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

รหัสโครงการ 2554A10862002

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

Development of Ready-to-Eat Intermediate Moisture Rice Bean (*Vigna umbellate*)

หัวหน้าโครงการวิจัย นางพรนภา น้อยพันธ์
มหาวิทยาลัยบูรพา

สนับสนุนโดย สำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษา
และพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติ
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

BK0155076
10 มี.ค. 2560 ๆ
369341
BK0155076
เริ่มบริการ
25 เม.ย. 2560

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักบริหารโครงการวิจัยในระดับอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปี 2554 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ ฝ่ายส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการประสานงานอย่างดียิ่งและ ขอขอบคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

เมษายน 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน ศึกษาผลของระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง (30 และ 35 นาที) อุณหภูมิการออสโมซิส (อุณหภูมิห้อง และ 45 °C) และระยะเวลาการออสโมซิส (3 และ 6 ชั่วโมง) โดยใช้สารละลายออสโมติก คือ สารละลายซูโครส (ความเข้มข้น 40% w/v) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การต้มถั่วนิ้วนางแดงนาน 35 นาที แช่สารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เวลาในการออสโมซิสนาน 6 ชั่วโมง ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด คือ 7.40 คะแนน และมีค่า WL/SG สูงที่สุด เท่ากับ 1.16 ศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอล (ความเข้มข้น 10 15 และ 20% w/v) และเกลือ (ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% w/v) ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส (ความเข้มข้น 40% w/v) พบว่า การใช้กลีเซอรอล 15% w/v และเกลือ 0.5% w/v ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด คือ 7.30 คะแนน และมีค่า WL/SG สูง เท่ากับ 1.07 ศึกษาเวลาในการทำแห้งถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสโดยการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C พบว่าต้องใช้เวลาในการทำแห้ง 80 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.842 และปริมาณความชื้น 25.31% ศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน พบว่ามีค่า %Inhibition เท่ากับ 54.00 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 257.11 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่ากับ 9.65 มิลลิกรัม/100 ตัวอย่างแห้ง ผลการทดสอบผู้บริโภคพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้ จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน และที่อุณหภูมิตู้เย็นได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ปลอดภัยสำหรับการบริโภค และได้รับคะแนนโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

Abstract

This research was to develop the intermediate moisture red bean product by osmotic dehydration combinded with air drying. Effect of red beans steam-blanching time (30 and 35 min.), osmosis temperature (room temperature and 45 °C) and osmosis time (3 and 6 h.) were studied 40% w/v sucrose solution was used as the osmotic solution. It was found that the optimum condition was steam-blanching for 35 min, osmosis min temperature at 27 °C and osmosis time for 6 h. It obtained high overall liking scores at 7.40 and WL/SG at 1.16. Effect of glycerol concentrations (10 15 and 20% w/v) and salt concentrations (0.5 and 1.0% w/v) combined with sucrose (40% w/v) were studied. It was found that using 15% w/v glycerol and 0.5% w/v salt combined with 40% w/v sucrose. Obtained high overall liking scores at 7.30 and high WL/SG at 1.07. Effect of drying time of air drying temperature at 50 °C was studied. It was found that the product dried for 80 min. Contained water activity 0.842 and 25.31% moisture content. The results from consumer test revealed that most consumers accepted the products. Effect of DPPH radical scavenging properties, total phenolic contents and total anthocyanin contents was studied. It was found that %Inhibition of ready-to-eat intermediate moisture red bean was 54.00%. Total phenolic contents of ready-to-eat intermediate moisture red bean was 257.11 mg/100 g dry sample. Total anthocyanin contents of ready-to-eat intermediate moisture red bean was 9.65 mg/100 g dry sample.The developed ready-to-eat intermediate moisture red bean product during storage was evaluated. It was found that the product stored at room temperature combined with adding oxygen absorber and stored at refrigerant temperature could kept at least 4 weeks. The product was microbiologically safe for consumer and overall liked score at level slightly like to moderately like.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	3
วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	6
วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุปทฤษฎี แนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	19
วิธีดำเนินการวิจัย (Material & Method)	20
ผลการวิจัยและวิจารณ์ (Result & Discussion)	30
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	72
ผลผลิต (Output)	74
รายงานการเงิน	75
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก	82
ประวัตินักวิจัยและคณะ	113

