through a 80-mesh sifter to obtain *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny flour. Then, the prototype formula of sweetened mashed product was investigated. The water content of the formula was varied to be 81.54 and 40.77 g. Results revealed that the optimum formulation contained 18.45 g. *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny flour, 40.77 g. water, 100 g. coconut milk and 74 g. sugar. Subsequently, the instant sweetened mashed product was developed. The optimum formulation consisted of 18.45 g. *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny flour, 80 g. water, 22.50 g. coconut milk powder and 74 g. sugar. Cooking in microwave at the electrical power of 400 watts for 8 minutes was the appropriated method. The final product obtained the highest overall liking score at the level of moderately to very much like. Second step was to develop the intermediate moisture *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny pod. Effect of Savigny pod pre-treatment by boiling prior to osmotic treatment was investigated. The factors of concentration of sodium chloride (2 and 3%), boiling time in solution of sodium chloride (20 and 30 min) and boiling time in water (15 and 30 min) were studied. It was found that the optimum condition was boiled in a 2% sodium chloride for 30 minutes and boiled in water for 30 minutes. It obtained highest overall liking scores and high mass transfer parameter. Effect of the use of adding or no adding of 10% w/v sorbitol and 20% w/v glycerol combined with sucrose (50% w/v) were studied. It was found that using 10% w/v sorbitol and 20% w/v glycerol combined with 50% w/v sucrose could obtained highest overall liking scores and high mass transfer parameter. Effect of drying time using air drying temperature at 70°C was studied. It was found that the optimum drying time was 5 min. The obtained product contained 0.882 a_w and 36.42% moisture content. The development of ready-to-eat intermediate moisture Savigny product during storage

was evaluated. It was found that the product stored in LDPE coated with aluminum foil packaging bag which contained moisture absorbed agent and kept in the refrigerator could keep at least 4 weeks. This product was microbiologically safe for consumed and highest overall liking score.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญเรื่อง	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
วัตถุประสงค์	4
ขอบเขตของโครงการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
พังกาหัวสุมดอกแดง	7
แป้ง	8
ขนมไทย	11
การทำให้สุกโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ	13
การดึงน้ำออกแบบออสโมซิส	14
สารที่ใช้เตรียมเป็นสารละลายออสโมติก	26
อาหารกึ่งแห้ง	28
การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา	31
การทำแห้งอาหาร	33
บรรจุภัณฑ์พลาสติก	36
สารดูดความชื้น	38
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
3 วิธีดำเนินการทดลอง	45
วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์	45
วิธีดำเนินการทดลอง	46
4 ผลการทดลองและวิจารณ์	62
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	129
สรุปผลการทดลอง	129
ข้อเสนอแนะ	130
รายการอ้างอิง	131

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก..... 137

ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ..... 138

ข แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส..... 141

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ค่า a_w ในอาหารกึ่งแห้งบางชนิด	30
3-1	ส่วนผสมขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน	49
3-2	ส่วนผสมขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป	51
3-3	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที) และเวลาการต้มในน้ำ (นาที)	53
3-4	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรการใช้และไม่ใช้ซอร์บิทอล และกลีเซอรอลร่วมกับสารละลายซูโครส	57
3-5	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้น และชนิดบรรจุภัณฑ์	59
4-1	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง	63
4-2	คะแนนความเข้มของคุณลักษณะด้านความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง	64
4-3	ค่าสีของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่แช่สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่างๆ	64
4-4	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง	67
4-5	กำลังการพองตัวและการละลายของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง	67
4-6	ผลการวิเคราะห์ pasting characteristics โดยใช้แป้งพังกาหัวสุมดอกแดง 10 เปอร์เซ็นต์	69
4-7	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความหวานและความนุ่มของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงที่กวนจากแป้ง (สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2) และฝักสด (สูตรดั้งเดิม) โดยวิธี Ratio Profile Test (RPT)	72
4-8	อัตราส่วนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างที่ทดสอบเทียบกับตัวอย่างในอุดมคติ (S/I) ด้านคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส ความหวานและความนุ่มของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรดั้งเดิม โดยวิธี Ratio Profile Test (RPT)	72
4-9	คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวมของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน	73
4-10	ค่าสีของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน	74
4-11	ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน	74
4-12	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-13 คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวมของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป..... 76

4-14 องค์ประกอบทางเคมีของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ไมโครเวฟ. 77

4-15 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคุณภาพฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Salt) กับเวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ($Time_s$) และเวลาในการต้มในน้ำ ($Time_w$)..... 81

4-16 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคุณภาพฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Salt) กับเวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ($Time_s$) และเวลาในการต้มในน้ำ ($Time_w$)..... 82

4-17 ค่าสี L* a* b* และค่าความแข็ง (Hardness) ของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้ม... 83

4-18 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้ม..... 86

4-19 คะแนนความฝาดขมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้ม..... 87

4-20 ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสน้ำตาล..... 91

4-21 ค่าสี L* a* และ b* และค่าความแข็ง (Hardness) ของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสด้วยน้ำตาล..... 92

4-22 ค่าคะแนนความชอบด้านความฝาดขม ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส..... 93

4-23 คะแนนความฝาดขมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส..... 94

4-24 คะแนนความชอบโดยรวม และค่า WL/SG ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นกับเวลาในการต้มของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาในการต้มในน้ำ..... 95

4-25 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสที่แปรการใช้และไม่ใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล..... 96

4-26 ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของสิ่งทดลองที่แปรมีการใช้และไม่ใช้ซอร์บิทอลกับกลีเซอรอลร่วมกับซูโครส..... 98

4-27 ค่า a_w ของสิ่งทดลองที่แปรมีการใช้และไม่ใช้ซอร์บิทอลกับกลีเซอรอลร่วมกับซูโครส. 99

4-28 ค่าสี (L* a* และ b*) และความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยด้านการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอล ร่วมกับสารละลายซูโครส..... 102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-29 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอล ร่วมกับสารละลายซูโครส..... 103

4-30 คะแนนความชอบโดยรวม และค่า WL/SG ของสิ่งทดลองที่แปรการใช้และไม่ใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับซูโครส..... 104

4-31 เวลาการอบแห้งพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการออสโมซิสในตู้อบลมร้อน เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นที่กำหนด..... 106

4-32 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งระดับความชื้นต่างๆ..... 108

4-33 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งระดับความชื้นต่างๆ..... 110

4-34 สรุปผลจาการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคุณภาพพังกาหัวสุมดอกแดงในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่แปรปัจจัยด้านชนิดบรรจุภัณฑ์ (Type) กับสารดูดความชื้น (Absorb)..... 113

4-35 ค่า a_w ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ..... 115

4-36 ค่าความแข็ง (Hardness) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ..... 118

4-37 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ..... 120

4-38 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ..... 120

4-39 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง..... 125

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง	7
2-2	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลี แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง	10
2-3	รูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่าง ๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว	10
2-4	การถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอก	16
2-5	สมดุลของน้ำและน้ำตาลในระหว่างการออสโมซิส	16
2-6	โครงสร้างโมเลกุลของซูโครส	26
2-7	โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล	27
2-8	ขั้นตอนการเกิดปฏิริยาออกซิเดชัน	33
2-9	การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยแรงผ่านช่องแคบ	34
2-10	การเคลื่อนที่ของด้วยการแพร่ (Diffusion) ผ่านเซลล์	35
3-1	ลักษณะของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ใช้ในโครงงานวิจัย	54
3-2	ลักษณะของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่หั่นเป็นชิ้นที่ใช้ในโครงงานวิจัย	54
4-1	ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่แช่ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตระดับความเข้มข้นต่างๆ	66
4-2	กราฟความหนืดของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงความเข้มข้นน้ำแป้ง 10 เปอร์เซนต์	69
4-3	เม็ดแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน ที่กำลังขยาย 300 เท่า	71
4-4	กราฟเส้นใยแมงมุมแสดงค่าเฉลี่ยคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส ความหวานและความนุ่มของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรดั้งเดิมและค่าในอุดมคติ	72
4-5	พังกาหัวสุมดอกแดงก่อนการต้ม (สด)	79
4-6	พังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มเมื่อแปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาการต้มในน้ำ	80
4-7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการอบแห้ง	105
4-8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง	106
4-9	ผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งแต่ละระดับความชื้น ก) 15% ข) 25% ค) 35%	107
4-10	บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาใส ที่มีการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้น	111
4-11	บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ ที่มีการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้น	111
4-12	ค่าความสว่าง (L*) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ	116
4-13	ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-14 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ 117

4-15 คะแนนความชอบด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ 121

4-16 คะแนนความชอบจากการด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ 122

4-17 คะแนนความชอบจากการด้านสีของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ 122

4-18 คะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ 123

4-19 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ 123

4-20 คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ 124

4-21 หน้าแรกของการเผยแพร่ข้อมูลบนเว็บ http://kst.buu.ac.th/~mangorve/ 126

4-22 ข้อมูลเบื้องต้นของพังกาหัวสุมดอกแดงที่เผยแพร่ข้อมูลบนเว็บ http://kst.buu.ac.th/~mangrove/?q=node/7 126

4-23 ข้อมูลการผลิตแป้งจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่เผยแพร่ข้อมูลบนเว็บ http://kst.buu.ac.th/~mangrove/?q=node/9 126

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

พังกาหัวสุมดอกแดงเป็นพืชชนิดหนึ่งที่พบในพื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทย กล่าวคือเป็นบริเวณที่น้ำท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ ดินค่อนข้างแข็งและเหนียว (สิทธิโชค จันทร์ย่อง, 2552) พังกาหัวสุมดอกแดงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Bruguiera gymnorrhiza (L) Savigny* อยู่ในวงศ์ Rhizophoraceae มีชื่อเรียกอื่นคือ ประสัก ประสักแดง โกงกางหัวสุม พังกาหัวสุม และพลัก มีรายงานว่าฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นแหล่งสำคัญของคาร์โบไฮเดรต และมีปริมาณแคลเซียมที่ค่อนข้างสูง (สมนึก เวศวงศ์ษาทิพย์, 2539) ชาวบ้านในพื้นที่ป่าชายเลนนิยมนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาบริโภคโดยต้มให้สุกก่อนรับประทาน นอกจากนี้หน่วยงานทางราชการต่างๆ เช่น สถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลน พยายามส่งเสริมให้ชุมชนป่าชายเลนมีการนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารรูปแบบต่างๆ เช่น ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกวน ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเชื่อม และไวน์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดง เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ยังอยู่ในรูปแบบจำกัด อายุการเก็บรักษาสั้น และผลิตภัณฑ์ยังมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งต้นพังกาหัวสุมดอกแดงจะออกฝักเพียงช่วงสั้นๆ เพียงหนึ่งครั้งต่อปี คือ ในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง ประมาณเดือนสิงหาคม ดังนั้น เมื่อมีลูกค้ามาสั่งซื้อในช่วงเดือนอื่นๆ ของปี ทางชุมชนก็ไม่สามารถผลิตให้ได้ ทางสถานีและผู้นำชุมชนจึงพยายามหาแนวทางในการเก็บรักษาฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเพื่อให้มีวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ตลอดทั้งปี โดยได้ทำการเช่าห้องเย็นของบริษัทเอกชนเพื่อแช่แข็งฝักพังกาหัวสุมดอกแดง แต่ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บเป็นจำนวนมาก จึงต้องเสียค่าเช่าห้องแช่แข็งในราคาแพง เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก นอกจากปัญหาด้านการจัดเก็บวัตถุดิบแล้ว ยังพบปัญหาในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ คือ ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีความฝาดขมมากจึงทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตได้ยังมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ บางครั้งยังมีความฝาดขมตกค้างด้วย และเมื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บสั้น นอกจากนี้ยังไม่ทราบข้อมูลด้านองค์ประกอบทางโภชาการหรือคุณค่าที่เป็นประโยชน์ทางอาหารของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปได้จึงไม่สามารถให้ข้อมูลกับนักท่องเที่ยวหรือผู้บริโภครวมถึงชุมชนในท้องถิ่นถึงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ (เกษมจ่าพันดุง, 2552) กลุ่มชุมชนโดยสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 จึงมีความต้องการให้คณะผู้วิจัยดำเนินการปรับปรุงคุณภาพการผลิตฝักพังกาหัวสุมดอกแดงซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมของชุมชน รวมทั้งอยากให้ช่วยหาแนวทางในการลดต้นทุนในการจัดเก็บ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายจากต้นพังกาหัวสุมดอกแดง เพื่อเป็นแรงจูงใจอีกทางหนึ่งที่จะให้ชาวบ้านเห็นประโยชน์ของการอนุรักษ์และปลูกป่าชายเลน ซึ่งจะทำให้ป่าชายเลนสามารถอยู่คู่กับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

ในการนี้คณะผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการยึดปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง การพัฒนาที่สมดุลและยั่งยืน การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์การอาหารมาใช้ให้เกิดการพัฒนาอย่างเหมาะสม เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจฐานราก โดยมีความตั้งใจจะยกระดับและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นให้ดีขึ้น และจากรายงานการวิจัยของนันทวัน บุณยะประภัศร และคณะ (2545)

พบว่าฝักพังกาหัวสุมดอกแดงนอกจากจะเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ดีแล้ว ยังมีปริมาณใยอาหาร และแคลเซียมสูง อีกทั้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงอีกด้วย จึงมีความต้องการปรับปรุงคุณภาพ และถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตแป้งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมทั้งการผลิตฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน โดยครอบคลุมถึงการพัฒนากรรมวิธีการผลิตให้สามารถแก้ปัญหาที่พบโดยทำให้ผลิตภัณฑ์เก็บรักษาได้นาน มีคุณภาพสม่ำเสมอ ไม่มีความฝาดขมตกค้าง ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการ และพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม และถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยสู่ชุมชนในท้องถิ่น เพื่อสามารถนำวัตถุดิบที่มีมากในท้องถิ่นมาแปรรูปได้ตามศักยภาพ

ในการพัฒนากรรมวิธีการผลิตแป้งสามารถใช้กระบวนการผลิตแป้งแบบโม่แห้งมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ โดยการเพิ่มขั้นตอนของการกำจัดความฝาดขมโดยการปรับกระบวนการดั้งเดิมที่ต้องใช้ขั้นตอนที่ยุ่งยากและเวลานานมาเป็นกระบวนการใหม่ที่อาศัยแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยเพื่อลดระยะเวลาให้สั้นลง สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ และให้คุณภาพของผลิตผลที่สม่ำเสมอ ส่วนผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานสามารถใช้ทฤษฎีแนวคิดการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารประเภทกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food) มาดำเนินการแปรรูปได้ โดยมีหลักการคือ การแปรรูปให้ผลิตภัณฑ์ให้มีค่า water activity อยู่ในช่วง 0.6 - 0.9 ซึ่งจะมีน้ำที่เป็นประโยชน์ในการทำปฏิกิริยาทางเคมีและเพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ฉะนั้นอาหารจึงมีคุณสมบัติในการคงตัวดีโดยที่ยังมีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติไม่แตกต่างจากของสดมากนักและมีอายุการเก็บรักษานาน (ไพโรจน์ วิระยะจารี, 2539) วิธีการหนึ่งที่สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่มีคุณภาพดี คือ การประยุกต์ใช้กรรมวิธีการดึงน้ำออกจากอาหารด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ความร้อน วิธีออสโมซิสเป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากอาหารอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหารลง โดยอาหารมีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่างๆ เพียงเล็กน้อย ก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสจะมีความชื้นลดลงจึงทำให้ลดเวลาในการอบแห้งโดยการใช้ความร้อนลงได้ และจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงของสด (Le Marguar, 1988; Erba, 1994) การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสทำได้โดยการแช่ชิ้นอาหารลงในสารละลายออสโมติก ซึ่งสารละลายออสโมติก หมายถึง สารละลายเข้มข้น ซึ่งมีค่าแรงดันสูงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ระหว่างภายในเซลล์ของชิ้นอาหารและสารละลายภายนอก เกิดเป็นแรงขับ (driving force) ให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างชิ้นอาหารและสารละลายภายนอกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์หรือเซลล์เมมเบรนที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านน้ำภายในเซลล์อาหาร จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอกขณะเดียวกันตัวถูกละลายภายนอก จะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในเซลล์ของอาหาร สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ (natural soluble substance) จะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก (Torregiani and Bertolo, 2001) ดังนั้น การเลือกใช้สารละลายออสโมติกจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหารหลังการออสโมซิส สารละลายออสโมติกที่นิยมใช้ มีราคาถูก และหาง่าย

ได้แก่ น้ำเชื่อมเตรียมจากน้ำตาลทราย อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการเติมเกลือในปริมาณเล็กน้อยจะช่วยให้เกิดแรงขับในระหว่างการออสโมซิสมากขึ้น ช่วยให้การถ่ายเทมวลสารดีขึ้น (Sacchetti, Gianotti, and Dalla Rosa, 2001) นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าการเติมกลีเซอรอล (glycerol) ลงในสารละลายออสโมติกจะช่วยลดความแข็งกระด้างของเนื้อสัมผัสอาหารที่แช่ระหว่างการออสโมซิสได้ เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีสมบัติเป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสอาหาร (plasticizer) และยังสามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Clubbs,Vittadini, Shellhammer, and Vodovotz, 2005; Pouplin, Redl, and Gontard, 1999) กลีเซอรอล เป็นสารที่มีรสหวาน สกัดได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสไขมันทั้งจากพืชและสัตว์ มีความข้นหนืด ในทางอุตสาหกรรมอาหารกลีเซอรอลจัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ได้จาก GRAS (generally recognized as safe) จากสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ.1959 และจัดอยู่ในรายการของสารที่มีคุณสมบัติหลากหลาย (multipurpose) หากมีอยู่ในอาหารจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น เช่น เพิ่มความหวาน มีความคงตัวดีขึ้น จัดเป็นสารคงความชื้น (humectants) ช่วยลดค่า water activity จึงลดความเสี่ยงจากการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้อายุการเก็บนานขึ้น ป้องกันการเปลี่ยนสี กลิ่นรส และรสชาติ เมื่อเก็บไว้นาน ดังนั้นจึงช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้นุ่มนวล และยืดหยุ่น ควบคุมการระเหยและการตกผลึก (graining) ให้ช้าลง อีกทั้งทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ติดกับวัสดุบรรจุภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งไม่เยิ้มน้ำ ดูน่ารับประทาน (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546; วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2546) จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตปรับปรุงคุณภาพฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานโดยการนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาทำให้สุก แล้วดึงน้ำออกโดยใช้วิธีออสโมซิสเพื่อลดปริมาณน้ำ โดยพบว่าการใช้สารละลายผสมเป็นสารละลายออสโมติกจะมีส่วนช่วยให้การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสดีขึ้นและช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารหลังการออสโมซิสได้ เนื่องจากสารที่ใช้แต่ละชนิดจะมีข้อดีช่วยเสริมประสิทธิภาพการออสโมซิสได้ แล้วจึงนำมาอบแห้งเพื่อลดปริมาณความชื้นและ water activity ให้เป็นผลิตอาหารประเภทกึ่งแห้ง

ผลงานวิจัยจากโครงงานวิจัยนี้จะได้กรรมวิธีการผลิตแป้งที่มีแคลเซียมและใยอาหารสูงจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดง ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้ง่าย ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย อีกทั้งได้กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดงซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีคุณภาพตามมาตรฐานการผลิตอาหาร และสามารถเก็บรักษาได้นาน รวมถึงทราบคุณภาพ องค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ หรือ สมบัติที่เป็นประโยชน์อื่นๆ ของผลิตภัณฑ์จากพังกาหัวสุมดอกแดง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกที่ตอบสนองความต้องการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สามารถนำไปถ่ายทอดสู่ชุมชนเพื่อให้ชุมชนนำไปขยายผลสู่การจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ได้ใช้เทคโนโลยีซับซ้อน ชั้นสูง หรือต้องการการลงทุนเพิ่มเติมมาก ทำให้ชุมชนสามารถผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่มีมาตรฐาน สร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ให้ชุมชน สอดคล้องกับการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ของท้องถิ่นและสามารถสร้างเป็นอาชีพเสริมหรืออาชีพหลักให้กับชุมชนได้ และนอกจากนี้ ทางคณะผู้วิจัยยังจะทำการสร้างเว็ปไซต์และพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

บนเว็ปเพื่อให้ผู้สนใจอื่นๆ สามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยง่ายและสามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงในเชิงวิชาการได้ เป็นการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะประชาสัมพันธ์ให้ผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวาง

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

2) ศึกษากรรมวิธีในการผลิตแป้งที่มีแคลเซียมและใยอาหารสูงจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

3) พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงเพื่อใช้เป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

4) เพื่อพัฒนากรรมวิธีการผลิตฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่เหมาะสม

5) เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่พัฒนาได้

6) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์รูปแบบต่างๆ

7) เพื่อถ่ายทอดฐานข้อมูลทางโภชนาการและเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบสู่ชุมชนและสาธารณะ

ขอบเขตของโครงการวิจัย

การศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต คุณค่าทางโภชนาการ เป็นการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม dietary fiber สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

เพื่อเป็นการลดปัญหาด้านการจัดเก็บวัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นอกฤดูกาล และความไม่สม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง ขั้นตอนนี้จึงศึกษากรรมวิธีในการผลิตแป้งที่มีแคลเซียมและใยอาหารสูงจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดง ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาวิธีการลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง โดยแบ่งวิธีในการลดความฝาดขมเป็น 2 วิธี คือ การต้มด้วยน้ำเปล่า และการต้มร่วมกับการแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ นำตัวอย่างที่ได้มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใช้วิธีดั้งเดิมของชาวชุมชน คือ การแช่ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในน้ำขี้เถ้า เป็นเวลา 3 วัน แล้วค่อยนำมาต้มอีกประมาณ 3 ชั่วโมง ด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสวิธีการเชิงพรรณนา โดยการให้คะแนนความเข้มของคุณลักษณะด้านรสชาติ เลือกตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นของด่างน้อยที่สุด ที่สามารถลดความฝาดขมได้มา 1 ตัวอย่าง

เพื่อใช้ในการผลิตแป้งต่อไป จากนั้นนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการลดความฝาดขมมาสไลด์เป็นแผ่นบางๆ แล้วนำมาอบแห้งในตู้อบลมร้อน หาระยะเวลาในการอบแห้ง แล้วนำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งไปบดด้วยเครื่องบดแป้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช นำแป้งที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณแคลเซียม dietary fiber และสมบัติด้านความหนืด และการพองตัวของเม็ดแป้ง

ศึกษาการนำแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงไปใช้ทดแทนวัตถุดิบจากฝักสดในการทำผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกวน โดยการหาอัตราส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการผลิต เปรียบเทียบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กับผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม เพื่อกำหนดสูตรต้นแบบที่เหมาะสม จากนั้นทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูปซึ่งจัดเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ที่มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น พกพาสะดวก และปรุงรับประทานเองได้โดยง่าย เพียงแค่นำส่วนผสมต่างๆ ในซองมาผสมรวมกัน เติมน้ำและกะทิเพียงเล็กน้อย นำเข้าไมโครเวฟหรือให้ความร้อนเพียงเล็กน้อยก็สามารถรับประทานได้ เป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคอีกทางหนึ่ง และเพิ่มช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น

พัฒนากรรมวิธีการผลิตฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่เหมาะสม โดยหาวิธีการทำให้ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงสุกที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบวิธีการทำให้สุกแบบต้มหรือนึ่ง ดำเนินการหาสภาวะของการออสโมซิสที่เหมาะสมโดยมีการใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายน้ำตาลทรายร่วมกับเกลือและกลีเซอรอล เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แล้วดำเนินการหาเวลาของการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนที่เหมาะสมเพื่อลดความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ลงให้เป็นอาหารกึ่งแห้ง เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานจะนำมาศึกษาหารูปแบบการบรรจุที่เหมาะสมแล้วนำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ดำเนินการสำรวจโดยใช้แบบสอบถามร่วมกับการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์

เพื่อถ่ายทอดฐานข้อมูลทางโภชนาการและเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบสู่ชุมชนและสาธารณะ ขั้นตอนนี้จึงเป็นการจัดทำเว็ปไซต์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย พร้อมทั้งพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็ป (Web-based Application) ซึ่งทำให้ผู้สนใจสามารถเข้าถึงองค์ความรู้และเรียกใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้ตลอดเวลา และทางคณะผู้วิจัยจะจัดทำเอกสารเพื่อเผยแพร่ให้แก่ผู้สนใจในชุมชน เพื่อให้ชาวบ้านในชุมชนสามารถนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปผลิตเพื่อขยายผลในด้านเศรษฐกิจต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบวิธีการที่เหมาะสมในการลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

2) ทราบวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตแป้งจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดงและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ฝักพังกากวนกึ่งสำเร็จรูป

3) ทราบวิธีการที่เหมาะสมในการแปรรูปฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน

4) ทราบแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงรูปแบบใหม่ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 พังกาหัวสุมดอกแดง

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (สิทธิโชค จันทร์ย่อง, 2552)

พังกาหัวสุมดอกแดงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny ชื่อวงศ์ Rhizophoraceae ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ คือ เป็นรูปกระสวย ขนาด 1.5-2 x 7-25 ซม. เป็นเหลี่ยมหรือมีสันเล็กน้อย สีเขียวเข้มแกมม่วง เมื่อผลแก่จัดมีสีม่วงดำ โดยลักษณะของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงแสดงดังภาพที่ 2-1

ภาพที่ 2-1 ลักษณะของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง
ที่มา: www.bedo.or.th/lcdb/biodiversity/view.aspx?id=8500

2.1.2 การนำไปใช้ประโยชน์

พังกาหัวสุมดอกแดงเป็นยาฝาดสมานแก้อาการท้องเสียและไข้มาลาเรีย ใช้กินกับหมากและใช้หยอดตา ส่วนลำต้นของพังกาหัวสุมดอกแดงจะเป็นไม้ที่เนื้อค่อนข้างแข็งนำไปใช้เป็นเสา เสาเรือน แพ คันเบ็ด เสาโทรเลข ทำฟืน เผาถ่าน สร้างที่อยู่อาศัย ทำเครื่องมือประมง เสาไม้ที่มีอายุประมาณ 10 ปี เพราะทนทานต่อการทำลายของปลวกและเพรียงน้ำจืด ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษแต่กระดาษคุณภาพต่ำ ทำกาว เปลือก ให้น้ำฝาด ให้สีย้อมผ้า ย้อมอวนชนิดหนา และย้อมหนังได้อย่างดีส่วนฝักสามารถนำมารับประทานได้ โดยการทำให้สุกอาจเชื่อมเป็นของหวาน คล้ายสาเกเชื่อม

2.2 แป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้ง หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก แป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เรียกว่า Corn flour และ Wheat flour เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7-8 เปอร์เซ็นต์ ก็เรียกว่า Rice flour

2.2.1 การผลิตแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

การผลิตแป้งโดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การผลิตแป้งโดยวิธีโม่เปียก โดยนำวัตถุดิบมาปั่นกับน้ำกลั่น กรองกากออกด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นต่ำกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ นำแป้งไปบดละเอียดด้วยเครื่องบด นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้แป้งตามต้องการ วิธีที่ 2 การผลิตแป้งโดยวิธีโม่แห้ง โดยนำวัตถุดิบไปบดละเอียดด้วยเครื่องมือบดละเอียด (Blender) ด้วยความเร็วปานกลาง และนำไปอบแห้งแล้วบดเช่นเดียวกับวิธีที่ 1

2.2.2 คุณสมบัติของแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.2.2.1 การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในแป้ง เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุล ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยพบว่าแป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว สามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณ 39.9, 42.9, 50.9 และ 51.4 กรัมต่อน้ำหนักแป้งแห้ง 100 กรัม

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกัน แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืด และความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์หมดไป เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งมีหลายประการ คือ

a) ชนิดของแป้ง แป้งจากธัญพืชมีการพองตัวและการละลายสองขั้น แป้งจำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุด แต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำสุดเนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูง ทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ แป้งจากส่วนรากหรือส่วนกลางของลำต้นกำลังการพองตัวและการละลายสูงกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่าและเกิด

เจลาทิไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช และแป้งจากส่วนหัว มีการพองตัวสูงและเกิดที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ

b) ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง หรือจำนวนและชนิดของพันธะภายในเม็ดแป้ง

c) สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว

d) คุณสมบัติหลังการดัดแปรทางเคมี การดัดแปรด้วยกรดทำให้เกิดการแตกออกของพันธะภายในร่างแห ทำให้เม็ดแป้งกระจายออกเป็นชิ้นเล็กๆ การละลายและการพองตัวสูงขึ้น แต่การดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน เกิดการแทนที่ของหมู่อื่นภายในโมเลกุลแป้ง ทำให้พันธะภายในเม็ดแป้งอ่อนแอลง อุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ต่ำลง การพองตัวเพิ่มขึ้น

e) ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว

2.2.2.2 ความหนืด

2.2.2.2.1 ปัจจัยการเกิดความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่

a) ชนิดของแป้ง แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติความหนืดแตกต่างกันไป ดังแสดงในภาพที่ 2-2 ความหนืดที่เกิดขึ้นของน้ำแป้ง เมื่อให้ความร้อนและมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอจากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ไปถึง 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที จึงลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส อีกครั้ง จะเห็นว่าแป้งแต่ละชนิดจะให้ลักษณะ (Profile) ของความหนืดแตกต่างกัน โดยวัดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA)

จากการแบ่งประเภทของแป้งตามกราฟแสดงความหนืด สามารถแบ่งรูปแบบความหนืดของแป้งสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้ง แบ่งเป็น 4 แบบ ดังภาพที่ 2-3

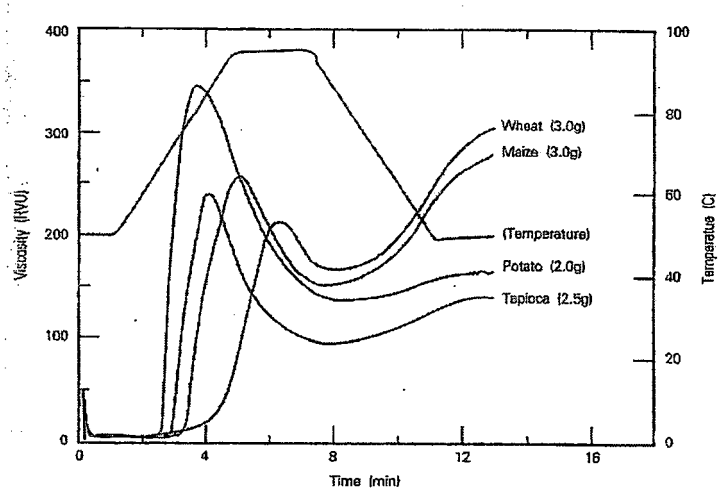
แบบ a : กราฟจากเม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูง (High-swelling starches) เช่น แป้งมันฝรั่ง (Potato starch) แป้งข้าวฟ่าง (Waxy sorghum starch) แป้งจากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งกระจายตัวออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงชันแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

แบบ b : กราฟจากเม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (Moderate-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่างๆ เม็ดแป้งไม่พองตัวมากถึงขั้นกระจายตัวออก จึงได้ลักษณะกราฟความหนืดที่สูงชันน้อยน้อยกว่าและเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

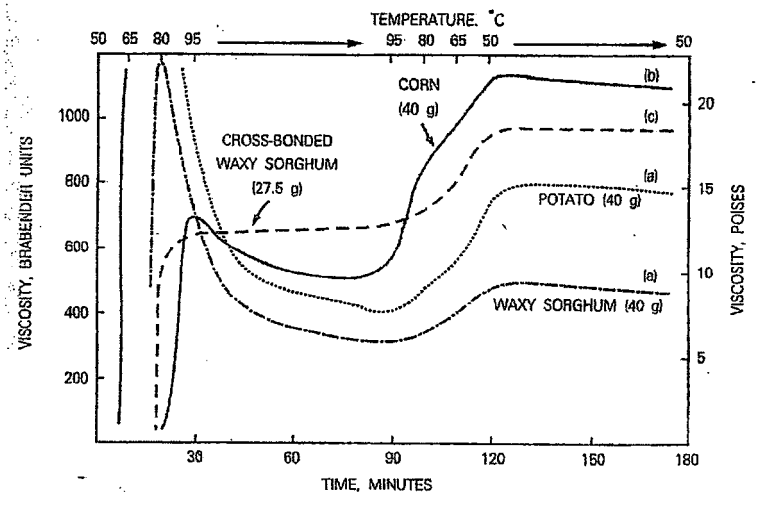
แบบ c : กราฟจากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อย (Restricted-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากถั่วต่างๆ และแป้งครอสลิงหรือพันธะข้าม (Cross-linked หรือ Cross-bonded) วิธีครอสลิง

ทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งลดลง ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ลักษณะกราฟความหนืดจึงไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างต้มสุก

แบบ d : กราฟจากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (Highly-restricted swelling starches) ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดอะไมโลเมสซึ่งมีอะไมโลส 50 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (ไม่มีแสดงในภาพ)



ภาพที่ 2-2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสาลี แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง
ที่มา : Newport Scientific Pty, Ltd., 1995 อ้างอิงใน กล้าณรงค์ ศรีรอต และคณะ (2546)



ภาพที่ 2-3 รูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่าง ๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว
ที่มา : Leach, 1965 อ้างอิงใน กล้าณรงค์ ศรีรอต และคณะ (2546)

2.3 ขนมไทย (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546)

ขนมไทย หมายถึง อาหารที่ทำจากวัตถุดิบต่างๆ เช่น แป้ง ข้าว กะทิ น้ำตาล ไข่ หรือ อื่นๆ มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว สีสันสวยงาม มีรสหวานอร่อย กลิ่นหอม อาจมีการเติมแต่งสี กลิ่น และรส

2.3.1 การแบ่งประเภทของขนมไทย (พูนศักดิ์ สักกทัตติยกุล, 2554)

ขนมไทยสามารถแบ่งตามวิธีการทำให้สุกได้ดังนี้

2.3.1.1 ขนมที่ทำให้สุกด้วยการกวน ส่วนมากใช้กระทะทอง กวนตั้งแต่เป็นน้ำเหลวใสจนงวดแล้วเทใส่พิมพ์หรือถาดเมื่อเย็นจึงตัดเป็นชิ้น เช่น ตะโก้ ขนมลืมกลืน ขนมเปียกปูน ขนมศิลาอ่อน และผลไม้กวนต่างๆ รวมถึง ข้าวเหนียวแดง ข้าวเหนียวแก้ว และกะละแม

2.3.1.2 ขนมที่ทำให้สุกด้วยการนึ่ง ใช้ลังถึง บางชนิดเทส่วนผสมใส่ถ้วยตะไลแล้วนึ่ง บางชนิดใส่ถาดหรือพิมพ์ บางชนิดห่อด้วยใบตองหรือใบมะพร้าว เช่น ช่อม่วง ขนมชั้น ข้าวต้มผัด สาลี่อ่อน สังขยา ขนมกล้วย ขนมตาล ขนมใส้ไส้ ขนมเทียน ขนมน้ำดอกไม้

2.3.1.3 ขนมที่ทำให้สุกด้วยการเชื่อม เป็นการใส่ส่วนผสมลงในน้ำเชื่อมที่กำลังเดือดจนสุก ได้แก่ ทองหยอด ทองหยิบ ฝอยทอง เม็ดขนุน กล้วยเชื่อม จาวตาลเชื่อม

2.3.1.4 ขนมที่ทำให้สุกด้วยการทอด เป็นการใส่ส่วนผสมลงในกระทะที่มีน้ำมันร้อนๆ จนสุก เช่น กล้วยทอด ข้าวเม่าทอด ขนมกง ขนมค้างคาว ขนมฝักบัว ขนมนางเล็ด

2.3.1.5 ขนมที่ทำให้สุกด้วยการนึ่งหรืออบ ได้แก่ ขนมหม้อแกง ขนมหน้านวล ขนมกลีบลำดวน ขนมทองม้วน สาลี่แข็ง ขนมจ่ามงกุฎ นอกจากนี้ อาจรวม ขนมครก ขนมเบื้อง ขนมดอกลำเจียกที่ใช้ความร้อนบนเตาไว้ในกลุ่มนี้ด้วย

2.3.1.6 ขนมที่ทำให้สุกด้วยการต้ม ขนมประเภทนี้จะใช้หม้อหรือกระทะต้มน้ำให้เดือด ใส่ขนมลงไปจนสุกแล้วตักขึ้น นำมาคลุกหรือโรยมะพร้าว ได้แก่ ขนมถั่วแปบ ขนมต้ม ขนมเหนียว ขนมเรไร นอกจากนี้ยังรวมขนมประเภทน้ำ ที่นิยมนำมาต้มกับกะทิ หรือใส่แป้งผสมเป็นขนมเปียก และขนมที่กินกับน้ำเชื่อมและน้ำกะทิ เช่น กล้วยบวชชี มันแกงบวด สาคูเปียก ลอดช่อง ซ่าหริ่ม

2.3.2 การกวนขนมไทย (วันดี ณ สงขลา, 2550)

การกวน หมายถึง การนำอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวมารวมกัน ตั้งไฟแรงปานกลาง ใช้เครื่องมือชนิดใดชนิดหนึ่งคนให้เร็วและแรงจนทั่วกัน กวนไปเรื่อยๆ จนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน คือ ข้นและเหนียว ใช้มือแตะอาหาร ไม่ติดมือเช่น การกวนกาละแม ขนมเปียกปูนตะโก้ ถั่วกวน ฯลฯ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้เราได้ขนมรสชาติอร่อย การกวนเป็นการลดปริมาณน้ำในเนื้ออาหารที่ดีที่สุดวิธีหนึ่ง อาหารที่นำมากวนส่วนใหญ่เป็นผลไม้สุกที่เหลือจากรับประทานสดๆ เช่น มะม่วง กล้วย มะยม เป็นต้น และที่เป็นผลผลิตทางการเกษตร เช่น มัน ถั่ว เผือก ข้าวเหนียว ฯลฯ วิธีการทำนั้นก็ไม่ยุ่งยาก เพียงแต่ต้องใช้เวลา นาน ก่อนอื่นต้องนำเนื้อผลไม้หรือผลผลิตทางการเกษตรที่ต้องการกวนนั้นมายีหรือขยี้ให้เนื้อแตกแล้วใส่ลงในกระทะทองเหลือง ตั้งไฟอ่อนๆ ใช้ไม้พายกวนหรือคนไปเรื่อยๆ เพื่อให้น้ำระเหยออกและไม่ให้เนื้ออาหารติดกระทะ ระหว่างนั้นใส่น้ำตาลลงไป ถ้าอาหารที่นำมากวนนั้นต้องการรสชาติมันๆ เพิ่มขึ้นด้วยก็ใส่มะพร้าวขูดหรือน้ำกะทิลงไป เติมเกลือสักเล็กน้อยเพื่อชูรส กวนจนเนื้อข้นเหนียวจึงค่อยยกลง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเก็บใส่ภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด มีอาหารที่ทำโดยวิธีการ

กวนอีกชนิดหนึ่งที่เพียงกวนแป้งและกะทิให้เข้ากับ น้ำตาล (ถ้าจะให้ดีควรใช้น้ำตาลปี๊บ) เท่านั้นก็มีรสชาติหวานมันอร่อย รับรองได้ว่าต้องเคยได้รับประทานทุกคน ขนมกวนนี้คือกะละแม

2.3.3 เทคนิคการทำขนมไทยประเภทกวน (พิชญ์สินี ประเสริฐศักดิ์, 2550)