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
7-1	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส	22
7-2	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือร่วมกับสารละลายซูโครส	25
8-1	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส	32
8-2	ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและระยะเวลาในการออสโมซิส	35
8-3	ค่าสี (L* a* และ b*) และความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส	37
8-4	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส	39
8-5	คะแนนความชอบโดยรวม และค่า WL/SG ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส	41
8-6	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ใช้ร่วมกับสารละลายซูโครส	43
8-7	ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ใช้ร่วมกับสารละลายซูโครส	45
8-8	ค่าสี (L* a* และ b*) และความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส	47
8-9	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชองโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส	48
8-10	คะแนนความชอบโดยรวม และค่า WL/SG ของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
8-11	ปริมาณความชื้นที่กำหนด (เปอร์เซ็นต์) เวลาในการทำแห้งที่ได้จากการคำนวณ (นาที) ปริมาณความชื้นจริงในผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์) และเวลาที่ใช้ในการทำแห้งจริง (นาที).....	53
8-12	ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง.....	54
8-13	ปริมาณสารมีฤทธิ์ทางชีวภาพในถั่วนิ้วนางแดงแห้งและถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน.....	57
8-14	ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบผู้บริโภค.....	60
8-15	คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งจากการทดสอบผู้บริโภค.....	61
8-16	การยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง.....	61
8-17	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะการเก็บรักษา....	62
8-18	ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะการเก็บรักษา.....	62

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
5-1	การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส.....	10
7-1	เมล็ดถั่วนิ้วนางแดงที่มีลักษณะสมบูรณ์.....	23
8-1	ถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส สิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดงอุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส.....	31
8-2	ถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสจากสิ่งทดลองที่ใช้กลีเซอรอลและเกลือร่วมกับสารละลายซูโครส.....	42
8-3	ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนไปในระหว่างการอบแห้ง.....	51
8-4	ภาพเปรียบเทียบถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส.....	53
8-5	ผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์.....	54
8-6	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม.....	56
8-7	การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์.....	63
8-8	ค่า a_w ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา.....	65
8-9	ปริมาณความชื้นของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา.....	65
8-10	ค่าความสว่าง (L*) ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา.....	67
8-11	ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา.....	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
8-12	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา	68
8-13	ค่าความแข็ง (Hardness) ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา	69
8-14	คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสามสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนเป็นระยะเวลาต่าง ๆ	70
8-15	คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสามสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตู้เย็นเป็นระยะเวลาต่าง ๆ	71

1.เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน

Moreira, Chenlo, Torres และ Vazquez (2007) ได้ศึกษาการใช้วิธีออสโมซิสในการดึงน้ำออกจากผลเกาลัดก่อนการอบแห้งในตู้อบลมร้อน พบว่า การออสโมซิสทำได้โดยการแช่ผลเกาลัดในสารละลายผสมระหว่างเกลือ (9.7 กรัม/100กรัม) และกลีเซอรอล (35 กรัม/100 กรัม) ร่วมกับการคนสารละลายตลอดเวลา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1-8 ชั่วโมง สามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสได้ดีกว่าการใช้สารละลายกลีเซอรอลเพียงอย่างเดียว

พรพรต พงษ์สมบูรณ์ (2550) ได้ศึกษาการใช้วิธีออสโมซิสในการดึงน้ำออกจากแครอท โดยใช้สารละลายออสโมติก ซึ่งประกอบด้วย น้ำตาล แบะแซ และกลีเซอรอล ที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 20 30 40 % และอุณหภูมิในการออสโมซิส 30-50 °C เมื่อออสโมซิส 6 ชั่วโมง พบว่า สารละลายออสโมติกที่เหมาะสมคือ น้ำตาล 40 % แบะแซ 20 % และกลีเซอรอล 40 % ทำให้ตัวอย่างมีความชื้น ค่า a_w ลดลง และ ผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสได้รับการยอมรับด้านสี กลิ่น และรส ระดับดี

พนิดา เนตรวีระ (2548) ได้ศึกษาผลของซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการทำแห้งมะละกอด้วยวิธีออสโมซิส โดยแปรปริมาณของซูโครสและกลีเซอรอลต่อการออสโมซิสมะละกอเป็น 5 ระดับ คือ ซูโครสความเข้มข้น 55 % กลีเซอรอลความเข้มข้น 55 % ซูโครสความเข้มข้น 35 % ร่วมกับกลีเซอรอลความเข้มข้น 20 % ซูโครสความเข้มข้น 27.5 % ร่วมกับกลีเซอรอลความเข้มข้น 27.5 % และซูโครสความเข้มข้น 20 % ร่วมกับกลีเซอรอลความเข้มข้น 35 % ทำการออสโมซิสที่อุณหภูมิห้อง นาน 8 ชั่วโมง อัตราส่วนสารละลายต่อชิ้นตัวอย่างเท่ากับ 1:10 อัตราการกวนสารละลายเท่ากับ 100 รอบต่อนาที อบแห้งที่อุณหภูมิ 60±2 °C จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 15 % พบว่า คุณภาพของผลิตภัณฑ์มะละกออบแห้งที่แช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 35 % ร่วมกับกลีเซอรอลความเข้มข้น 20 % มี %ค่าการสูญเสียน้ำสูงที่สุด และใช้เวลาในการออสโมซิสน้อยที่สุด นอกจากนี้มะละกอมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น มีรสหวาน โดยผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสระดับดี

วรวีร์ หอมหวาน และกนกวรรณ มั่นศิล (2552) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดบัวกึ่งแห้งพร้อมรับประทานด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน ศึกษาผลของระยะเวลาในการนึ่งเมล็ดบัว (30 และ 35 นาที) อุณหภูมิการออสโมซิส(อุณหภูมิห้อง และ 45 °C) และเวลาการออสโมซิส (3 และ 6 ชั่วโมง) โดยใช้สารละลายออสโมติกคือสารละลายซูโครสความเข้มข้น 40% w/v พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การนึ่ง เมล็ดบัวนาน 30 นาที แช่สารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เวลาออสโมซิสนาน 3 ชั่วโมง ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงคือ 6.50 และมีค่า WL/SG สูง เท่ากับ 1.45 ศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอล (10 15

และ 20% w/v) และเกลือ (0.5 0.75 และ 1% w/v) ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส (40% w/v) พบว่า การใช้กลีเซอรอล 20% w/v และเกลือ 1.0% w/v ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูง คือ 6.63 และมี WL/SG สูง เท่ากับ 4.89 ศึกษาเวลาการทำแห้งเมล็ดบัวหลังการออสโมซิสโดยการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C พบว่าต้องใช้เวลาในการทำแห้ง 68 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w 0.832 และปริมาณความชื้น 32.24 % และจากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล็ดบัวกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน และที่อุณหภูมิตู้เย็นได้อย่างนาน 4 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ปลอดภัยสำหรับการบริโภค และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ถั่วนิ้วนางแดงหรือ ถั่วแดง (Rice Bean and Red bean) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna umbellate* เป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง มีการปลูกเป็นการค้า โดยปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางจังหวัดทั้งในที่สูงและที่ราบ แหล่งปลูกสำคัญได้แก่ จังหวัดเลย พิษณุโลก และอุดรธานี ถั่วนิ้วนางแดงเป็นพืชที่สามารถขึ้นได้ในที่ทั่วไปและสามารถทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี ถั่วนิ้วนางแดง จัดเป็นถั่วเมล็ดแห้งชนิดที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเหมาะสำหรับการนำมาบริโภคจัดอยู่ในกลุ่มถั่วที่มีโปรตีนสูงและไขมันต่ำ ทั้งนี้อยู่กลุ่มเดียวกับ ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดงหลวง ถั่วพุ่ม ถั่วลาย ถั่วปากอ้า เป็นต้น ในขณะที่ถั่วบางชนิดจะอยู่ในกลุ่มถั่วที่มีโปรตีนสูงและไขมันสูง ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง นอกจากนี้ถั่วแดงยังมีธาตุฟอสฟอรัสและเหล็ก โพแทสเซียม แมงกานีส แมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี และวิตามินบีเป็นองค์ประกอบสำคัญด้วย ทางด้านเส้นใยอาหารก็มีทั้งชนิดที่ละลายในน้ำและไม่ละลายในน้ำ ชนิดที่ไม่ละลายในน้ำจะช่วยเพิ่มกากใยและอุ้มน้ำ ช่วยระบบขับถ่าย ช่วยลดภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่และริดสีดวงทวาร ส่วนใยอาหารที่ละลายในน้ำนั้นจะช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดเพราะใยอาหารชนิดนี้จะจับตัวกับน้ำซึ่งมีคอเลสเตอรอลเป็นส่วนประกอบแล้วจะถูกขับออกมาจากร่างกายพร้อมกับการขับถ่าย แม้ในถั่วนิ้วนางแดงจะมีอยู่ในปริมาณต่ำแต่ไขมันในถั่วเป็นกรดไขมันที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย มีประโยชน์ในด้านควบคุมความดันโลหิต ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบการแข็งตัวของเลือด ป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ ช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาล ป้องกันการเป็นโรคเบาหวาน เพิ่มระดับวิตามินอีในกระแสเลือด ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดของถั่วนิ้วนางแดงซึ่งมีสีแดง เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีประโยชน์ มีรงควัตถุพวกแอนโทไซยานินที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย (นาค โพธิ์แท่น, 2537; จุฬาลักษณ์ จารุนุช และ ประชา บุญญสิริกูล, 2539; บัญชา สุวรรณานนท์, 2542 ; Verma and Urmil,1988)