ขนมไทยประเภทกวน จะต้องมีหลักการกวนส่วนผสมให้ไปในทิศทางเดียวกันเพื่อให้ส่วนผสมข้น เหนียวเร็วยิ่งกวนนาน ขนมยิ่งเหนียว การกวนขนมที่ใช้แป้ง ควรคนให้ทั่วถึงก้นกระทะเพื่อไม่ให้ติดก้นกระทะ จนแป้งเริ่มจับตัวข้น หรือเริ่มสุก แป้งจะจับตัวเป็นก้อน มีความหนืด ต้องจับพายไม้ในการกวนให้แน่นการกวนขนมที่ใช้พืช พืชที่นำมากวนมีหลายชนิด ถ้าเป็นพืชเนื้อแน่น เช่น เผือก ถั่วเมล็ดแห้ง ควรนึ่งหรือต้มให้สุกเสียก่อน จึงบดให้ละเอียด แล้วกวนกับน้ำกะทิ ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เป็นก้อน จึงใส่น้ำตาล กวนให้ทั่วถึงก้นกระทะ ไม่หยุดมือ จนกว่าขนมจะข้นและเหนียวลักษณะที่ดีของส่วนผสมขนมไทยประเภทกวน คือ ส่วนผสมจะเป็นก้อน มีความข้นเหนียว เกือบแห้ง ไม่ติดภาชนะ สามารถกดปั้นเป็นรูปร่างได้ โดยเฉพาะการกวนผลไม้

2.3.4 วัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นส่วนผสมของขนมไทย

2.3.4.1 กะทิ

น้ำกะทิเป็นของเหลวที่ได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าวสดขูด อาจเติมน้ำหรือไม่เติมก็ได้และมีลักษณะเป็นอิมัลชั่นชนิดน้ำมันในน้ำ(oil-in water) ซึ่งหมายถึง ลักษณะของน้ำมันจะกระจายอยู่ในสารละลายน้ำ และถูกล้อมรอบหรือห่อหุ้มด้วยโปรตีนสภาพดังกล่าวอาจเกิดจากระบบที่มีแรงตึงผิว (Interfation)ระหว่างโมเลกุลของน้ำและไขมันที่ต่ำลงเพราะมีโปรตีนเป็นตัวลดแรงตึงผิว องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกะทิเมื่อคั้นโดยไม่เติมน้ำมีดังนี้ ไขมันร้อยละ 44.60 โปรตีนร้อยละ 4.13 น้ำตาลร้อยละ 5.40 และเกลือแร่ร้อยละ 1.03

โดยธรรมชาติของน้ำกะทิเมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้น ชั้นบนหัวกะทิ (coconut cream) ชั้นล่างเป็นหางกะทิ(coconut skim milk) เมื่อลดอุณหภูมิของน้ำกะทิลงถึง 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะสามารถปั่นแยกเอาหัวกะทิออกมาได้ และถ้าล้างหัวกะทิด้วยสารละลายเกลือน้ำประปา และน้ำกลั่นเพื่อกำจัดโปรตีน น้ำตาล เกลือแร่ ที่ละลายอยู่ออกไประบบอิมัลชั่นจะเปลี่ยนแปลงจากชนิดน้ำมันในน้ำเป็นน้ำในน้ำมัน (water-in-oil)

คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำกะทิขึ้นอยู่ปัจจัยหลายอย่างด้วยกันได้แก่ ความแก่อ่อนของมะพร้าว และสภาวะที่ใช้ในการแปรรูปซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญ เช่น วิธีการสกัด และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัด เป็นต้น การสกัดแบบสองครั้งเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำต่อเนื้อมะพร้าวเท่ากับ 1:1 จะได้น้ำกะทิ ที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 17.40 โปรตีนร้อยละ 1.50 และของแข็งทั้งหมดร้อยละ 22.91 แต่การสกัดแบบครั้งเดียวเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำต่อมะพร้าวเท่าเดิม ได้น้ำกะทิที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 15.20 โปรตีนร้อยละ 1.05 ของแข็งทั้งหมดร้อยละ 19.78 (วสันต์ ศิริวงศ์, 2537)

กะทิผง การนำกะทิมาแปรรูปเป็นกะทิผง ซึ่งเป็นกะทิที่ได้จากการนำกะทิสดมาทำให้เป็นผง เมื่อผสมน้ำแล้วสามารถนำไปใช้ได้ทันที มีลักษณะเป็นผงร่วน ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ มีสีและกลิ่นรสตามธรรมชาติของกะทิ และละลายได้ดีในน้ำ มีไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 โปรตีนไม่น้อย

กว่าร้อยละ 9 ความชื้นไม่เกินร้อยละ 2 และกรดไขมันอิสระ (กรดลอริก) ไม่เกินร้อยละ 0.9 จุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 10 โคโลนี/กรัม โคลิฟอร์ม น้อยกว่า 3 เอ็ม พี เอ็น ต่อกรัมของตัวอย่าง (สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม, 2528)

2.3.4.2 น้ำตาลทราย

น้ำตาลทราย เป็นน้ำตาลที่ได้จากอ้อย หรือ หัวบีต สำหรับเมืองร้อน เช่น ประเทศ น้ำตาลทรายได้จากอ้อย กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลทราย มี 5 ขั้นตอน ขั้นที่1 บีบอ้อยเพื่อให้ได้น้ำอ้อย ขั้นที่ 2สกัดน้ำอ้อยที่ได้บริสุทธิ์ด้วยการต้มกับปูนขาว ขั้นที่3 ระเหยน้ำอ้อย เพื่อให้ได้สารลายเข้มข้น ขั้นที่ 4 ผลผลึกน้ำตาล ขั้นที่5 แยกผลึกโดยเข้าเครื่องเหวี่ยง จะได้น้ำตาลดิบและกากน้ำตาลหรือโมลาส น้ำตาลดิบมีสีน้ำตาล มีเกลือแร่ วิตามินเล็กน้อย และมีกลิ่นหอม น้ำตาลดิบจะต้องไปฟอกสี และตกผลึกใหม่ได้เป็นน้ำตาลทรายขาว น้ำตาลมีหน้าที่ประกอบอาหารดังนี้ 1.ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์ 2. ช่วยให้เนื้อขนมมีลักษณะดี 3. เพิ่มคุณค่าทางอาหาร 4.ช่วยเก็บความชื้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มอยู่นาน 5. ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีดี (เข็มทอง นิ่มเจริญ, 2538)

ในการผลิตขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสำหรับงานวิจัยนี้ได้ดัดแปลงสูตรและวิธีการผลิตมาจากขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนของชาวชุมชนตำบลบ่อและการผลิตเผือกกวนซึ่งมีสูตรและวิธีการผลิตดังนี้

ขนมเผือกกวน

ขนมเผือกกวนมีส่วนผสม ดังนี้

1. เผือกดิบ 500 กรัม
2. หัวกะทิ 2 ถ้วยตวง
3. น้ำตาลปึก 1/4 ถ้วยตวง
4. น้ำตาลทราย 2 ถ้วยตวง

วิธีทำขนมเผือกกวน เริ่มจากการล้างเผือกให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นขนาดพอเหมาะ แล้วนึ่งให้สุก จากนั้นลอกเปลือกเผือกออกให้หมด แล้วบดหรือยีให้ละเอียด แบ่งหัวกะทิเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งผสมน้ำตาลทราย น้ำตาลปึก เกลือป่นลงในกระทะทองเหลืองตั้งไฟอ่อนๆ ใส่เผือกที่บดไว้ ลงกวนในกระทะทองเหลือง กวนจนกะทิลดลง ค่อยๆ เติมหัวกะทิส่วนที่เหลือกวนต่อไปจนหัวกะทิหมดและเผือกกวนแห้งขนาดพอปั้นได้ ยกลง ปั้นหรือใส่พิมพ์ตามต้องการ

2.4 การทำให้สุกโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (วิไล รังสาดทอง, 2546)

พลังงานจากรังสีไมโครเวฟเป็นพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ 2,450 MHz หรือ 915 MHz การให้ความร้อนด้วยตู้อบไมโครเวฟต่างจากการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบธรรมดาคือเครื่องอบธรรมดาให้พลังงานความร้อนโดยเปลวไฟแบบเตาแก๊สหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ซึ่งจะ

ทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความร้อน 3 วิธี คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี แต่ตู้อบไมโครเวฟทำให้อาหารสุกโดยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูงถึง 2,450 ล้านรอบ/วินาที ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นๆต่อไป จนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้เองกลายเป็นพลังงานความร้อนจึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วกว่าการประกอบอาหารด้วยระบบอื่นๆ

อาหารส่วนใหญ่นี้มีน้ำเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังมีเกลือแร่ชนิดต่างๆ ละลายอยู่ เช่น โซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ เกลือแร่ที่ละลายในน้ำจะแตกตัวอยู่ในรูปที่มีประจุอะตอมของโซเดียม โพแทสเซียมและแคลเซียมจะมีประจุบวกที่เรียกว่า แคทไอออน เนื่องจากแคทไอออนจะเกาะติดแคโทด (ขั้วลบ) ส่วนคลอรีนจะมีประจุลบหรือที่เรียกว่า แอนไอออน โดยแอนไอออนจะเกาะติดกับแอโนด (ขั้วบวก) หรือเกาะติดกับแผ่นโลหะที่มีประจุบวก

อาหารหรือวัตถุใดๆ ก็ตามซึ่งมีประจุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในสนามไฟฟ้านั่นคือ การเกิดการเปลี่ยนแปลงในตู้อบไมโครเวฟ เช่น โครงสร้างโมเลกุลของน้ำซึ่งมีอะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอม เกาะติดกับออกซิเจนอะตอม ด้วยมุม 105 องศาเซลเซียส ไฮโดรเจนอะตอมมีประจุบวก 1 ประจุ ส่วนออกซิเจนอะตอมมีประจุลบ 2 ประจุ เรียกโมเลกุลที่มีลักษณะดังกล่าวว่า ไดโพล (dipole) หรือโมเลกุลไดโพล ส่วนโมเลกุลที่อยู่ในรูปของแข็ง เช่นน้ำแข็งที่ถูกล็อกโดยโครงสร้างของผลึกน้ำแข็งจะไม่สามารถหมุนไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้าได้ จึงไม่เกิดการชนกัน

ปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับโมเลกุลที่มีขั้ว เช่น น้ำ เป็นกลไกหลักที่ทำให้เกิดความร้อนในการใช้คลื่นไมโครเวฟกับอาหารทั่วไปยกเว้น อาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง เช่น แฮม

คลื่นไมโครเวฟไม่ใช่ความร้อน แต่เป็นรูปหนึ่งของพลังงาน คลื่นไมโครเวฟจะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนโดยการทำให้อนุภาคหรือโมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกัน และเกิดความร้อนขึ้นเมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2,450 ล้านรอบ/วินาที พุ่งเข้าหาอาหารทุกทิศทาง โดยรอบของผนังตู้ด้านในแล้วแผ่กระจายไปยังอาหาร จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางในสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดการเสียดสีของโมเลกุลภายในอาหาร พลังงานจะเคลื่อนย้ายไปยังไอออน และอะตอมหรือโมเลกุลใกล้เคียงกัน ก่อให้เกิดความร้อนขึ้นและอาหารสุกอย่างรวดเร็วคล้ายกับการถูมือไปมาเร็วๆ จะทำให้รู้สึกร้อนขึ้นมาทันที

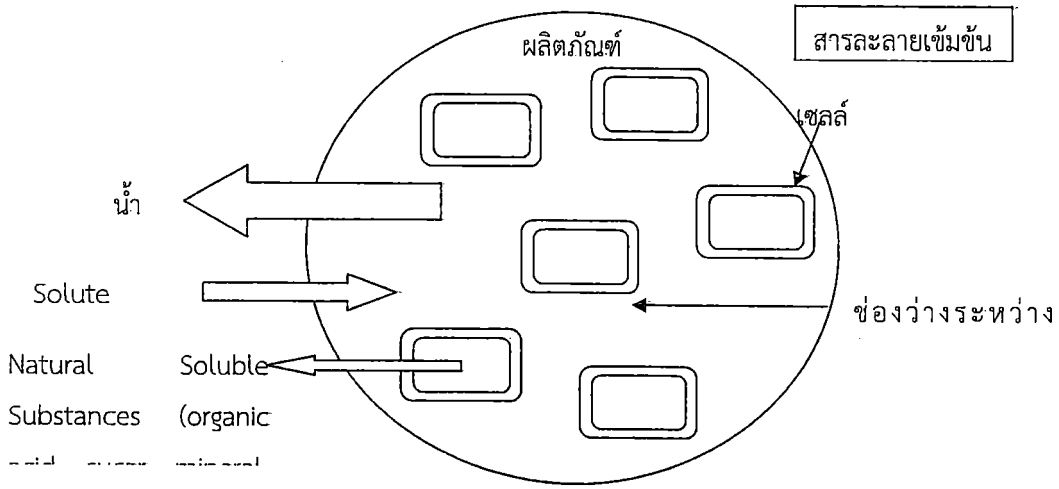
2.5 การดึงน้ำออกแบบออสโมซิส (Osmotic dehydration)

การออสโมซิสดำเนินการโดยแช่อาหารในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งนิยมใช้น้ำตาลหรือเกลือ ซึ่งการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส มีประโยชน์ในด้านช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร เพื่อทำให้กระบวนการผลิตสมบูรณ์ยิ่งขึ้น หลักการพื้นฐานของการออสโมซิสเกี่ยวข้องกับเซลล์ (ของพืชผักหรือผลไม้) ที่ถูกแช่ในสารละลายที่มี

ความเข้มข้นสูง จึงทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนน้ำให้ออกจากชิ้นอาหาร เนื่องจากเกิดแรงดันออสโมติกที่สูง (มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่า) ในสารละลายออสโมติก โดยเซลล์ของอาหารทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านที่เรียกว่า semi-permeable membrane ซึ่งตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจะเคลื่อนที่เข้าไปในชิ้นของอาหาร ดังนั้นการทำแห้งแบบออสโมติซ จึงให้นิยามได้ว่าการออสโมซิสเป็นการถ่ายเทมวลของสารแบบสวนทางกัน (Lenart and Flink, 1984) โดยน้ำที่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ชิ้นอาหารในลักษณะสวนทางกันและจะเกิดสภาวะเช่นนี้จนเข้าสู่สมดุลของสารละลายทั้งสอง นอกจากนี้สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์โดยธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือแร่ จะแพร่ออกนอกเซลล์ด้วย (Torreeggiani, 1993) เป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน (counter-current mass transfer) ดังนี้ คือ

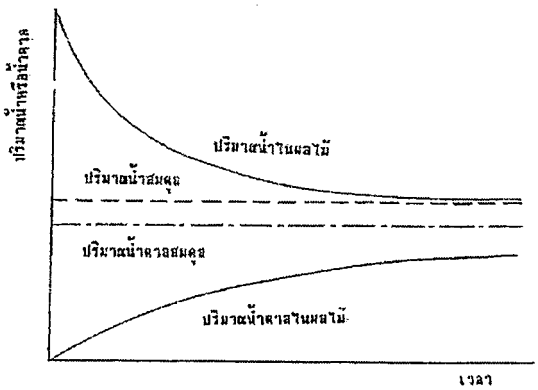
- น้ำภายในเซลล์ของผักผลไม้ จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก
- ขณะเดียวกันตัวถูกละลายภายนอก เช่นน้ำตาลหรือเกลือจะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้หรือเนื้อผักผลไม้
- สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ (natural soluble substance) เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล และเกลือแร่ เป็นต้น จะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก

เซลล์ของผักผลไม้ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านจะยอมให้น้ำแพร่ผ่านมากกว่าตัวถูกละลาย เนื่องจากตัวถูกละลายมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นน้ำจะแพร่กระจายออกจากเซลล์ผักผลไม้ได้มากกว่า การแพร่กระจายตัวถูกละลายภายนอกเข้าไปในเนื้อผักผลไม้โดยที่ตัวถูกละลายภายนอกจะแพร่กระจายเข้าไปในผักผลไม้ได้เฉพาะบริเวณขอบๆ และส่วนใหญ่จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ การถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายนี้ จะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุลของมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้ และสารละลายภายนอกที่สภาวะสมดุลนี้ อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำและตัวถูกละลายจะมีค่าคงที่ มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้และในสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ด้วย ซึ่งการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสจะทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ลดลงเป็นผลไม้ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ปริมาณของแข็งในชิ้นผลไม้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำตาลแพร่กระจายเข้าไปในชิ้นผลไม้ การออสโมซิสซึ่งทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ลดลงได้ประมาณ 50 %ของน้ำหนักเริ่มต้นและสารละลายออสโมติกใช้แล้วบางส่วนสามารถนำกลับมาเพิ่มความเข้มข้นเพิ่มนำไปใช้ใหม่ได้ โดยการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 การถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอก
ที่มา : อ่อนรวี รัตนาพันธุ์ (2533)

ในขณะที่ผลไม้แช่ในน้ำเชื่อม ผนังเซลล์ (cell membrane) จะทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) นั่นคือ ผนังเซลล์จะยอมให้น้ำซึมผ่านมากกว่าน้ำตาล ดังนั้น ถ้าแช่ผลไม้ในน้ำตาลเป็นระยะเวลาไม่นานนัก น้ำจะซึมออกจากเซลล์ได้มากเมื่อเทียบกับน้ำตาลซึ่งซึมเข้าไปในผลไม้ได้เฉพาะบริเวณขอบๆ และส่วนใหญ่จะอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ อาจกล่าวได้ว่าการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมซิส จะทำให้ปริมาณของน้ำในผลไม้ลดลง ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลซึมเข้าไปและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลง (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533) ซึ่งสมดุลมวลสารแสดงได้ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 สมดุลของน้ำและน้ำตาลในระหว่างการออสโมซิส
ที่มา : อ่อนรวี รัตนาพันธุ์ (2533)

2.5.1 วัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส

อาหารที่นำมาทำแห้งแบบออสโมซิสนี้ส่วนใหญ่จะเป็นประเภทที่เสื่อมเสียได้ง่าย เช่น ผักผลไม้ที่มีน้ำอยู่ภายในค่อนข้างสูง และมีสารพวกน้ำตาล แป้งและสารอื่นๆ รวมอยู่ในสภาพของสารละลายเจือจางโดยที่เปลือกหรือผิวนอกของเซลล์จะทำหน้าที่เป็น semi permeable membrane ที่มีประสิทธิภาพ โดยให้ชิ้นส่วนของผักผลไม้อยู่ในสภาวะที่ความเข้มข้นภายนอกมากกว่าภายในโมเลกุลของน้ำก็จะไหลออกมานอกชิ้นผลไม้ ทำให้ความชื้นที่อยู่ภายในผลไม้ลดลงไปได้ถึง 50-60 %ของน้ำหนักเดิม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นภายนอก ตัวอย่างผักผลไม้ที่ได้นำมาทำแห้งแบบวิธีออสโมซิสแล้ว ได้แก่ มันฝรั่ง แครอท ฝรั่ง เชอรี่ องุ่น มะม่วง เป็นต้น แต่ก็ยังมีผักผลไม้บางประเภทที่ไม่สามารถนำมาทำแห้งแบบออสโมซิสได้ เช่น หอม กระเทียม เพราะเป็นพวกที่มีปริมาณน้ำอยู่น้อยเกินไป หรือพวกที่มีปริมาณน้ำอยู่มากเกินไป และมีองค์ประกอบพวกน้ำตาลหรือแป้งอยู่น้อย เช่น แตงโม เพราะภายในเซลล์จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักอยู่มากเมื่อแยกน้ำออกมาแล้วจะทำให้โครงสร้างไม่สามารถคงรูปร่างลักษณะของเซลล์ให้คงรูปได้ จึงไม่สามารถทำแห้งแบบออสโมซิสได้ (วันวิสาข์ กระแสร์คุปต์, 2535)

2.5.2 ขั้นตอนการออสโมซิส

1) การเตรียมชิ้นผลไม้

การผ่าหรือหั่นชิ้นผลไม้ก่อนที่จะนำไปออสโมซิสมีอยู่หลายวิธีโดยขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้และความต้องการของตลาด เช่น หั่นเป็นชิ้นตามยาว หั่นเป็นชิ้นตามขวาง หั่นเป็นรูปลูกเต๋า เป็นต้น (วันวิสาข์ กระแสร์คุปส์, 2535)

2) การเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส

เป็นขั้นตอนการเตรียมชิ้นผลไม้ โดยการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่อาจเกิดจากเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ เช่น การแช่ผลไม้ในสารละลายกลุ่มซัลไฟต์หรือสารละลายที่ให้ค่าความเป็นกรด ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ รวมทั้งควรมีการรักษาเนื้อสัมผัสของผลไม้ให้คงรูป ไม่เปลี่ยนแปลง เช่น การแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หรือแคลเซียมไฮครอกไซด์ เป็นต้น (จินตนา ศรีผุย, 2546)

ในขั้นตอนการเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสยังเป็นขั้นตอนที่ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสซึ่งปกติจะเกิดขึ้นได้ช้า โดยการทำให้โครงสร้างเนื้อเยื่อของผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้การแพร่ของน้ำและตัวถูกละลายเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น ดังนั้น จึงมีการนำเทคนิคต่างๆ มาใช้เพื่อช่วยปรับปรุงการถ่ายเทมวลสารเช่น การลวกด การแช่แข็ง การใช้สภาวะสุญญากาศ การใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ การใช้

แรงดันสูง การใช้คลื่นเหนือเสียง เป็นต้น (Oliveira, Oliveira, Hendrickx, Knorr, Gorris, 1999; Rastogi, Raghavarao, Niranjan, & Knorr, 2002)

3) การแช่ในสารละลายออสโมติก

การแช่ผลไม้ในสารละลายออสโมติกนี้เป็นขั้นตอนของการลดน้ำหนักหรือลดความชื้นของผลไม้ โดยสารละลายจะมีตัวถูกละลายช่วยให้เกิดแรงดันออสโมติก ตัวถูกละลายต่างชนิดกันจะให้ผลในการลดความชื้นหรือลดน้ำหนักได้ต่างกัน โดยส่วนใหญ่ในขั้นตอนนี้จะลดความชื้นของผลไม้ได้ประมาณร้อยละ 50-60 ในสารละลายออสโมติกอาจมีการใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลขึ้นในช่วงการตากแห้งและการเก็บรักษาตัวอย่างที่ใช้ เช่นโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เป็นต้น (วันวิสาข์ กระแสร์คุปส์, 2535)

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส

1) ชนิดของสารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายน้ำตาล น้ำเกลือ ซอร์บิทอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส มอลโตส รวมทั้งน้ำเชื่อมข้าวโพดด้วย โดยสารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผักผลไม้ได้แก่ น้ำเชื่อมซูโครส น้ำตาลแลคโตสผสมกับน้ำตาลซูโครส สารละลายออสโมติกที่ใช้อาจมีการเติมสารอื่นๆลงไปด้วยเช่น กรดซิตริก เกลือซัลไฟต์ แคลเซียมคลอไรด์ สารออสโมติกที่ใช้ต้องมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำ มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ในการใช้จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีก 3 ข้อ คือ

- ต้องไม่ทำให้ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป
- มีราคาต่อหน่วยถูก ไม่ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นมาก
- สารละลายที่ใช้ควรมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เพราะถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้มีแรงดันออสโมติกสูง เช่น น้ำตาลกลูโคสจะมีแรงดันออสโมติกสูงกว่าน้ำตาลซูโครสจึงทำให้มีปริมาณน้ำตาลซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มากและเกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าการใช้น้ำตาลซูโครส ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่กระด้างขึ้น (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2522)

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย (2522) กล่าวว่า สารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผลไม้ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล แบะแซเหลว น้ำตาลแลกโตสผสมกับน้ำตาลซูโครสหรือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นต้น ส่วนสารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผักได้แก่ เกลือ เกลือผสมกับน้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล โพพิวลีนไกลคอล เป็นต้น ในสารละลายออสโมติกยังอาจเติมสารอื่นที่ใช้ในการผลิตลงไปด้วย เช่น กรดซิตริก เป็นต้น สารละลายออสโมติกที่ใช้จะต้องมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำ เป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและมีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ให้กลิ่นรสที่ดีต่อผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งการเลือกใช้สารละลายออสโมติกควรพิจารณาเพิ่มเติมดังนี้ คือ ต้องไม่ทำให้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของ

ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป มีราคาต่อหน่วยถูก ไม่ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงมากและสารละลายออสโมติกที่ใช้ควรมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เพราะถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีแรงดันออสโมติกสูง เช่น น้ำตาลกลูโครส จะมีแรงดันออสโมติกสูงกว่าน้ำตาลซูโครส จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อได้มาก และเกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าการใช้น้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์แข็งขึ้น (Ponting, Walters, Forrey, Jackson, & Stanley, 1996; Lerici, Pinnavaia, Dalla Rosa, & Bartolucci, 1985)

ขวัญสุดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา (2544) ได้ศึกษาการทำแห้งเห็ดฟางด้วยวิธีการออสโมซิส พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% ในการออสโมซิสเห็ดฟางทำให้เห็ดฟางมีค่าการสูญเสียน้ำหนักและค่าการซึมซับสารละลายมากที่สุดมากกว่าการใช้สารละลายชนิดอื่น และการใช้สารละลายกลูโคส 60% ทำให้เห็ดฟางมีค่าการสูญเสียน้ำมากที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% แต่มากกว่าการใช้สารละลายชนิดอื่นๆ ที่เวลา 30 นาที

Flink (1975) กล่าวว่า การเลือกใช้สารละลายออสโมติกที่เหมาะสมสามารถเพิ่มปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ถึง 28% และทำให้เวลาในการทำแห้งลดลง 20% และศึกษาถึงการใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสและโซเดียมคลอไรด์ในการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแอปเปิล พบว่า โซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงไปจะช่วยเพิ่มแรงขับของสารละลายและยังช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของผลิตภัณฑ์ ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ ถึงแม้ว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับน้ำตาลซูโครสจะให้ผลดี แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของความเค็มที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์

Sereno, Moreira, and Martincz (2001) ศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสของแอปเปิลในสารละลายซูโครส สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสมของตัวถูกละลาย 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ นำมาหาค่าปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและคำนวณหาค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทมวลสารของสารละลายทั้ง 3 ชนิด พบว่า อัตราส่วนของปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างที่ผ่านการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในสารละลายโซเดียมคลอไรด์อย่างเดียวมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำ

Marain, Agnelli, and Mascheroni (2007) ศึกษาผลของชนิดของสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสาร พบว่า การใช้สาระลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในระดับความเข้มข้นสูง ได้แก่ สารละลาย ฟรุกโตส สามารถเร่งการสูญเสียน้ำออกจากกีวีได้ดี ขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของของแข็งไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายกลูโครสความเข้มข้นต่ำ แต่การใช้สารละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีการสูญเสียน้ำจากกีวีอย่างช้าๆ ในช่วงแรกแต่จะมีอัตราเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของกระบวนการ และมีการเพิ่มขึ้นของของแข็งต่ำตลอดกระบวนการที่ใช้เวลานาน 25 ชั่วโมง

2) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้มีความสำคัญมาก เพราะจะมีส่วนช่วยในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยมีผลต่อค่า a_w ถ้าความเข้มข้นยิ่งมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะมาก เป็นผลทำให้อัตราการออสโมซิสเร็วขึ้นด้วย ความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อเลยค่านี้ไปแล้วจะไม่มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถเพิ่มความสามารถในการแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ได้ สารละลายชนิดเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจะทำให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น แต่ขณะเดียวกันน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในผลไม้ได้มากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเป็นข้อดีอันหนึ่งของวิธีการออสโมซิสนี้ คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่หวานจนเกินไป (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

Berstain, Azuara, Cortes, and Garcia (1990) ได้ศึกษาการทำแห้งสับปะรดด้วยการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสที่ความเข้มข้นของน้ำตาล 50 60 และ 70 องศาบริกซ์ และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสียของชิ้นผลไม้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เนื่องจาก เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้นทำให้ความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำตาลและน้ำภายนอกและภายในเซลล์ของสับปะรดมีค่าสูง จึงมีผลให้แรงขับสูงขึ้น

Sacchetti, Gionotti, and Dalla Rosa (2001) ศึกษาการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสของแอปเปิลโดยใช้ความแตกต่างของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นสูงกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ ควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเป็น 18-30 องศาเซลเซียส ซึ่งโซเดียมคลอไรด์จะช่วยเพิ่มอัตราการทำแห้งให้สูงขึ้น โดยใช้ความเข้มข้นที่ไม่มีผลในการยอมรับทางประสาทสัมผัส ถ้าความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสสูงเกินไปจะทำให้อัตราการทำแห้งลดลง ในขณะที่การใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับน้ำตาลซูโครสจะเป็นการเพิ่มอัตราการทำแห้งให้สูงขึ้น

3) อุณหภูมิการออสโมซิส

อุณหภูมิในการออสโมซิสก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงอีกประการหนึ่ง เพราะว่ามีผลต่ออัตราการออสโมซิส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงไปจะไปทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป กล่าวคือ ทำให้เยื่อหุ้มอ่อนตัวลงจึงมีผลทำให้ความแน่นของผลไม้เปลี่ยนไปด้วยทำให้การซึมผ่านดีกว่าและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ ถึงอัตราการออสโมซิสจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การใช้อุณหภูมิสูงในระหว่างการออสโมซิส จำเป็นต้องใช้เวลาในการออสโมซิสให้น้อยลงด้วย ทำให้เกิดวิธีใหม่ที่เรียกว่า High Temperature Shot Osmosis (HTST osmosis) (สุธีรา เลิศวุฒิกุล, 2540) แต่อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงเกินไป เพราะจะทำลายโครงสร้างของอาหาร แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้น (Hosahalli and Michele, 2006)

Beristain et al. (1990) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสของชิ้นสับปะรดที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการเคลื่อนย้ายน้ำออกจากผลไม้เร็วขึ้นเป็นผลให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีลักษณะเป็นเอ็กโปแนนเชียล (Exponential) กับเวลา

Rahman and Lamp (1991) ศึกษาการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมติกโดยแช่ชิ้นสับปะรดที่หั่นเป็นแว่น(หนา 6.5 มิลลิเมตร) ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 ถึง 65 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสียของสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น ปริมาณน้ำที่สูญเสียจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ทำให้สารเพคตินซึ่งพบตามผนังเซลล์ของสับปะรดเกิดการละลาย มีผลทำให้การแพร่ของน้ำตาลช้าลง จากการทดลองยังพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราการแพร่ของน้ำตาลซูโครสเกือบจะคงที่

Ponting (1973) และ Flink (1975) พบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราของการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสอย่างชัดเจน โดยที่อัตราการดึงน้ำออกจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิแต่จะจำกัดเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส เนื่องจาก เยื่อหุ้มเซลล์ของผักผลไม้ถูกทำลาย ส่งผลให้กระบวนการดึงน้ำออกเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์

4) เวลาที่ใช้แช่วัตถุดิบ

เวลาที่ใช้ในการแช่วัตถุดิบในสารละลายมีผลต่อการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส เนื่องจากการแช่วัตถุดิบเป็นเวลานาน ทำให้วัตถุดิบมีโอกาสสัมผัสกับสารละลายออสโมติกได้มากขึ้น น้ำในวัตถุดิบจะแพร่ออกมาในอัตราสูง โดยเฉพาะในช่วงแรก อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง น้ำจะแพร่ออกมาในอัตราที่ลดลง (คำนวณ ตั้งพันธ์ และวัชรพงษ์ ทองสิมา, 2533)

Kowalska and Lenart (2001) ศึกษาผลของเวลาในกระบวนการดึงน้ำออกและออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารใช้ตัวอย่างแอปเปิ้ล พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่า 48% ในช่วง 0-30 นาที และมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 30 ในช่วง 60-180 นาที กล่าวคือ การสูญเสียน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรกของกระบวนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลานานขึ้น

5) การคนหรือกวน

ในขณะที่เกิดการออสโมซิสความเข้มข้นบริเวณรอบๆชิ้นอาหารจะลดลงเนื่องจากน้ำภายในชิ้นอาหารซึมผ่านออกมา ทำให้ประสิทธิภาพการออสโมติกต่ำลงไปด้วย ดังนั้น การคนหรือกวนจะช่วยทำให้เกิดการกระจายความเข้มข้นโดยทำให้สารละลายที่เข้มข้นมากกว่าไหลมาแทนที่สารละลายที่เจือจางกว่าทำให้การออสโมติกสูงขึ้นด้วย (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535)

Azuara et al. (1996) ศึกษาผลของแรงหมุนเหวี่ยงที่ 64 g ในกระบวนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสมันฝรั่งและแอปเปิลรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร ในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 70 พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสียของชิ้นมันฝรั่งและแอปเปิลที่มีการใช้แรงหมุนเหวี่ยง (ร้อยละ 55 และ 50 ตามลำดับ) มีค่าน้อยกว่า การดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในสภาวะนิ่ง (ร้อยละ 70 และ 55 ตามลำดับ) เล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าลดลงถึงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในสภาวะนิ่ง ทั้งนี้เนื่องจาก การหมุนเหวี่ยงจะขัดขวางการแพร่ของของแข็งเข้าสู่เซลล์ของชิ้นตัวอย่างแต่ไม่ขัดขวางการแพร่ของน้ำ แต่อัตราการแพร่ออกของน้ำจะช้าในช่วงแรกของกระบวนการ

6) รูปร่างและขนาดของชิ้นอาหาร

รูปร่างและขนาดของชิ้นอาหารมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะแพร่ออกมาได้เร็วขึ้น เนื่องจาก ตัวถูกละลายสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวของอาหารได้มากขึ้น ถ้าอาหารมีชิ้นใหญ่น้ำจะแพร่ออกได้น้อย หรือถ้ามีรูปร่างกลม น้ำจะแพร่ออกได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากทั้งสองกรณีนี้มีค่าพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อย

Ravindran (1989) ศึกษาการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสของสับปะรด โดยเตรียมสับปะรดให้มีรูปร่าง 2 ลักษณะ คือ รูปร่างแบบแว่นหนา 1.2 เซนติเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 3 เซนติเมตรและวงนอก 8 เซนติเมตร) และรูปร่างแบบลูกเต๋าขนาด 1.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 50 60 และ 70 องศาบริกซ์ อัตราส่วนสารละลายต่อสับปะรดเป็น 4:1 ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า รูปร่างของสับปะรดมีผลต่อการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลน้อยมาก สำหรับการสูญเสียวิตามินซี พบว่า สับปะรดรูปลูกเต๋าจะสูญเสียวิตามินซีมากกว่าสับปะรดรูปร่างเป็นแว่น

Pamagiotou et al. (1999) ได้ศึกษาผลของชนิดของสารละลายออสโมติกต่อการออสโมซิสผลไม้ พบว่า ตัวอย่างกีวี (ความชื้น 84.2%) และแอปเปิ้ล (ความชื้น 80.8%) ซึ่งมีความชื้นสูงกว่ากล้วย (74.8%) เมื่อแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ตัวอย่างกีวีและแอปเปิ้ลมีค่าน้ำที่สูญเสียสูงกว่ากล้วย เนื่องจากกีวีและแอปเปิ้ลมีค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในเนื้อเยื่อและสารละลายออสโมติกสูงกว่ากล้วยทำให้มีแรงดันออสโมติกสูงกว่า จึงมีการกำจัดน้ำออกได้มากกว่ากล้วยรูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะซึมออกได้เร็ว ผลไม้ถ้าเป็นชิ้นใหญ่น้ำจะซึมออกได้น้อย หรือถ้ามีรูปร่างกลม น้ำจะซึมออกได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากทั้งสองกรณี พื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่าน้อย

7) ชนิดของผลไม้ พันธุ์และความสุก

คุณภาพวัตถุดิบมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงต้องมีหลักในการกำหนดปัจจัยของคุณภาพของวัตถุดิบและควบคุมวัตถุดิบให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ ผลไม้บางชนิด

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

สามารถออสโมซิสได้เร็ว บางชนิดทำได้ช้า เนื่องจาก การถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำตาลและตัวถูกละลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ พบว่า น้ำในชิ้นสับปะรดสามารถสามารถจะแพร่ออกได้เร็วกว่ามะละกอและมะม่วง ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์จะมีอัตราในการดึงน้ำออกต่างกันด้วย (อ่อนรวี รัตนพันธุ์, 2535) นอกจากนี้ความสุกก็มีผลต่อการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสด้วยเช่นกัน โดยที่ผลไม้ที่นำมาแปรรูป กระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสต้องมีความสุกพอเหมาะ (Optimum Maturity) ซึ่งสามารถใช้องค์ประกอบทางเคมีของผลไม้เป็นเครื่องบ่งชี้ความแก่อ่อนของผลไม้ได้ เช่น ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด โดยปริมาณความชื้นในผลไม้จะค่อยๆ ลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ส่วนประกอบที่เป็นทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและส่วนที่ไม่ละลายในน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้น ผลไม้ที่สุกและแก่เต็มที่จะมีปริมาณน้ำตาลสูงสุด สำหรับปริมาณกรดในผลไม้เปลี่ยนแปลงไปในทางที่ลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, 2546) ผลไม้สุกจะดึงน้ำออกได้เร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่ถ้าสุกมากเกินไปผลไม้จะเละไม่น่ารับประทาน (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2535)

Kowalska and Lenart (2001) ศึกษาการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแอปเปิ้ล ฟักทองและแครอท ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 61.5% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ฟักทองมีการถ่ายเทมวลสารดีที่สุด รองลงมาคือแครอท กล่าวคือ ฟักทองมีปริมาณการสูญเสียน้ำสูงขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของของแข็งต่ำ ส่วนแอปเปิ้ลมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากโครงสร้างเนื้อเยื่อของแอปเปิลมีความเป็นรูพรุนสูง ทำให้น้ำตาลสามารถแพร่เข้าสู่ชิ้นแอปเปิ้ลได้ง่าย

Mavroudis, Dejmek, and Sjoholm (2004) ศึกาการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสแอปเปิล 3 พันธุ์ในตอนใต้ของประเทศสวีเดน ได้แก่ พันธุ์ Jonagold, Kim และ Mutsu ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50% พบว่า แอปเปิลพันธุ์ Jonagold และ Kim มีปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงกว่าพันธุ์ Mutsu และพบว่าพันธุ์ Jonagold มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ Kim และพันธุ์ Mutsu มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด จากการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งไม้ได้เป็นผลมาจากขนาดรูพรุนของเนื้อเยื่อแอปเปิล เนื่องจากแอปเปิลพันธุ์ Kim มีขนาดรูที่เล็กกว่าพันธุ์ Jonagold แต่มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากกว่า

8) อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกและผักผลไม้

การใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายออสโมติก ถ้าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่ซึมออกมาไม่ค่อยมีผลให้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดลง ในกรณีที่น้ำเชื่อมมีความเข้มข้นมาก ดังนั้น แรงขับ (Driving force) คือ ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์และภายนอกสูงอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำเชื่อมปริมาณมากจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและมีปัญหาในการขจัดน้ำตาลภายหลังการออสโมซิสด้วย อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดระหว่างสารละลายออสโมติกและผลไม้คือ 2:1 (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535)

614
ส321ก
ค.2
321239

จุฑามาศ นิวัฒน์ (2542) ได้ศึกษาการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส ระบบต่อเนื่อง โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างสับปะรดกับสารละลายน้ำตาล 3 ระดับ คือ 1:3 1:4 และ1:5 พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างสับปะรดกับสาระละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการ ถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำกับน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นด้วย

วนิดา สระทองคำ (2543) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมซิส โดยศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อซูโครสไซรัปที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณน้ำ (Water loss ; WL) และการเพิ่มปริมาณของของแข็ง (Solid gain ; SG) พบว่า อัตราส่วน 1:3 เหมาะสมที่สุดในการออสโมซิส

9) การเตรียมขั้นต้น

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การลวกวัตถุดิบก่อนการออสโมซิส จะมีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร เนื่องจากความร้อนในระหว่างการลวกจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลง ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำในวัตถุดิบและตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกสูงขึ้น สารละลายน้ำตาลซึมเข้าไปในเซลล์ได้มากขึ้น อัตราการถ่ายเทมวลสารจึงมากขึ้น การลวกอาจทำได้ในลักษณะของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส หรือการใช้ไอน้ำร้อน ซึ่งมีงานวิจัยต่างๆใช้การลวกเป็นวิธีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น แล้วทำให้มีผลต่อการถ่ายเทมวลสารและเนื้อสัมผัส (วิไล รังสาดทอง, 2546)