จากแนวโน้มพฤติกรรมของผู้บริโภคยุคใหม่ ซึ่งให้ความสำคัญกับการบริโภคอาหารสุขภาพและนิยมเลือกอาหารที่มีความสะดวกในการบริโภค คณะผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดผลิตภัณฑ์ใหม่ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากถั่วนิ้วนางแดงให้มีลักษณะคล้ายกับผลิตภัณฑ์เกาลัดพร้อมบริโภคที่ผลิตจากประเทศจีน ซึ่งเป็นสินค้านำเข้า และมีวางจำหน่ายในร้านขายของฝากในประเทศไทย ซึ่งน่าจะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและสอดคล้องกับศักยภาพของวัตถุดิบ โดยนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมบริโภค มีลักษณะคือ เป็นถั่วนิ้วนางแดงสุกมีรสหวานเล็กน้อย เนื้อสัมผัสนิ่ม โดยเหตุผลที่จะสนับสนุนความเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์ใหม่นี้น่าจะประสบความสำเร็จได้ คือ ผลิตภัณฑ์ใหม่ทำจากวัตถุดิบหลักคือถั่วนิ้วนางแดง ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีสรรพคุณเป็นอาหารสุขภาพที่ผู้บริโภคทราบดี จึงสอดคล้องกับความ

สนใจของผู้บริโภคให้ความสนใจในอาหารสุขภาพ นอกจากนี้เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค สามารถรับประทานได้ทันที สอดคล้องกับความต้องการความสะดวกสบายของผู้บริโภคสมัยใหม่ อีกทั้งเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบที่สามารถปลูกได้ในประเทศ และหากวิเคราะห์ช่องว่างทางการตลาดแล้วพบว่าในปัจจุบันการนำถั่วนิ้วนางแดงมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับจำหน่ายระดับอุตสาหกรรมยังมีอยู่ในวงจำกัด ส่วนใหญ่นำมาใช้ในรูปแบบของส่วนประกอบของอาหารชนิดอื่น เช่น นำมาผลิตเป็นส่วนประกอบของไส้ขนม เป็นส่วนประกอบของขนมหวานแช่แข็ง เป็นต้น เท่านั้น ได้มีการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์เบื้องต้นด้วยวิธีการอย่างง่ายโดยการเชื่อมถั่วนิ้วนางแดงด้วยน้ำตาล และเคี่ยวจนน้ำเชื่อมแห้ง แต่พบว่า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งกระด้าง สุกไม่ทั่วถึงกันทั้งเมล็ด มีรสหวานมากเกินไป และอายุการเก็บรักษาสั้นไม่เกิน 1 สัปดาห์ จึงกล่าวได้ว่ายังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นปัญหาของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวสามารถใช้ทฤษฎีแนวคิดการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารประเภทกึ่งแห้ง(Intermediate Moisture Food) มาดำเนินการแปรรูปได้ โดยมีหลักการคือ การแปรรูปให้ผลิตภัณฑ์ให้มีค่า water activity อยู่ในช่วง 0.6 - 0.9 ซึ่งจะมีน้ำที่เป็นประโยชน์ในการทำปฏิกิริยาทางเคมีและเพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ฉะนั้นอาหารจึงมีคุณสมบัติในการคงตัวดีโดยที่ยังมีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติไม่แตกต่างจากของสดมากนักและมีอายุการเก็บรักษานาน (ไพโรจน์ วิระยะจารี, 2539) วิธีการหนึ่งที่สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่มีคุณภาพดีคือการประยุกต์ใช้กรรมวิธีการดึงน้ำออกจากอาหารด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ความร้อน วิธีออสโมซิสเป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากอาหารอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหารลง โดยอาหารมีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่างๆ เพียงเล็กน้อย ก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสจะมีความชื้นลดลงจึงทำให้ลดเวลาในการอบแห้งโดยการใช้ความร้อนลงได้ และจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และรสชาติ คุณค่าทางอาหาร ใกล้เคียงของสด (Le Marguar, 1988; Erba et al, 1994) การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสทำได้โดยการแช่ชิ้นอาหารลงในสารละลายออสโมติก ซึ่งสารละลายออสโมติก หมายถึงสารละลายเข้มข้น ซึ่งมีค่าแรงดันสูงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ระหว่างภายในเซลล์ของชิ้นอาหารและสารละลายภายนอก เกิดเป็นแรงขับ (driving force) ให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างชิ้นอาหารและสารละลายภายนอกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์หรือเซลล์เมมเบรนที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านน้ำภายในเซลล์อาหาร จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอกขณะเดียวกันตัวถูกละลายภายนอก จะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในเซลล์ของอาหาร สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ (natural soluble substance) จะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก (Torregiani and Bertolo, 2001) ดังนั้นการเลือกใช้สารละลายออสโมติกจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อ