2.5.4 ตัวบ่งชี้สำหรับการดึงน้ำออกแบบวิธีออสโมซิส

Wongkrajang (1996) กล่าวว่าในระหว่างกระบวนการแบบออกด้วยวิธีออสโมซิส อาจทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยใช้ตัวบ่งชี้ ซึ่งวัดเป็นค่าการสูญเสียน้ำ (Water loss) ค่าตัวถูกละลายที่เกิดขึ้น (Solute gain) น้ำหนักที่ลดลง (Weight reduction)

1) Solute gain (SG) หรือ Solid gain หมายถึง ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่อน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น 100 กรัม

$$\text{เปอร์เซ็นต์ตัวถูกละลายที่เพิ่มขึ้น (SG)} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด - ปริมาณของแข็งเริ่มต้น X 100}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

2) Water loss (WL) หมายถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปต่อน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น100 กรัม

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำเริ่มต้น - ปริมาณน้ำที่เวลาต่างๆ X 100}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

3) Weight reduction (WR) หมายถึง ค่าการสูญเสียน้ำหนัก

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) = $\frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น - น้ำหนักที่เวลาต่างๆ X 100}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$

ในกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ต้องการสภาวะที่ทำให้ได้ Water loss สูงและ Solute gain ต่ำ จากรายงานพบว่าอัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสจะขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการแช่ โดยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิสและจะค่อยๆ ลดลงจนถึงจุดสมดุล (Amami *et al.*, 2007)

2.5.5 ข้อดีและข้อดีของการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส (คำนวณ ตั้งพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองสิมา, 2533; พีรยา โชติถนอม, 2548)

1) ข้อดี

- ลดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลายาวนาน เพื่อการระเหยน้ำ เพราะขั้นตอนการออสโมซิส ช่วยนำน้ำออกจาผลไม้ไปส่วนหนึ่งแล้ว
- การไม่ใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งจะไม่ทำลายคุณภาพของผลไม้ คือไม่ทำให้สีและรสชาติเปลี่ยนไป แต่จะทำให้สีและรสชาติดีขึ้น
- น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมที่ใช้จะเป็นตัวช่วยป้องกันรสชาติความสดเอาไว้ วิธีการอื่น ไม่สามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นและรสได้มากกว่าวิธีนี้
- น้ำเชื่อมหรือสารละลายเข้มข้นช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์ ไม่ให้สีของผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จึงได้ผลไม้แห้งที่มีสีสดสวยน่ารับประทานยิ่งขึ้น
- นอกจากน้ำที่ขจัดออกจากผลไม้แล้วยังมีกรดบางส่วนจากผลไม้ถูกขจัดออกไปด้วยมาผสมกับน้ำตาล และน้ำตาลบางส่วนก็อาจติดกับผลไม้ เมื่ออบแห้งออกมาผลไม้ที่ได้จะมีความหวานและความนิ่มนวลกว่าผลไม้ที่อบแห้งด้วยวิธีอื่นๆทั่วไป

2) ข้อเสีย

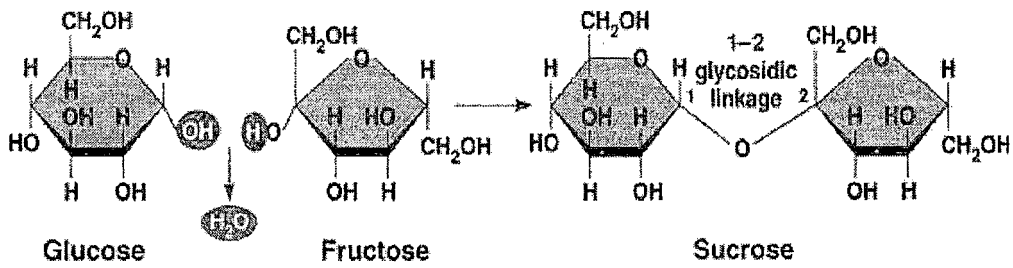
- ทำให้กรดที่มีอยู่ในผลไม้ลดปริมาณลง ดังนั้น ควรมีการเติมกรดผสมลงในสารละลายออสโมติก
- ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นทำให้เกิดปัญหาการเป็นฟิล์มบางบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เมื่อนำไปอบแห้ง สามารถแก้ไขได้โดยการล้างในน้ำร้อนอย่างรวดเร็ว ภายหลังการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส
- เกิดกลิ่นอับหรือกลิ่นหืนได้เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำตาลและน้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) เหลืออยู่มากกว่าผลไม้แห้งทั่วไป จึงจำเป็นต้องใช้สารกันหืนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

- กระบวนการนี้มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนหรือการทำแห้งโดยใช้สุญญากาศ แต่จะมีราคาถูกกว่าการทำแห้งด้วยวิธีแช่แข็ง

2.6 สารที่ใช้เตรียมเป็นสารละลายออสโมติก

2.6.1 น้ำตาลซูโครส

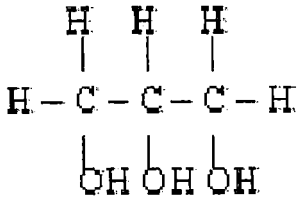
น้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทรายมีสูตรโครงสร้างเป็น $C_{12}H_{22}O_{11}$ เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) เกิดการจับตัวของน้ำตาลกลูโครสและฟรัสโทสด้วยพันธะ1-2 glycosidic linkage ทำให้ไม่มีหมู่แอลดีไฮด์และหมู่คีโตนอิสระ แสดงดังภาพที่ 2-6 จึงเป็น non-reducing suger ไม่คงตัวเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นกรด และเกิดการสลายตัวได้เป็นคาราเมลที่มีสีน้ำตาล เมื่อได้รับความร้อนสูง 210 องศาเซลเซียส (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) น้ำตาลซูโครสมีคุณสมบัติเป็นสารให้ความหวานโดยมีค่ามาตรฐานเท่ากับ 100 หน่วย สร้างความหนืด ความแวววัน เพิ่มน้ำหนักแรงตึงผิว แรงดันออสโมติก และช่วยลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์อาหาร (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2542) ในกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส นิยมใช้น้ำตาลซูโครสมากที่สุด เนื่องจากทำให้การอบแห้งมีคุณภาพดี นอกจากจะให้รสหวานแล้วยังใช้งานสะดวก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักมากขึ้น ละมีราคาถูกกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ นอกจากนี้การใช้น้ำตาลซูโครสในการออสโมซิสยังสามารถเป็นสารยับยั้ง (Inhibitor) ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ Polyphenol oxidize ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิด Oxidative browning ของชิ้นอาหารที่ถูกตัดแต่ง และช่วยป้องกันการสูญเสียส่วนประกอบของกลิ่นรสที่ระเหยได้ในระหว่างการทำแห้งด้วย (พนิดา เนตรวีระ, 2548)



ภาพที่ 2-6 โครงสร้างโมเลกุลของซูโครส

2.6.2 กลีเซอรอล

กลีเซอรอล อาจเรียกว่า glycerine (1,2,3 propanetriol หรือ 1,2-3-trihydroxy propane) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ จัดเป็นสารประกอบประเภทไตรไฮดริกแอลกอฮอล์ (Trihydric alcohol) มีสูตรโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล

กลีเซอรอลสามารถสกัดได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสไขมันทั้งจากพืชและสัตว์ ในอุตสาหกรรมอาหารกลีซอรอลจัดอยู่ในรูปของวัตถุเจือปนอาหาร (Food additive) ได้รับอนุญาตจาก GRAS (generally recognized as safe) สหรัฐอเมริกาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1959 และจัดอยู่ในรายการของสารที่มีคุณสมบัติหลากหลาย (multipurpose) หากมีอยู่ในอาหารจะทำให้การผลิตมีคุณภาพดีขึ้น เช่น เพิ่มความหวาน มีความคงตัวดีขึ้น จัดเป็นสารคงความชื้น (Humectants) ช่วยลดค่า a_w จึงลดความเสี่ยงจากการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น ป้องกันการเปลี่ยนสี กลิ่นรสเมื่อเก็บไว้นาน ดังนั้น จึงช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้นุ่มนวล ควบคุมการระเหยและการตกผลึก (graining) ให้ช้าลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ติดกับบรรจุภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งไม่เยิ้ม (ศิวาพร ศิรเวช, 2546; วภา สุโรจนะเมธากุล, 2546) สามารถละลายในน้ำและเอทานอลได้ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหวานประมาณ 0.6-0.7 เท่าของน้ำตาลซูโครส มีจุดหลอมเหลว 178 องศาเซลเซียส จุดเดือด 290 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.261 เป็นสารติดไฟง่ายและค่อนข้างเสถียร เมื่ออยู่ในรูปของเหลวจะไม่เป็นอันตราย และมีความหนืดสูงเหมือนน้ำเชื่อม (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539; พนิดา เนตรวีระ, 2548)

2.6.3 ซอร์บิทอล

สารให้ความหวานคาร์โบไฮเดรตชนิดใหม่ที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน คือ สารประกอบจำพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์ หรือโพลีออล ซึ่งเกิดจากการรีดิวซ์คาร์โบไฮเดรตทางเคมี ได้แก่ ซอร์บิทอล แมนทิทอล และไซลิทอล สามารถใช้แทนน้ำตาลในอุตสาหกรรมสำคัญๆ และใช้เมื่อต้องการทดสอบทางประสาทสัมผัสและสมบัติทางที่ที่ต่างกัน (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

ซอร์บิทอล (sorbitol) หรือ D-glucitol มีสูตรเคมี $C_6H_{14}O_6$ เป็นสารประกอบอินทรีย์พวกโพลีออล โดยมีหมู่ไฮดรอกซิล 6 หมู่ หรือเรียกว่า น้ำตาลแอลกอฮอล์ ลักษณะทั่วไปเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี เมื่อชิมจะได้ความรู้สึกเย็น มักใช้ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้น 70% ซึ่งมีลักษณะใส

คล้ายน้ำเชื่อม ไม่มีสีและกลิ่น มี pH ประมาณ 6-7 มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ 1.290 ที่ 25 องศาเซลเซียส มีความเสถียรมากและเกิดปฏิกิริยาเคมียาก ทนความร้อนได้สูง รวมตัวกับองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหาร เช่น น้ำตาลและโปรตีนได้ดี พบทั่วไปในผลไม้ พืช และสัตว์หลายชนิด หรือสังเคราะห์ได้จากกลูโคสและฟรุกโตส มีความหวานประมาณ 0.5-0.6 เท่าของน้ำตาล จัดอยู่ในรายชื่ออาหาร GRAS (Generally Recognized As Safe)

คุณสมบัติของซอร์บิทอล ได้แก่ ความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการดูดความชื้น มีความคงตัวต่ออุณหภูมิสูง เป็นสารป้องกันการเกิดผลึก เป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์อาหาร มีความคงตัวต่ออุณหภูมิ มีประสิทธิภาพในการเป็นสารออสโมซิสคือสามารถดึงน้ำออกจากผลไม้ได้ (Erba, Forni, Colonello & Giangiacomo, 1994) และมีกลิ่นรสที่ยอมรับได้ (Bolin & Huxsoll, 1983) ข้อดีของสารกลุ่มโพลีออลเมื่อเทียบกับ saccharide คือ ไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทำให้ไม่เกิดสีน้ำตาลในขณะให้ความร้อน มีราคาถูกและใช้ง่ายกว่าโพลีออลอื่นๆจึงมีการนำซอร์บิทอลไปใช้ในผลิตภัณฑ์หลายอย่างโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีแคลอรี่ต่ำ (ธัญวรัตน์ พิมุขมนัสกิจ และคณะ, 2546)

สยามรัฐ สังวาล (2547) ศึกษาการใช้สารประกอบโพลีออลชนิดต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพแคนตาลูปแช่มอิ่มอบแห้ง คือ กลีเซอรอล และซอร์บิทอล ในระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0 10 20 และ 30% พบว่าการใช้กลีเซอรอล 30% มีค่าปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นสูงสุด แต่มีการสูญเสียน้ำต่ำสุด ส่วนสารละลายซูโครสอย่างเดียวมีค่าปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นต่ำสุดส่วนค่าการสูญเสียน้ำสูงสุด และเมื่อใช้ความเข้มข้นของกลีเซอรอลและซอร์บิทอลในระดับที่สูงสุด ค่า a_w จะลดลง โดยกลีเซอรอลจะให้ค่าต่ำกว่า อีกทั้งเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารทั้งสองสูงขึ้นจะทำให้ความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และทำให้เนื้อสัมผัสนิ่มลง และการใช้น้ำตาลร่วมกับซอร์บิทอล 20% ได้รับคะแนนในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมมากที่สุด

2.7 อาหารกึ่งแห้ง

2.7.1 ความหมายของอาหารกึ่งแห้ง

อาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยความชื้นประมาณ 20-50 % โดยน้ำหนัก และมีค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในช่วง 0.95-1.00 อาหารที่ลดค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ลงจนอยู่ในช่วง 0.6-0.9 และมีความชื้นประมาณ 15-40 % จะเรียกว่า อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food: IMF) (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550; ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539; พิมพ์ใจ มณี, 2550)

ชมภู่ ยิ้มโต (2550) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่สามารถบริโภคได้โดยไม่ต้องนำไปคืนตัวมีความคงตัวโดยไม่ต้องนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำ หรือฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ซึ่งอาหารกึ่งแห้ง

ยังคงมีปริมาณน้ำจำนวนหนึ่งจึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยทั่วไปควรจะดึงน้ำออกให้เหลือต่ำกว่า 10 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบเป็นสำคัญ ถ้าจะป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ควรจะลดต่ำลงจนถึงประมาณ 5 % ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งที่พบโดยทั่วไป เช่น เจลลี่ ผลไม้แห้ง แยม น้ำผึ้ง ขนมเค้ก และไส้กรอกแห้ง เป็นต้น

ไพโรจน์ วิริยะจารี (2539) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นระดับที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อราและยีสต์ ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี ส่วนใหญ่การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งมีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการยืดอายุเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ยาวนานมากที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ โดยเน้นในด้านความคงทนต่อจุลินทรีย์ คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี และการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ

2.7.2 ประเภทของอาหารกึ่งแห้ง

ไพโรจน์ วิริยะจารี (2539) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้งอาจแบ่งออกได้ตามลักษณะของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนี้

1) อาหารกึ่งแห้งแบบดั้งเดิม (Traditional Types of Intermediate Moisture Foods) เป็นอาหารแปรรูปที่มีการผลิตมานานแล้ว โดยการนำอาหารมาทำแห้งด้วยการผึ่งแดดให้มีความชื้นลดลง ทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น ต่อมาได้มีการนำตัวถูกละลายมาใช้เพื่อลดปริมาณน้ำลง ตัวถูกละลายที่นิยมใช้ คือ เกลือและน้ำตาล เมื่อทำให้อาหารมีปริมาณน้ำลดลงเชื้อจุลินทรีย์ก็ไม่สามารถใช้น้ำได้ ทำให้การเก็บรักษาอาหารยาวนานขึ้น

2) อาหารกึ่งแห้งแบบที่มีการพัฒนาใหม่ (Modern Types of Intermediate Moisture Foods) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต่อมาได้มีการพัฒนาอาหารกึ่งแห้งให้ได้เป็นอาหารที่มีกลิ่น รสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสที่แปลกใหม่

2.7.3 เทคนิคการผลิตอาหารกึ่งแห้ง

เทคนิคการผลิตอาหารกึ่งแห้งอาศัยหลักการทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของอาหารลดต่ำลง โดยการแช่หรือต้มชิ้นอาหารในสารละลายที่เหมาะสมจนค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของอาหารลดต่ำลงตามต้องการแล้วนำชิ้นอาหารไปทำแห้ง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อระดับของค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ประกอบด้วย ชนิดของสารละลาย ค่าความเป็นกรดด่าง ชนิดหรือปริมาณสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ รวมทั้งชนิดและปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550; Barbosa-Canovas et al., 2003)

2.7.4 การจัดกลุ่มอาหารตามค่า Watera ctivity

ชมภู่ ยิ้มโต (2550) กล่าวว่า สามารถจัดกลุ่มอาหารตามค่า a_w ได้ดังนี้

- อาหารที่มีความชื้นสูง (Hight Moisture Foods: HMF) เป็นอาหารที่มีความชื้นมากกว่า 50 % หรือมี a_w มากกว่าหรือเท่ากับ 0.95 เช่น อาหารสดทุกชนิด

- อาหารที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate Moisture Food: IMF) เป็นอาหารที่มีความชื้น 15-50 % หรือมีค่า a_w ระหว่าง 0.65-0.85 เช่น ปลาหมึกแห้งปรุงรสมีความชื้นไม่เกิน 28 เปอร์เซ็นต์

- อาหารที่มีความชื้นต่ำ (Low Moisture Food: LMF) เป็นอาหารที่มีความชื้นไม่มากกว่า 25 % หรือมี a_w น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.65

ปัจจัยที่มีผลต่อระดับของ a_w ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ประกอบด้วย ชนิดของสารละลาย ความเป็นกรด-เบส สารยับยั้งและชนิดของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียจะถูกยับยั้ง ถ้าอาหารมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.9 แต่ถ้า a_w น้อยกว่า 0.80 จะมีจุลินทรีย์พวก Xerophilic moulds Halophilic bacterias และ Osmophilic yeasts เจริญได้ โดยการลดค่า a_w เพื่อไม่ให้จุลินทรีย์สามารถนำน้ำไปใช้ในการเจริญได้มีหลายวิธี เช่น การกำจัดน้ำออกโดยการทำแห้ง การระเหย และการอบแห้งแบบระเหิด การทำให้น้ำในอาหารตกผลึกกลายเป็นน้ำแข็ง และการตรึงน้ำในอาหาร เช่น การใส่สารคอลลอยด์ที่ชอบรวมกับน้ำ (gel) ทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่นำน้ำไปใช้ไม่ได้ และการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย เช่น เกลือ น้ำตาล ตัวอย่างค่า a_w ของอาหารกึ่งแห้งบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2-1 (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539)

ตารางที่ 2-1 ค่า a_w ในอาหารกึ่งแห้งบางชนิด (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539)

ประเภทอาหารกึ่งแห้ง	ค่า a_w
กุนเชียง	0.82-0.85
ไส้กรอกประเภท landjager	0.79
ผลไม้แห้ง	0.72-0.80
แยมและเยลลี่	0.82-0.94
น้ำผึ้ง	0.75
ไส้ที่ใช้กับเพสตรี	0.65-0.71

2.8 การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา

ความคงตัวของอาหารกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาเป็นสิ่งสำคัญและเป็นปัจจัยหลักที่ต้องคำนึงก่อนที่อาหารกึ่งแห้งจะถึงผู้บริโภค การทราบถึงสาเหตุของการเสื่อมเสียและลักษณะของการเสื่อมเสียต่างๆ ที่สามารถบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการหาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร (ไพโรจน์ วิริยะจารีย์, 2539; ชมภู่ ยิ้มโต, 2550; บุษกร อุตรภิชาติ, 2547)

การพิจารณาว่าอาหารใดเสื่อมเสียขึ้นอยู่กับการยอมรับของผู้บริโภค โดยปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อยอมรับคุณภาพของอาหาร ได้แก่ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรสและรสชาติของงาหาร รวมทั้งการไม่พบสิ่งผิดปกติที่ไม่ใช่ลักษณะของอาหารนั้นๆ (บุษกร อุตรภิชาติ, 2547) สาเหตุการเสื่อมเสียของอาหารแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ การเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดจากภายใน (Endogenous Food Spoilage) ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย ได้แก่ เอนไซม์และการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากภายนอก (Exogenous Food Spoilage) โดยลักษณะการเสื่อมเสียของอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ คุณภาพทางจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพ (Singh, 1994) สำหรับการเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้ง พบว่า เกิดจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยา

2.8.1 การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากจุลินทรีย์

อาหารเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์จำแนกได้ 2 ประเภท คือ ปัจจัยภายใน (Intrinstc Factors) และปัจจัยภายนอก (ExIntrinstc Factors) สำหรับปัจจัยภายในเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยตรง ได้แก่ สารอาหาร ความชื้น ค่า a_w ปริมาณออกซิเจน ความเป็นกรด-ด่างของอาหาร การถ่ายเทอิเล็กตรอนของอาหาร สารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ส่วนด้านของปัจจัยภายนอก คือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ในการเก็บรักษารวมทั้งชนิดและปริมาณก๊าซในการเก็บรักษาอาหารในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศ เมื่อจุลินทรีย์เจริญเติบโตในอาหารจะทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เช่น สีดำ สีเขียว และสีแดง มีกลิ่นเหม็น (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2539;
สุมณฑา วัฒนาสินธุ์, 2549;Smith 1993; Seiler. 1999)

ค่า a_w ของอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546) โดยทั่วไปจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ในระดับที่เหมาะสม จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเจริญในอาหารที่มีค่า a_w สูง ดังนั้น การลดค่า a_w ลงจะสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ลงได้ แต่การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการในอาหารกึ่งแห้งไม่เพียงแต่ใช้วิธีการลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้จนถึงระดับที่ไม่เหมาะสมแก่การ

เจริญของจุลินทรีย์เท่านั้นแต่ยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น อิทธิพลของอุณหภูมิ สารกันเสีย และค่าความเป็นกรดด่าง เป็นต้น (ไพโรจน์ วิริยะจารีย์, 2539; สุมณฑา วัฒนาสินธุ์, 2549; Singh, 1994)

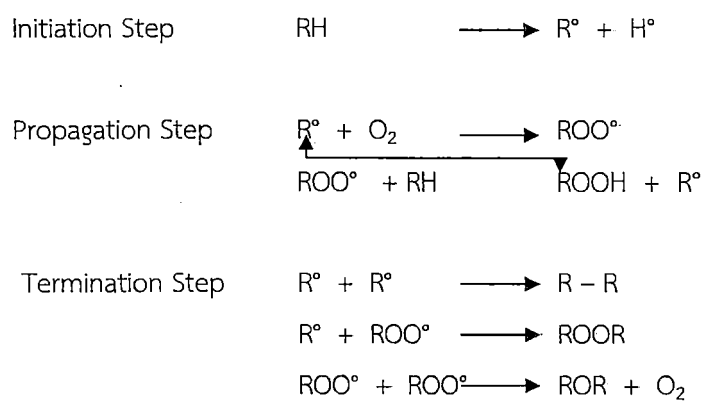
การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากแบคทีเรีย ความสัมพันธ์ของค่า a_w ต่ำสุดกับการเจริญของจุลินทรีย์ จะเห็นได้ว่า ถ้าหากมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.90 จะสามารถยับยั้งการเจริญและการงอกของสปอร์ของแบคทีเรียแกรมลบ (Gram-Negative Bacteria) แบคทีเรียแกรมบวก (Gram-Positive Bacteria) และแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ (Spore-Forming Bacteria) ได้ ยกเว้น *Staphylococcus aureus* และ *Halophilic bacteria*

การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากเชื้อรา อาหารที่มีค่า a_w มากกว่า 0.90 โดยทั่วไปมักเกิดการเสื่อมเสีย เนื่องจากแบคทีเรียมากว่าราและยีสต์ แต่ถ้าหากค่า a_w ต่ำกว่า 0.90 การเสื่อมเสียของอาหารกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษามีแนวโน้มมากเจริญของเชื้อรา ซึ่งเชื้อราที่สามารถเจริญและสร้างสารพิษในอาหารกึ่งแห้ง ได้แก่ *Cladosporium Peacilomyces Penicillium Aspergillus Emericella Eremascus Wallemia Eurotium Chrysosporium* และ *Monascus* (ไพโรจน์ วิริยะจารีย์, 2539; สุมณฑา วัฒนาสินธุ์, 2549; Singh, 1994) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อราในอาหารกึ่งแห้ง ได้แก่ ความชื้นสัมพันธ์ในอากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา จึงควรเลือกภาชนะบรรจุที่ไม่ให้อากาศผ่านเข้าออกได้ และลดอุณหภูมิในการเก็บรักษาลง เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาของอาหารกึ่งแห้ง (ไพโรจน์ วิริยะจารีย์, 2539)

การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากเชื้อยีสต์ อาหารที่มีค่า a_w ประมาณ 0.60-0.85 สามารยับยั้งการเจริญของเชื้อยีสต์ส่วนใหญ่รวมทั้งยีสต์ที่เป็นพิษ (Pathopenic Yeast) ได้ แต่ยีสต์ชนิดที่ทนน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงได้ดี (Osmophilic Yeast) สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีค่า a_w ต่ำ จึงควรควบคุมปริมาณยีสต์ดังกล่าวในวัตถุดิบเริ่มต้นให้ต่ำที่สุด และอาจมีการเติมสารกันเสียในอาหารกึ่งแห้ง (ไพโรจน์ วิริยะจารีย์, 2539; สุมณฑา วัฒนาสินธุ์, 2549)

2.8.2 การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมีของอาหารกึ่งแห้ง

แม้อาหารกึ่งแห้งจะมีค่า a_w จนสามารถลดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ แต่ผลจากการเกิดปฏิกิริยายาเคมีที่สำคัญ คือ การหืน (Rancidity) ในอาหาร (การหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันและไขมัน) และการเกิดสีน้ำตาลทั้งอาศัยและไม่อาศัยเอนไซม์ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะสูงที่สุดในช่วงของอาหารกึ่งแห้ง แสดงดังภาพที่ 2-8 โดยผลของปฏิกิริยาจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลง เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส และลักษณะปรากฏของอาหาร (ไพโรจน์ วิริยะจารีย์, 2539; Singh, 1994)



ภาพที่ 2-8 ขั้นตอนการเกิดปฏิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

2.9 การทำแห้งอาหาร

การทำแห้ง (Drying) คือ การลดความชื้นในอาหาร หรือการลดค่า a_w ของอาหาร หมายถึง ปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ ในอาหารทุกชนิดจะมีน้ำมากจะเกิดการเสื่อมเสียเร็ว แต่มีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 10-95 โดยน้ำหนัก อาหารที่มีน้ำมากจะเกิดการเสื่อมเสียเร็ว แต่ปริมาณน้ำอย่างเดียวไม่สามารถที่จะบ่งชี้ว่าอาหารนั้นจะเสื่อมเสียได้เร็วหรือช้า เพราะองค์ประกอบของอาหารแตกต่างกัน (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

2.9.1 การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในการทำแห้ง (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

ในการทำแห้งจะมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร การตากแห้ง แสงอาทิตย์จะเป็นพลังงานความร้อน และจะมีกระแสลมพัดผ่านอาหารทำให้ไอน้ำเกิดการเคลื่อนย้ายออกไปจากอาหาร แสงอาทิตย์จะให้พลังงานความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงไม่มากนัก ทำให้การตากแห้งใช้เวลานาน จึงได้มีการพัฒนาผลิตเครื่องอบแห้ง ที่มีการให้พลังงานความร้อนที่ควบคุมได้ ทำให้อาหารแห้งเร็วขึ้น การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างการอบแห้งทำได้หลายวิธี คือ

1) การให้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร กระแสลมร้อนทำหน้าที่ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นการพาความร้อน (convection)

2) การแผ่ชิ้นอาหารบางๆ บนพื้นผิวที่ให้ความร้อน อาหารจะได้รับความร้อนแบบการนำความร้อน (Conduction) ไอน้ำจะระเหยออกไปสู่บรรยายกาศเหนืออาหาร หรืออาจมีระบบดูอากาศออกจากผิวอาหาร

3) การให้ความร้อนแก่อาหารในเครื่องอบแห่งด้วยการนำความร้อน หรือการแผ่รังสีร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นภายนอก

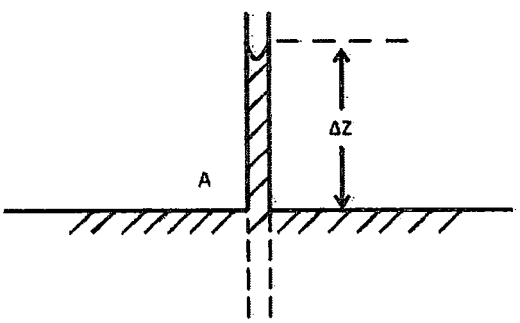
4) การปรับสภาพความดันและอุณหภูมิ ให้น้ำในอาหารเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดร่วม 3 สถานะ (ของแข็ง ของเหลว ไอ : Triple point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลดทำให้เกิดการระเหิด น้ำจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอ วิธีนี้เรียกว่า การทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying)

2.9.2 การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารเนื่องจากการทำแห้ง (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

การทำแห้งเป็นการดึงน้ำออกจากอาหารโดยการระเหย การระเหยเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร 2 ระดับ คือ การเคลื่อนที่จากภายในอาหารไปสู่ผิวหน้าของอาหาร และจากผิวหน้าของอาหารไปสู่อากาศ การเคลื่อนของน้ำภายในอาหารเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ

1) การเคลื่อนที่ด้วยแรงผ่านช่องแคบ (Capillary Force)

เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารที่มีเซลล์โปร่ง มีรูพรุนขนาดใหญ่ มีช่องว่างระหว่างเซลล์ต่อเนื่องกันเป็นทางแคบๆ เกิดแรงดันของน้ำขึ้นมาตามท่อส่งน้ำ และท่อแคปิลลารี เกิดขึ้นได้สะดวกรวดเร็ว หยุดเมื่อน้ำในช่องแคบๆ ขาดตอนลง แสดงดังภาพที่ 2-9

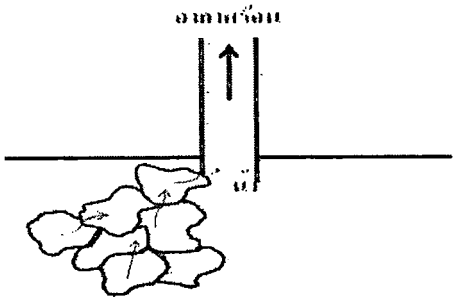


ภาพที่ 2-9 การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยแรงผ่านช่องแคบ (Capillary Force)
ที่มา: (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

2) การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ (Diffusion) ผ่านเซลล์

เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารที่มีเนื้อแน่น ไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ต่อเนื่องเป็นทางแคบๆ หรือเกิดในอาหารที่อบแห้งไประยะหนึ่งแล้วที่แรงผ่านช่องแคบหมดไปแล้ว น้ำจะต้องแพร่ผ่านผนังเซลล์จึงเคลื่อนที่ได้ช้า ซึ่งมีลักษณะเป็น Semipermeable membrane จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง น้ำเคลื่อน

ที่มาที่ผิวอาหารแล้วจะระเหยไปกับกระแสลมร้อนแสดงดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 การเคลื่อนที่ของด้วยการแพร่ (Diffusion) ผ่านเซลล์
ที่มา: (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

2.9.3 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารขึ้นกับธรรมชาติของอาหาร และสภาวะที่ใช้มนการอบแห้ง คือ

1) การหดตัว ถ้าทำการอบแห้งอย่างรวดเร็วโดยใช้อุณหภูมิสูง ผิวหน้าจะแห้งแข็งก่อนที่อาหารส่วนที่อยู่ใจกลางจะแห้ง ดังนั้นเมื่อบริเวณใจกลางแห้งและหดตัว จะดึงส่วนที่ผิวหน้าทำให้เกิดการปริแตกภายใน เกิดช่องว่าง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหี่ยวมากกว่า มีช่องว่างมาก ถ้าอบอย่างช้าๆ จะมีผิวหน้าที่โค้งมากว่า มีเนื้อแน่น การเสียน้ำทำให้เซลล์ของอาหารเกิดการหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพ ส่วนที่อ่อนจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่มากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วอาหารจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

2) การเปลี่ยนสีของอาหารหลังการอบแห้งจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการอบแห้งทำให้ลักษณะผิวหน้าของอาหารเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการสะท้อนแสง สีเปลี่ยน และยังมีผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้ง อาหารที่ผ่านการทำแห้งจะมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อน ปฏิกิริยาทางเคมี อุณหภูมิ ความชื้นของอาหาร (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550) การเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับ a_w และอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างเก็บรักษายิ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงยิ่งมีสีคล่ำ โดยเฉพาะเมื่ออาหารมีความชื้นมากกว่า 4-5 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิสูงกว่า 38 ° C (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

3) การเกิดเปลือกแข็ง อาหารจะมีเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ ซึ่งเกิดจากในช่วงแรกที่ให้น้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในของอาหารเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายน้ำตาล

โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้ง (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

4) การเสียความสามารถในการคืนรูป (Rehydration)

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำกลับมาคืนสภาพโดยการแช่น้ำ จะดูดน้ำกลับคืนได้ไม่ถึง 100 % และใช้เวลานาน ผลิตภัณฑ์อาหารหลังคืนสภาพจะมีเนื้อเหนียว สูญเสียความนุ่ม ความฉ่ำน้ำ ความกรอบ อาจทีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหดตัว การบดเบี้ยว การฉีกขาดของเซลล์ เซลล์อาหารจะเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ โปรตีนเสียสภาพในการดูดน้ำ (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

5) การเสียคุณค่าทางอาหารที่เหลืออยู่ในอาหารแห้งมีความแตกต่างกัน เป็นผลมาจากวิธีการเตรียมอุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำแห้ง และสภาวะในการเก็บรักษา มีการเสื่อมเสียของวิตามินซี แคโรทีน เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเสื่อมสลายไรโบฟลาวินจากแสง ส่วนไทอะมีนและโปรตีน เกิดจากความร้อน เมื่อใช้เวลาในการทำแห้งนาน การสูญเสียก็จะยิ่งมาก (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2546; วิไล รังสาดทอง, 2546)

2.10 บรรจุภัณฑ์พลาสติก (ปุ่น และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

ในปัจจุบันนี้มีพลาสติกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลากหลายชนิดโดยแต่ละชนิดยังสามารถแยกเป็นกลุ่มโดย อาจแยกตามน้ำหนักโมเลกุลและความหนาแน่น ตัวอย่างพลาสติก PE (Polyethylene) สามารถแยกได้ตั้งแต่ LLDPE (Linear Low Density Polyethylene), LDPE (Low Density Polyethylene), MDPE (Medium Density Polyethylene) และ HDPE (High Density Polyethylene) พลาสติกแต่ละประเภทยังสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยการทำปฏิกิริยากับพลาสติกอีกตัวให้เกิดพลาสติกใหม่เกิดขึ้น นอกจากนี้กระบวนการผลิตที่แตกต่างกันจะได้พลาสติกที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดและราคาถูก เนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ PE ผลิตจากกระบวนการโพลิเมอไรเซชั่น (Polymerisation) ของก๊าซเอธิลีน (Ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงโดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (Metal Catalyst) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะโซ่สั้นและยาวจะส่งผลให้ PE ที่ได้ออกมามีความหนาแน่นแตกต่างกัน PE แบ่งเป็น 3 ประเภทตามค่าความหนาแน่น คือ

1) โพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene หรือ LDPE) ความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2) โพลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene หรือ MDPE) ความหนาแน่น 0.926-0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3) โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene หรือ HDPE) ความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

LDPE เป็นพลาสติกที่ใช้กันมากและชื่อสามัญเรียกว่าถุงเย็น มักจะใช้ทำถุงฟิล์มหดและฟิล์มยืด ขวดน้ำ และฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยืดตัวได้ดี ทนต่อการทิ่มทะลุและฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี โครงสร้างของ PE จะสามารถป้องกันความชื้นได้ดีพอสมควร แต่จุดอ่อนของ LDPE คือ สามารถปล่อยให้ไขมันซึมผ่านได้ง่าย ด้วยเหตุนี้อาหารที่ไวต่ออากาศ เช่น ของขบเคี้ยวและของทอด เมื่อใส่ในถุงเย็นธรรมดา คุณภาพอาหารจะแปรเปลี่ยนไปเพียงเวลาไม่กี่วัน LDPE ยังมีคุณสมบัติดูดฝุ่นในอากาศมาเกาะติดตามผิว ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE นี้เมื่อทิ้งไว้นานๆจะเปรอะด้วยฝุ่น

ตัวอย่างการใช้งานของถุงพลาสติก PE ที่สำคัญดังต่อไปนี้

1) ใช้ผลิตเป็นถุงร้อน (HDPE) และถุงเย็น (LDPE) สำหรับการใช้งานทั่วไปสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไป ข้อสังเกตถุงร้อนที่ผลิตจาก HDPE จะมีสีขาวขุ่น

2) ใช้ห่อหรือบรรจุอาหารได้เกือบทุกชนิดโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายผู้บริโภค แต่ไม่ควรใช้ LDPE กับอาหารร้อน

3) นิยมใช้ทำถุงบรรจุขนมปัง เนื่อง PE ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีจึงช่วยป้องกันมิให้ขนมปังแห้ง เนื่องจากสูญเสียความชื้นออกไป นอกจากนั้นราคาของ PE ไม่สูงเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของขนมปัง

4) นิยมใช้ทำถุงบรรจุผักและผลไม้สด เนื่องจาก PE ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ดี ทำให้มีก๊าซออกซิเจนซึมผ่านเข้ามาเพียงพอให้พืชหายใจ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชคายออกมาก็สามารถซึมผ่านออกไปได้ง่าย ในบางกรณีจำเป็นต้องเจาะรูที่ถุงเพื่อช่วยระบายไอน้ำที่พืชคายออกมา

5) นิยมใช้ LDPE เป็นชั้นสำหรับการปิดผนึกด้วยความร้อน เนื่องจากกระดาษและแผ่นเปลวอะลูมิเนียมซึ่งนิยมนำมาใช้ถุงหรือซองบรรจุอาหาร ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ จึงนิยมนำ LDPE มาประกบติดกับวัสดุต่างๆเหล่านี้ โดยให้ LDPE อยู่ชั้นในสุด และทำหน้าที่เป็นชั้นำหรับปิดผนึกด้วยความร้อน ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ซองบะหมี่สำเร็จรูป แผ่นปิดถ้วยโยเกิร์ต กล่องนมUHT เป็นต้น

6) ฟิล์ม PE ชนิดยืดตัวได้ (Stretch Film) นิยมใช้ห่ออาหารสดพร้อมปรุง เนื้อสด และอาหารทั่วไป รูปแบบที่นิยมใช้คือ ใช้ถาดรองอาหารแล้วห่อด้วยฟิล์มยืดตัวได้

7) PE ไม่นิยมใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันสูง เช่น เนย ถั่วทอด ขนมขบเคี้ยว

2.11 สารดูดความชื้น

สารดูดความชื้นใช้ใส่ลงในบรรจุภัณฑ์ของอาการเพื่อถนอมความสดใหม่ให้คงอยู่ นอกจากจะทำให้อาหารไม่บูดเสียแล้วยังป้องกันกรเกิดเชื้อรา การเปลี่ยนสีของอาหาร และป้องกันการเกิดกลิ่นหืนอีกด้วย ตัวอย่างสารดูดความชื้นที่นิยมใช้ในทางการค้า คือ ซิลิก้าเจล (Silica Gel) เป็นสารสังเคราะห์ที่สกัดจากทรายขาวผสมกรดกำมะถันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซิลิกอน ไดออกไซด์ (Silicon Dioxide) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม โดยทั่วไป ซิลิก้าเจล จะมีลักษะณะเป็นโพรง มีรูพรุน ทำให้มีพื้นผิว ที่ใช้ในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมาก ประมาณ 800 ตารางเมตรต่อน้ำหนัก 1 กรัม หรือประมาณ 35-40 % ของน้ำหนักตัวเอง ซิลิก้าเจล (Silica Gel) มี 4 ชนิดคือ

- ซิลิกาเจลชนิดเม็ดสีขาว (White Silica Gel) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นประมาณ 35-40% ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ละเม็ดประมาณ 2-5 มิลลิเมตร

- ซิลิก้าเจล ชนิดเม็ดสีน้ำเงิน (Blue Silica Gel) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการ เพียงแต่มีการเพิ่มสารพิเศษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการตรวจวัดปริมาณความชื้นที่กักเก็บไว้ ทำให้ผู้ใช้รู้ว่ามีการเก็บความชื้นไว้ในปริมาณเท่าไร โดยจะแสดงเป็นสีน้ำเงินและสีชมพู หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เม็ดเป็นสีน้ำเงิน หมายความว่า สารกันชื้น นั้นยังไม่ได้ใช้งาน ส่วนเม็ดสารกันชื้น ที่เปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือสีม่วงอ่อน แสดงว่าหมดอายุในการใช้งาน ควรเปลี่ยน สารกันความชื้นใหม่

- ซิลิก้าเจล ชนิดเม็ดสีส้ม (Orange Silica Gel) มีคุณเหมือนกับชนิดสีน้ำเงินทุกประการการทำงาน จะเปลี่ยนจากสีส้ม เป็นสีเขียวอ่อน ซิลิก้าเจล ชนิดนี้ยังไม่ได้รับความนิยมในเมืองไทย เนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูง

- ซิลิก้าเจล ชนิดเม็ดทราย (Silica Sand) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการแตกต่างกันที่ขนาดของเม็ดของสารกันความชื้น ซึ่งสารกันความชื้น ชนิดเม็ดทราย จะมีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร

การใช้สารที่สามารถดูดซับออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์อาการนับเป็นแนวทางใหม่ สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์อาหารแบ่งย่อยเนื่องจากบรรจุภัณฑ์เหล่านี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของอาหาร และเพิ่มการสัมผัสกับออกซิเจนที่เป็นตัวการของปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารดูดซับออกซิเจน ทางการค้าที่ใช้กันมากได้แก่ ผง oxide ที่บรรจุในซองเล็กๆ แล้วใส่ในบรรจุภัณฑ์ หรือการเติมวัตถุเจือปนที่เป็นสารชนิดนี้ในโพลิเมอร์ที่ใช้ ผลิตบรรจุภัณฑ์เพื่อช่วยในการดูดซับออกซิเจนและป้องกันไม่ให้ออกซิเจนจากภายนอกสัมผัสกับอาหารได้ (วารสารสถาบันอาหารปีที่ 6, 2547)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะไส้ลำไย โดยได้เปลี่ยนรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับบรรจุขนมเปี๊ยะ โดยบรรจุขนมเปี๊ยะแต่ละชิ้นใส่ซองพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน หรือพีพี

(Polypropylene, PP) และบรรจุรวมในซองใหญ่ซึ่งเป็นฟิล์มประกบ 2 ชั้น ชนิดโพละมายด์ หรือไนลอนประกบกับพท (NYLON/PET) ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซที่ดี พร้อมสารดูดซับออกซิจนและบรรจุในกล่องกระดาษอีกชั้น เพื่อป้องกันความเสียหายจากการวางซ้อนทับระหว่างขนส่ง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยฝ่ายเทคโนโลยีอาหารได้ทำการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะในบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้นโดยเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน และสามตัวอย่างทุก 15 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะมีอายุการเก็บรักษาโดยประมาณ 3 เดือน

อรวรรณ คงพันธุ์ (2544) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากชูริมิและการบรรจุ พบว่า อายุการเก็บรักษาของเส้นบะหมี่และก๋วยเตี๋ยวชูริมิที่บรรจุในถาด polystylene ใส่ถุงพลาสติก ON/LLDPE และปิดผนึก สามารถคงคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้นาน 12 วัน ที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซียส การใช้สารดูดชความชื้นร่วมกับการบรรจุ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของบะหมี่ชูริมินานขึ้นเป็น 17 วัน

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณประโยชน์และองค์ประกอบทางโภชนาการของพังกาหัวสุมดอกแดงมีรายละเอียดดังนี้

อุไรวรรณ วัฒนกุล และคณะ (2552) ได้ทำการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน สารประกอบฟินอลิกและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดพืชป่าชายเลน บริเวณหาดราชมงคล จังหวัดตรัง ผลการทดลองพบว่า ฝักสดพังกาหัวสุมดอกแดงมีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50}) เท่ากับ 0.226 มิลลิกรัม BHA ต่อ มิลลิลิตร เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH มีปริมาณสารประกอบฟินอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 8.35 มิลลิกรัม gallic acid และ 3.15 มิลลิกรัม catechin ต่อกรัมพืช ตามลำดับ

นันทวัน บุณยะประภัศร และคณะ (2545) ได้วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผักพื้นบ้านในป่าชายเลนในจังหวัดนครศรีธรรมราช สมุทรสงคราม และสมุทรสาคร พบว่า ฝักโกงกางใบใหญ่มีปริมาณเส้นใยอาหารและแคลเซียมสูงที่สุด คือ มีปริมาณ 27.46 (%w/w) และ 3880 mg/100g ตามลำดับ ในขณะที่ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีปริมาณเส้นใย 17.93% คาร์โบไฮเดรต 19.66% และมีแคลเซียม 2050 mg/100g แต่เมื่อศึกษาในด้านประโยชน์ทางการแพทย์โดยตรวจสอบฤทธิ์ antioxidant, lipid peroxidation และฤทธิ์ป้องกันมะเร็ง พบว่า พืชที่ให้ผลคือ พังกาหัวสุมดอกแดง แต่ยังไม่มีรายงานถึงชนิดของสารออกฤทธิ์

Banerjee et al. (2008) ได้วิเคราะห์ antioxidant activity และ total phenolics ของพืชป่าชายเลนใน Sundarbans ประเทศอินเดีย พบว่า ปริมาณ total phenolics แปรผันอยู่ในช่วง

4.40-94.41 mg gallic acid/g dry material ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช โดยใบพังกาหัวสุมดอกแดงมีปริมาณ total phenolics ที่ 8.25 mg gallic acid/g dry material เปลือกของลำต้นมีปริมาณ 35.86 mg gallic acid/g dry material รากมีปริมาณ 16.37 mg gallic acid/g dry material มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2052, 254 และ1532 μg dry material /ml สำหรับ ใบ เปลือก และราก ตามลำดับ

Homhual (2006) ได้ศึกษาสารป้องกันมะเร็งจากดอกพังกาหัวสุมดอกแดง พบว่า สารที่แยกได้อยู่ในกลุ่ม dammarane triterpenoids และ cyclic dithiosulfonate ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ cyclooxygenase ชนิด COX-2 โดยสารที่ชื่อ bruguierin A และ brugierol มีค่า IC_{50} 6.6 และ 6.1 μM ตามลำดับ

จากการตรวจเอกสารด้านการผลิตแป้งที่มีปริมาณใยอาหารสูง พบว่า แป้งใยอาหารสูงสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่อุดมด้วยใยอาหารหลายชนิด ซึ่งเมื่อผ่านการแปรรูปแล้ว แป้งที่ได้ยังคงมีปริมาณใยอาหารสูง การจะผลิตแป้งใยอาหารสูงจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดงจึงสามารถพิจารณาแนวทางการผลิตจากงานวิจัยต่างๆ ได้ ดังนี้

Trinidad, et al. (2006) ได้ทำการผลิตแป้งจากกากมะพร้าวที่เหลือจากการสกัดน้ำกะทิ โดยมีวิธีการผลิตคือ นำกากมะพร้าวมาทำการลวกเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อน จากนั้นนำมาอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาด แล้วนำมาบีบอัดด้วยเครื่องบีบอัดแบบสกรูเพื่อลดปริมาณน้ำมันในกากมะพร้าว นำกากมะพร้าวที่ได้มาบดเป็นแป้ง เมื่อตรวจสอบคุณภาพของแป้ง พบว่า แป้งจากกากมะพร้าว มีปริมาณความชื้น 3.6% เถ้า 3.1% ไขมัน 10.9% โปรตีน 12.1% คาร์โบไฮเดรต 70.3% ปริมาณ dietary fiber 60.9% โดยเป็นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ 56.8% และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 3.8%

Roopa and Premavalli (2008) ศึกษาการผลิตแป้งจาก finger millet ซึ่งเป็นธัญพืชพื้นเมืองของอินเดีย ที่อุดมไปด้วยใยอาหาร วิธีการผลิตแป้งทำได้โดยนำเมล็ด finger millet มาทำความสะอาด แล้วบดเป็นแป้ง นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 18 เมช แป้งที่ได้มีปริมาณ total available starch 39-53% และ resistant starch 0.9-1.0%

อรอุมา คงเกลี้ยง และอุมากร พิมพ์โพธิ์ (2544) ศึกษาวิธีการลอกเยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดขนุน 4 วิธี คือ วิธีแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วิธีแช่ด่างร้อน (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วิธีแช่ด่างที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 5 และ 10 นาที และวิธีการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส พบว่าวิธีแช่แข็งเป็นวิธีปอกเปลือกที่ง่ายที่สุด และได้ผลผลิตสูงสุด คือ 97.19 เปอร์เซ็นต์ และผลิตแป้งเมล็ดขนุนซึ่งทำได้โดยนำเมล็ดขนุนที่ผ่านการปอกเปลือกแล้วมาหั่นเป็นแผ่นบางๆ ให้มีความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แผ่ลงบนถาดอะลูมิเนียม นำไปอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

นำไปโม่หยาบและโม่ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 0.5 และ 0.2 แล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช จะได้เป็นแป้งเมล็ดขนุน

Tulyathan, Tananuwong, Songjinda, and Jaiboon (2002) ผลิตแป้งเมล็ดขนุนจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุดใจ โดยนำเมล็ดขนุน 3 กิโลกรัม มาล้างให้สะอาด ลอกเยื่อสีขาวครีมที่หุ้มชั้นนอกออก แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 2 นาที เพื่อลอกเยื่อสีน้ำตาลออก นำส่วนเนื้อเมล็ดมาสไลด์ให้เป็นแผ่นบาง นำไปอบในตู้อบแบบถาดที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นน้อยกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงบดในเครื่องบดแบบ Pin mill ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและเก็บในตู้เย็น (อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส)

จากการตรวจเอกสารด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพโดยใช้แป้งที่มีเส้นใยอาหารสูงเป็นส่วนประกอบ ยังไม่พบข้อมูลเผยแพร่มากนัก โดยพบว่าผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการนำธัญพืชมาใช้โดยตรง หรือมุ่งเน้นไปที่การลดปริมาณไขมันหรือน้ำตาล หรือเพิ่มปริมาณสารอาหารเช่นโปรตีน อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพรูปแบบใหม่โดยใช้แป้งจากพังกาหัวสุมดอกแดงที่มีเส้นใยสูงเป็นส่วนประกอบ สามารถพิจารณาแนวทางการวิจัยรวมถึงพิจารณาความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆดังนี้

Trinidad, et al. (2006) ได้ทดลองใช้แป้งที่มีใยอาหารสูงจากกากมะพร้าวเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น Pan de sal, Granola bar, Choco chip cookie และ Brownies ซึ่งพบว่า ต่างก็มีปริมาณใยอาหารสูงขึ้น โดยปริมาณของใยอาหารที่เพิ่มสูงขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของแป้งกากมะพร้าวที่เติมลงไปในสูตร

ศิริพร ผ่องใส (2544) ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เปลือกพายชั้น จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุน พบว่า มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 77.61% โปรตีน 15.68% และใยอาหาร 0.79% เติมแป้งเมล็ดขนุนในส่วนผสม โดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 0 25 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแป้ง) พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เปลือกพายชั้นได้ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยเปลือกพายที่ได้มีค่าสี ความกรอบ และการพองตัวใกล้เคียงกับเปลือกพายชั้นจากแป้งสาลีมากที่สุด จากนั้นทำการศึกษาต่อโดยแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุน 10 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแป้ง) พบว่าสามารถใช้แป้งเมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เปลือกพายชั้นได้ 20 เปอร์เซ็นต์

สุภาพร กิตติวราภรณ์ (2545) ศึกษาผลของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อสมบัติการเกิดเพสของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษาในผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ เส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมบัวลอย และเม็ดไข่มุก ซึ่งเป็นตัวแทนของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลังตามลำดับ เสริมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ระดับ 0, 3, 6, 9% โดยน้ำหนักแป้ง พบว่า การเติมโปรตีนถั่ว

เหลืองสกัดมากขึ้นมีผลให้การดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดมากขึ้น และเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของขนมบัวลอยและเม็ดไข่มุกมีค่าลดลง

ชนิดา ครูส่ง (2548) ศึกษาผลของเวย์โปรตีนเข้มข้น (WPC) และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) ในผลิตภัณฑ์ขนมกวน 2 ชนิด คือ ถั่วกวน และเมล็ดขนุนกวนที่ระดับ 0, 3, 6, และ 9% พบว่า การเพิ่มระดับของปริมาณ WPC และ SPI ทำให้ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของขนมกวนมีค่าเพิ่มขึ้น ขนมกวนที่เติม SPI มีกลิ่นรสถั่วเพิ่มขึ้น แต่มีความสากลิ้นและความเป็นแป้งมากกว่า ขนมกวนที่เติม WPC ที่ระดับเดียวกัน สำหรับเมล็ดขนุนกวน พบว่า มีกลิ่นรสของพลาสติก แต่ยังได้รับการยอมรับจากกลุ่มผู้ทดสอบ

ศดานันท์ เนรกัณฐี (2548) ศึกษาการพัฒนาขนมเผือกกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมโดยใช้ Mixture Design โดยศึกษาผลของปริมาณส่วนผสมหลัก ได้แก่ แป้งเผือก แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสและลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ และศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเพิ่มปริมาณกะทิผงและน้ำตาลทราย พบว่า สูตรขนมเผือกกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมประกอบด้วยแป้งเผือก แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย กะทิผง และเกลือ ปริมาณร้อยละ 23.77, 14.27, 9.51, 38.04, 14.27 และ 0.14 ตามลำดับ ศึกษาภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ขนมเผือกกึ่งสำเร็จรูปสุกโดยใช้ไมโครเวฟ พบว่าขนมเผือกกึ่งสำเร็จรูปที่ทำให้สุกโดยใช้ระดับกำลังไฟร้อยละ 50 (350 watt) เป็นเวลา 2 นาที มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุดไม่แตกต่างกับขนมเผือกกึ่งสำเร็จรูปที่ทำให้สุกโดยการนึ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ทวน ทองพราว (2546) ศึกษาสูตรขนมกล้วยกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมโดยใช้ Mixture Design โดยศึกษาผลของปริมาณส่วนผสมหลัก ได้แก่ แป้งกล้วย แป้งข้าวเจ้า และน้ำตาลทรายต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และศึกษาผลของการเพิ่มกะทิผง และน้ำตาลทรายเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า สูตรที่เหมาะสม คือแป้งกล้วย แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย กะทิผง และแป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 24.24, 20.20, 45.45, 5.49 และ 4.62 ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มี ความแข็ง การคืนตัว ความเหนียว การเคี้ยว และการยอมรับรวม ไม่แตกต่างกับขนมกล้วยสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ขนมกล้วยกึ่งสำเร็จรูปสุกโดยใช้ไมโครเวฟ พบว่าขนมกล้วยกึ่งสำเร็จรูปที่ทำให้สุกโดยใช้ระดับกำลังไฟร้อยละ 50 (400 watt) เป็นเวลา 4 นาที มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตปรับปรุงคุณภาพฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานโดยการฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาทำให้สุก แล้วดึงน้ำออกโดยใช้วิธีออสโมซิสเพื่อลดปริมาณน้ำ โดยพบว่าการใช้สารละลายผสมเป็นสารละลายออสโมติกจะมีส่วนช่วยให้การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสดีขึ้นและช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารหลังการออสโมซิสได้ เนื่องจากสารที่ใช้แต่ละชนิดจะมีข้อดีช่วยเสริมประสิทธิภาพการออสโม

ซิสได้ แล้วจึงนำมาอบแห้งเพื่อลดปริมาณความชื้นและ water activity ให้เป็นผลิตอาหารประเภทกึ่งแห้ง โดยมีรายละเอียดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Talens and Escriche. (2002) ได้ศึกษาผลของการออสโมซิสกีวี โดยใช้สารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นต่างๆ (30 45 และ 65°Brix) ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการคัดเลือกผลกีวีที่มีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน และนำมาหั่นให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร พบว่า การออสโมซิสกีวีที่ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 45°Brix มีการถ่ายเทมวลสารที่ดีที่สุด มีลักษณะปรากฏทางด้านสี และมีอายุการเก็บรักษาในสภาพแช่เย็น หรือแช่แข็งได้ดีกว่ากีวีสด

Chenlo et al. (2006) ได้ศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสในเกาลัดโดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ (17.0% 22.0% และ 26.5% w/w) และที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (25 35 และ 45°C) โดยมีเวลาในการแช่ตั้งแต่ 1-8 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนในการแช่เกาลัด: สารละลาย เป็น 1:10 w/w พบว่า การแช่เกาลัดในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 22% w/w ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 1-8 ชั่วโมง มรอัตราส่วนของ WL/SG สูงที่สุด คือ 1.926 kg/kg และพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจำให้อัตราส่วนของ WL/SG ลดลง

Moreira et al. (2006) ศึกษาผลของการกวนสารละลายและการใช้สารละลายกลีเซอรอลและสารละลายเกลือเป็นสารละลายออสโมติกในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของเกาลัด โดยมีแนวคิดคือ กระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสเป็นกระบวนการที่น่าสนใจ เนื่องจากต้นทุนในการผลิตต่ำและทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น แบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) แปรความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอลเป็น 25 35 45 และ 60 g/100g แช่เกาลัดที่เวลาต่างๆคือ 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนในการแช่เกาลัด : สารละลาย เป็น 1:10 w/w อุณหภูมิ 25°C โดยมีการกวนสารละลายความเร็วรอบ 0 40 และ 110 rmp พบว่า การใช้กลีเซอรอลความเข้มข้น 35 g/100g โดยไม่มีการกวนสารละลาย จะทำให้มีค่า Water loss/Solid gain (WL/SG) สูงที่สุด คือ 3.281 kg/kg และลดค่า a_w ลดลงจาก 1.00 เป็น 0.77 2) ศึกษาการใช้สารละลายผสมระหว่างกลีเซอรอล 35 g/100g กับเกลือ 9.7 g/100g พบว่าทำให้ปริมาณน้ำสูญเสียเพิ่มขึ้น และมีปริมาณความชื้นลดลงสูงสุด จากความชื้นเริ่มต้น 1.00 kg/kg เหลือเพียง 0.78 kg/kg ที่ระยะเวลาการแช่ 8 ชั่วโมง โดยมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงสุดจากเริ่มต้นมีปริมาณของแข็ง 1.00 kg/kg และเพิ่มเป็น 1.12 kg/kg

Albanese., Cinquanta., Dimatteo. (2007) ได้ศึกษาผลการเปรียบเทียบการใช้สารละลายผสมในการออสโมซิสแอปเปิ้ลที่มีสารละลายทรีฮาโลสเป็นองค์ประกอบคือ สารละลายทรีฮาโลส 0.8% สารละลายซูโครส 1% และ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1% กับสารละลายที่ไม่มีทรีฮาโลสเป็นองค์ประกอบ โดยพบว่าแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายผสมที่มีทรีฮาโลสเป็นองค์ประกอบพบว่าช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษา และช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้ทรีฮาโลส

Ramallo., Mascheroni. (2010) ได้ศึกษาผลของการออสโมซิสในสับปะรดก่อนนำไปแช่แข็ง โดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 60°Brix ที่อุณหภูมิ 40°C และเวลาในการออสโมซิสต่างกัน (30 60 120 180 และ 240 นาที) นำสับปะรดมาปอกเปลือก หั่นออกเป็นแว่นที่มีความหนา 0.6 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 เซนติเมตร นำแกนกลางออก จากนั้นนำไปออสโมซิสที่เวลาต่างๆ เมื่อครบเวลา นำสับปะรดไปแช่แข็ง พบว่าสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเป็นเวลานานจะช่วยลดเวลาในการแช่แข็งลง ลดการสูญเสียของเหลวหลังการละลาย และช่วยให้โครงสร้างของตัวอย่างแข็งแรงมากกว่าการออสโมซิสที่เวลาน้อยๆ

วนิดา สระทองคำ (2543) ได้ศึกษาการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส จากการศึกษาหาเวลาในการลวกฟักทองโดยใช้ไอน้ำ พบว่า การลวกฟักทองโดยใช้ไอน้ำ การลวก 6 นาที สามารถยั้บยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ ในขั้นตอนการออสโมซิสมีการศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างฟักทองต่อซูโครสไซรัปที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณน้ำ (Water Loss: WL) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain: SG) พบว่า อัตราส่วน 1:3 เหมาะสมที่สุดในการออสโมซิส จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัป (50 และ 70°Brix) อุณหภูมิ (50 และ 70°C) และเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส (3 และ 5 ชั่วโมง) ต่อค่า WL และ SG พบว่า ที่สภาวะในการออสโมซิส 70°Brix อุณหภูมิ 70°C เวลา 5 ชั่วโมง และทำแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ใช้เวลา 8 ชั่วโมง 15 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุด จากการศึกษาการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปในการออสโมซิสฟักทอง พบว่า WL และ SG เพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดซิตริก ($p \leq 0.05$) และการใช้กรดซิตริก 1.0% มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด จากการศึกษาการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัป และกรดซิตริกในการออสโมซิสฟักทอง พบว่าค่า WL และ SG เพิ่มขึ้นตามปริมาณโซเดียมคลอไรด์ ($P \leq 0.05$) และการใช้โซเดียมคลอไรด์ 0.5% (โดยน้ำหนัก) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนการยอมรับสูงสุด ต่อมาศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง 50 60 และ 70°C พบว่า ที่อุณหภูมิทำแห้ง 60°C ใช้เวลาการทำแห้ง 8 ชั่วโมง 15 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเบต้าแคโรทีน และคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด ($P<0.05$)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์

วัตถุดิบ และสารเคมี

1) ฝักพังกาหัวสุมดอกแดง จากสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 บ้านท่าสอน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี

2) กะทิกล่อง ตรา ชาวเกาะ

3) กะทิผงสำเร็จรูป ตรา ชาวไทย

4) น้ำตาลทราย ตรามิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด ประเทศไทย

5) เกลือ ตราปรุงทิพย์ บริษัท สหพัฒน์พิบูล จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย

6) ซอร์บิทอล บริษัท Fisher Scientific ประเทศอังกฤษ

7) น้ำตาลทรีฮาโลส บริษัท Fisher Scientific ประเทศอังกฤษ

8) ซิลิกาเจล บริษัท เจนจรัสเคมซัพพลาย จำกัด ประเทศไทย

อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1) เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด Sartorius รุ่น BA 211S ประเทศเยอรมนี

2) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ

3) เครื่องวัดค่า Water Activity (a_w) Novasina รุ่น Thermo constanter TH 200 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

4) เครื่องวัดสี (Colorimeter) HunterLab รุ่น Mini Scan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

5) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ประเทศไทย

6) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) Heto รุ่น CB60BX ประเทศเดนมาร์ก

7) เตาไฟฟ้า Imarflex 2000 W รุ่น Butterfly IF-830

9) ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator) Memmert รุ่น BE600 ประเทศเยอรมนี

10) เครื่องตีผสม (Stomacher) Seaward Meducai Limited รุ่น Stomacher 400 ประเทศอังกฤษ

11) โถดูดความชื้น (Desicator) Indosaw ประเทศไทย

12) ถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีน (Polyethylene : PE) แบบหนาและใส

13) ถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์

14) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

15) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

16) อุปกรณ์เครื่องแก้ว

17) อุปกรณ์งานครัว

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

จากการค้นคว้าข้อมูลพบว่าพืชตระกูลโกงกาง (Rhizophora) มีสารต้านอนุมูลอิสระประเภทสารฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบในส่วนต่างๆของพืช เช่น ใบ และฝักในปริมาณค่อนข้างสูง นอกจากนี้ในส่วนของฝักเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต และแคลเซียมสูง (สมนึก เวศวงศ์ษาทิพย์, 2539) อย่างไรก็ตามสำหรับฝักพังกาหัวสุมดอกแดงซึ่งเป็นพืชอยู่ในตระกูลโกงกาง ยังไม่พบการรายงานองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ขั้นตอนนี้จึงเป็นการวิเคราะห์คุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงด้านต่างๆดังนี้

- องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)
- ใยอาหาร (dietary fiber) (AOAC, 2000)
- ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)
- ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 2000)
- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ดัดแปลงจาก Dewanto *et al.*, 2002) และฟลาโวนอยด์ (ดัดแปลงจาก ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม และ วันทนีย์ ช้างน้อย, 2545)
- สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Fan, Zhang, Yu & Ma, 2006)

ตอนที่ 2 การศึกษากรรมวิธีในการผลิตแป้งที่มีแคลเซียมและใยอาหารสูงจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

2.1 การศึกษาวิธีการลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

วิธีดั้งเดิมของการลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงของชาวบ้าน คือนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงแช่น้ำขี้เถ้าให้ท่วมโดยแช่ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วนำมาต้มในน้ำเปล่าโดยไม่ปอกเปลือกฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นเวลา 3 ชั่วโมงพอน้ำเดือดให้ตักน้ำทิ้งแล้วเติมน้ำเข้าไปใหม่ต้มต่อจนเดือด จากนั้นนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ต้มแล้วไปปอกเปลือกซึ่งวิธีนี้ค่อนข้างใช้เวลานานและปัจจุบัน

ขี้เถ้าหาได้ยากขึ้น จึงไม่เหมาะแก่การนำมาใช้ในการผลิตครั้งละมากๆหรือการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการดัดแปลงวิธีของชาวบ้านในการลดความฝาดขมดังนี้

นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาล้างทำความสะอาดแล้วต้มจนสุก โดยต้มครั้งละ 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 90 นาที ใช้อัตราส่วนของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงต่อน้ำเท่ากับ 1:10 (ฝักพังกาหัวสุมดอกแดง 1กิโลกรัมต่อน้ำ 10 ลิตร) ภายหลังการต้มสุก นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาปอกเปลือก แล้วสไลด์เฉียงเป็นแผ่นหนา 0.5 เซนติเมตร จากนั้นแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นเวลา 30 นาที อัตราส่วนของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงต่อสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1:10 โดยแปรระดับความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0 (ไม่ได้แช่สารละลาย), 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่สไลด์มาต้มในน้ำเดือดอีก 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที โดยเปลี่ยนน้ำทุกครั้ง ใช้อัตราส่วนของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่สไลด์ต่อน้ำเท่ากับ 1:10 นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการลดความฝาดขมมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ โดยวิธี Scoring test ผู้ทดสอบประเมินความเข้มของคุณลักษณะ โดย 1 หมายถึง ไม่มีรสฝาด และ 5 หมายถึง ฝาดมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน เลือกตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นของด่างน้อยที่สุด ที่สามารถลดความฝาดได้มา 1 ตัวอย่างเพื่อใช้ในการผลิตแป้งต่อไป

จากการทดลองพบว่า การใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นที่สูงขึ้น ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงจะมีสีเข้มมากขึ้นตามไปด้วย จึงทำการวัดค่าสี L* a* b* ของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab โดยที่ L* หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) a* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว ค่า a* เป็นบวกแสดงค่าสีแดง ค่า a* เป็นลบแสดงค่าสีเขียวและ b* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน ค่า b* เป็นบวกแสดงค่าสีเหลือง ค่า b* เป็นลบแสดงค่าสีน้ำเงิน

วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* a* b* โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล(ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

วิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติโดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

2.2 การผลิตแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง

นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการกำจัดความฝาดแล้วมาเกลี่ยบนถาดอลูมิเนียม แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เพื่อให้มีความชื้นไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์

นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งไปบดหยาบและบดละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช เก็บตัวอย่างแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงใส่ถุงปิดให้สนิท แล้วนำมาวิเคราะห์ผลด้านต่างๆ ดังนี้

- ปริมาณผลได้ (% yield)

- องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

- ปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) (AOAC, 2000)

- ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ (ดัดแปลงจาก ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม และวันทนีย์ ช้างน้อย, 2545)

- สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Fan, Zhang, Yu & Ma, 2006)

- ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง (Swelling power) และความสามารถในการละลาย (Solubility) ตามวิธีของ Schoch (1964)

- วิเคราะห์ pasting characteristics ด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph

- การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของเม็ดแป้ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope, SEM)

ตอนที่ 3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากแป้งและฝักสดพังกาหัวสุมดอกแดง

3.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง

3.1.1 ผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน

ผลิตภัณฑ์ขนมกวนเป็นผลิตภัณฑ์ขนมไทยที่มีขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยาก ผลิตภัณฑ์ขนมฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกวนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคจนได้เลื่อนขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ OTOP ของชุมชนตำบลบ่อ ซึ่งเป็นชุมชนในพื้นที่เดียวกับสถานีพัฒนาป่าชายเลนที่ 2 บ้านท่าสอน จ.จันทบุรี แต่ติดปัญหาในด้านวัตถุดิบที่ออกเพียงปีละหนึ่งครั้ง จึงไม่สามารถทำขายได้ตลอดทั้งปี ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะนำแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผลิตได้มาทดลองทำผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน เพื่อใช้ทดแทนฝักพังกาหัวสุมดอกแดง ซึ่งจะเอื้อประโยชน์ให้ชาวชุมชนสามารถผลิตสินค้าออกขายได้ตลอดทั้งปี

การผลิตผลิตภัณฑ์สูตรต้นแบบ

ผลิตขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน โดยดัดแปลงสูตรและวิธีการผลิตมาจากการผลิตฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกวนของชาวชุมชนตำบลบ่อ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี และการผลิตเผือกกวนจากงานวิจัยของ ศดานันท์ เนรกัณฐี (2548)

โดยนำแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง 18.45 กรัม ผสมกับน้ำโดยแปรปริมาณน้ำเป็น 2 ระดับ คือ 81.54 กรัม และ 40.77 กรัม โดยปริมาณน้ำที่เติมคำนวณจากปริมาณความชื้นของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงต้มสุก (82.38±1.13 เปอร์เซ็นต์) และปริมาณความชื้นของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง (4.51±0.04 เปอร์เซ็นต์) โดยการปรับปริมาณความชื้นของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงให้เท่ากับความชื้นของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงต้มสุก เมื่อคำนวณออกมาแล้วจึงได้ปริมาณน้ำที่ต้องเติมน้ำทดแทนระดับที่ 1 คือ 81.54 กรัม แต่จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ปริมาณน้ำที่เติมมากเกินไปจึงต้องใช้เวลากวนค่อนข้างนาน จึงปรับลดปริมาณน้ำลงครึ่งหนึ่งได้ปริมาณน้ำระดับที่ 2 คือ 40.77 กรัม จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดไปกวนบนเตาโดยใช้ไฟอ่อนอุณหภูมิของส่วนผสมขณะกวนประมาณ 185 องศาเซลเซียส กวนเป็นเวลา 50 นาทีสำหรับการเติมน้ำ 81.54 กรัม และ 45 นาที สำหรับการเติมน้ำ 40.77 กรัม ซึ่งเมื่อกวนได้ที่จะสังเกตเห็นขนมร่อนไม่ติดกระทะจึงยกลงจากเตาโดยมีสูตรในการทำขนมตามตารางที่ 3-1 ดังนี้

ตารางที่ 3-1 ส่วนผสมขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน

สูตร		ส่วนผสม			
		พังกา(กรัม)	น้ำตาลทราย(กรัม)	น้ำกะทิ(กรัม)	น้ำ(กรัม)
ดั้งเดิม		100 จากฝักสด	74	100	-
ต้นแบบ	1	18.45 จากแป้ง	74	100	81.54
	2	18.45 จากแป้ง	74	100	40.77

นำขนมกวนที่ได้มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับขนมฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกวนที่ผลิตจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดงสดตามกรรมวิธีดั้งเดิมของชาวชุมชนตำบลบ่ออำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ให้ผู้ทดสอบประเมินคุณลักษณะด้านสีเหลืองอมน้ำตาล กลิ่นรส รสหวาน ความนุ่ม(ในปาก) ตามความรู้สึกได้จากการชิมแต่ละตัวอย่างด้วยวิธี Ratio profile test ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน จากนั้นปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของค่าความเข้มของคุณลักษณะตัวอย่าง (S) ต่อค่าความเข้มในอุดมคติ (I) ถ้าค่า S/I ของคุณลักษณะใดๆไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ต้องมีการปรับปรุงแต่ถ้าอยู่ในช่วงการยอมรับ คือ 0.8-1.2 ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จึงไม่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะ

จากนั้นจึงนำขนมสูตรต้นแบบที่เลือกได้และขนมสูตรดั้งเดิมมาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสอีกครั้ง โดยทดสอบในด้านความชอบ ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ให้ผู้ทดสอบประเมิน

ความชอบด้านกลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรดั้งเดิมของชาวชุมชนมีส่วนผสมและรายละเอียดในการผลิต คือ นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการต้มเพื่อกำจัดความฝาดตามวิธีการลดความฝาดที่เลือกได้ ปริมาณ 100 กรัม มาบดให้ละเอียด และกวนผสมกับน้ำกะทิ 100 กรัม และน้ำตาลทราย 74 กรัม กวนด้วยไฟอ่อนๆ อุณหภูมิของส่วนผสมขณะกวนประมาณ 185 องศาเซลเซียส กวนจนกระทั่งส่วนผสมเข้ากันและเหนียวล่อนออกจากกระทะ โดยใช้เวลากวนประมาณ 50 นาที จึงยกลงจากเตา เตรียมถาดสำหรับใส่ขนม โดยทาน้ำมันพืชให้ทั่วถาด เทขนมที่กวนไว้ลงในถาด เกลี่ยให้เสมอกัน พักไว้ให้เย็น ตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยม แล้วจัดเสริฟ

นำขนมกวนสูตรต้นแบบ 2 สูตรและสูตรดั้งเดิมมาหาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การวัดค่าสี L*, a* และ b* และลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง texture analyser รุ่น TA-XT2 วิเคราะห์ค่า Hardness ใช้หัววัด P/35

วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* a* b* และคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล(ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

วิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

3.1.2 ผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป

เนื่องจากขนมไทยมักจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น และหลายๆผลิตภัณฑ์เป็นขนมเฉพาะท้องถิ่น ผู้บริโภคจะสามารถซื้อรับประทานได้เฉพาะในท้องถิ่นเท่านั้น เพื่อเป็นการส่งเสริมให้ขนมไทยสามารถขายได้ในระดับที่กว้างขึ้น และมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น เหมาะแก่การนำส่งออกไปขายภายนอกชุมชน ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาขนมไทยกึ่งสำเร็จรูป โดยผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ คือ ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน เพราะขนมกวนเป็นขนมที่มีขั้นตอนการทำไม่ซับซ้อน ส่วนผสมไม่มาก จึงเหมาะแก่การพัฒนาเป็นต้นแบบของขนมไทยกึ่งสำเร็จรูป

ขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์

3.1.2.1ศึกษาปริมาณน้ำและระยะเวลาการทำขนมกึ่งสำเร็จรูปให้สุกโดยใช้ไมโครเวฟ

ผสมแป้ง 18.45 กรัม น้ำตาลทราย 74 กรัม กะทิผง 100 กรัม เข้าด้วยกัน แล้วเติมน้ำ โดยแปรปริมาณน้ำ 3 ระดับ คือ 80, 100 และ 110 กรัม กวนผสมส่วนผสมให้เข้ากันดี จากนั้นนำไปทำให้สุกโดยไมโครเวฟ Electrolux ที่กำลังไฟ 400 วัตต์ แปรระยะเวลาการทำให้ขนมสุกเป็น 3 ระดับคือ 6, 7 และ 8 นาที รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ส่วนผสมขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป

สูตร	น้ำ (กรัม)	เวลาที่ทำให้สุก (นาที)	ส่วนผสม		
			แป้งพังกาหัวสุมดอกแดง (กรัม)	น้ำตาลทราย (กรัม)	กะทิผง(กรัม)
1	80	6	18.45	74	22.50
2	80	7	18.45	74	22.50
3	80	8	18.45	74	22.50
4	100	6	18.45	74	22.50
5	100	7	18.45	74	22.50
6	100	8	18.45	74	22.50
7	110	6	18.45	74	22.50
8	110	7	18.45	74	22.50
9	110	8	18.45	74	22.50

นำขนมที่ได้แต่ละสูตรมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ให้ผู้ทดสอบประเมินความชอบด้านกลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

ทำการคัดเลือกตัวอย่างจากคะแนนความชอบโดยรวมที่สูงที่สุด มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพต่อไป

วางแผนการทดลองแบบ Factorial 3X3 in Randomized Complete Block Design วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

3.1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของขนมกวนที่พัฒนาได้

นำขนมกวนที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เส้นใยหยาบและคาร์โบไฮเดรต(AOAC, 2000) ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990) และใยอาหาร (AOAC, 2000)

สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การวัดค่าสี L*, a* และ b* (เครื่องวัดสี Hunter Lab)และลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง texture analyser รุ่น TA-XT2 วิเคราะห์ค่า Hardness ใช้หัววัด P/35

3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากฝักสดพังกาหัวสุมดอกแดง

ดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน มีขั้นตอนการพัฒนาดังนี้

3.2.1 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

จากการค้นคว้าข้อมูลพบว่าฝักพังกาหัวสุมดอกแดงดิบมีรสฝาดขม (สมนึก เวศวงศ์ษาทิพย์, 2539) และมีการแนะนำว่าก่อนนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาบริโภคควรปอกเปลือกและต้มให้สุก โดยการต้มหลายน้ำจะทำให้ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงสุกและช่วยทำให้รสฝาดขมลดลงได้ (เกษม จ่าพันดุง, สัมภาษณ์, 16 สิงหาคม 2554) จากการทำการทดลองเบื้องต้นพบว่าการต้มฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สามารถช่วยทำให้รสฝาดขมลดลงได้ดีกว่าการต้มในน้ำ โดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่า อย่างไรก็ตามไม่เพียงพอที่จะทำให้ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงสุกและมีข้อจำกัดคือทำให้มีรสเค็มมากขึ้น จึงมีแนวคิดที่จะนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาลดรสฝาดขมและทำให้สุก ก่อนนำไปดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส โดยการต้ม 3 ครั้ง สองครั้งแรกเป็นการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพื่อลดรสฝาดขมแล้วนำมาต้มต่อในครั้งที่สามเป็นการต้มในน้ำเพื่อลดรสฝาดขมที่อาจตกค้างและทำให้สุก

เนื่องจากปัจจัยด้านความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และเวลาการต้มในน้ำอาจมีผลต่อระดับรสฝาดขมที่ลดลงและระดับความสุกของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงซึ่งอาจส่งผลต่อการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสด้วย ในการทดลองนี้จึงต้องการศึกษาผลของปัจจัยในการเตรียมขั้นต้นดังกล่าวก่อนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง ดังนั้นจึงแปรปัจจัยที่ต้องการศึกษาเป็น 3 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ คือ 2% และ 3% (w/v)

ปัจจัยที่ 2 เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ คือ 20 และ 30 นาที

ปัจจัยที่ 3 เวลาการต้มในน้ำ คือ 15 และ 30 นาที

จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (2x2x2) ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที) และเวลาการต้มในน้ำ (นาที)

สิ่งทดลองที่	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์	เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที)	เวลาการต้มในน้ำ(นาที)
1	2%	20	15
2	2%	20	30
3	2%	30	15
4	2%	30	30
5	3%	20	15
6	3%	20	30
7	3%	30	15
8	3%	30	30

การเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

เลือกฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่มีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีรอยตำหนิ ขนาดเส้นรอบวงของฝักอยู่ในช่วง 1.5 ± 0.1 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3-1 นำมาปอกเปลือกด้วยมือโดยใช้มีดปอกผลไม้แล้วหั่นตามขวางฝักให้มีขนาดความยาว 4 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3-2 ทั้งนี้ในระหว่างการเตรียมให้แช่ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% (w/v) ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศลดโอกาสการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) นำมาให้ความร้อนโดยการต้ม 3 ครั้ง สองครั้งแรกเป็นการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้า กำหนดอัตราส่วนระหว่างฝักพังกาหัวสุมดอกแดง: สารละลายโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 1:10 (w/v) ต้มตามเวลาที่กำหนดโดยการเปลี่ยนสารละลายที่ใช้ต้มใหม่ทุกครั้ง การต้มครั้งที่สาม เป็นการต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 99 ± 1 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้า กำหนดอัตราส่วนระหว่างฝักพังกาหัวสุมดอกแดง : น้ำ เท่ากับ 1:10 (w/v) ต้มตามเวลา