คุณภาพของอาหารหลังการออสโมซิส สารละลายออสโมติกที่นิยมใช้ มีราคาถูก และหาง่าย ได้แก่ น้ำเชื่อมเตรียมจากน้ำตาลทราย อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการเติมเกลือในปริมาณเล็กน้อยจะช่วยให้เกิดแรงขับในระหว่างการออสโมซิสมากขึ้น ช่วยให้การถ่ายเทมวลสารดีขึ้น (Sacchetti, Gianotti, and Dalla, 2001) นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าการเติมกลีเซอ รอล (glycerol) ลงในสารละลายออสโมติกจะช่วยลดความแข็งกระด้างของเนื้อสัมผัสอาหารที่แช่ระหว่างการออสโมซิสได้ เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีสมบัติเป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสอาหาร (plasticizer) และยังสามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย (Clubbs, Vittadini, Shellhammer and Vodovotz, 2005; Pouplin, Redl, and Gontard, 1999) กลีเซอรอล เป็นสารที่มีรสหวาน สกัดได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสไขมันทั้งจากพืชและสัตว์ มีความข้นหนืด ในทางอุตสาหกรรมอาหารกลีเซอรอลจัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารกลุ่ม GRAS (generally recognized as safe) คือได้การยอมรับโดยทั่วไปว่ามีความปลอดภัย จากสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ.1959 และจัดอยู่ในรายการของสารที่มีคุณสมบัติหลากหลาย (multipurpose) หากมีอยู่ในอาหารจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น เช่น เพิ่มความหวาน มีความคงตัวดีขึ้น จัดเป็นสารคงความชื้น (humectants) ช่วยลดค่า a_w จึงลดความเสี่ยงจากการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้อายุการเก็บนานขึ้น ป้องกันการเปลี่ยนสี กลิ่นรส และรสชาติ เมื่อเก็บไว้นาน ดังนั้นจึงช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้นุ่มนวล และยืดหยุ่น ควบคุมการระเหยและการตกผลึก (graining) ให้ช้าลง อีกทั้งทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ติดกับวัสดุบรรจุภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งไม่เยิ้มน้ำ ดูน่ารับประทาน (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546; วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2546) จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง โดยการนำถั่วนิ้วนางแดงมาทำให้สุก แล้วดึงน้ำออกโดยใช้วิธีออสโมซิสเพื่อลดปริมาณน้ำโดยพบว่าการใช้สารละลายผสมเป็นสารละลายออสโมติกจะมีส่วนช่วยให้การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสดีขึ้นและช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารหลังการออสโมซิสได้ เนื่องจากสารที่ใช้แต่ละชนิดจะมีข้อดีช่วยเสริมประสิทธิภาพการออสโมซิสได้ แล้วจึงนำมาอบแห้งเพื่อลดปริมาณความชื้นและ a_w ให้เป็นผลิตอาหารประเภทกึ่งแห้ง

งานวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานนี้จึงจัดเป็นโครงงานที่สามารถเปิดโอกาสสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่จากวัตถุดิบที่มีศักยภาพ นอกจากนี้งานวิจัยมุ่งเลือกใช้การผลิตที่ไม่ใช้เทคโนโลยีซ้อน ยุ่งยาก หรืออาศัยเครื่องมือราคาแพง หากแต่มุ่งเน้นการใช้หลักทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์การอาหารมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงมีโอกาสเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ในอนาคตและมีโอกาสนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบประเภทอื่นได้ เช่น ถั่วลิสง ลูกเดือย หรือสามารถต่อยอดกับเทคโนโลยีการบรรจุที่ทันสมัยมากขึ้น เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ได้อย่างต่อเนื่องในอนาคต

3. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส และคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลและเกลือร่วมกับสารละลายซูโครส ต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส และคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส
3. เพื่อศึกษาหาเวลาการทำแห้งถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสโดยใช้ลมร้อนเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง
4. เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้
5. เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

4. ขอบเขตการวิจัย

โครงการวิจัย มีขอบเขตโครงการวิจัยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานครอบคลุมถึงการศึกษาการนำถั่วนิ้วนางแดงมาทำให้สุกในสภาวะที่เหมาะสมกับการออสโมซิส โดยศึกษาผลของระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส และคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส และดำเนินการศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอล และเกลือร่วมกับสารละลายซูโครสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส รวมถึงมีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสด้วย เพื่อเลือกใช้กลีเซอรอล เกลือและซูโครสสำหรับการเตรียมเป็นสารละลายออสโมซิสในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อลดปริมาณความชื้นและค่า a_w ให้เป็นอาหารกึ่งแห้งที่เหมาะสมดำเนินการศึกษาหาเวลาการทำแห้งถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสโดยใช้ลมร้อนเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง เมื่อได้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งแล้วจะนำมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษาด้วย

5. วิธีดำเนินการวิจัย

ถั่วนิ้วนางแดง

ถั่วนิ้วนางแดงหรือ ถั่วแดง (Rice Bean and Red bean) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna umbellate* เป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง มีการปลูกเป็นการค้า โดยปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางจังหวัดทั้งในที่สูงและที่ราบ แหล่งปลูกสำคัญได้แก่ จังหวัดเลย พิษณุโลก และอุดรธานี ถั่วนิ้วนางแดงเป็นพืชที่สามารถขึ้นได้ในที่ทั่วไปและสามารถทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี (นาค โพธิ์แท่น, 2531) ถั่วนิ้วนางแดงที่ปลูกได้มักส่งออกเป็นส่วนใหญ่ โดยตลาดส่งออกถั่วนิ้วนางแดงของไทย ได้แก่ ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ ส่วนใหญ่นำไปใช้ทำไส้ขนม ถั่วแดงที่ปลูกในขณะนี้มีหลายชนิด แต่ที่ปลูกเป็นการค้าและปลูกมากเป็นถั่วแดงเมล็ดสีแดง ดอกสีเหลือง, ฝักเล็กเท่า ๆ กับถั่วเขียว แต่ยาวกว่าเล็กน้อย เมื่อแก่ฝักจะมีสีน้ำตาลอ่อนและสีดำ ฝักจะห้อยลงจากซ่อเหมือนนิ้วมือ ฝักที่มีสีดำเมล็ดจะโตกว่าฝักสีน้ำตาลอ่อนเล็กน้อย ต้นเลื้อย ลำต้นและใบมีขนโดยทั่วไป เรียกว่า ถั่งแดงเมืองเลยหรือถั่วนิ้วนางแดง แต่ที่จังหวัดเลยเรียกว่า ถั่วท้องนา หรือบ้านนา เป็นพันธุ์ที่นำมาจากประเทศศรีลังกา เพื่อใช้เป็นพืชบำรุงดิน ชื่อเดิมเรียกว่า ถั่วแดงซีลอน ถั่วพวกนี้ถ้าเมล็ดมีสีแดง ส่วนมากจะเรียกชื่อว่า ถั่วแดง ถั่วนางแดงหรือนิ้วนางแดง เหมือนกันหมด ถ้าเมล็ดมีสีขาวอมเขียวเล็กน้อย จะเรียกชื่อแตกต่างกันไปแล้วแต่ท้องที่ เช่น ที่พิษณุโลก เรียกว่า ถั่วนา ที่อุดร เรียกว่า ถั่วเต็มกำหรือเล็บมือนาง ส่วนถั่วแดงพระราชทานนั้น ไม่รวมอยู่ในพวกนี้

ถั่วแดงเป็นพืชที่ไวต่อแสงจะเริ่มออกดอกตั้งแต่เดือนตุลาคมเป็นต้นไปเวลาปลูกควรจะอยู่ในเดือนพฤษภาคม ถึงสิงหาคม แต่ถั่วในปัจจุบันนี้ เป็นพืชแซมกับพืชอื่น ส่วนมากจะปลูกแซมกับข้าวโพด โดยการปลูกถั่วแดงมี 3 วิธี คือ ปลูกรวมกับข้าวโพด โดยใช้เมล็ดถั่วแดงผสมกับเมล็ดข้าวโพด แล้วปลูกในหลุมเดียวกัน ปลูกแซมข้าวโพด โดยการหยอดถั่วแดงหลังจากดายหญ้า ข้าวโพดครั้งแรกแล้วระหว่างแถว ปลูกถั่วแดงพืชเดียว ควรปลูกในเดือนสิงหาคม เนื่องจากถั่วแดงเป็นพืชที่ไวต่อ แสง ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวจึงจำกัด คือ จะเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ต้นเดือนธันวาคมเป็นต้นไป โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช้วิธีทยอย เก็บฝักที่แก่เพราะจะเป็นการสิ้นเปลือง แรงงานมาก แต่จะเก็บโดยรอให้ฝักแก่เกือบหมดแล้ว ใช้เคียวเกี่ยวนำทั้งต้นและฝักมาตาก บนลานให้แห้ง แล้วนวดโดยใช้เครื่องนวด รถย่ำ หรือไม้ฟาด เมื่อนวด เสร็จแล้วก็นำมาฝัดบรรจุเมล็ดใส่กระสอบเตรียมส่งขาย หรือเก็บไว้ทำพันธุ์ในปีต่อไป เมล็ดส่วนที่เก็บไว้ทำพันธุ์ต้องตากให้แห้งสนิทและควรคลุกสารเคมีป้องกันแมลงทำลาย โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 150 - 200 กิโลกรัมต่อไร่ ถ้าปฏิบัติดูแลรักษาดี และเก็บเกี่ยวในเวลาที่เหมาะสม คือ เก็บเกี่ยว ในตอนเช้าและฝักไม่แห้งจัดจะให้ผลผลิตสูงถึง 300 กิโลกรัมต่อไร่