ที่กำหนด เมื่อครบเวลา นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 2 นาที แล้วตักขึ้นวางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- วัดสี (L* a* และ b*) ด้วยเครื่องวัดสี
- ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

- คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9 – point hedonic scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9 = ชอบมากที่สุด โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

ภาพที่ 3-1 ลักษณะของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ใช้ในโครงงานวิจัย

ภาพที่ 3-2 ลักษณะของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่หั่นเป็นชิ้นที่ใช้ในโครงงานวิจัย

การออสโมซิส

นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น มาแช่ลงในสารละลายออสโมติก คือ สารละลายซูโครสความเข้มข้น 50% (w/v) ในอัตราส่วนฝักพังกาหัวสุมดอกแดง : สารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:10 (w/v) ที่อุณหภูมิ 50±1 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำมาล้างน้ำเพื่อจำกัดสารละลายน้ำตาลส่วนเกินออกและวางซับบนกระดาษเป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) และคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร (Amami *et al.*, 2007) ดังนี้

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss : WL) โดยมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 1

$$WL\ (\%) = \frac{(W_iX_i - W_fX_f) \times 100}{W_i} \quad (1)$$

2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain : SG) โดยมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 2

$$SG\ (\%) = \frac{(W_f(100 - X_f / 100) - W_i(100 - X_i / 100) \times 100}{W_i} \quad (2)$$

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reduction : WR) โดยมีสูตรการคำนวณดังสมการที่3

$$WR\ (\%) = \frac{W_i - W_f \times 100}{W_i} \quad (3)$$

เมื่อ W_i = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

W_f = น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัม)

X_i = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมของน้ำ / 100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

X_f = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัมของน้ำ / 100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิส

1) ค่าสี (L* a* และ b*) ด้วยเครื่องวัดสี

2) ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer (ดัดแปลงจาก Shah & Nath, 2008)

3) คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9 – point hedonic scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9 = ชอบมากที่สุด โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี และค่าความแข็ง ส่วนการประเมินด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสร่วมกับค่าการถ่ายเทมวลสารโดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่สุกและไม่มีรสขม และมีค่าการถ่ายเทมวลสาร คือ สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) สูง (Chenlo et al., 2006) มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2.2 การศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอล และซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

เนื่องจากการใช้สารละลายผสมจะมีผลให้การถ่ายเทมวลสารดีขึ้น และช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารหลังการออสโมซิส การทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอล และซอร์บิทอล ร่วมกับสารละลายซูโครสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส และคุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดองแดงหลังการออสโมซิส โดยการใช้ซอร์บิทอลมีความสามารถในการดูดความชื้น ป้องกันการเกิดผลึก ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส (Erba, Forni, Colonello & Giangiacomo, 1994) ลดโอกาสเกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ และเป็นสารคงตัวที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารชนิดหนึ่ง (สุธี วัฒนาผาติ, 2549) ส่วนการใช้สารละลายกลีเซอรอลจะช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ลดความกระด้างของอาหาร ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสดีขึ้น และช่วยลดค่า Water activity (Clubbs et.al, 2005; Pouplin, Redl & Gontard, 1999) ดังนั้นจึงแปรปัจจัยที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย ดังนี้ คือ

ปัจจัยที่ 1 การใช้ซอร์บิทอล ความเข้มข้น 1 % (w/v) คือ ใช้และไม่ใช้

ปัจจัยที่ 2 การใช้กลีเซอรอล ความเข้มข้น 20 % (w/v) คือ ใช้และไม่ใช้

จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (2x2) ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรการใช้และไม่ใช้ซอร์บิทอล และกลีเซอรอลร่วมกับสารละลายซูโครส

สิ่งทดลอง	ซูโครส %(w/v)	ซอร์บิทอล	กลีเซอรอล
1	50	ใช้	ใช้
2	50	ใช้	ไม่ใช้
3	50	ไม่ใช้	ใช้
4	50	ไม่ใช้	ไม่ใช้

นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2.1. มาแช่ลงในสารละลายออสโมติก ตามที่กำหนดในตารางที่ 2 ในอัตราส่วนฝักพังกาหัวสุมดอกแดง : สารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:10 (w/v) ที่อุณหภูมิ 50±1 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ สุ่มตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง นำมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายน้ำตาลส่วนเกินออกและวางซับบนกระดาษเป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) และคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงตามรายละเอียดในข้อ 3.3.2 ดำเนินการออสโมซิสจนกระทั่งการถ่ายเทมวลสารถึงสมดุล กล่าวคือ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงมีค่าคงที่

การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิส

1) ค่า Water activity โดยเครื่องวัด Water activity

2) ค่าสี (L* a* และ b*) ด้วยเครื่องวัดสี

3) ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

4) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9 – point hedonic scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ 9 = ชอบมากที่สุด ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี ค่าความแข็ง และค่า Water activity ส่วนการประเมินด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับการถ่ายเทมวลสาร โดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีค่าการถ่ายเทมวลสาร คือ สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) สูง (Chenlo et al., 2006) มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2.3 การหาเวลาในการทำแห้งฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสโดยการอบแห้งด้วยลมร้อน

นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการออสโมซิส ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2.2 มาอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้นและค่า Water activity ลงให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง โดยมีค่า Water activity อยู่ในช่วง 0.6 - 0.9 และมีความชื้นอยู่ในช่วง 15 – 40% (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550; Smith & Norvell, 1975) ดำเนินการการสร้างกราฟการทำแห้งเพื่อทำนายเวลาในการทำแห้ง โดยสุ่มตัวอย่างฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่อบแห้งทุก 5 นาที นำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการทำแห้ง พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 ทำนายเวลาในการทำแห้งจากกราฟโดยแปรปริมาณความชื้นที่ต้องการเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 15, 25 และ 35 % นำตัวอย่างพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการออสโมซิส มาทำแห้งตามเวลาที่ทำนายได้ แล้ววิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งด้านต่างๆ

การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้ง

1) ค่า Water activity โดยเครื่องวัด Water activity

2) ค่าสี (L* a* และ b*) ด้วยเครื่องวัดสี

3) ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

4) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9 – point hedonic scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ 9 = ชอบมากที่สุด ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี ค่าความแข็ง และค่า Water activity ส่วนการประเมินด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาค่า Water activity ร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเลือกสิ่งทดลองที่มีค่า Water activity อยู่ในช่วง 0.6 - 0.9 และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2.4 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

เนื่องจากการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น สามารถป้องกันผลิตภัณฑ์จากแสง ความชื้น และออกซิเจน ซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ (พัชทรา มณีสินธุ์, 2551) การทดลองนี้จึงต้องการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่ผลิตได้ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2.3 ระหว่างการเก็บรักษาที่บรรจุโดยเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส และถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดที่นิยมใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Sripak, Thanes, Kornpaka & Pranee, 2008) กำหนดใช้ขนาดถุงเท่ากันและบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำหนัก 200 กรัม/ถุง ร่วมกับการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้น โดยใช้สารดูดความชื้นที่มีขนาดบรรจุ 5 กรัม/ซอง กำหนดใช้สารดูดความชื้นเท่ากับ 1 ซอง/ถุง คิดเป็นการใช้สารดูดความชื้น : ผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 1:40 (w/w) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเป็นการแปรปัจจัยที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย ดังนี้ คือ

ปัจจัยที่ 1 ชนิดบรรจุภัณฑ์ คือ ได้แก่ ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส และถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์

ปัจจัยที่ 2 การใช้สารดูดความชื้น คือ ใช้และไม่ใช้

จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (2x2) ได้การทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-5 โดยเมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ตามรูปแบบที่กำหนดแล้ว ปิดผนึกให้สนิท แล้วเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง ในสภาวะปกติเพื่อเลียนแบบสภาพการจำหน่ายจริงในท้องตลาด เก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพ

ตารางที่ 3-5 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้น และชนิดบรรจุภัณฑ์

สิ่งทดลอง	ชนิดบรรจุภัณฑ์	สารดูดความชื้น
1	ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส	ใช้
2	ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส	ไม่ใช้
3	ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์	ใช้
4	ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์	ไม่ใช้

การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

1) ปริมาณความชื้น

2) ค่า Water activity โดยเครื่องวัด Water activity

3) ค่าสี (L* a* และ b*)

4) ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

5) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

6) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9 – point hedonic scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ 9 = ชอบมากที่สุด ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับค่า Water activity ปริมาณความชื้น ค่าสี ค่าความแข็ง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ส่วนการประเมินด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาโดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานด้านความปลอดภัยกับผลิตภัณฑ์ที่เทียบเคียง คือ ผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้กึ่งแห้ง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน $1x10^3$ CFU/g ปริมาณยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 CFU/g (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารชุมชน, 2546)

3.2.5 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งด้านต่างๆ หลังจากผ่านกระบวนการออสโมซิสและอบแห้งดังนี้

- องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

- ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

- ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 2000)

- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ดัดแปลงจาก Dewanto *et al.*, 2002)

- สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Fan, Zhang, Yu & Ma, 2006)

ตอนที่ 4 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็ปและการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน

4.1 จัดทำเว็ปไซต์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย พร้อมทั้งพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็ป (Web-based Application) ซึ่งทำให้ผู้สนใจสามารถเข้าถึงองค์ความรู้ และเรียกใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้ตลอดเวลา

4.2 จัดการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ชุมชน โดยการจัดทำเอกสารแผ่นพับเพื่อแจกจ่ายให้กับผู้สนใจ โดยประสานงานกับสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 บ้านท่าสอน อ. ขลุง จ. จันทบุรี ซึ่งเป็นผู้ให้โจทย์วิจัย เพื่อเผยแพร่ความรู้ให้กับประชาชนในชุมชนพื้นที่ป่าชายเลนในท้องถิ่นและพื้นที่ใกล้เคียง

วิธีการประเมินผล / สังเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (analysis of variance) ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

จากตารางที่ 4-1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง พบว่าฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณส่วนใหญ่ ได้แก่ ความชื้น คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน มีปริมาณ 63.24 , 33.67 และ 15.02 g/100g ตามลำดับ โดยมีเส้นใยหยาบ เถ้า และไขมัน ในปริมาณน้อยคือ 3.03 , 1.13 และ 0.11 g/100g ตามลำดับ ทั้งนี้มีปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) แคลเซียมและวิตามินซี 15.02 ± 0.05 58.08 ± 0.32 และ 0.86 ± 0.05 mg/100g ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นแหล่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสามารถให้พลังงานได้ชาวบ้านที่อยู่ในพื้นที่ป่าชายเลนจึงนิยมนำมารับประทานแทนข้าวได้ (สมนึก เวศวงศ์ษาทิพย์, 2539) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนและแคลเซียมด้วย หากเปรียบเทียบกับผักผลไม้ไทยบางชนิด เช่น กล้วยน้ำว้า ซึ่งมีโปรตีน 0.9 g/100g และ มันสำปะหลังซึ่งมีแคลเซียม 33 g/100g (กองโภชนาการ, 2550) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกพบว่ามีปริมาณ 57 mg(.gallic)/g. ฟลาโวนอยด์ 14.55 ± 0.96 mg catechin/g และมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ 78.93% inhibition แสดงให้เห็นว่า ผักพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพดีในด้านการต้านอนุมูลอิสระ จึงควรนำมาเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป อย่างไรก็ตามฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีความชื้นค่อนข้างสูง (63.24 g/100g) การนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารให้มีอายุการเก็บรักษานาน และพร้อมบริโภคจึงควรต้องตระหนักถึงในประเด็นนี้ด้วย

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	63.24 ± 0.15 g/100 g
ไขมัน	0.11 ± 0.00 g/100 g
โปรตีน	1.85 ± 0.03 g/100 g
เส้นใยหยาบ	3.03 ± 0.00 g/100 g
เถ้า	1.13 ± 0.00 g/100 g
คาร์โบไฮเดรต	33.67 ± 0.07 g/100 g
ใยอาหาร (dietary fiber)	15.02 ± 0.05 g/100 g
แคลเซียม	58.80 ± 0.32 g/100g
วิตามินซี	0.86 ± 0.05 mg/100 g
สารประกอบฟีนอลิก	57.04 ± 5.10 mg(gallic)/g
ฟลาโวนอยด์	14.55 ± 0.96 mg catechin/g
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	78.93 ± 0.82 % inhibition

ตอนที่ 2 การศึกษากรรมวิธีในการผลิตแป้งที่มีแคลเซียมและใยอาหารสูงจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

2.1 การศึกษาวิธีการลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

เนื่องจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีความฝาดขม ดังนั้น ก่อนนำไปแปรรูปชาวบ้านจึงต้องนำไปต้มเพื่อลดความฝาดขมเสียก่อน แต่วิธีในการลดความฝาดขมดั้งเดิมของชาวบ้านต้องใช้เวลาและพลังงานค่อนข้างมาก ผู้วิจัยจึงหาแนวทางในการลดความฝาดขมโดยการปอกเปลือกก่อนต้มและแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการลดความฝาดขมมาประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring test ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 คะแนนความเข้มของคุณลักษณะด้านความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต(เปอร์เซ็นต์)	ระดับความเข้มของคุณลักษณะ
0 (ไม่ผ่านการแช่)	1.33 ± 0.351^{c}
1	1.40 ± 0.507^{c}
2	2.73 ± 0.457^{b}
3	4.00 ± 0.654^{a}

^{a,b,c,d}หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์การลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง โดยวิธี Scoring test ผู้ทดสอบประเมินความเข้มของคุณลักษณะ โดย 1 หมายถึง ไม่มีรสฝาด และ 5 หมายถึง ฝาดมากที่สุด พบว่าการแช่ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0 และ 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดความฝาดขมได้ดีที่สุด โดยให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกความเข้มข้นของสารละลาย 0 เปอร์เซ็นต์คือ การไม่แช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตสำหรับการลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง เนื่องจากการแช่สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีความฝาดขมมากขึ้น เพราะสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตมีรสขม เมื่อนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงแช่ที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น รสขมของสารละลายจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อพังกาหัวสุมดอกแดง ทำให้เสียรสชาติและมีสารเคมีตกค้าง และนอกจากนั้นยังทำให้ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีสีเข้มขึ้นดังผลที่แสดงในตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-1

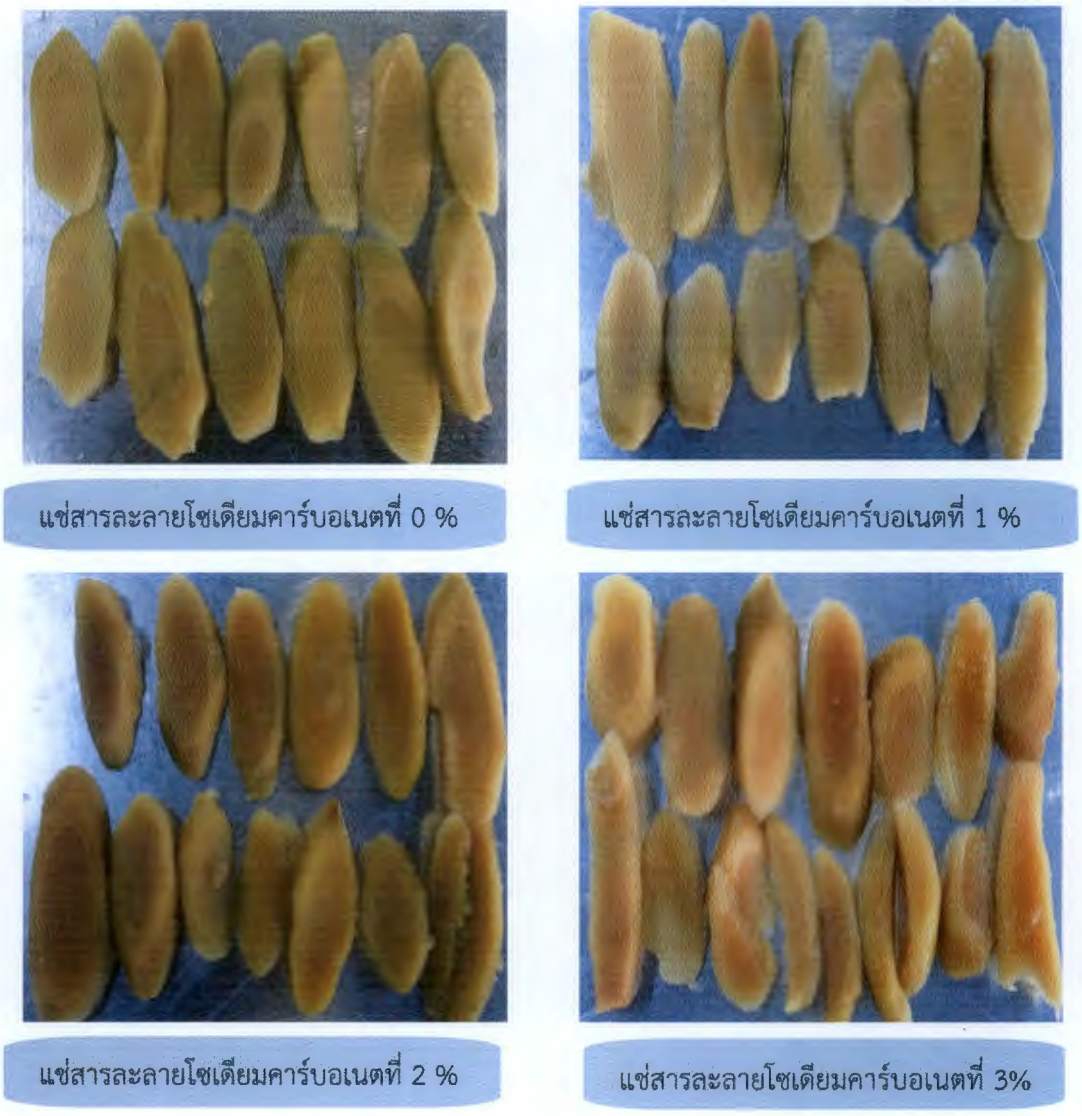
ตารางที่ 4-3 ค่าสีของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่แช่สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (เปอร์เซ็นต์)	L*	a*	b*
0 (ไม่ผ่านการแช่)	57.93 ± 0.330^{a}	6.64 ± 0.052^{d}	26.86 ± 0.310^{ab}
1	53.19 ± 0.277^{b}	10.79 ± 0.056^{c}	26.36 ± 0.161^{b}
2	49.62 ± 0.168^{c}	13.96 ± 0.040^{b}	27.14 ± 0.357^{a}
3	41.04 ± 0.212^{d}	16.15 ± 0.291^{a}	26.83 ± 0.267^{ab}

^{a,b,c,d}หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab (ตารางที่ 4-3) พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า เมื่อแช่ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นสูงขึ้น จะส่งผลให้ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีค่าความสว่างลดลงและค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 4-1 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของกรรณพต แก้วสอน (2545) ที่ศึกษาผลของความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายโซเดียมคาร์บอร์เนตเพื่อควบคุมการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยวผลลำใยพันธุ์ดอ โดยนำผลลำใยมาแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง นาน 10 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ผลลำใยที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตทุกความเข้มข้นสามารถชะลอการเน่าเสียและเก็บรักษาผลได้นาน 6 วัน โดยผลลำไยที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคต่ำที่สุด การจุ่มผลลำไยในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตทุกความเข้มข้นทำให้ผลลำไยเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านนอกเป็นสีน้ำตาลเข้มเร็วขึ้น การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสีเปลือกด้านนอกไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค คือ ผลสีน้ำตาลทั้งผล ในขณะที่สีเปลือกด้านในและรสชาติอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม

ดังนั้นจึงเลือกวิธีการลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงคือ การต้มฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในน้ำเดือดครั้งละ 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 90 นาที ใช้อัตราส่วนของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงต่อน้ำเท่ากับ 1:10 ภายหลังการต้มสุก นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาปอกเปลือก แล้วสไลด์เป็นแผ่นหนา 0.5 เซนติเมตรนำมาต้มในน้ำเดือดอีก 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที โดยเปลี่ยนน้ำทุกครั้ง ใช้อัตราส่วนของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่สไลด์ต่อน้ำเท่ากับ 1:10



ภาพที่ 4-1 ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่แช่ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตระดับความเข้มข้นต่างๆ

2.2 การผลิตแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง

เมื่อนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการลดความฝาดขมจากวิธีที่เลือกได้ในข้อ 2.1 มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง แล้วบดเป็นผงได้เป็นแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง พบว่า ปริมาณผลได้ของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง คือ 7.5 เปอร์เซ็นต์ โดยแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อนเมื่อนำแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงมาวิเคราะห์ค่าสีพบว่า มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 66.75±2.60 ค่าความเป็นสีแดง (a*) เท่ากับ 5.67±0.35 และ ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 18.74±1.13 เมื่อนำแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงมาวิเคราะห์องค์ประกอบ

ทางเคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้ผลดังตาราง ที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง

คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	5.78 ± 0.01 g/100 g
ไขมัน	0.39 ± 0.00 g/100 g
โปรตีน	4.62 ± 0.01 g/100 g
เส้นใยหยาบ	9.35 ± 0.02 g/100 g
เถ้า	1.02 ± 0.00 g/100 g
คาร์โบไฮเดรต	88.19 ± 0.18 g/100 g
ใยอาหาร (dietary fiber)	25.51 ± 0.06 g/100 g
แคลเซียม	195.71 ± 6.32 g/100g
สารประกอบฟีนอลิก	42.90 ± 0.04 mg(gallic)/g
ฟลาโวนอยด์	11.11 ± 0.04 mg catechin/g
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	79.35 ± 0.22 % inhibition

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง พบว่า แป้งพังกาหัวสุมดอกแดงมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด คือ 88.19 g/ 100 g รองลงมาจะเป็นปริมาณใยอาหาร ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 25.51 g/100 g และมีปริมาณแคลเซียม 195.71 g/100 g จึงนับว่าแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณแคลเซียมและใยอาหารสูง นอกจากนั้นยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 42.90 mg (gallic)/g ฟลาโวนอยด์ 11.11 mg catechin/g และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ 79.35% inhibition แสดงให้เห็นว่า แป้งพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นแป้งชนิดหนึ่งที่นอกจากจะมีคุณค่าทางอาหารแล้วยังมีศักยภาพดีในด้านการต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย

เมื่อนำแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงมาทดสอบกำลังการพองตัวและการละลาย ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 กำลังการพองตัวและการละลายของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง

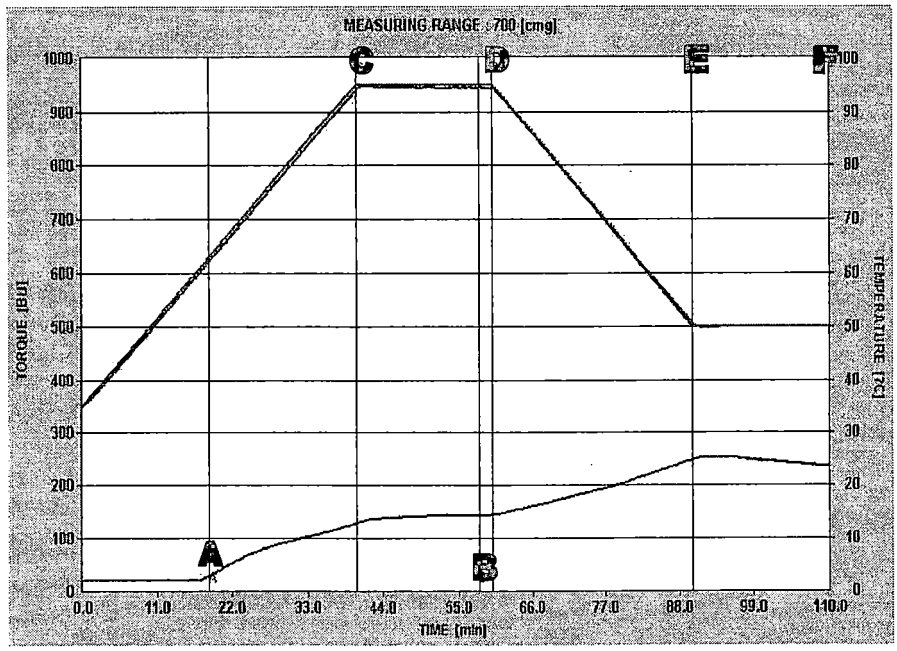
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	กำลังในการพองตัว	การละลาย
55	8.206	0.193
65	9.793	0.220
75	10.626	0.180
85	8.233	0.20

ผลการทดลองในตารางที่ 4-5 พบว่า แป้งพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส มีกำลังในการพองตัวเพิ่มขึ้นและการละลายก็เพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxy group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห micelles ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach และคณะ,1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวมากขึ้นการละลายก็มากขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส พบว่ามีกำลังในการพองตัวสูงสุดในขณะที่การละลายลดลง เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในส่วนที่เป็น crystallite จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75องศาเซลเซียส เช่นให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส แก่แป้งจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า "เจลาติไนเซชัน" (Morrison และ Laignelet, 1983; Collison, 1968) เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส พบว่า กำลังในการพองตัวลดลงในขณะที่การละลายเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และหรือโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง

ซึ่งผลการวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัวและการละลายนี้สอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์ pasting characteristics ของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงโดยใช้เครื่อง Brabender viscoamylograph ที่แสดงในตารางที่ 4-6 และภาพที่ 4-2

ตารางที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ pasting characteristics โดยใช้แป้งพังกาหัวสุมดอกแดง 10 เปอร์เซ็นต์

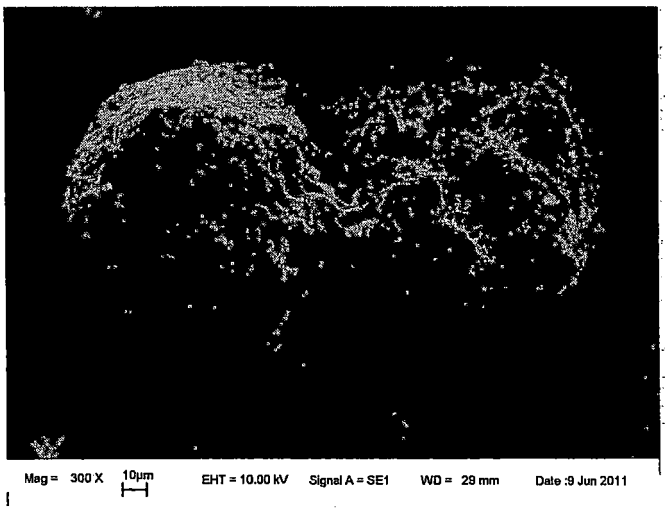
ตำแหน่ง	ชื่อ	ความหนืด (BU)	อุณหภูมิ(C)
A	อุณหภูมิและความหนืดเมื่อเริ่มเกิดเจลาติไนต์	29	62.1
B	ความหนืดสูงสุด	145	94.5
C	ความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95°C	129	94
D	ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95°C	145	94.4
E	ความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 °C	248	50.6
F	ความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50°C	236	49.9
B-D	ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด	0	
E-D	ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด	103	



ภาพที่ 4-2 กราฟความหนืดของแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงความเข้มข้นน้ำแป้ง 10 เปอร์เซนต์

จากตารางที่ 4-6 และภาพที่ 4-2 พบว่าเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ น้ำบริเวณรอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อย ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้น ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิติจอมขวัญ, 2546) โดยแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ 62.1 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปจนถึง 95 องศาเซลเซียสและหยุดอุณหภูมิไว้ ณ เวลาหนึ่งแป้งจะมีความหนืดเปลี่ยนแปลงจาก 129 BU ไปจนถึง 145 BU จากนั้นลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียสลงไปที่ 50 องศาเซลเซียส แป้งจะเกิดการคืนตัวหรือรีโทรเกรเดชั่นและมีความหนืดลดลงจาก 248 BU ไปเป็น 236 BU โดยการคืนตัวของแป้งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลงโมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้าใกล้และจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น crystallite ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction (Collison, 1968)

เมื่อนำแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงมาตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของเม็ดแป้ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน ที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-3 พบว่า เม็ดแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงมีลักษณะกลมและอยู่ติดกันเป็นคู่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 120 ไมครอน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดแป้งชนิดอื่น เช่น แป้งลูกเดือยซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11- 12 ไมครอน (Chaisiricharoenkul, Tongta and Intarapichet, 2011) จึงนับว่าแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงมีเม็ดแป้งขนาดใหญ่ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนของการผลิตแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงนั้น ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงต้องผ่านการต้มสุกเพื่อกำจัดความฝาดขมก่อน ทำให้เม็ดแป้งซึ่งเป็นองค์ประกอบเกิดการดูดซับน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้นในระหว่างขั้นตอนการต้มนั้น ส่งผลให้เมื่อนำมาอบแห้งและบดเป็นผงเม็ดแป้งซึ่งเกิดการพองตัวมาแล้วจึงมีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ ที่ผลิตจากเมล็ดพืชดิบ



ภาพที่ 4-3 เม็ดแป้งพังกาหัวสุมดอกแดงจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน ที่กำลังขยาย 300 เท่า

ตอนที่ 3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากแป้งและฝักสดพังกาหัวสุมดอกแดง

3.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง

3.1.1 ผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน

เมื่อนำขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรดั้งเดิม (ทำจากฝักสด) มาเปรียบเทียบกับสูตรต้นแบบซึ่งผลิตจากแป้งพังกาหัวสุมดอกแดง 2 สูตร โดยสูตรที่ 1 ใช้แป้ง 18.45 กรัมเติมน้ำ 81.54 กรัม และสูตรที่ 2 ใช้แป้ง 18.45 กรัมเติมน้ำ 40.77 กรัมและใช้น้ำกะทิ 100 กรัม น้ำตาล 74 กรัม เท่ากันทั้งสูตรที่ 1 และ 2 โดยการทดสอบผู้บริโภคด้วยวิธี Ratio Profile Test (RPT) เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน ประเมินผลคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รส ความหวาน ความนุ่ม ตามความรู้สึกที่ได้จากการชิมแต่ละตัวอย่างใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน ได้ผลดังตารางที่ 4-7 4-8 และ ภาพที่ 4-4

ตารางที่ 4-7 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความหวานและความนุ่มของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงที่กวนจากแป้ง (สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2) และฝักสด (สูตรดั้งเดิม) โดยวิธี Ratio Profile Test (RPT)

คุณลักษณะ	S_1	S_2	S_N	I (Ideal)
สี	4.813±1.357	5.283±1.47	4.12±1.825	4.96±1.612
กลิ่นรสกะทิ	4.686±1.550	4.843±1.660	4.71±1.668	5.546±1.395
รสหวาน	5.18±1.078	5.393±1.904	4.40±1.904	4.863±1.716
ความนุ่ม	5.22±1.403	5.31±1.627	5.82±1.670	6.396±1.159

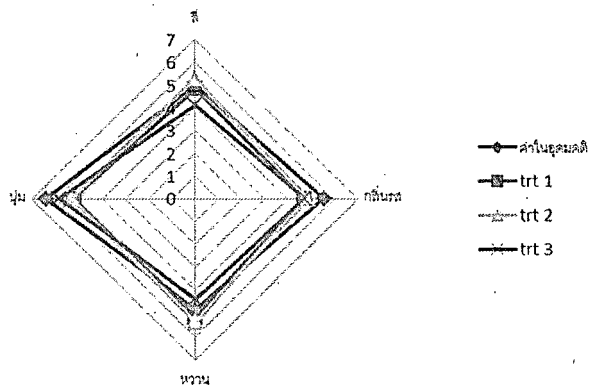
S_1 S_2 S_N หมายถึง ค่าความเข้มคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรดั้งเดิมตามลำดับ จากสเกล 10

I หมายถึง ค่าความเข้มคุณลักษณะของตัวอย่างในอุดมคติ จากสเกล 10

ตารางที่ 4-8 อัตราส่วนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างที่ทดสอบเทียบกับตัวอย่างในอุดมคติ (S/I) ด้านคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส ความหวานและความนุ่มของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรดั้งเดิม โดยวิธี Ratio Profile Test (RPT)

คุณลักษณะ	อัตราส่วนS_1/I	อัตราส่วนS_2/I	S_N /I
สี	0.970±0.841	1.065±0.911	0.830±1.132
กลิ่นรสกะทิ	0.844±1.111	0.873±1.190	0.849±1.195
รสหวาน	1.065±0.628	1.108±1.110	0.904±2.833
ความนุ่ม	0.816±1.210	0.830±1.443	0.910±1.440

S/I หมายถึง อัตราส่วนเค้าโครงผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 4-4 กราฟเส้นใยแมงมุมแสดงค่าเฉลี่ยคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส ความหวานและความนุ่มของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรดั้งเดิมและค่าในอุดมคติ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-7 4-8 และภาพที่ 4-4 พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรดั้งเดิม สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มีความเข้มของคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรสกะทิ ความหวานและความนุ่มอยู่ในช่วง 0.8 – 1.2 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติที่ผู้บริโภคต้องการ (1.00) แสดงว่า ผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนมีเค้าโครงลักษณะด้านสี กลิ่นรสกะทิ ความหวานและความนุ่มอยู่ในช่วงการยอมรับ คือ 0.8-1.2 ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จึงไม่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรสกะทิ ความหวานและความนุ่มให้กับผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนทั้ง 3 สูตร

เมื่อนำขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกวนทั้ง 3 สูตร มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยประเมินคะแนนความชอบด้านกลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-9

ตาราง 4-9 คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวมของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน

สูตร	คะแนนความชอบ				
	สี	กลิ่นรส^{ns}	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1	6.79±1.081^{ab}	6.82±1.489	6.41±1.350^{b}	6.27±1.461^{b}	6.34±1.470^{b}
2	6.75±0.872^{b}	6.51±1.298	6.58±1.210^{b}	6.37±1.293^{b}	6.41±1.401^{b}
ดั้งเดิม	7.17±0.966^{a}	6.93±1.032	7.31±1.072^{a}	7.34±1.470^{a}	7.27±1.161^{a}

^{a,b,c,d}หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns}หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-9 พบว่าจากผลคะแนนเฉลี่ยของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสพบว่าสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรดั้งเดิมได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) โดยมีคะแนนในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านสี พบว่าสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรดั้งเดิมได้รับคะแนนความชอบด้านสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีคะแนนในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลางโดยสูตรดั้งเดิมได้รับคะแนนความชอบสูงกว่าสูตรที่ 1 และ 2

ส่วนคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่าสูตรดั้งเดิมได้รับคะแนนความชอบสูงกว่าสูตรที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนในระดับปานกลาง ส่วนสูตรที่ 1 และ 2 ได้รับคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

เมื่อนำขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนทั้ง 3 สูตร มาวัดค่าสี L* a* และ b* ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ค่าสีของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน

สูตร	L*	a*	b*
1	36.40±0.215[c]	11.97±0.100[b]	15.71±0.125[c]
2	37 .44±0.11[b]	12.57±0.115[c]	17.07±0.300[b]
ดั้งเดิม	42 .25±0.137[a]	9.29±0.244[a]	21.27±0.223[a]

[a,b,c,d]หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-10 พบว่า ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรดั้งเดิม มีค่าสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความสว่าง (L*)และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของสูตรดั้งเดิมมีค่าสูงกว่าสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 เพราะ ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเมื่อปอกเปลือกจะมีสีน้ำตาลอ่อนอมเหลืองเมื่อนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงไปกวนจะพบว่าสีของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน ยังคงมีสีน้ำตาลอมเหลือง ในขณะที่ขนมสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งทำจากแป้งซึ่งต้องผ่านการอบและบดในขั้นตอนของการทำแป้ง ทำให้แป้งที่ได้มีสีคล้ำขึ้น ภายหลังการกวนจึงพบว่าขนมที่ทำจากแป้งมีสีน้ำตาลแดงจึงทำให้ขนมสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าความเป็นสีแดง (a*) มากกว่าสูตรดั้งเดิม

เมื่อนำขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนทั้ง 3 สูตร มาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวน

สูตร	Hardness (กรัม)[ns]
1	60.55±5.982
2	61.08±8.334
ดั้งเดิม	62.40±10.416

[a,b,c,d]หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-11 พบว่าค่า Hardness ของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรดั้งเดิมมีค่า Hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เนื่องจากทุกสูตรต้องกวนจนได้ลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกัน

จากการศึกษา พบว่าขนมสูตรที่ 2 ซึ่งใช้แป้ง 18.45 กรัม น้ำ 40.77 กรัม กะทิ 100 กรัม น้ำตาล 74 กรัม ใช้เวลาในการกวน 45 นาที ซึ่งน้อยกว่าเวลาในการกวนของสูตรที่ 1 ซึ่งใช้เวลาในการกวน 50 นาที จึงเลือกขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนสูตรที่ 2 เป็นสูตรต้นแบบ เพราะใช้เวลาในการกวนน้อย ช่วยประหยัดพลังงานและขนมที่ได้ยังได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่ต่างจากขนมในสูตรที่ 1

3.1.2 ผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป

จากการศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ไมโครเวฟ โดยแปรปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสม 3 ระดับ คือ 80, 100 และ 110 กรัม (ปริมาณน้ำได้จากการทำการทดลองเบื้องต้น) และศึกษาระยะเวลาการทำให้ขนมสุกในไมโครเวฟ 3 ระดับคือ 6, 7และ 8 นาที (เวลาในการทำให้ขนมสุกได้จากการทำการทดลองเบื้องต้น) โดยใช้กำลังไฟ 400 วัตต์ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale แสดงดังตารางที่ 4-12 และ 4-13

ตารางที่ 4-12 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป

ค่าคุณภาพ	ปริมาณน้ำ (กรัม)	เวลาในการทำให้สุก (นาที)	ปริมาณน้ำ (กรัม)Xเวลาในการทำให้สุก (นาที)
สี	ns	ns	ns
กลิ่นรส	ns	ns	ns
เนื้อสัมผัส	*	*	ns
รสชาติ	*	*	ns
ลักษณะปรากฏ	*	*	*
ความชอบโดยรวม	*	*	*

* หมายถึง มีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns}หมายถึง ไม่มีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

ตารางที่ 4-13 คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวมของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป

ปริมาณน้ำ	เวลาในการทำให้สุก(นาที)	คะแนนความชอบ					
		สี^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	รสชาติ^{ns}	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
80	6	6.16±1.08	6.20±1.32	6.03±1.06	6.20±1.27	6.66±1,12^{a}	6.16±1.08^{bcd}
	7	6.70±1.02	6.46±1.95	6.50±1.22	6.46±1.40	6.70±0.95^{a}	6.70±1.02^{b}
	8	7.90±0.71	6,43±1.10	6.66±1.12	6.53±1.00	6.56±0.93^{a}	7.90±0.71^{a}
100	6	6.20±1.09	6.40±1.32	5.63±1.42	6.23±1.40	6.30±0.98^{a}	6.20±1.09^{bcd}
	7	6.40±1.06	6.60±0.85	6.06±1.22	6.33±1.29	6.70±1.20^{a}	6.40±1.06^{bc}
	8	6.50±1.00	6.66±0.75	6.10±0.84	6.40±1.10	6.56±1.07^{a}	6.50±1.00^{bc}
110	6	5.73±1.33	6.06±1.57	4.80±1.71	5.70±1.72	5.26±1.38^{b}	5.73±1.33^{d}
	7	6.06±1.08	6.26±1.25	5.40±1.35	5.96±1.44	6.13±1.19^{a}	6.06±1.08^{cd}
	8	6.46±1.13	6.53±1.04	6.03±1.42	6.43±1.38	6.60±1.10^{a}	6.46±1.13^{bc}

^{a,b,c,d}หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns}หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

จากผลในตารางที่ 4-12 และ 4-13 พบว่า ปริมาณน้ำและเวลาในการทำให้สุกในไมโครเวฟไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคะแนนเฉลี่ยของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและรสชาติ โดยผลการประเมินพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบของคุณลักษณะดังกล่าวโดยเฉลี่ยแล้วอยู่ในระดับเฉยๆ ถึง ชอบปานกลาง