สำหรับคุณค่าทางโภชนาการในถั่วแดง 100 กรัม มีองค์ประกอบทางอาหารดังนี้ โปรตีน 21.97 % ไขมัน 0.58 % คาร์โบไฮเดรต 58.10 % เยื่อใย 5.40 % ควรมีการส่งเสริมให้ปลูกถั่วให้มีปริมาณมากขึ้น และควรสนับสนุนให้มีการนำถั่วแดงมาบริโภค ในประเทศให้มากขึ้น เพราะเป็นพืชอาหารที่มีโปรตีนสูงและราคาถูก สามารถนำถั่วแดง มาประกอบอาหารได้หลายชนิด เช่น ทำข้าวต้มมัด ต้มกับน้ำตาล หรือเชื่อมใส่น้ำแข็ง ไอศกรีม ทำขนมปังเนื้อถั่วแดง, คุ๊กกี้ หรือนำไปทำไส้ขนมหวานต่าง ๆ ได้รวมทั้งประกอบอาหารมังสวิรัติต่าง ๆ การปลูกถั่วแดงร่วมกับข้าวโพด นอกจากได้ผลผลิตถั่วแดงและข้าวโพดแล้ว ยังสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ด้วย และต้นข้าวโพดก็ทำหน้าที่เป็นค้างให้แก่ต้นถั่ว การปลูกร่วมกันจึงเหมาะสมสำหรับแนะนำส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกกันให้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น

สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากถั่วนิ้วนางแดง พบว่า จุฬาลักษณ์ จารุนุช และ ประชา บุญญสิริกูล (2539) ได้ศึกษาการทำอาหารขบเคี้ยวจากถั่วนิ้วนางแดง โดยใช้เครื่องคุกเกอร์เอ็กซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ อาหารขบเคี้ยวจากถั่วนิ้วนางแดง เตรียมได้จากแป้งถั่วนิ้วนางแดง แป้งถั่วนิ้วนางแดงผสมซึ่งทำจากแป้งถั่วนิ้วนางแดงผสมแป้งถั่วเขียวผิวมัน แป้งถั่วเขียวผิวดำ แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งมันสำปะหลัง ข้าวโพดบดหยาบ และแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม นำเอาอาหารขบเคี้ยวทั้ง 17 สูตร ที่ได้มาทำการทดสอบโดยประสาทสัมผัสในเรื่องสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับในการบริโภค ปรากฏว่าอาหารขบเคี้ยวทั้ง 2 สูตร คืออาหารขบเคี้ยวสูตรที่ 9 ทำจากแป้งถั่วนิ้วนางแดงผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และข้าวโพดบดหยาบร้อยละ 20.0, 2.5 และ 20.0 โดยน้ำหนักตามลำดับ อาหารขบเคี้ยวสูตรที่ 14 ทำจากแป้งถั่วนิ้วนางแดงผสมแป้งถั่วเขียวผิวดำ แป้งข้าวเจ้า ข้าวโพดบดหยาบ แป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็มร้อยละ 23.8, 21.4, 21.4 และ 4.8 โดยน้ำหนักตามลำดับ เป็นที่ยอมรับในการบริโภคจากผู้ชิมดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารขบเคี้ยวที่เหลือ อาหารขบเคี้ยวสูตรที่ 9 และ 14 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 15.23 และ 16.25 ปริมาณไขมันร้อยละ 9.10 และ 11.95 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ คุณภาพโปรตีนของอาหารขบเคี้ยวจากถั่วนิ้วนางแดงทั้ง 2 สูตร สูตรที่ 9 และ 14 ดังกล่าวมีคุณภาพของโปรตีนดีขึ้น คือมีค่า chemical score ของกรดอะมิโนเมทธิโอนินและซิสตีน เท่ากับ 94 และ 97 ค่า PER เท่ากับ 1.92±0.13 และ 2.00±0.11 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ chemical score ของอาหารขบเคี้ยวสูตรที่ 1 ทำจากแป้งถั่วนิ้วนางแดงแต่เพียงอย่างเดียวและสูตรที่ 12 ทำจากแป้งถั่วนิ้วนางแดงผสมแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็มร้อยละ 4.8 ซึ่งมีค่า Chemical score ของกรดอะมิโนเมทธิโอนิน และซิสตีน ร้อยละ 69 เท่ากัน และมีค่า PER เท่ากับ 1.60±0.19 และ 1.76±0.12 ตามลำดับ โดยที่ PER ของ casein เท่ากับ 2.50±0.17

การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (Osmotic dehydration)