เมื่อพิจารณาผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวม พบว่า ปริมาณน้ำและเวลาในการทำให้สุกมีอิทธิพลร่วมกันต่อระดับความชอบของผู้บริโภค เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า การเติมน้ำปริมาณ 110 กรัม และใช้เวลาในการทำให้สุกในไมโครเวฟ 6 นาที ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีคะแนนเฉลี่ย 5.26 ซึ่งอยู่ในระดับเฉยๆ ส่วนตัวอย่างอื่นๆ พบว่า ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้รับคะแนนในช่วง 6.13 – 6.70 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า ตัวอย่างที่มีการเติมน้ำ 80 กรัม และใช้เวลาในการทำให้สุก 8 นาที ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 7.90 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ดังนั้น จึงเลือกขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป ที่มีการเติมน้ำ 80 กรัม และใช้เวลาในการทำให้สุก 8 นาที สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัสต่อไป

3.1.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของขนมกวนกึ่งสำเร็จรูปที่พัฒนาได้

นำขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ไมโครเวฟสูตรที่เลือกได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ ได้ผลดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 องค์ประกอบทางเคมีของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ไมโครเวฟ

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น	27.45 ± 0.02 g/100 g
ไขมัน	7.75 ± 0.00 g/100 g
โปรตีน	0.88 ± 0.00 g/100 g
เถ้า	0.54 ± 0.00 g/100 g
เส้นใยหยาบ	6.60 ± 0.00 g/100 g
คาร์โบไฮเดรต	63.38 ± 0.03 g/100 g
แคลเซียม	25.76 ± 0.65 g/100 g
ใยอาหาร	2.39 ± 0.02 g/100 g

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ไมโครเวฟ พบว่า ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ไมโครเวฟมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด คือ 63.38 g/100 g รองลงมาคือ ความชื้น แคลเซียม ไขมัน เส้นใยหยาบ ใยอาหาร ส่วนโปรตีน และเถ้ามีปริมาณต่ำ

ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ไมโครเวฟมีสีน้ำตาลอ่อนๆ เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสี พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) 38.61±0.19 ค่าสีเหลือง (b*) 19.24±0.34 และค่าสีแดง (a*) 13.61±0.19 และเมื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า มีค่า Hardness 26.31±3.61 กรัม

3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากฝักสดพังกาหัวสุมดอกแดง

3.2.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาต้มในน้ำต่อคุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้ม (ด้านค่าสี ค่าความแข็ง คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความฝาดขม) และคุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส (ด้านค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี ค่าความแข็ง และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบและคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความฝาดขม) รวมถึงคัดเลือกวิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมก่อนการออสโมซิส จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้ม และหลังการออสโมซิส

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4-15 และ 4-16 ตามลำดับ พบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาการต้มในน้ำ มีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ค่าความแข็ง ความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส สี และความชอบโดยรวมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่อิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย ดังกล่าวมีผลต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ค่าสี L* a* และ b* ค่าความแข็ง ความชอบด้านรสชาติ ความชอบด้านเนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมและความฝาดขมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

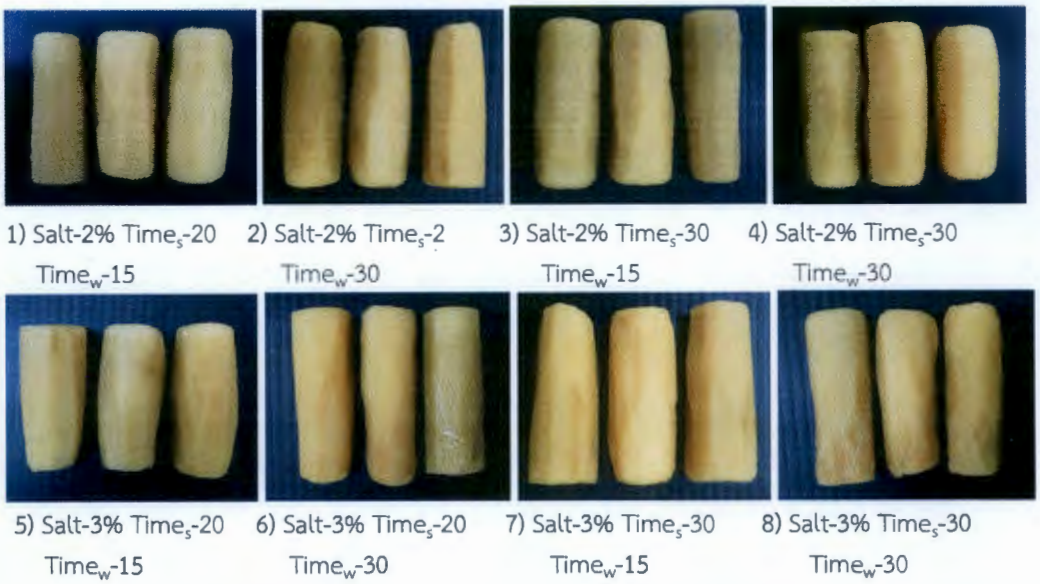
3.2.1.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของพังกาหัวสุมดอกแดง

1) ค่าสี L* a* และ b*

จากการทดลองพบว่า พังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มทั้ง 8 สิ่งทดลองมีสีเข้มขึ้นเมื่อเทียบกับฝักสด จากการสังเกตด้วยตาเห็นว่ามีสีที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4-5 และ 4-6 เมื่อนำมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีได้ผลดังตารางที่ 4-17 พบว่ามีค่าสี L* a* และ b* แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่ำ (2%) และใช้เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และน้ำนาน (30 นาที) ทำให้พังกาหัวสุมดอกแดงมีค่า a* และ b* สูงที่สุด ซึ่งหมายถึงพังกาหัวสุมดอกแดงมีความเป็นสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด และ พิจารณาเห็นแนวโน้มว่าที่ระดับการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ระดับต่ำ (2%) นี้ หากลดเวลาในการต้มลงมีแนวโน้มให้ค่า a* และ b* ลดลง ($p<0.05$) การต้มในสภาวะที่เหมาะสมจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของผักผลไม้ได้ โดยการลวกในน้ำเกลือสามารถลดกลไกการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์ (chrolophyl) ซึ่งมีสีเขียวไปเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) สีเขียวอมน้ำตาล ทำให้คลอฟิลล์มีความคงตัวขึ้น จึงทำให้สีของตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง แต่หากใช้เวลาในการต้มนานเกินไปหรือน้อยเกินไปก็ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสีไปจากของสดมาก (Food Network Solution, 2011) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในระดับสูง (3%) และใช้เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และน้ำนาน (30 นาที) ทำให้พังกาหัวสุมดอกแดงมีค่า L* สูงที่สุด ซึ่งหมายถึงพังกาหัวสุมดอกแดงมีความสว่างมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สูง และใช้เวลาในการต้มนาน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างมากขึ้น

ภาพที่ 4-5 พังกาหัวสุมดอกแดงก่อนการต้ม (สด)



ภาพที่ 4-6 พังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มเมื่อแปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาการต้มในน้ำ

ตารางที่ 4-15 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคุณภาพฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Salt) กับเวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ($Time_s$) และเวลาในการต้มในน้ำ ($Time_w$)

ค่าคุณภาพ	Salt	$Time_s$	$Time_w$	Salt* $Time_s$	Salt* $Time_w$	$Time_s$* $Time_w$	Salt *$Time_s$* $Time_w$
ค่าสี L*	*	*	*	*	*	*	*
ค่าสี a*	*	*	*	*	*	*	*
ค่าสี b*	ns	*	*	*	*	*	*
ค่าความแข็ง	*	*	*	*	*	*	*
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
ความชอบด้านสี	*	ns	ns	ns	ns	ns	*
ความชอบด้านรสชาติ	*	*	*	ns	*	*	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	*	*	ns	ns	*	*
ความชอบโดยรวม	*	ns	*	ns	*	*	*
ความฝาดขม	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ * หมายถึง ปัจจัยมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-16 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคุณภาพฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Salt) กับเวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ($Time_s$) และเวลาในการต้มในน้ำ ($Time_w$)

ค่าคุณภาพ	Salt	$Time_s$	$Time_w$	Salt* $Time_s$	Salt* $Time_w$	$Time_s$* $Time_w$	Salt *$Time_s$* $Time_w$
WL	*	ns	ns	*	ns	ns	*
SG	*	ns	ns	*	ns	*	*
WR	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
ค่าสี L*	*	*	*	*	*	*	*
ค่าสี a*	*	*	*	*	*	*	*
ค่าสี b*	*	ns	*	ns	*	*	*
ค่าความแข็ง	*	*	*	*	*	*	*
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านสี	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านรสชาติ	ns	*	ns	*	*	*	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	*	*	ns	*	*	*
ความชอบโดยรวม	ns	ns	ns	*	ns	ns	*
ความฝาดขม	ns	ns	ns	*	ns	ns	*

หมายเหตุ * หมายถึง ปัจจัยมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-17 ค่าสี L* a* b* และค่าความแข็ง (Hardness) ของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้ม

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (% w/w)	เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที)	เวลาการต้มในน้ำ (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน L*	a*	b*	ความแข็ง (kg)
1	2	20	15	$53.89^{c} \pm 0.13$	$7.32^{g} \pm 0.09$	$26.58^{e} \pm 0.86$	$3.56^{a} \pm 0.32$
2	2	20	30	$51.44^{e} \pm 0.22$	$7.73^{f} \pm 0.08$	$26.87^{e} \pm 1.56$	$2.76^{b} \pm 0.12$
3	2	30	15	$55.3^{b} \pm 0.29$	$7.05^{h} \pm 0.09$	$27.12^{ed} \pm 0.64$	$2.04^{c} \pm 0.28$
4	2	30	30	$54.14^{a} \pm 0.28$	$11.92^{a} \pm 0.01$	$35.00^{a} \pm 0.03$	$1.07^{f} \pm 0.26$
5	3	20	15	$53.73^{c} \pm 0.34$	$8.35^{e} \pm 0.04$	$29.50^{b} \pm 0.41$	$3.39^{a} \pm 0.12$
6	3	20	30	$51.98^{d} \pm 0.09$	$9.04^{d} \pm 0.07$	$28.44^{db} \pm 0.29$	$1.63^{e} \pm 0.13$
7	3	30	15	$47.17^{f} \pm 0.42$	$9.91^{b} \pm 0.24$	$26.93^{e} \pm 1.05$	$1.95^{d} \pm 0.12$
8	3	30	30	$56.09^{a} \pm 0.06$	$9.75^{c} \pm 0.12$	$29.86^{b} \pm 0.33$	$1.12^{f} \pm 0.03$

$^{a, b, c, d, e, f, g}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) ค่าความแข็ง (Hardness)

จากการทดลองพบว่า พังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มทั้ง 8 สิ่งทดลอง มีลักษณะสุกนิ่มขึ้น ไม่แข็งเป็นไต จากการสังเกตด้วยตาเห็นว่าสิ่งทดลองที่ 4 และ 8 มีลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างนิ่มกว่าสิ่งทดลองอื่นเมื่อนำมาวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 4-17 พบว่า มีค่าความแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่ำ (2%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และน้ำนาน (30 นาที) และสิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สูง (3%) และเวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และน้ำนาน (30 นาที) มีค่าความแข็งน้อยที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สูง (3%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์น้อย (20 นาที) และเวลาการต้มในน้ำน้อย (15 นาที) และสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สูง (3%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์น้อย (20 นาที) และเวลาการต้มในน้ำน้อย (15 นาที) มีค่าความแข็งมากที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เช่นกัน ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการต้มเป็นเวลานานทำให้ตัวอย่างมีความนิ่มลง เนื่องจากโครงสร้างของผลไม้อ่อนตัวลงทำให้ความหนาแน่นของเนื้อเยื่อเปลี่ยนไป (วันวิสาข์ กระแสคุปต์, 2533) และพังกาหัวสุมดอกแดงมีแป้งเป็นองค์ประกอบมากเมื่อได้รับความร้อนสามารถเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ทำให้แป้งสุกได้ ดังนั้นจึงทำให้ตัวอย่างมีลักษณะนิ่มลง (กล้าณรงค์ ศรีรอต; เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

3) คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม

จากตารางที่ 4-18 พบว่าพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 5.27-5.67 หมายถึงความชอบระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย สำหรับคะแนนความชอบด้านสีและเนื้อสัมผัสพบว่ามีความสอดคล้องกับผลที่วัดได้จากเครื่องวัดสีและเครื่องวัดเนื้อสัมผัสตามลำดับ สำหรับด้านสี L* a* และ b* ของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีผลให้ความชอบด้านสีของผู้ทดสอบแตกต่างกันด้วย ($p<0.05$) สำหรับผลการทดสอบค่าความแข็งซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ให้ผลที่แสดงความสัมพันธ์กับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นกัน นอกจากนี้พบข้อสังเกตว่าสิ่งทดลองที่ 4 มีความแข็งน้อยที่สุด (1.07 kg) ซึ่งมีเนื้อสัมผัสนิ่มมาก ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส 5.53 หมายถึงเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย และสิ่งทดลองที่ 1 มีความแข็งมากที่สุด (3.56 kg) ซึ่งมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส 4.17 หมายถึงไม่ชอบเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบไม่ชอบพังกาหัวสุมดอกแดงที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มหรือแข็งเกินไป

สำหรับด้านรสชาติพบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นคือ 5.53 หมายถึงเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย คะแนนความชอบโดยรวมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบโดยรวมค่อนข้างต่ำ (4.60-5.43) อยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแม้พังกาหัวสุมดอกแดงสุกรับประทานได้ แต่ยังมีรสชาติที่ไม่ดึงดูดใจผู้บริโภคมีเพียงรสเค็มเล็กน้อยเท่านั้น โดยสิ่งทดลองที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$)

4) คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความฝาดขม

จากการทดลองพบว่าปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และเวลาการต้มในน้ำ ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อคะแนนความฝาดขม จากการทดสอบด้วยวิธี Scoring test ซึ่งมี 5 ระดับคะแนน 5 หมายถึงขมมากที่สุด และ 0 หมายถึงไม่ขม จากผลการทดลองในตารางที่ 4-19 พบว่าทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความฝาดขมอยู่ในช่วง 2.47-2.77 หมายถึงความฝาดขมน้อยถึงปานกลาง แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบยังคงรู้สึกถึงความฝาดขมเมื่อบริโภคตัวอย่าง

ตารางที่ 4-18 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้ม

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (% w/w)	เวลาการต้มในของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที)	เวลาการต้มในน้ำ (นาที)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
				ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	2	20	15	5.30 ± 1.51	6.00^{a} ± 1.38	5.37^{b} ± 1.42	4.17^{c} ± 1.89	4.60^{bc} ± 1.54
2	2	20	30	5.40 ± 1.94	5.67^{bc} ± 1.59	5.30^{b} ± 1.62	5.00^{bc} ± 1.78	5.28^{ab} ± 1.58
3	2	30	15	5.30 ± 1.56	5.80^{bc} ± 1.45	5.17^{b} ± 1.43	4.97^{bc} ± 1.77	4.80^{ab} ± 1.42
4	2	30	30	5.53 ± 1.48	6.30^{ab} ± 1.64	5.53^{a} ± 1.21	5.53^{a} ± 1.76	5.43^{a} ± 1.49
5	3	20	15	5.40 ± 1.38	5.50^{bc} ± 1.17	5.07^{b} ± 1.13	4.90^{bc} ± 1.60	5.23^{ab} ± 1.43
6	3	20	30	5.67 ± 1.58	5.37^{c} ± 1.59	5.20^{b} ± 1.63	5.03^{bc} ± 1.83	5.10^{c} ± 1.37
7	3	30	15	5.27 ± 1.62	5.76^{bc} ± 1.63	5.33^{b} ± 1.56	4.77^{bc} ± 1.59	5.17^{bc} ± 1.34
8	3	30	30	5.30 ± 1.49	5.53^{bc} ± 1.60	5.27^{b} ± 1.69	4.97^{bc} ± 1.53	5.00^{ab} ± 1.68

$^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-19 คะแนนความฝาดขมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้ม

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (% w/w)	เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที)	เวลาการต้มในน้ำ (นาที)	คะแนนความฝาดขมเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน[ns]
1	2	20	15	2.77 ± 1.25
2	2	20	30	2.70 ± 1.18
3	2	30	15	2.50 ± 1.11
4	2	30	30	2.50 ± 1.11
5	3	20	15	2.47 ± 0.94
6	3	20	30	2.47 ± 1.14
7	3	30	15	2.53 ± 1.10
8	3	30	30	2.67 ± 1.22

ns หมายถึง ปัจจัยไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

3.2.1.2 ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-20 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาการต้มในน้ำ พบว่าค่า WL SG และ WR ของทุกสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 14.48 – 23.85% , 8.93 – 15.49% และ 3.58 – 10.59% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการออสโมซิสพังกาหัวสุมดอกแดง คือเมื่อนำตัวอย่างพังกาหัวสุมดอกแดงที่ต้มสุกแล้วมาแช่ในสารละลายออสโมติก มีการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้น โดยมีปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อตัวอย่างแช่อยู่ในสารละลายความเข้มข้นสูงจึงทำให้เกิดแรงขับน้ำสามารถแพร่ออกจากชิ้นพังกาหัวสุมดอกแดงได้ ในขณะเดียวกันน้ำตาลในสารละลายออสโมติกจะแพร่เข้าในชิ้นพังกาหัวสุมดอกแดงได้ ทำให้น้ำหนักของตัวอย่างลดลงได้ (Lenart and Flink, 1984; Torregiani, 1993)

นอกจากนี้พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2% เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาต้มในน้ำ 30 นาที เมื่อนำมาออสโมซิสแล้วมีค่า WL และ WR สูงที่สุด คือ 23.85 และ 10.59% ตามลำดับ และพบว่าสิ่งทดลองที่ 1ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่ำ (2%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์น้อย (20 นาที) และเวลาการต้มในน้ำน้อย (15 นาที) มีค่า SG สูงที่สุดคือ 15.49% จากที่สิ่งทดลองที่ 4 มีค่า WL

และ WR สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองดังกล่าวผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการต้มเป็นเวลานาน ซึ่งการต้มจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลงเพิ่มโอกาสทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำในวัตถุดิบและตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกสูงขึ้น (วิไล รังสาดทอง, 2546) และการต้มเวลานานเป็นการเพิ่มโอกาสการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์ในระหว่างการต้ม เกิดการสะสมของน้ำไว้ในเซลล์มาก นอกจากนี้สิ่งทดลองดังกล่าวนี้มีการใช้โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นระดับต่ำจึงมีโอกาสแพร่เข้าไปในเซลล์พังกาหัวสุมดอกแดงได้น้อย ส่งผลให้ความเข้มข้นของน้ำภายในเซลล์มากกว่าสิ่งทดลองที่มีการใช้โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นระดับสูงกว่า ดังนั้นจึงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์ และสารละลายออสโมติกมาก ส่งผลให้เกิดแรงขับมากน้ำจึงสามารถแพร่ออกจากชิ้นพังกาหัวสุมดอกแดงมากกว่าสิ่งทดลองอื่น สำหรับสิ่งทดลองที่ 1 มีค่า SG สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองดังกล่าวผ่านการต้มในสภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุด (ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ต่ำและเวลาในการต้มน้อย) จึงเกิดการสะสมของโซเดียมคลอไรด์ไว้ในชิ้นพังกาหัวสุมดอกแดงต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น เมื่อนำมาออสโมซิสจึงเกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายภายในและภายนอกเซลล์ต่างกันมากจึงมีโอกาสให้ตัวถูกละลายภายในสารละลายออสโมติก (น้ำตาล) สามารถผ่านแพร่เข้ามาได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น

2) ค่าสี L* a* และ b*

จากตารางที่ 4-21 พบว่าค่า a* และ b* ที่วัดได้จากตัวอย่างหลังการออสโมซิสมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างหลังการต้ม ในขณะที่ค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หมายความว่าตัวอย่างหลังการออสโมซิสจะมีค่าความเป็นสีเหลืองและสีแดงลดลง แต่ตัวอย่างมีความสว่างมากขึ้น โดยพบว่ามีค่าสี L* a* และ b* อยู่ในช่วง 48.52-55.82, 5.16-10.15 และ 24.24-30.26 ตามลำดับ ซึ่งการที่ตัวอย่างมีความสว่างมากขึ้น และมีความเป็นสีแดงและสีเหลืองน้อยลง อาจเนื่องมาจากในระหว่างการออสโมซิสสารละลายซูโครสจะช่วยให้ความแวววันเคลือบที่ผิวของผลิตภัณฑ์ (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2542) ซึ่งมีผลต่อการสะท้อนแสงทำให้ผลิตภัณฑ์สีเข้มน้อยลง นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่าค่าสีของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสยังคงมีแนวโน้มคล้ายกับค่าสีของตัวอย่างหลังการต้ม กล่าวคือ สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สูง (2%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และน้ำนาน (30 นาที) มีค่า a* และ b* สูงที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สูง (3%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และน้ำนาน (30 นาที) มีค่า L* สูงที่สุด

3) ค่าความแข็ง (Hardness)

จากตารางที่ 4-21 แสดงค่าความแข็งของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส พบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างหลังการต้ม โดยยังคงมี

แนวโน้มคล้ายกับค่าความแข็งของตัวอย่างหลังการต้ม กล่าวคือสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารลายโซเดียมคลอไรด์ต่ำ (2%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และในน้ำนาน (30 นาที) และสิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สูง (3%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และน้ำนาน (30 นาที) มีค่าความแข็งน้อยที่สุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่ำ (2%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์น้อย (20 นาที) และเวลาต้มในน้ำน้อย (15 นาที) และสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สูง (3%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์น้อย (20 นาที) และเวลาต้มในน้ำน้อย (15 นาที) มีค่าความแข็งมากที่สุด

4) คุณภาพด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

จากตารางที่ 4-22 พบว่าพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยลักษณะปรากฏได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 5.54-6.28 หมายถึงความชอบระดับชอบเล็กน้อย ลักษณะปรากฏได้รับคะแนนที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างหลังการต้ม สำหรับความชอบด้านสีนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 4.96-6.48 หมายถึงความชอบระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลที่ได้จากเครื่องวัดสี ที่พบว่าค่าสี L* a* และ b* ของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจแสดงให้เห็นว่าแม้ว่าสีของผลิตภัณฑ์จะมีความแตกต่างกัน แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านสีของผู้ทดสอบ ในขณะที่ผลการทดสอบค่าคุณภาพด้านความแข็งจากการวัดโดยเครื่อง Texture analyzer พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากตัวอย่างจะมีลักษณะแข็งคงรูปมากขึ้นหลังผ่านการออสโมซิส โดยสิ่งทดลองที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด สำหรับด้านรสชาติพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสชาติมากขึ้น อาจเนื่องจากตัวอย่างมีรสชาติที่หวานขึ้นจากการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส โดยสิ่งทดลองที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงที่สุด คะแนนความชอบโดยรวมของทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับเฉยๆถึงชอบปานกลาง ซึ่งมีคะแนนที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างหลังการต้ม ซึ่งพบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ยังคงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$)

5) คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความฝาดขม

จากตารางที่ 4-23 พบว่าปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาการต้มในน้ำ มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความฝาดขม ($p<0.05$) โดยมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 0.87-2.00 หมายถึง ขมน้อยที่สุดถึงขมน้อย หากเปรียบเทียบ

คะแนนความฝาดขมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการต้มและหลังการออสโมซิส พบว่าทุกสิ่งทดลองมีคะแนนความฝาดขมลดลงเมื่อผ่านการออสโมซิส แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการออสโมซิสเกิดการถ่ายเทมวลสารที่ทำให้ความฝาดขมลดลงได้ อาจเนื่องมาจากสารแทนนินซึ่งอยู่ในรูปละลายน้ำได้สามารถแพร่ออกมาจากพังกาหัวสุมดอกแดงได้ในระหว่างการออสโมซิส ในขณะเดียวกันน้ำตาลจากสารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นผลให้พังกาหัวสุมดอกแดงมีความหวานมากขึ้น ผู้ทดสอบจึงรู้สึกว่ามีความฝาดขมลดลง พบว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่ำ (2%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และเวลาต้มในน้ำนาน (30 นาที) ซึ่งมีค่า WL และ WR สูงที่สุด มีค่าคะแนนความฝาดขมน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-20 ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของฟังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสน้ำตาล

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (% w/w)	เวลาในการต้มของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที)	เวลาการต้มในน้ำ (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
				WL (%)	SG (%)	WR (%)
1	2	20	15	$22.58^{b} \pm 0.60$	$15.49^{a} \pm 0.92$	$6.42^{c} \pm 0.54$
2	2	20	30	$19.96^{bc} \pm 0.16$	$12.41^{ab} \pm 1.08$	$3.58^{d} \pm 0.57$
3	2	30	15	$18.83^{cd} \pm 0.83$	$11.47^{cd} \pm 0.51$	$5.95^{c} \pm 0.51$
4	2	30	30	$23.85^{a} \pm 0.02$	$12.26^{bc} \pm 0.05$	$9.94^{a} \pm 0.54$
5	3	20	15	$14.48^{d} \pm 0.95$	$5.43^{e} \pm 1.07$	$8.89^{b} \pm 0.24$
6	3	20	30	$16.98^{cd} \pm 0.28$	$8.93^{d} \pm 0.57$	$8.36^{b} \pm 0.27$
7	3	30	15	$18.32^{bc} \pm 0.66$	$13.86^{b} \pm 0.12$	$6.79^{c} \pm 0.13$
8	3	30	30	$22.17^{ab} \pm 0.46$	$9.29^{d} \pm 0.37$	$9.55^{a} \pm 0.49$

$^{a, b, c, d, e}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-21 ค่าสี L* a* และ b* และค่าความแข็ง (Hardness) ของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสด้วยน้ำตาล

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (% w/w)	เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที)	เวลาการต้มในน้ำ (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
				L*	a*	b*	ความแข็ง (kg)
1	2%	20	15	$53.61^{c} \pm 0.33$	$7.18^{ed} \pm 0.23$	$28.44^{b} \pm 0.23$	$3.89^{a} \pm 0.13$
2	2%	20	30	$48.52^{f} \pm 0.08$	$7.04^{e} \pm 0.42$	$25.08^{c} \pm 0.51$	$2.41^{c} \pm 0.16$
3	2%	30	15	$55.82^{b} \pm 0.66$	$5.16^{c} \pm 0.05$	$24.24^{d} \pm 0.42$	$2.48^{c} \pm 0.21$
4	2%	30	30	$53.48^{e} \pm 1.09$	$10.15^{a} \pm 0.63$	$30.08^{a} \pm 0.31$	$1.09^{d} \pm 0.26$
5	3%	20	15	$55.41^{b} \pm 0.25$	$8.03^{d} \pm 0.09$	$27.41^{c} \pm 0.08$	$3.28^{b} \pm 0.28$
6	3%	20	30	$53.59^{c} \pm 1.04$	$7.67^{cd} \pm 0.09$	$30.26^{a} \pm 0.65$	$1.27^{d} \pm 0.14$
7	3%	30	15	$51.27^{d} \pm 0.17$	$9.07^{b} \pm 0.12$	$29.03^{b} \pm 0.84$	$1.35^{d} \pm 0.03$
8	3%	30	30	$57.18^{a} \pm 0.16$	$8.70^{b} \pm 0.10$	$29.00^{b} \pm 0.40$	$1.23^{d} \pm 0.07$

$^{a, b, c, d, e}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-22 ค่าคะแนนความชอบด้านความฝาดขม ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (% w/w)	เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที)	เวลาการต้มในน้ำ (นาที)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
				ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	2	20	15	6.04 ± 1.05	6.07 ± 1.36	5.70^{b} ± 1.18	5.97^{bc} ± 1.27	5.53^{bc} ± 1.35
2	2	20	30	6.25 ± 1.16	6.23 ± 1.14	4.80^{c} ± 1.55	5.83^{bc} ± 1.56	5.43^{bc} ± 1.27
3	2	30	15	5.55 ± 1.01	5.89 ± 1.25	5.33^{bc} ± 1.59	5.90^{bc} ± 1.76	5.63^{bc} ± 1.17
4	2	30	30	6.28 ± 1.01	5.74 ± 1.36	6.83^{a} ± 1.16	6.47^{a} ± 1.34	7.17^{a} ± 1.10
5	3	20	15	5.77 ± 1.25	5.76 ± 1.12	5.73^{b} ± 1.73	5.70^{bc} ± 1.82	6.20^{b} ± 1.21
6	3	20	30	6.23 ± 1.61	6.48 ± 1.43	5.03^{bc} ± 1.76	5.53^{c} ± 1.83	6.03^{bc} ± 1.09
7	3	30	15	5.54 ± 1.33	4.96 ± 1.57	5.37^{bc} ± 1.54	6.11^{ab} ± 1.61	5.37^{c} ± 1.27
8	3	30	30	5.64 ± 1.47	5.38 ± 1.55	5.23^{bc} ± 1.48	5.67^{bc} ± 1.53	5.33^{c} ± 1.38

$^{a, b}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-23 คะแนนความฝาดขมของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (% w/w)	เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที)	เวลาการต้มในน้ำ (นาที)	คะแนนความฝาดขมเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	2	20	15	1.17^{cd} ± 1.03
2	2	20	30	1.63^{abc} ± 1.42
3	2	30	15	1.43^{abc} ± 1.13
4	2	30	30	0.87^{d} ± 1.24
5	3	20	15	2.00^{a} ± 1.49
6	3	20	30	1.90^{ab} ± 1.38
7	3	30	15	1.47^{abc} ± 1.62
8	3	30	30	1.40^{bcd} ± 1.25

$^{a, b, c, d}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

พิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสร่วมกับค่าการถ่ายเทมวลสาร โดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารคือ สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) สูง เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป จากตารางที่ 4-24 พบว่าค่า WL/SG ของทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.45-2.67 ค่า WL/SG แสดงสัดส่วนปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น หากมีค่ามาก แสดงถึงน้ำที่สูญเสียไปจากชิ้นพังกาหัวสุมดอกแดงมีค่ามากกว่าของแข็งจากสารละลายออสโมติกในที่นี้คือน้ำตาลซูโครสที่แพร่เข้ามาในชิ้นพังกาหัวสุมดอกแดง โดยปกติมักต้องการให้มีการถ่ายเทปริมาณน้ำออกจากอาหารมาก และมีปริมาณของแข็งที่แพร่เข้ามาในชิ้นอาหารน้อย (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533) ซึ่งผลจากการคำนวณค่า WL/SG พบว่าสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์สูง (3%) เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์น้อย (20 นาที) และเวลาการต้มในน้ำน้อย (15 นาที) มีค่า WL/SG สูงที่สุด คือ 2.67 แต่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 6.20 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 7.17 และมีค่า WL/SG สูง เท่ากับ 1.78 ดังนั้นสิ่งทดลองที่เหมาะสมมากที่สุดคือ สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งดำเนินการเตรียมขั้นต้นโดย นำพังกาหัวสุมดอกแดงมาต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% ใช้เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 30 นาที และเวลาการต้มในน้ำ 30

นาที อย่างไรก็ตามหากสัดส่วนดังกล่าวไม่เหมาะสมอาจส่งผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคด้วย

ตารางที่ 4-24 คะแนนความชอบโดยรวม และค่า WL/SG ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นกับเวลาในการต้มของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาในการต้มในน้ำ

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์(% w/w)	เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (นาที)	เวลาการต้มในน้ำ (นาที)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
				ความชอบโดยรวม	WL/SG (%)
1	2	20	15	$5.86^{ab} \pm 1.35$	$1.46^{c} \pm 0.19$
2	2	20	30	$5.76^{ab} \pm 1.27$	$1.61^{cd} \pm 1.02$
3	2	30	15	$5.31^{b} \pm 1.17$	$1.64^{bcd} \pm 0.17$
4	2	30	30	$6.42^{ab} \pm 1.10$	$1.78^{bcd} \pm 0.09$
5	3	20	15	$5.79^{ab} \pm 1.21$	$2.72^{a} \pm 1.10$
6	3	20	30	$6.11^{a} \pm 1.09$	$1.90^{bc} \pm 1.52$
7	3	30	15	$5.33^{ab} \pm 1.27$	$1.53^{c} \pm 1.25$
8	3	30	30	$5.93^{ab} \pm 1.38$	$1.97^{b} \pm 1.41$

3.2.2 ผลของการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

การทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของปัจจัยด้านการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพของพักกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี (L* a* และ b*) ค่าความแข็ง ค่า a_w และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ด้านความชอบ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม) และสามารถสรุปผลของการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล ร่วมกับสารละลายซูโครส ต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังออสโมซิสได้ดังตารางที่ 4-25 พบว่า อิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล มีผลต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง ค่าสี L* a* b* ค่าความแข็ง ความชอบด้านรสชาติ ความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสในสารละลายผสม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-25 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพของพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสที่แปรการใช้และไม่ใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล

ค่าคุณภาพ	กลีเซอรอล	ซอร์บิทอล	กลีเซอรอล*ซอร์บิทอล
WL	*	ns	*
SG	*	*	*
WR	*	*	*
ค่าสี L*	*	*	*
ค่าสี a*	*	*	*
ค่าสี b*	*	*	*
ค่าความแข็ง	*	ns	*
ค่า a_w	*	*	ns
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	*	*	ns
ความชอบด้านสี	ns	ns	ns
ความชอบด้านรสชาติ	*	*	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	*	*
ความชอบโดยรวม	ns	ns	*

หมายเหตุ * หมายถึง ปัจจัยมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-26 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของสิ่งทดลองที่แปรการใช้และไม่ใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครส พบว่าค่า WL SG และ WR ของทุกสิ่งทดลองที่มีการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครส คือสิ่งทดลองที่ 1 ถึง 3 มีค่าอยู่ในช่วง 40.70-44.07% , 15.30-38.85% และ 5.21-26.91% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบสิ่งทดลองที่มีการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียวคือสิ่งทดลองที่ 4 มีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 23.85% , 15.49% และ 10.59% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลร่วมกับซูโครสทำให้พังกาหัวสุมดอกแดงมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุดแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งไม่มีการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครส มีค่าการถ่ายเทมวลสารต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายผสมของกลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครส ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากซอร์บิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และมีความสามารถในการดูดน้ำไว้ได้ (Erba, Forni, et al., 1994) ส่วนกลีเซอรอลเป็นน้ำตาลแอลกฮอล์เช่นกัน ซึ่งมีขนาด

โมเลกุลเล็ก และมีจำนวนหมู่แอลกฮอล์ต่อจำนวนคาร์บอนสูง จึงทำให้มีการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำอิสระได้มาก ทำให้การถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น (นิราศ กิ่งวาที, 2546) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Moreira et al (2006) ที่พบว่าการเติมกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกสามารถช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารของเกาลัดได้ และสยามรัฐ สังวาล (2547) พบว่าการใช้ความเข้มข้นของซอร์บิทอลที่เหมาะสมร่วมกับสารละลายซูโครสจะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารของแคนตาลูปได้

2) ค่า Water activity (a_w)

จากตารางที่ 4-27 พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับซูโครส มีค่า a_w ต่ำที่สุด คือ 0.885 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งมีการใช้สารละลายซูโครสในการออสโมซิสเพียงอย่างเดียว มีค่า a_w สูงที่สุด คือ 0.970 เนื่องจากทั้งกลีเซอรอลและซอร์บิทอลมีสมบัติเป็นสารคงความชื้น (Humectants) สามารถดูดน้ำได้และมีหน้าที่ช่วยลดค่า a_w ของอาหารได้ (ศิวาพร ศิรเวช และวภา สุโรจนะเมรากุล, 2546) อย่างไรก็ตามกลีเซอรอลมีขนาดโมเลกุล (Mw=92) เล็กกว่าซอร์บิทอล(Mw=182.17) จึงมีโอกาสแพร่เข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์ได้ดีกว่าซอร์บิทอลส่งผลให้สามารถช่วยลดค่า a_w ได้มากกว่า จึงลดความเสี่ยงจากการเจริญของจุลินทรีย์ (Erba, Forni, Colonello & Giangiacomo, 1994) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ นิราศ กิ่งวาที (2546) ศึกษาการใช้สารดูดความชื้นในการปรับปรุงคุณภาพสับปะรดแช่มอิ่มอบแห้ง โดยใช้สารดูดความชื้นความชื้น 3 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล มอลโตเด็กซ์ตริน เปรียบเทียบกับสารละลายซูโครส พบว่า กลีเซอรอลสามารถลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด

ตารางที่ 4-26 ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของสิ่งทดลองที่แปรมีการใช้และไม่ใช้ซอร์บิทอลกับกลีเซอรอลร่วมกับซูโครส

สิ่งทดลองที่	ซูโครส (% w/v)	ซอร์บิทอล (10% w/v)	กลีเซอรอล (20% w/v)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
				WL (%)	SG (%)	WR (%)
1	50	ใช้	ใช้	44.07 ± 0.99^{a}	15.30 ± 0.17^{d}	26.91 ± 0.07^{a}
2	50	ใช้	ไม่ใช้	40.70 ± 0.91^{b}	20.82 ± 1.15^{c}	19.87 ± 0.25^{b}
3	50	ไม่ใช้	ใช้	42.21 ± 0.17^{bc}	28.85 ± 0.91^{a}	15.49 ± 0.08^{c}
4	50	ไม่ใช้	ไม่ใช้	38.42 ± 0.27^{d}	23.51 ± 0.64^{b}	14.41 ± 0.34^{d}

$^{a, b, c, d}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-27 ค่า a_w ของสิ่งทดลองที่แปรมีการใช้และไม่ใช้ซอร์บิทอลกับกลีเซอรอลร่วมกับซูโครส

สิ่งทดลองที่	ซูโครส (% w/v	ซอร์บิทอล (10% w/v)	กลีเซอรอล (20% w/v)	ค่า a_w เฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	50	ใช้	ใช้	$0.884^{c} \pm 0.006$
2	50	ใช้	ไม่ใช้	$0.962^{a} \pm 0.003$
3	50	ไม่ใช้	ใช้	$0.903^{b} \pm 0.006$
4	50	ไม่ใช้	ไม่ใช้	$0.964^{a} \pm 0.004$

$^{a, b, c, d}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) ค่าสี (L* a* และ b*)

จากตารางที่ 4-28 พบว่าค่าสี L* a* และ b* ของสิ่งทดลองที่มีการใช้กลีเซอรอลและหรือ ซอร์บิทอลมีค่าอยู่ในช่วง 44.50-46.45 , 6.53-8.85 และ 19.75-21.66 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่มีการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว มีค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 57.18 , 10.15 และ 30.26 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้กลีเซอรอลและหรือซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครส มีผลทำให้แนวโน้มสีของผลิตภัณฑ์มีความสว่างมากและมีสีเข้มน้อยลง เนื่องจากทั้งกลีเซอรอลและซอร์บิทอลสามารถช่วยเพิ่มความมันวาวแก่ผิวผลิตภัณฑ์ และช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ (นิราศ กิ่งวาที, 2546; ศิวาพร ศิวเวช, 2546) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธัญวรัตน์ พิมุขมนัสกิจ (2546) พบว่าการใช้สารละลายซอร์บิทอล 70% แช่กล้วยน้ำว้าสดก่อนนำไปอบทำให้สามารถปรับปรุงให้กล้วยตากมีสีน้ำตาลเหลืองทองไม่คล้ำได้ และพิมพ์ใจ มณีพันธ์ (2553) เติมซอร์บิทอลและกลีเซอรอลลงในสารละลายซูโครส พบว่า ทำให้มะพร้าวหลังการออสโมซิสมีค่าดัชนีความขาวมากขึ้น สีคล้ำน้อยลง

4) ค่าความแข็ง (Hardness)

จากตารางที่ 4-28 พบว่าการใช้กลีเซอรอลและหรือซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครส มีผลให้ค่าความแข็งของสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 1.02-1.11 kg เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่มีการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว พบว่ามีค่าความแข็งเท่ากับ 1.12 kg แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายผสมมีแนวโน้มให้พังกาหัวสุมดอกแดงมีค่าความแข็งลดลง โดยเฉพาะการใช้กลีเซอรอลร่วมด้วย เนื่องจากกลีเซอรอลซึ่งจัดเป็นสารประกอบประเภท polyhydroxy alcohol ซึ่งเป็นน้ำตาลแอลกฮอล์ที่มีความสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำเป็นอย่างดี ดังนั้น เมื่อกลีเซอรอลแพร่เข้าไปในอาหารทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะอุ้มน้ำ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น ส่วนซอร์บิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์เช่นกัน มีความคงตัวต่ออุณหภูมิสูง เป็นสารป้องกันการเกิดผลึก

เป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสช่วยในการรักษาความชุ่มชื้นในผลิตภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อนุ่มขึ้น (Bolin & Huxsoll, 1983; ชาติชาย โขนงนุช) โดยจากการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 1 มีค่าความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล ร่วมกับสารละลายซูโครส

5) คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

จากตารางที่ 4-29 แสดงคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านการใช้และไม่ใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล ร่วมกับสารละลายซูโครส ซึ่งพบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) พบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสี อยู่ในช่วง 5.37-6.83 และ 5.53-6.40 ตามลำดับ แสดงถึงผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับ ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

สำหรับด้านรสชาติ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับซูโครส ทำให้ผู้ทดสอบชอบ และให้คะแนนความชอบด้านรสชาติมากขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่เพิ่มความหวานให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความหวานประมาณ 0.6-0.7 เท่าของน้ำตาลซูโครส (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539) ส่วนซอร์บิทอลก็เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ให้พลังงานที่ต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส โดยมีความหวานประมาณ 0.5-0.6 เท่าของน้ำตาลซูโครส (ธัญวรัตน์ พิมุขมนัสกิจ และคณะ, 2546) นอกจากนี้การใช้กลีเซอรอลอาจช่วยรักษารสชาติของผลิตภัณฑ์ไว้ได้มากกว่า เพราะสามารถช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนซอร์บิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่มีความเสถียรและรวมตัวกับองค์ประกอบอื่นๆในอาหาร เช่น น้ำตาล และโปรตีนได้ดี จึงอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติหวานที่ตรงกับความชอบของผู้ทดสอบมากว่าสิ่งทดลองอื่น ซึ่งสิ่งทดลองอื่นๆอาจมีความหวานน้อยเกินไป

สำหรับคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสก็มีคะแนนแนวโน้มเดียวกัน พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครส มีค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด คือ 6.50 หมายถึงมีความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง นอกจากนี้สิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งเป็นผลจากผู้บริโภคมีความชอบในด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสสูงนั่นเอง

การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

พิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับการถ่ายเทมวลสาร โดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร คือสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) สูง จากตารางที่ 4-17 พบว่าค่า WL/SG และ

ความชอบโดยรวมของทุกสิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.73-6.50 ส่วน WL/SG มีค่าอยู่ในช่วง 1.13-2.76

ตารางที่ 4-28 ค่าสี (L* a* และ b*) และความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยด้านการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอล ร่วมกับสารละลายซูโครส

สิ่งทดลอง	ซูโครส (% w/v)	ซอร์บิทอล (10% w/v)	กลีเซอรอล (20% w/v)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
				L*	a*	b*	ความแข็ง (kg)
1	50	ใช้	ใช้	$45.80^{b} \pm 0.16$	$7.58^{b} \pm 0.01$	$21.66^{a} \pm 0.35$	$1.02^{c} \pm 0.13$
2	50	ใช้	ไม่ใช้	$44.50^{c} \pm 0.03$	$6.53^{c} \pm 0.01$	$19.75^{ab} \pm 0.29$	$1.11^{a} \pm 0.06$
3	50	ไม่ใช้	ใช้	$46.45^{a} \pm 0.13$	$8.85^{a} \pm 0.03$	$20.94^{ab} \pm 0.01$	$1.06^{b} \pm 0.46$
4	50	ไม่ใช้	ไม่ใช้	$40.63^{d} \pm 0.21$	$6.13^{d} \pm 0.06$	$15.84^{b} \pm 0.07$	$1.12^{a} \pm 0.40$

a, b, c, d, e, f หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-29 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลร่วมกับสารละลายซูโครส

สิ่งทดลองที่	ซูโครส (% w/v)	ซอร์บิทอล (10% w/v)	กลีเซอรอล (20% w/v)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
				ลักษณะปรากฏ	สี [ns]	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	50	ใช้	ใช้	$6.83^{c} \pm 1.09$	$5.83^{b} \pm 1.01$	$6.87^{b} \pm 1.45$	$6.80^{b} \pm 0.95$	$6.50^{b} \pm 1.23$
2	50	ใช้	ไม่ใช้	$6.20^{b} \pm 1.58$	$5.90^{a} \pm 1.11$	$5.70^{a} \pm 1.78$	$6.03^{a} \pm 1.13$	$5.73^{a} \pm 1.56$
3	50	ไม่ใช้	ใช้	$5.97^{b} \pm 1.21$	$5.53^{a} \pm 1.19$	$5.73^{a} \pm 1.37$	$5.87^{a} \pm 1.76$	$5.90^{ab} \pm 1.47$
4	50	ไม่ใช้	ไม่ใช้	$5.37^{a} \pm 1.04$	$5.57^{a} \pm 1.63$	$5.70^{a} \pm 1.62$	$5.90^{a} \pm 1.35$	$6.33^{ab} \pm 1.34$

[a, b, c, d] หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-30 คะแนนความชอบโดยรวม และค่า WL/SG ของสิ่งทดลองที่แปรการใช้และไม่ใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับซูโครส

สิ่งทดลองที่	ซูโครส (% w/v	ซอร์บิทอล (10% w/v)	กลีเซอรอล (20% w/v)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
				WL/SG	ความชอบโดยรวม
1	50	ใช้	ใช้	$2.76^{a} \pm 0.03$	$6.50^{a} \pm 1.23$
2	50	ใช้	ไม่ใช้	$1.96^{b} \pm 0.06$	$5.73^{b} \pm 1.65$
3	50	ไม่ใช้	ใช้	$1.13^{d} \pm 0.01$	$5.90^{ab} \pm 1.47$
4	50	ไม่ใช้	ไม่ใช้	$1.61^{c} \pm 0.01$	$6.33^{ab} \pm 1.34$

$^{a, b, c, d}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบโดยรวมพบว่าสิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีค่า WL/SG สูงที่สุดเท่ากับ 2.76 แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่ 1 มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสได้ดี และได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครส 50% (w/v) มาดำเนินการทดลองในขั้นตอนการทำแห้งผลิตภัณฑ์ต่อไป

3.2.3 การหาระดับความชื้นที่เหมาะสมในการทำแห้งพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสโดยการอบแห้งด้วยลมร้อน

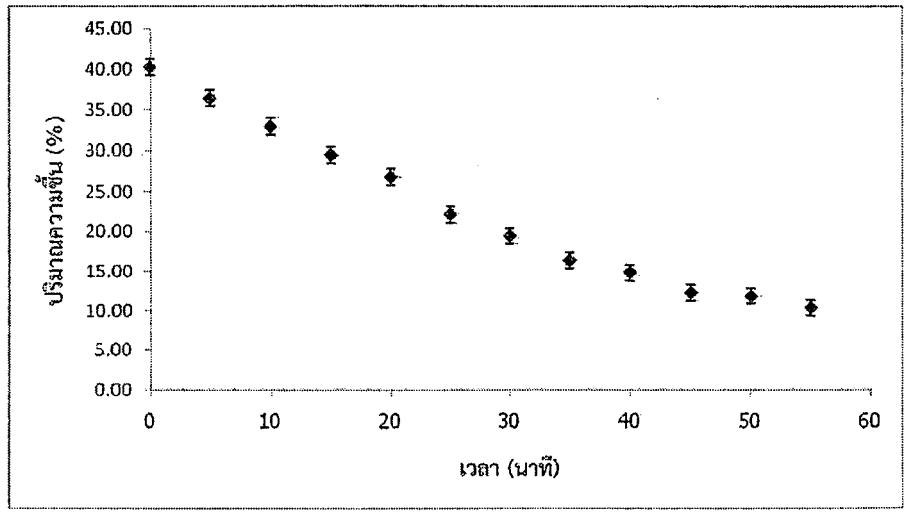
การทำแห้งเป็นการลดความชื้นในอาหารรวมทั้งเป็นการลดค่า a_w ของอาหาร คือ การลดปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550) ในการทดลองนี้ต้องหาความชื้นเหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นและค่า a_w อยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) ซึ่งมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.9 (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550; Smith & Norvell, 1975) และยังคงมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยการทดลองนี้แปรปริมาณความชื้นที่ต้องการเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 15, 25 และ 35% และเพื่อให้การอบแห้ง ในการลดความชื้นเป็นไปอย่างถูกต้องจึงต้องสร้างกราฟการทำแห้งที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการทำแห้ง เพื่อทำนายเวลาในการแห้งต่อไป

3.2.3.1 ผลการสร้างกราฟการทำแห้งเพื่อทำนายเวลาในการทำแห้ง

จากการอบแห้งพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการออสโมซิสในตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 70 องศาเซลเซียส นาน 55 นาที โดยสุ่มตัวอย่างทุก 5 นาที นำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการทำแห้ง

ได้ผลดังภาพที่ 4-7 แสดงให้เห็นว่า ฟังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิสจะมีปริมาณความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่องตามเวลาในการทำแห้ง โดยปริมาณความชื้นลดลงจาก 40.28% เหลือ 10.36% เมื่ออบแห้งนานเป็นเวลา 55 นาที ทั้งนี้ในการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน เป็นการทำให้อาหารได้สัมผัสกับอากาศร้อน ความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังผิวอาหาร และทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ไอน้ำนี้สามารถแพร่ผ่านชั้นของอากาศ (boundary film of air) รอบๆชิ้นอาหาร และถูกพาไปโดยอากาศหรือลมร้อนที่เคลื่อนที่ โดยมีอากาศแห้งเข้ามาแทนที่ จึงทำให้ความดันไอของน้ำ (water vapour pressure) ที่ผิวของอาหารลดลง เป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอของน้ำนี้ ทำให้เกิดแรงขับ (driving force) ให้น้ำจากภายในอาหารเคลื่อนย้ายออกมาสู่ผิวนอกของอาหาร จนทำให้อาหารแห้งลงหรือมีความชื้นลดลงได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2546)

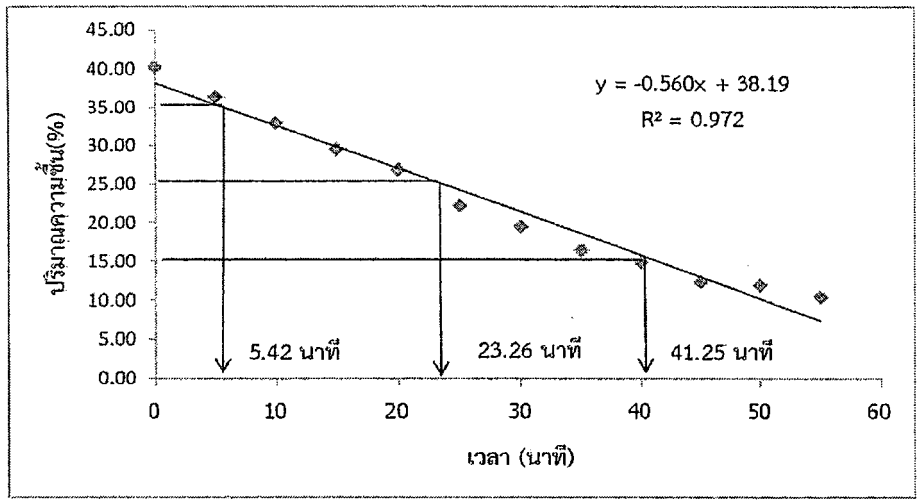
เพื่อให้สามารถควบคุมเวลาในการอบแห้งได้สะดวกและชัดเจนขึ้นจึงปรับเวลาในการทำแห้งที่ทำนายได้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ฟังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่มีความชื้น 35 25 และ 15% ดังนี้ คือ 5.00 23.00 และ 41.00 นาที ผลการอบแห้ง พบว่า ได้ฟังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่มีความชื้นใกล้เคียงกับที่ต้องการรายละเอียดดังตารางที่ 4-31



ภาพที่ 4-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการอบแห้ง

จากภาพที่ 4-8 พบว่า เมื่อทำนายเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นตามเวลาด้วยวิธี Regression โดยใช้รูปสมการเชิงเส้น เพื่อทำนายเวลาในการทำแห้ง พบว่า สมการมีค่า R^2 ซึ่งแสดงถึงค่าความน่าเชื่อถือของสมการสูงถึง 0.97 โดยทั่วไปสมการที่มักนำมาใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 แสดงถึงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือมาก (Haland, 1998; Hu, 1999) ซึ่งจาก

สมการสามารถทำนายเวลาในการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้น 35, 25 และ 15 % คือ 5.42, 23.26 และ 41.25 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้ง

ตารางที่ 4-31 เวลาการอบแห้งพังกาหัวสุมดอกแดงที่ผ่านการออสโมซิสในตู้อบลมร้อน เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นที่กำหนด

สิ่งทดลอง	ความชื้นที่ต้องการ (%)	เวลาที่ทำนาย (นาที)	เวลาที่ใช้จริง (นาที)	ความชื้นที่ได้จริง (%)
1	15	41.25	41.00	14.98 ± 0.07
2	25	23.26	23.00	24.67 ± 0.11
3	35	5.42	5.00	36.42 ± 0.05

3.2.3.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง

ลักษณะของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่มีปริมาณความชื้นสุดท้าย 15% พบว่าผิวด้านนอกมีลักษณะหดตัวและค่อนข้างแห้งมาก ในขณะที่ผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่มีปริมาณความชื้น 25% และ 35% มีผิวเรียบไม่หดตัวและมีลักษณะชุ่มน้ำไม่แห้งมาก แสดงดังภาพที่ 4-9 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง มีรายละเอียดดังนี้

ก) 15%　　ข) 25%　　ค) 35%

ภาพที่ 4-9 ผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งแต่ละระดับความชื้น ก) 15% ข) 25% ค) 35%

1) คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

จากตารางที่ 4-32 พบว่า ผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่ปริมาณความชื้น 35, 25 และ 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่า a_w 0.882, 0.871 และ 0.835 ตามลำดับ จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง เนื่องจากมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.9 โดยเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาทางเคมี และใช้ในการเจริญเติบโตได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2528; Smith and Norvell, 1975; ไพโรจน์ วิริยจารี, 2538) ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งนี้มีคุณสมบัติในการคงตัวดี ไม่เสื่อมเสียได้ง่าย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่ได้ดำเนินการสามารถลดปริมาณความชื้นและค่า a_w ได้โดย การออสโมซิสสามารถลดความชื้น ค่า a_w จากพังกาหัวสุมดอกแดงสุกให้มีความชื้น 40.28% และ a_w 0.885 เมื่อนำมาอบแห้งต่อสามารถลดความชื้นลงได้อีกจนมีความชื้น 15-35% และค่า a_w 0.835-0.882

เมื่อพิจารณาด้านค่าสี (L* a* และ b*) พบว่า ผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่ลดปริมาณความชื้นมากขึ้นจะทำให้มีค่า L* และ b* เพิ่มขึ้น แสดงถึง ความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนค่า a* มีค่าลดลง แสดงถึง ความเป็นสีแดงลดลง เนื่องจากการอบแห้งจะทำให้ลักษณะผิวหน้าแห้งมาก และหดตัวมีรอยแยกเห็นสีของเนื้อพังกาหัวสุมดอกแดงที่มีสีออกขาวเหลือง และอาจมีผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุ พวกคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ ที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้ง จึงทำให้ตัวอย่างมีสีซีดจางลง (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

เมื่อพิจารณาด้านค่าความแข็ง พบว่า ค่าความแข็งของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่มีปริมาณความชื้น 15, 25 และ 35 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 10.01, 8.369 และ 6.282 kg ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำที่ผิวของพังกาหัวสุมดอกแดงเกิดการระเหยจากผิวหน้าไปสู่อากาศ จึงอาจเกิดลักษณะเปลือกนอกแข็งหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ หรือมีสารละลายน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

ตารางที่ 4-32 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งระดับความชื้นต่างๆ

คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความชื้น 15%	ความชื้น 25%	ความชื้น 35%
ค่า a_w	0.835^{b} ± 0.000	0.871^{a} ± 0.000	0.882^{a} ± 0.000
L*	56.06^{a} ± 0.10	52.25^{b} ± 0.05	44.95^{c} ± 0.11
a*	5.11^{c} ± 0.10	6.12^{b} ± 0.18	7.34^{a} ± 0.38
b*	27.86^{a} ± 0.14	23.73^{b} ± 0.48	21.98^{c} ± 0.21
ค่าความแข็ง	10.01^{a} ± 0.27	8.37^{b} ± 0.03	6.28^{c} ± 0.20

$^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งทั้ง 3 สิ่งทดลองไม่เกิดรอยเหี่ยวย่น มีลักษณะแห้งและมีรสหวานเล็กน้อย สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้น 15% มีรอยแตกที่ผิวเล็กน้อย เนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้น 25 และ 35% ยังคงรูปอยู่ได้ดี ไม่มีรอยแตก และมีเนื้อสัมผัสแข็งเล็กน้อย เมื่อนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ได้ผลแสดงตารางที่ 4-33 พบว่าผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่มีความชื้น 35 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.40, 6.73 และ 6.50 ตามลำดับ หมายถึง ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง และคะแนนความชอบด้านรสชาติกับเนื้อสัมผัส อยู่ในช่วง 5.80-5.77 หมายถึง เฉยๆถึงชอบเล็กน้อย ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้น 25 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 5.57-5.87 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคให้ความรู้สึกเฉยๆถึงชอบเล็กน้อยในทุกๆด้านกับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสี เท่ากับ 6.40 และ 6.17 ตามลำดับ หมายถึง ชอบเล็กน้อย ส่วนคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 5.37-5.87 หมายถึง เฉยๆถึงชอบเล็กน้อย แต่ผู้บริโภครู้สึกไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆกับด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้รับคะแนนความชอบเพียง 4.63

การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

พิจารณาค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับค่า a_w โดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดและที่มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.9 พบว่า a_w ของทุกสิ่งทดลองอยู่ในช่วง 0.871-0.882 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.6-0.9 ตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง และพบว่าพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่มีความชื้น 35% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (6.5) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกสิ่งทดลองนี้เพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-33 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งระดับความชื้นต่างๆ

สิ่งทดลองที่	ความชื้น	คะแนนความชอบค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	(%)	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	15	$6.40^{a} \pm 1.16$	$6.17^{ab} \pm 1.87$	$5.87^{a} \pm 1.37$	$4.63^{b} \pm 1.69$	$5.37^{b} \pm 1.25$
2	25	$5.73^{a} \pm 1.41$	$5.73^{b} \pm 1.32$	$5.83^{a} \pm 1.45$	$5.57^{a} \pm 1.32$	$5.87^{ab} \pm 1.23$
3	35	$6.40^{a} \pm 1.08$	$6.73^{a} \pm 1.19$	$5.80^{a} \pm 1.28$	$5.77^{a} \pm 1.02$	$6.50^{a} \pm 1.20$

$^{a, b}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.2.4 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

การทดลองนี้ต้องการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาใส และถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ โดยมีการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้น แสดงดังภาพที่ 4-10 และ 4-11 เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 5±1°C ในตู้เย็นผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่เก็บไว้แต่ละสัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 4-34

ภาพที่ 4-10 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาใส ที่มีการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้น

ภาพที่ 4-11 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ ที่มีการใช้และไม่ใช้สารดูดความชื้น

1) ค่า a_w และปริมาณความชื้น

ค่า a_w แสดงถึงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงอายุการเก็บหรือการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ (Chirife and Buere, 1994) เมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 4-35 พบว่า สัปดาห์ที่ 1 ค่า a_w ของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.882 เป็น 0.925-0.934 เนื่องจากผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งไม่ได้ทำการบรรจุแบบสุญญากาศหรือบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านได้สมบูรณ์ และเก็บรักษาในตู้เย็น อาจจะมีไอน้ำหรือความชื้นซึมผ่านเข้าถุงบรรจุภัณฑ์ได้ (สุขเกษม สิทธิพจน์, ม.ป.ป.) และในสัปดาห์ที่ 2 ถึง 4 ค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในสิ่งทดลองที่ 2 และ 4 ซึ่งไม่ใช้สารดูดความชื้น จะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและคงที่ในสิ่งทดลองที่ 1 และ 3

สำหรับปริมาณความชื้นและค่า a_w มักมีความสัมพันธ์กัน เมื่อค่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นค่า a_w มักเพิ่มขึ้นด้วย (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) ปริมาณความชื้นของตัวอย่างจึงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกับค่า a_w

ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ มีค่า a_w และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการบรรจุในถุงพลาสติก PE อาจมีผลจากการบรรจุภัณฑ์ LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์มีคุณสมบัติช่วยป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำเข้าหรือออกจากถุง ป้องกันความชื้น และแสง ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำได้ 1.3 $g/m^2/24$ h ในขณะที่ถุงพลาสติกชนิด PE ซึ่งมีอัตราการซมผ่านของไอน้ำได้ .1-4 $g/m^2/24$ h (ปุ่น และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) นอกจากนี้พบว่า สิ่งทดลองที่มีการเติมสารดูดความชื้นในบรรจุภัณฑ์ด้วย จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่า a_w น้อยกว่าการไม่เติมสารดูดความชื้น กล่าวคือ สามารถช่วยรักษาระดับปริมาณความชื้นและค่า a_w ไว้ได้มากกว่า เนื่องจากสารดูดความชื้นสามารถช่วยดูดความชื้นและออกซิเจนบริเวณรอบภายในภาชนะบรรจุไว้ได้ (อรวรรณ คงพันธุ์, 2544) โดยภาพรวมของผลการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งใช้ถุงพลาสติก LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์และมีการใช้สารดูดความชื้นมีค่า a_w และความชื้น ต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่นตลอดเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

ตารางที่ 4-34 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคุณภาพพังกาหัวสุมดอกแดงในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่แปรปัจจัยด้านชนิดบรรจุภัณฑ์ (Type) กับสารดูดความชื้น (Absorb)

ค่าคุณภาพ	Type	Absorb	Type*Absorb
สัปดาห์ที่ 1	*	*	*
ปริมาณความชื้น	*	*	*
ค่า a_w	*	*	*
ค่าสี L*	*	*	*
ค่าสี a*	*	*	*
ค่าสี b*	*	*	*
ค่าความแข็ง	*	ns	ns
ความชอบด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์	*	*	*
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	*	ns	ns
ความชอบด้านสี	*	*	*
ความชอบด้านรสชาติ	*	*	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	*	*
ความชอบโดยรวม	*	ns	*
สัปดาห์ที่ 2			
ปริมาณความชื้น	*	*	*
ค่า a_w	*	*	*
ค่าสี L*	*	*	*
ค่าสี a*	*	*	*
ค่าสี b*	*	*	*
ค่าความแข็ง	*	*	*
ความชอบด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์	*	*	*
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	*	ns	ns
ความชอบด้านสี	*	*	*
ความชอบด้านรสชาติ	*	*	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	ns	ns
ความชอบโดยรวม	*	*	*

ตารางที่ 4-34(ต่อ) สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคุณภาพพังกาหัวสุมดอกแดงในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่แปรปัจจัยด้านชนิดบรรจุภัณฑ์ (Type) กับสารดูดความชื้น (Absorb)

ค่าคุณภาพ	Type	Absorb	Type*Absorb
สัปดาห์ที่ 3			
ปริมาณความชื้น	*	*	*
ค่า a_w	*	*	*
ค่าสี L*	*	*	*
ค่าสี a*	*	*	*
ค่าสี b*	*	*	*
ค่าความแข็ง	ns	*	*
ความชอบด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์	*	*	ns
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	*	ns	*
ความชอบด้านสี	*	ns	ns
ความชอบด้านรสชาติ	*	*	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	*	*
ความชอบโดยรวม	*	*	*
สัปดาห์ที่ 4			
ปริมาณความชื้น			
ค่า a_w	*	*	*
ค่าสี L*	ns	*	*
ค่าสี a*	*	*	*
ค่าสี b*	*	*	*
ค่าความแข็ง	*	*	*
คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ	*	*	*
ความชอบด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์	*	*	*
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	*	ns	*
ความชอบด้านสี	*	*	*
ความชอบด้านรสชาติ	*	*	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	*	*
ความชอบโดยรวม	*	*	*

หมายเหตุ * หมายถึง มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-35 ค่า a_w ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ

สิ่งทดลองที่	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	สัปดาห์ที่ 0^{ns}	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
1. PE/Ab	0.882 ± 0.001	0.934^{b} ± 0.002	0.931^{b} ± 0.004	0.936^{b} ± 0.005	0.929^{c} ± 0.001
2. PE/no Ab	0.882 ± 0.001	0.945^{a} ± 0.006	0.943^{a} ± 0.003	0.946^{a} ± 0.001	0.946^{a} ± 0.002
3. LDPE Alu/Ab	0.882 ± 0.001	0.925^{b} ± 0.001	0.920^{c} ± 0.003	0.919^{d} ± 0.001	0.918^{d} ± 0.001
4. LDPE Alu/no Ab	0.882 ± 0.001	0.933^{b} ± 0.001	0.931^{b} ± 0.000	0.930^{c} ± 0.003	0.932^{b} ± 0.001

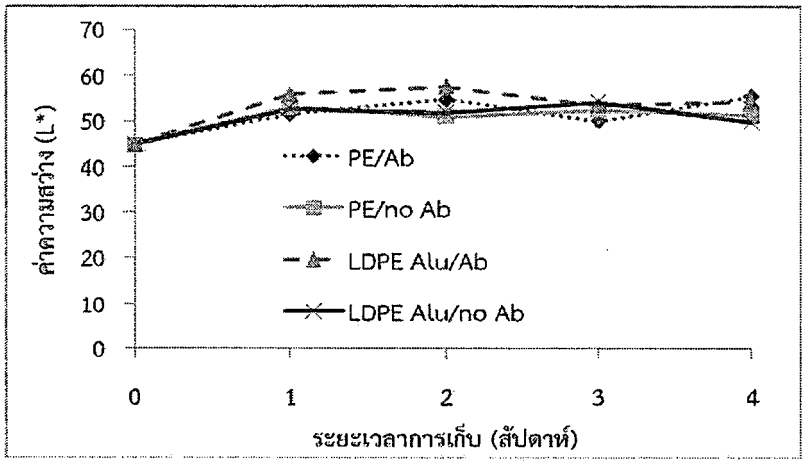
$^{a, b, c}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

PE = ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส Ab = ใช้สารดูดความชื้น

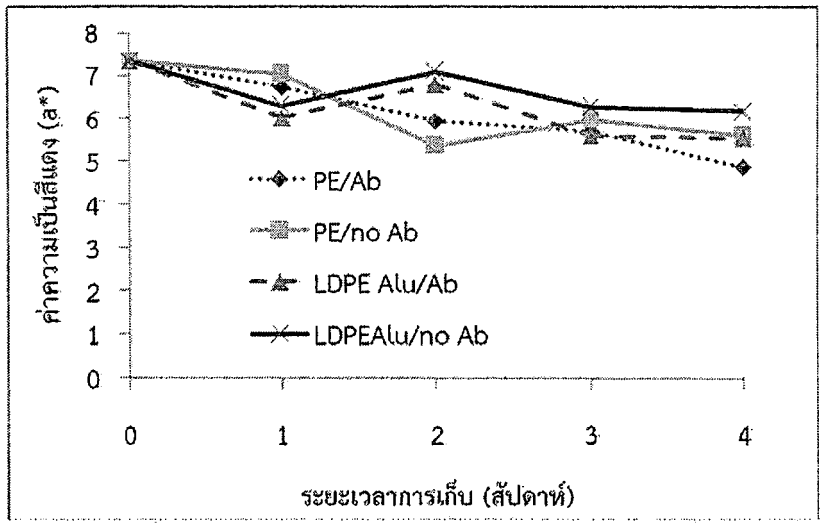
LDPE Alu = ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ no Ab = ไม่ใช้สารดูดความชื้น

2) ค่าสี L* a* และ b*

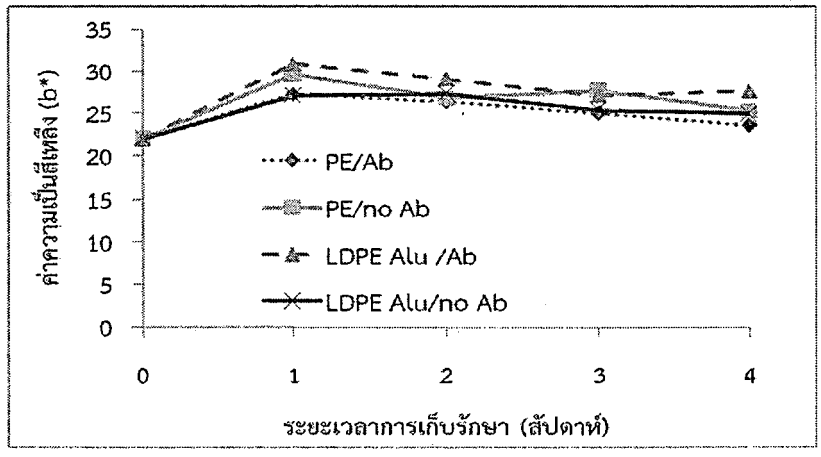
ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งสัปดาห์ที่ 0 มีค่าเท่ากับ 44.83, 7.34 และ 21.98 ตามลำดับ จากภาพที่ 4-12 ถึง 4-14 แสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีในแบบเดียวกัน กล่าวคือ ตลอดการเก็บรักษา ค่าสี L* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 1 แล้วคงที่ตลอดการเก็บรักษา สำหรับค่าสี a* มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในเวลา 2 สัปดาห์ แล้วเริ่มคงที่ตลอดการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำแบบเมลลาร์ดได้ เนื่องจากเกิดสารตั้งต้นคือน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน ซึ่งผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งนี้มีองค์ประกอบดังกล่าวนี้อยู่ด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)



ภาพที่ 4-12 ค่าความสว่าง (L*) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ (PE =ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส LDPE Alu = ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ Ab = ใช้สารดูดความชื้น และ no Ab = ไม่ใช้สารดูดความชื้น)



ภาพที่ 4-13 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ (PE =ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส LDPE Alu = ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ Ab = ใช้สารดูดความชื้น และ no Ab = ไม่ใช้สารดูดความชื้น



ภาพที่ 4-14 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ (PE =ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส LDPE Alu = ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ Ab = ใช้สารดูดความชื้น และ no Ab = ไม่ใช้สารดูดความชื้น)

3) ค่าความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งบ่งบอกถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยได้จากการวัดด้วยเครื่อง Texture analyzer หมายถึง แรงสูงสุดที่ใช้ในการกดให้ผลิตภัณฑ์แยกออกจากกัน (วีระชัย ลามอ, 2550) จากผลการทดลองตารางที่ 4-36 พบว่า ใน 2 สัปดาห์แรกมีแนวโน้มคล้ายกัน คือ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 6.82 kg เป็น 15.28 kg ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 พบว่า ในสัปดาห์ที่ 1 ค่าความแข็งของทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมากจาก 6.82 kg เป็น 11.09-13.10 kg ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพังกาหัวสุมดอกแดงมีแป้งเป็นองค์ประกอบมากในขณะที่ให้ความร้อนในการต้มหรืออบน้ำ ที่แทรกอยู่แล้วเมื่อได้รับความร้อนจะมีผลทำให้เกิดเจล และคุณสมบัติของเจลนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงไปหากเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิสูง เช่นอุณหภูมิห้อง แต่หากเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิต่ำลงมาและใช้เวลาเก็บนานขึ้นส่วนประกอบของแป้งโดยเฉพาะส่วนอะไมโลเพคตินจะเกิดตะกอนขุ่น เจลมีลักษณะแข็งขึ้นและทำให้ตัวอย่างมีความแข็ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) และในสัปดาห์ที่ 2 ถึง 4 ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้ถุงพลาสติกชนิด PE ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ซึ่งใช้ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ มีแนวโน้มคงที่และลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และแสงได้ดี

ตารางที่ 4-36 ค่าความแข็ง (Hardness) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ

สิ่งทดลองที่	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	สัปดาห์ที่ 0 ^{ns}	สัปดาห์ที่ 1 ^{ns}	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
1. PE/Ab	6.82 ± 0.20	12.93^{b} ± 0.19	13.77^{b} ± 0.18	14.76^{b} ± 0.33	15.71^{b} ± 0.47
2. PE/no Ab	6.82 ± 0.20	12.91^{b} ± 0.66	15.03^{a} ± 0.59	16.76^{a} ± 0.13	17.26^{a} ± 1.00
3. LDPE Alu/Ab	6.82 ± 0.20	11.09^{c} ± 0.66	13.28^{b} ± 0.59	13.17^{c} ± 0.83	13.01^{c} ± 0.31
4. LDPE Alu/no Ab	6.82 ± 0.20	13.10^{a} ± 0.74	13.39^{b} ± 0.23	13.16^{c} ± 0.59	12.82^{d} ± 0.29

$^{a, b, c, d}$ หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

PE = ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส Ab = ใช้สารดูดความชื้น

LDPE Alu = ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ no Ab = ไม่ใช้สารดูดความชื้น

4) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

จากตารางที่ 4-37 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.00 CFU/g – 7.0 x 10^{1} CFU/g ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์

ทั้งหมดไม่เกินมาตรฐานกำหนดของผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้กึ่งแห้ง (1.0×10^3 CFU/g) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารชุมชน, 2546) แสดงว่า ทุกสิ่งทดลองยังคงมีความปลอดภัยในระดับที่สามารถบริโภคได้

จากตารางที่ 4-38 แสดงปริมาณยีสต์และรา จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ตลอดการเก็บรักษา 4 ทุกสิ่งทดลองมีปริมาณยีสต์ราไม่เกิน 5.0×10^1 CFU/g ซึ่งปริมาณยีสต์และราที่ตรวจพบไม่เกินมาตรฐานกำหนด (100 CFU/g) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารชุมชน, 2546) จึงมีความปลอดภัยสามารถนำผลิตภัณฑ์มาบริโภคได้

จากผลการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา จึงสรุปได้ว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด PE และ LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ ร่วมกับการเติมสารดูดความชื้นและไม่เติมสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิตู้เย็น ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานอย่างน้อย 4 สัปดาห์ อาจเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลดปริมาณความชื้นและค่า a_w มีผลทำให้จุลินทรีย์บางส่วนตายไปหรือบางส่วนอาจอยู่รอดแต่ไม่สามารถเจริญได้ (Hocking and Pitt, 1987) นอกจากนี้เนื่องจากการใช้สารดูดความชื้นในภาชนะบรรจุภัณฑ์ร่วมด้วยสามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษา (สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, 2540.) และอาหารให้คงสภาพเหมือนผลิตใหม่ให้ความสด กลิ่น รสชาติ อาหารไม่เปลี่ยนสี และไม่ทำให้อาหารเสื่อมเสียจากแบคทีเรีย ช่วยลดปริมาณออกซิเจนลงได้ เพราะออกซิเจนเป็นสาเหตุหลักในการทำให้อาหารเสีย ช่วยกำจัดเชื้อราและแบคทีเรีย และกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้นได้ (Nakamura and Hoshino, 1983) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยลง เนื่องจากโดยปกติเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ จะเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิ 5-60 °C การเก็บรักษาอาหารในตู้เย็นอุณหภูมิ 4±1°C จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2552)

อย่างไรก็ตามจากการพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่า การบรรจุผลิตภัณฑ์โดยใช้ถุงพลาสติกชนิด LDPE ร่วมกับการเติมสารดูดความชื้นช่วยให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา มีปริมาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น จึงน่าจะมีแนวโน้มให้มีอายุการเก็บรักษานานกว่าสิ่งทดลองอื่น

ตารางที่ 4-37 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บรักษา	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)			
	PE/Ab	PE/no Ab	LDPE Alu/Ab	LDPE Alu/no Ab
0	3.5×10^1	3.5×10^1	3.5×10^1	3.5×10^1
1	3.5×10^1	3.5×10^1	3.5×10^1	3.6×10^1
2	4.5×10^1	3.0×10^1	5.0×10^1	3.0×10^1
3	6.0×10^1	5.5×10^1	4.0×10^1	7.0×10^1
4	6.0×10^1	6.5×10^1	2.0×10^1	0.5×10^1

PE = ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส Ab = ใช้สารดูดความชื้น

LDPE Alu = ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ no Ab = ไม่ใช้สารดูดความชื้น

ตารางที่ 4-38 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง ที่สภาวะการบรรจุแบบต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บรักษา	ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g)			
	PE/Ab	PE/no Ab	LDPE Alu/Ab	LDPE Alu/no Ab
0	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
3	5.0	5.0	ไม่พบ	ไม่พบ
4	1.0×10^1	5.0×10^1	ไม่พบ	0.5×10^1

PE = ถุงพลาสติกชนิด PE แบบหนาและใส Ab = ใช้สารดูดความชื้น

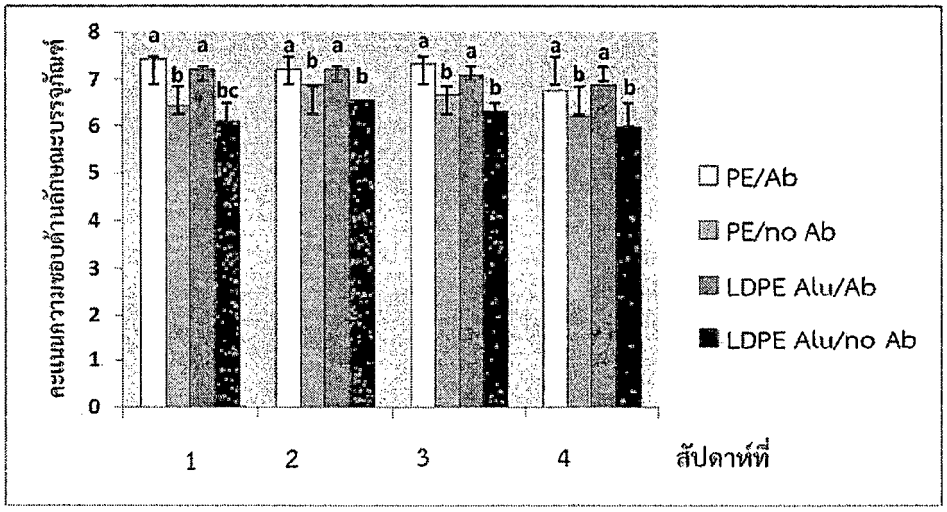
LDPE Alu = ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ no Ab = ไม่ใช้สารดูดความชื้น

5) คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบลักษณะบรรจุภัณฑ์ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

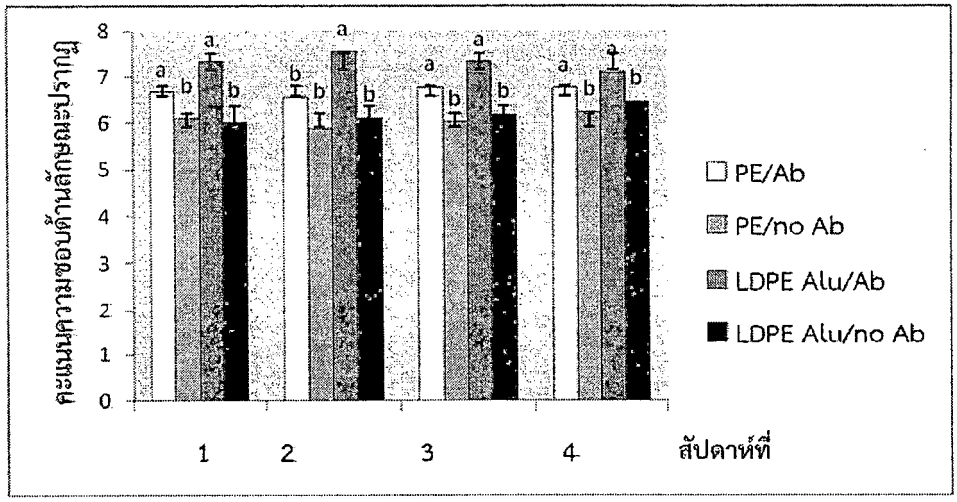
จากภาพที่ 4-15 ถึง 4-20 พบว่า ระยะการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยคะแนนความชอบทุกด้านมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับด้านความชอบลักษณะบรรจุภัณฑ์ พบว่า ผู้ทดสอบชอบให้ผลิตภัณฑ์บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE และ LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ ที่มีการเติมสารดูดความชื้น (7.18-7.29) มากว่าการบรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE และ LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ ที่ไม่เติมสารดูดความชื้น (5.98-6.89)

โดยผู้ทดสอบบางคนให้ความเห็นเพิ่มเติมว่าการเติมสารดูดความชื้นเข้าด้วยทำให้รู้สึกว่าผลิตภัณฑ์จะมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคมากกว่า สำหรับความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และเนื้อสัมผัส มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน โดยพบว่าผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์จากการบรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE และ LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ที่มีการเติมสารดูดความชื้นมากกว่าสิ่งทดลองอื่นโดยเฉพาะสิ่งทดลองที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ที่มีการเติมสารดูดความชื้นได้รับคะแนนความชอบโดยทุกด้านสูงที่สุดโดยได้คะแนนมากกว่า 6 ทุกด้าน

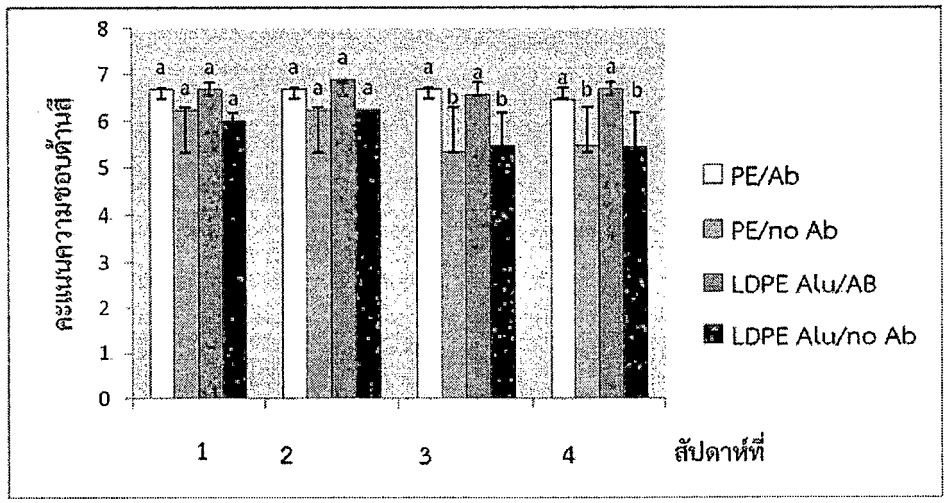
เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า สิ่งทดลองที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ที่มีการเติมสารดูดความชื้น ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดในสุดสัปดาห์การเก็บรักษา รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE ที่มีการเติมสารดูดความชื้น, ชนิด PE ที่ไม่มีการเติมสารดูดความชื้น และชนิด LDPE แบบไม่การเติมสารดูดความชื้นตามลำดับ โดยตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ และ PE ที่มีการเติมสารดูดความชื้นได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 ซึ่งหมายถึงชอบระดับชอบเล็กน้อย ตลอดเวลาในการเก็บรักษา



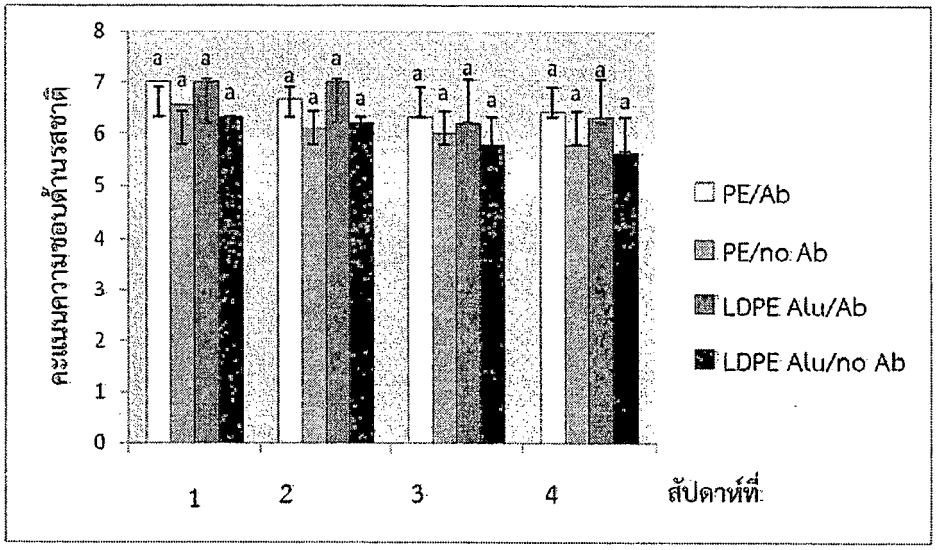
ภาพที่ 4-15 คะแนนความชอบด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์



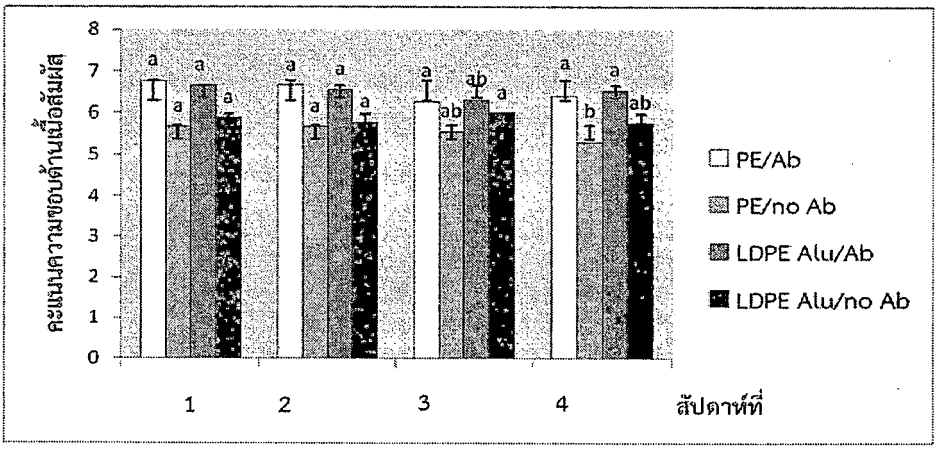
ภาพที่ 4-16 คะแนนความชอบจากการด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์



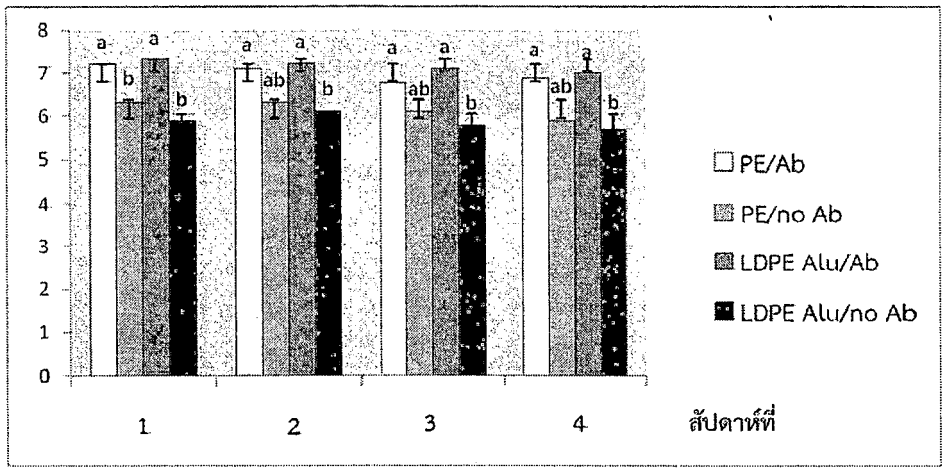
ภาพที่ 4-17 คะแนนความชอบจากการด้านสีของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4-18 คะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4-19 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4-20 คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

จากการศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งชนิด PE แบบหนาใส และLDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ โดยพิจารณาจากค่าวิเคราะห์ทางกายภาพ ทางจุลินทรีย์ และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า บรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น ได้รับคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสทุกด้านสูงที่สุด รักษาให้ค่า a_w ปริมาณความชื้น ค่าสี (L* a* b*) และค่าความแข็งเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าตัวอย่างอื่น จึงถือเป็นสภาวะการบรรจุที่เหมาะสมที่สุด

3.2.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

จากตารางที่ 4-39 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง หากเปรียบเทียบกับคุณภาพของพังกาหัวสุมดอกแดงสดพบว่ามีค่าปริมาณความชื้น ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า แคลเซียม วิตามินซี และสารประกอบฟีนอลิกลดลง แต่มีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นสำหรับด้านปริมาณวิตามินซี ซึ่งจากการวิเคราะห์ในฝักสด พบว่า มีปริมาณวิตามินซีที่น้อยมาก เมื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง พบว่า ปริมาณวิตามินซีมีน้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์และรายงานค่าได้ เนื่องจากวิตามินซีเป็นวิตามินที่ไม่ทนต่อความร้อน แสง ซึ่งในระหว่างกระบวนการแปรรูปมีการใช้ความร้อนจึงอาจทำให้ปริมาณวิตามินซีสูญเสียไป (สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, 2540)

ตารางที่ 4-39 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง

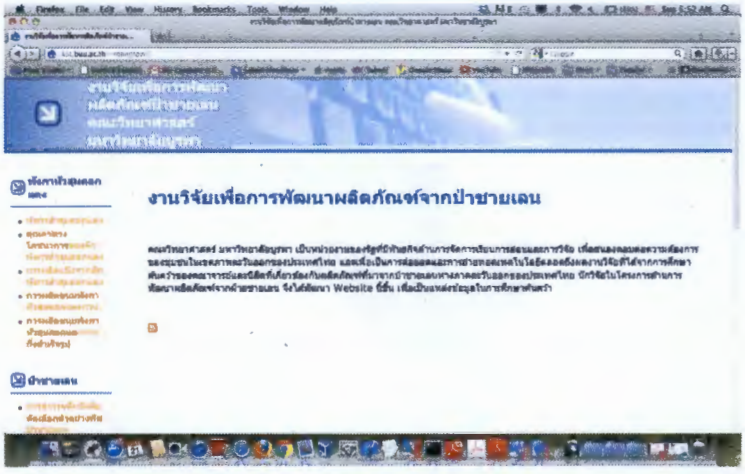
คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	38.38 ± 0.05 g/100 g
ไขมัน	0.24 ± 0.00 g/100 g
โปรตีน	1.98 ± 0.02 g/100 g
เส้นใยหยาบ	3.13 ± 0.00 g/100 g
เถ้า	0.44 ± 0.00 g/100 g
คาร์โบไฮเดรต	55.83 ± 0.06 g/100 g
แคลเซียม	53.03 ± 0.33 g/100 g
วิตามินซี	0.00 ± 0.00 g/100 g
สารประกอบฟีนอลิก	5.69 ± 1.08 mg:(gallic)/1g
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	84.25 ± 5.12 % inhibition

จากการพิจารณาภาพรวมคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง จะเห็นว่า ยังคงเป็นแหล่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต มีโปรตีน แคลเซียม รวมถึงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ จากการทดลองทั้งหมดของโครงงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่เป็นวัตถุดิบในท้องถิ่นที่มีปริมาณมาก นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน ที่เก็บรักษาได้นาน และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

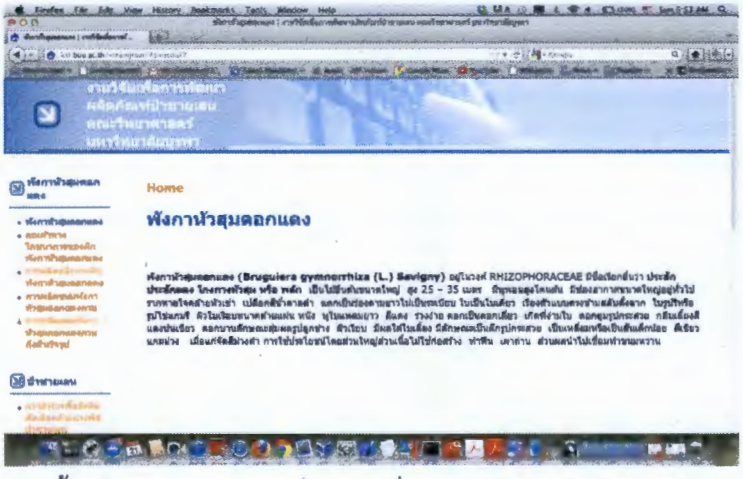
ตอนที่ 4 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็ปและการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน

4.1 การจัดทำเว็ปไซต์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยและการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็ป

คณะผู้วิจัยได้สร้างเว็ปไซต์และพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็ป เพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจด้านการใช้ประโยชน์จากป่าชายเลนและการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชป่าชายเลนโดยเฉพาะจากต้นพังกาหัวสุมดอกแดงสามารถเข้าถึงข้อมูลการวิจัยได้ง่ายขึ้น และเป็นการนำเสนองานวิจัยในรูปแบบที่กว้างขวางขึ้น โดยผู้สนใจสามารถเข้าชมเว็ปไซต์ได้ทาง http://kst.buu.ac.th/~mangorve/ โดยมีตัวอย่างหน้าเว็ปไซต์แสดงดังภาพที่ 4-21 4-22 และ 4-23

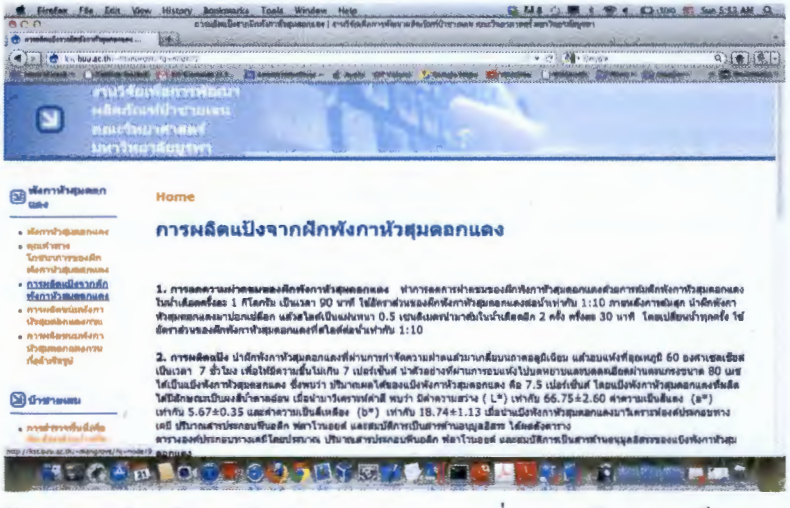


ภาพที่ 4-21 หน้าแรกของการเผยแพร่ข้อมูลบนเว็บ http://kst.buu.ac.th/~mangorve/



ภาพที่ 4-22 ข้อมูลเบื้องต้นของพังกาหัวสุมดอกแดงที่เผยแพร่ข้อมูลบนเว็บ

http://kst.buu.ac.th/~mangrove/?q=node/7



ภาพที่ 4-23 ข้อมูลการผลิตแป้งจากฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่เผยแพร่ข้อมูลบนเว็บ

http://kst.buu.ac.th/~mangrove/?q=node/9

4.2 การจัดทำเอกสารแผ่นพับเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนและผู้สนใจ

นอกจากการจัดทำเว็ปไซต์ ทางคณะผู้วิจัยได้จัดการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ชุมชนโดยการจัดทำเอกสารแผ่นพับเพื่อแจกจ่ายให้กับผู้สนใจ โดยประสานงานกับสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 บ้านท่าสอน อ.ขลุง จ.จันทบุรี ซึ่งเป็นผู้ให้โจทย์วิจัย เพื่อเผยแพร่ความรู้ให้กับประชาชนในชุมชนพื้นที่ป่าชายเลนในท้องถิ่นและพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีตัวอย่างแผ่นพับที่จัดทำ ดังนี้

พังกาหัวสุมดอกแดง

Bruguiera gymnorrhiza (L.) Savigny

คณะผู้วิจัย

นางสิริมา ชินสาร

นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

และ

นายกฤษณะ ชินสาร

คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2555

พังกาหัวสุมดอกแดง

พังกาหัวสุมดอกแดง (Bruguiera gymnorrhiza (L.) Savigny) อยู่ในวงศ์ RHIZOPHORACEAE มีชื่อเรียกอื่นว่า ประสัก ประสักแดง โกงกางหัวสุม พลัก เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ สูง 25 – 35 เมตร มีพูพอนสูงโคนต้น มีช่องอากาศขนาดใหญ่อยู่ทั่วไปรากหายใจคล้ายหัวเข่า เปลือกสีน้ำตาลดำ แตกเป็นร่องตามยาวไม่เป็นระเบียบ ใบเป็นใบเดี่ยว เรียงตัวแบบตรงข้ามสลับตั้งฉาก ใบรูปรีหรือรูปไข่แกมรี ผิวใบเรียบหนาคล้ายแผ่น หนัง หูใบแหลมยาว สีแดง ร่วงง่าย ดอกเป็นดอกเดี่ยว เกิดที่ง่ามใบ ดอกตูมรูปกระสวย กลีบเลี้ยงสีแดงปนเขียว ดอกบานลักษณะสุ่มผลรูปลูกข่าง ผิวเรียบ มีผลใต้ใบเลี้ยง มีลักษณะเป็นฝักรูปกระสวย เป็นเหลี่ยมหรือเป็นสันเล็กน้อย สีเขียวแกมม่วง เมื่อแก่จัดสีม่วงดำ การใช้ประโยชน์โดยส่วนใหญ่ส่วนเนื้อไม้ใช้ก่อสร้าง ทำฟืน เผาถ่าน ส่วนผลนำไปเชื่อมทำขนมหวาน

(ที่มา: www.bedo.or.th/lcdb/biodiversity/view.aspx?id=8500)

คุณค่าทางโภชนาการ

ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของฝักพังกาหัวสุมดอกแดง

คุณภาพ	ปริมาณ
ความชื้น	63.24 ± 0.15 g/100 g
ไขมัน	0.11 ± 0.00 g/100 g
โปรตีน	1.85 ± 0.03 g/100 g
เส้นใยหยาบ	3.03 ± 0.00 g/100 g
เถ้า	1.13 ± 0.00 g/100 g
คาร์โบไฮเดรต	33.67 ± 0.07 g/100 g
แคลเซียม	58.80 ± 0.32 g/100g
วิตามินซี	0.86 ± 0.05 mg/100 g
สารประกอบฟีนอลิก	57.04 ± 5.10 mg(gallic)/g
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	78.93 ± 0.82 % inhibition

ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นแหล่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสามารถให้พลังงานได้ และยังเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนและแคลเซียมด้วย นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่า ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมีศักยภาพดีในด้านการต้านอนุมูลอิสระ จึงควรนำมาเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นแหล่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตซึ่งสามารถให้พลังงานได้ โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 33.67 g/100 g และยังเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนและแคลเซียมด้วย โดยมีปริมาณโปรตีน 1.85 g/100 g และแคลเซียม 58.80 g/100 g นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่า ผักพังกาหัวสุมดอกแดงมีศักยภาพดีในด้านการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 57.04 mg (gallic)/g และมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ 78.93% inhibition

สำหรับวิธีลดความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในการผลิตแป้งและขนมกวน กรรมวิธีที่เหมาะสม คือ การต้มฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในน้ำเดือดครั้งละ 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 90 นาที ใช้อัตราส่วนของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงต่อน้ำเท่ากับ 1:10 ภายหลังการต้มสุก นำฝักพังกาหัวสุมดอกแดงมาปอกเปลือก แล้วสไลด์เป็นแผ่นหนา 0.5 เซนติเมตรนำมาต้มในน้ำเดือดอีก 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที โดยเปลี่ยนน้ำทุกครั้ง ใช้อัตราส่วนของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงที่สไลด์ต่อน้ำเท่ากับ 1:10

ในการผลิตขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนจากแป้ง สูตรต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม คือ แป้ง 18.45 กรัม น้ำ 40.77 กรัม น้ำกะทิ 100 กรัมและน้ำตาลทราย 74 กรัม กวนผสมบนเตาด้วยไฟอ่อน เป็นเวลาประมาณ 45 นาทีที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส จนขนมร่อนจากกระทะ ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนที่ผลิตได้ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ส่วนกรรมวิธีการผลิตขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ไมโครเวฟที่เหมาะสมคือการผสมแป้ง 18.45 กรัม น้ำ 80 กรัม กะทิผง 22.50 กรัม และน้ำตาลทราย 74 กรัม คนส่วนผสมให้เข้ากัน นำเข้าอบในไมโครเวฟกำลังไฟ 400 วัตต์เป็นเวลา 8 นาที ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนที่ผลิตได้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

สำหรับการผลิตฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน ได้ทำการศึกษาผลการของเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสโดยการต้มฝักพังกาหัวสุมดอกแดง แปรปัจจัยความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเวลาการต้มในน้ำ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2% เวลาการต้มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 30 นาที และเวลาต้มในน้ำ 30 นาที เมื่อนำมาออสโมซิสทำให้ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงสุกและความฝาดขมลดลง ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย และค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL/SG) อยู่ในระดับสูง

การศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอล และซอร์บิทอลร่วมกับสารละลายซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงหลังการออสโมซิส พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้กลีเซอรอล และซอร์บิทอล ร่วมกับสารละลายซูโครส 50% (w/v) ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดอยู่ในระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย และค่าการถ่ายมวลสาร (WL/SG) อยู่ในระดับสูง

การหาเวลาการทำแห้งฝักพังกาหัวสุมดอกหลังการออสโมซิสโดยใช้ลมร้อน เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 ℃ ใช้เวลา 5 นาที ได้ผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้งที่มีความชื้น 36.42% และค่า a_w เท่ากับ 0.882 สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ คือ เก็บผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงไว้ในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ร่วมกับการเติมสารดูดความชื้น เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นได้นานอย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ยังปลอดภัยสำหรับการบริโภค และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นแหล่งสำคัญของคาร์โบไฮเดรต และมีปริมาณแคลเซียมที่ค่อนข้างสูง สามารถนำไปพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆได้อีก
2. ควรมีการศึกษาการใช้สารละลายชนิดอื่น เป็นสารละลายออสโมติกเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส

รายการอ้างอิง

กองโภชนาการ. (2550). ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. กองโภชนาการกระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. (2542). *สารให้ความหวาน*. กรุงเทพฯ: จาร์พาเทคเซ็นเตอร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง* (พิมพ์ครั้งที่ 3).กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรรณพต แก้วสอน.(2545).*ผลของสารประกอบเกลือร่วมกับสารเคลือบผิวในการควบคุมการเน่าเสียของผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยว*.วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เกษม จ่าพันดุง. (2554, 16 สิงหาคม). หัวหน้าสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชานเลนจังหวัดจันทบุรี. สัมภาษณ์.

จินตนา ศรีผุย, (2546). *การแปรรูปผักและผลไม้แช่อิ่ม*. วารสารศูนย์บริการวิชาการ, 11(1), 58-64.

จุฑามาศ นิวัฒน์. (2541). *การออสโมซิสสับปะรดในระบบต่อเนื่อง*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชมภู่ ยิ้มโต. (2550) *การถนอมอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ:โอเดียนสโตร์.

ทวน ทองพราว. (2548). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมกล้วยกึ่งสำเร็จรูป*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

นันทวัน และคณะ. (2545). *ผักพื้นบ้านในป่าชายเลน*. วารสารสมุนไพร, 9(1). วันที่ค้นข้อมูล 22 เมษายน 2555 เข้าถึงได้จาก http://www.medplant.mahidol.ac.th/publish/journal/ebooks/j9%281%291-12.pdf

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ:โอเดียนสโตร์.

นิราศ กิ่งวาที. (2546). *การใช้สารดูดความชื้นในการปรับปรุงคุณภาพสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, บัณฑิตวิทยาลัย ,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปุษกร อุตรภิชาติ. (2547). *จุลชีววิทยาทางอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. (2541). บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์หยี่เฮง.

พิชญ์สินี ประเสริฐศักดิ์. (2550). *เทคนิคการทำขนมไทยประเภทกวน*. วันที่ค้นข้อมูล 12 พฤศจิกายน 2554, เข้าถึงได้จาก http://www.lks.ac.th/pitsinee/pits55.htm

พูนศักดิ์ สักกทัตติยกุล. (2553). *ขนมไทย*. วันที่ค้นข้อมูล 12 พฤศจิกายน 2554, เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/ขนมไทย

พีรยา โชติถนอม. (2548). *การพัฒนามะม่วงอบแห้งด้วยการทำแห้งแบบออสโมซิส แบบดั้งเดิมและการลดความชื้น*. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ไพโรจน์ วิริยะจารี. (2539). *อาหารกึ่งแห้ง*. เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วนิดา สระทองคำ. (2543). *การทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส*. เทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

วันวิสาข์ กระแสคุปส์. (2535). *การปรับปรุงคุณภาพผลไม้อบแห้งด้วยการเคลือบก่อนการทำแห้งแบบออสโมซิส*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันดี ณ สงขลา. (2550). วิธีปรุงอาหารไทย. วันที่ค้นข้อมูล 12 พฤศจิกายน 2554, เข้าถึงได้จาก http://guru.sanook.com/enc_preview.php?id=1073&title=

สมหมาย แปลกลำยอง. (2535). *การผลิตอาหารว่างจากเผือก*. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 40(130), 12-13

ศดานันท์ เนรนันท์. (2548). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเผือกกึ่งสำเร็จรูป*.ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศิวาพร ศิวเวชช. (2546). *วัตถุเจือปนในอาหาร เล่ม 1*. นครปฐม : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, (2522). ทฤษฎีอาหาร เล่ม2 *หลักการถนอมอาหารและการควบคุมคุณภาพ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: บำรุงนุกูลกิจ.

สถาบันวิจัยวทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.). (ม.ป.ป.). คลินิกเทคโนโลยี. วันที่ค้นข้อมูล19 ตุลาคม 2554, เข้าถึงได้จาก http://www.clinitech.most.go.th/techlist/0241/food/00000-698.html.

สยามรัฐ สังวาล. (2547). *การใช้สารประกอบโพลีออลในการปรับปรุงคุณภาพแคนตาลูปแช่มอิ่มอบแห้ง*. ปัญญาหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สิทธิโชค จันทร์ย่อง. (2552). *พันธุ์ไม้ป่าชายเลนและป่าชายหาด* ชายฝั่งอ่าวสิเกา จังหวัดตรัง. สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. (2540). *การยืดอายุกาเก็บขนมเปี๊ยะไส้ถั่งกวนโดนการลด a_w ของส่วนไส้การใช้ฟิล์มพลาสติกและสารดูดความชื้น*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร,

คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุมณฑา วัฒนสินธุ์. (2549). *จุลชีววิทยาทางอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สุธี วัฒนาผาติ. (2549). *ทางเลือกใหม่ในการใช้สารทดแทนสารฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์อาหาร*. วันที่ค้นข้อมูล 6 พฤศจิกายน 2554, เข้าถึงได้จาก http://www.nfi.or.th

สุขเกษม สิทธิพจน์. (ม.ป.ป.). *Avtive Packaging Teachniques ช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหารได้อย่างไร*. วารอุตสาหกรรมเกษตร, 10.

สมนึก เวศวงศ์ษาทิพย์. (2539). *คู่มือศึกษาพันธ์ไม้ชานเลนท้องถิ่นบางปะกง* อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา โรงเรียนบางปะกงบวรวิทยายน

อรวรรณ คงพันธุ์. (2544). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากซูริมิและการบรรจุ*. วันที่ค้นข้อมูล15 ตุลาคม 2554, เข้าถึงได้จาก http://www.biotec.or.th/rdereport/prjbiotec.asp?id=452.

อ่อนรวี รัตนาพันธุ์. (2533). *หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส*. อาหาร, 20 (ตุลาคม-ธันวาคม), 240-245.

อุไรวรรณ วัฒนกุล และคณะ (2552). การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน สารประกอบฟินอลิกและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดพืชป่าชายเลน บริเวณหาดราชมงคล จังหวัดตรัง. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิน ครั้งที่ 19 ประจำปี 2552.

AOAC. (1990). *Official Method of Analysis* (15th ed.). Arlington, Viyginia, USA: The Association of official Analysis Chemists.

AOAC. (2000). *Official Method of Analysis of A.O.A.C.* (17th ed.). The Association of official Analysis Chemists: Gaithersburg

AOAC. (2005). *Official Method of Analysis* (15th ed.). :Inhouse method by HPLC based on Compendium of method for Food Analysis: The Association of official Analysis Chemists.

AOAC. (2005). *Official Method of Analysis* (15th ed.). : Inhouse method based: The Association of official Analysis Chemists.

Amami, E., Fersi, A., Vorobiev, E., and Kechaoa, N. (2007). Osmotic dehydration of carrot tissue enhanced by pulsed electric field, salt and Centrifagal force. *Journal of Food Engineering, 83*, 605-613.

Albanese, D., Cinquanta, L., Di Matteo, M. (2007). Effects of an innovative dipping treatment on the cold storage of minimally processed Annurca apples. *Food Chemistry, 105*, 1054–1060.

Azuara, E., Garcia, H.S., & Beristain, C.I. (1996). Effect of the centrifucal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. *Food research in ternational, 29* (2), 195-199.

Banerjee, D. and et al. (2008). Antioxidant activity and total phenolics of some mangroves in Sundarbans. *African Journal of Biotechnology*. 7(6). 805-810.

Barbosa-Canovas, G.V., Fernandez-Molina, J.J., Alzamora, S.M., Tapia, M.S., Lopez-Malo, A., & Chanes, J.W. (2003). *Handling and breservation of Fruits and vegetablas by Combined Metthods for rual Areas. Technical manual FAO Agricultural Fervices Bullein 149*. Rome: Food and agriculture organization of the united nations.

Beristain, G.R., Azuara, E., Cortes, R., & Garcia, H.S. (1990). Mass transfer during 0smotic dehydration of pineapple ring. International *Journal of Food Science & Technology, 25,* 576-582.

Bolin, H.R., and Huxsoll, C.C. (1983). *Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality.* Journalof Food Science, 48 202-205.

Chenlo, F., Moreira, R., Fernandez-Herrero, C., Vazquez, G. (2006). Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solution. *Journal of Food Engineering, 73*, 164-173. (2006). Experimental results and modeling of the osmotic dehydration kinetics of chestnut with glucose solution. *Journal of Food Engineering, 74*, 324-334

Erba, M.L., Fomi, E. and Colonello, A. (1994). Influence of sugar composition and air dehydration levels on the chemical-phsical of osmodehydrofrozen fruit. *Food Chemisty, 50*, 69-73.

Flink, J.M. (1975). Process condition for improved flavor quality of freeze dried fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 23*, 1019-1026.

Heredia, A., Peinado, I., Barrera, C., Andres, A., Grau. (2009). Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. *Journal of Food Composition and Analysis, 22*, 285-294.

Homhual, S. (2006). Cancer chemopreventive agents from *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny flowers. *Ph.D. Thesis*. Mahidol University.

Kitagawa, H., and Giucina, P.G. (1984). Persimmon Culture in New Zealand. *Department of Scientific and Industrial Research*, New Zealand.

Kowalska, H., & Lenart, A., (2001). Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetable. *Journal of food engineering, 49*, 137-140.

Le Marguer, M., (1988). Osmotic dehydration: review and future direction. *Proceedings of the symposium in food preservation process. Vol 1*, 283-309.

Marani, C.M., Agnelli, M.E., & Mascheroni, R.H. (2007). Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *Journal of Food Engineering, 79*, 1122-1130

Mavroudis, N.E., Dejmek, P., & Sjoholm, I., (2004). Osmotic-treatment-induced cell death and osmotic processing kinetic of apples with characterized raw material properties *Journal of Food Engineering, 63*, 47-56.

Moreira, R., Chenlo, F., Torre, M.D., Vazquez, G. (2006). Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solution. *LMT, 40*, 1507-1514

Ponting, J.D., (1973). Osmotic dehydration of fruit – Recent modifications and application. *Process Biochemistry, 8*, 18-20.

Ponting, J.D., Walters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R., & Stanley, W.L. (1996). Osmotic dehydration of fruit. *Food Technology, 20*, 1365-1368.

Rahman, M.S., & Lamb, J., (1991). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of food process engineering, 14*, 163-171.

Ramallo, L.A., Mascheron,i R.H. (2010). Dehydrofreezing of pineapple. *Journal of Food Engineering, 99*, 269-275.

Sacchetti, G., Gionotti, A., & Dalla-Rosa, M. (2001). Sucrose-salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatment. *Journal of food engineering, 49*, 163-173.

Sereno, A.M., Moreira, R., & Martinez, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of food engineering, 47*, 43-49.

Smith, R.E., & Norvell, M.A. (1975). Nutrition overview of the prt food industry. *Cereal food world, 20* (1), 8-11

Sripak Namsai, Thanes Keokamnerd, Kornpaka Arkanit and Pranee Warasawas. (2008).

Effect of packaging systems on shelf-life stability of Thai-style friend rice crackers. Asian *Journal of Food and Agro-Industry, 1*, 76-78

Talens, P., I. Escriche, I. (2003). Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. *Journal of Food Research International, 36*, 635–642

Torreeggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Journal of food research international, 26*, 59-68

Trinidad, T.P. and others. (2006). Dietary fiber from coconut flour: A functional food. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 7: 309-317.

Tulyathan, V., Tananuwong, K., Songjinda, P., and Jaiboon, N. (2002). Some Physicochemical properties of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) seed flour and starch. *Science Asia*, 28, 37-41.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

ก-1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dewanto *et al.*, 2002)

การเตรียมตัวอย่างฝักพังกาหัวสุมดอกแดงสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพด้านสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Fan, Zhang, Yu & Ma, 2006)

ชั่งฝักพังกาหัวสุมดอกแดง 100 กรัม ทำการสกัดด้วยเอทานอล 95% ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 3 นาที และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารสกัดมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 และล้างสารสกัดผ่านกระดาษกรองด้วยเอทานอล 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารที่สกัดได้มาระเหยตัวละลายออกโดยใช้ water bath ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซียสเซส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งได้สารสกัดที่เป็นของแข็ง และเก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วสีชาและเก็บที่สภาวะแช่แข็ง (อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซียสเซส) จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

อุปกรณ์และสารเคมี

- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYS TH 5, USA)
- เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) (Heidolph, REAX 2000, Germany)
- ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด และ 5 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง
- ฟอลิน ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) (Sigma; USA)
- กรดแกลลิก (Gallic acid: $C_7H_6O_5$) 98% (Fluka, Switzerland)
- เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na_2CO_3) (Ajax Finechem, Australia)

การเตรียมสารเคมี

1) เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2) การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม นำมาละลายด้วยเอทานอลเล็กน้อย และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยกลั่น

การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 20, 40, 60, 80 และ 100 µg/ml ดังนี้

1) ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นมา 0.125 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลทูหลอดละ 1.25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที

3) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7% 1.25 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที

4) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5) พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน X) และค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกนY)

ก-2 การวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay (ดัดแปลง Fan, Zhang, Yu & Ma, 2006)

อุปกรณ์และสารเคมี

- ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 มิลลิลิตร
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- หลอดทดลอง
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYS TH 5, USA)
- ดีพีพีเอช (2-dipheny-1picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90% บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ทันทีก่อนใช้ให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยชั่ง DPPH 0.004 กรัม ละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์

1) การหาค่า % Inhibition

1.1) ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากภาคผนวก ก-1 โดยสารสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล

1.2) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ผมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที สำหรับตัวอย่าง blank โดยทำเช่นเดียวกัน แต่ใช้เอทานอล 95% แทนสารละลายตัวอย่าง

1.3) นำหลอดทดลองที่เป็นสารละลายตัวอย่างและ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

1.4) คำนวนวณ % Inhibition จากสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_0 - A_1)/ A_0] \times 100$$

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ก-3 ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง ตามวิธีของ Schoch(1964)

ชั่งน้ำหนักแป้ง 0.5 กรัม เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนโดยแปรอุณหภูมิ ในการให้ความร้อนเป็น 4 อุณหภูมิ คือ 55, 65, 75,85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1ชั่วโมง จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2,200 rpm เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนที่เป็นน้ำ(supernatant) และส่วนที่เป็นตะกอนของเจลแป้ง (sediment) ออกจากกันโดยนำส่วนที่เป็นน้ำ (supernatant) ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้งและน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนัก (dried supernatant) ส่วนตะกอนเจลแป้งที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง ให้ชั่งน้ำหนักจากนั้นนำมาคำนวณ โดย

Swelling power = น้ำหนักของตะกอนเจลแป้งที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง (sediment) / น้ำหนักแป้งเริ่มต้น

Solubility = น้ำหนักของ dried supernatant / น้ำหนักแป้งเริ่มต้น

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ข-1 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Scoring test ผลิตภัณฑ์พังกาหัวสุมดอกแดงกวน

ผู้ทดสอบ.....หมายเลขผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างที่เสนอให้พร้อมทั้งให้คะแนนให้ตรงกับลักษณะที่กำหนดให้ กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่าง

รสชาติ

1 = ไม่มีรสฝาดขม
2 = ฝาดขมเล็กน้อย
3 = ฝาดขมปานกลาง
4 = ฝาดขมมาก
5 = ฝาดขมมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ข-2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส Ratio Profile Test

ผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบ ขนมพังกาหัวสุมดอกแดงกวนกึ่งสำเร็จรูป

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....

คำชี้แจง กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับ แล้วประเมินคุณลักษณะ ด้านที่กำหนดโดยขีดรหัสตัวอย่าง"S" บนเส้น ณ ตำแหน่งที่ท่านรู้สึกได้จากการชิมแต่ละตัวอย่าง และเขียน "I" เหนือขีดสำหรับลักษณะในอุดมคติที่ท่านต้องการ

รหัสตัวอย่าง S1 359 รหัสตัวอย่าง S2 290 รหัสตัวอย่าง S3 732

สีเหลืองอมน้ำตาล ----------

อ่อน เข้ม

กลิ่นรสกะทิ ----------

อ่อน เข้ม

รสหวาน ----------

น้อย มาก

ความนุ่ม(ในปาก) ----------

น้อย มาก

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

ข-3 แบบทดสอบผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่ทดสอบ.....

ตอนที่ 1 แบบทดสอบความฝาดขมวิธี Rating/Scoring

คำแนะนำ : กรุณาให้คะแนนความฝาดขมของฝักพังกาหัวสุมดอกแดงในตัวอย่าง 8 ตัวอย่าง โดยใส่เครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง

รหัสตัวอย่าง	741	505	564	844	329	684	631	769
1=ฝาดขมน้อยที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2=ฝาดขมน้อย	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3=ฝาดขมปานกลาง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4=ฝาดขมมาก	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5=ฝาดขมมากที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 แบบทดสอบความชอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสวิธี 9 – Point Hedonic Scale

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยกรุณาบ้วนปากก่อนชิมทุกครั้ง

1 = ไม่ชอบมากที่สุด	2 = ไม่ชอบมาก	3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	5 = เฉย ๆ	6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง	8 = ชอบมาก	9 = ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	741	505	564	844	329	684	631	769
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

321239

ข-4 แบบทดสอบผลิตภัณฑ์ฝักพังกาหัวสุมดอกแดงกึ่งแห้ง

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่ทดสอบ.....

แบบทดสอบความชอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสวิธี 9 – Point Hedonic Scale

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยกรุณาบ้วนปากก่อนชิมทุกครั้ง

1 = ไม่ชอบมากที่สุด	2 = ไม่ชอบมาก	3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	5 = เฉย ๆ	6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง	8 = ชอบมาก	9 = ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	572	015	843	693
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....