หลักการ

การออสโมซิส หมายถึง การกำจัดน้ำออกด้วยการแช่ผลไม้ในน้ำเชื่อม หรือน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสในอาหาร วิธีที่เหมาะสำหรับการแปรรูปผักและผลไม้ โดยแช่ชิ้นอาหารในสารละลายออสโมติกซึ่งมีค่า a_w ต่ำ การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกัน กล่าวคือ น้ำตาลหรือเกลือจะแพร่เข้าไปในอาหารทำให้ปริมาณน้ำหรือความชื้นในชิ้นอาหารลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำหรือความชื้นเริ่มต้น ซึ่งการออสโมซิสมีประโยชน์ในด้านช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร เพื่อทำให้กระบวนการผลิตสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) นอกจากนี้อาจกล่าวได้ว่าการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส เช่น กระบวนการดึงน้ำออกจากชิ้นอาหาร โดยเป็นการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายที่เข้มข้นกว่า เป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหารก่อนนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการ ผลของการลดความชื้นด้วยวิธีออสโมซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางสารอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงคุณค่าของสารอาหารไว้และเป็นการปรับปรุงกลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ลดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางด้านสีของผลไม้เนื่องจากการทำงานของ Enzymatic oxidative browning (Torreggiani, 1993) ดังนั้น ในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสจึงอาศัยหลักความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ระหว่างน้ำตาลกับน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณของน้ำที่ต้องการจะดึงออกและปริมาณของของแข็งที่เพิ่มขึ้น การแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นจะดำเนินไปจนกระทั่งสารละลายมีค่า a_w เข้าสู่สภาวะสมดุล การเปลี่ยนของปริมาณน้ำและปริมาณของแข็งในชิ้นอาหารก่อนเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยที่สภาวะสมดุลของน้ำเกิดได้เร็วกว่าสภาวะสมดุลของน้ำตาล จนถึงสภาวะของทั้งน้ำและน้ำตาลจะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะของผลไม้แช่อิ่มที่มีน้ำตาลสูง โดยกระบวนการออสโมซิสนี้สามารถกำจัดน้ำได้ประมาณ 30-50 % ของน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นอาหาร หลังจากนั้นจึงนำไปทำการอบแห้งต่อไปด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่างๆ จนได้ความชื้นที่ต้องการ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส

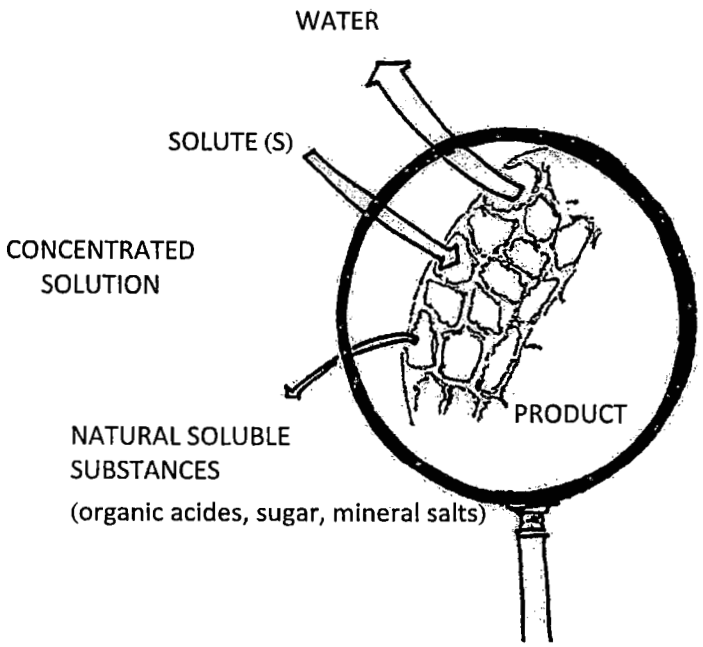
การออสโมซิสเป็นการถ่ายเทมวลสารแบบสวนทางกัน (counter-current mass transfer) (Lenart & Flink, 1984) โดยน้ำที่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่เรียกว่าเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) จึงทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนน้ำให้ออกจากชิ้นอาหารเนื่องจากแรงดันออสโมติก จนเข้าสู่สมดุลของสารละลายทั้งสอง นอกจากนี้สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์โดยธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือแร่ จะแพร่ออกนอกเซลล์ด้วย (Torreggiani, 1993) การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นนี้จะมีทั้งการถ่ายเทมวลของน้ำและตัวถูกละลาย ดังนี้ (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533) คือ

1) น้ำภายในเซลล์ของผักและผลไม้ จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก

2) ขณะเดียวกันตัวถูกละลายที่อยู่ภายนอก เช่น น้ำตาลหรือเกลือจะแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้หรือเนื้อผักผลไม้

3) สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ (natural soluble substance) เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล และเกลือแร่ เป็นต้น จะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก

เซลล์ของผักและผลไม้ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน จะยอมให้น้ำแพร่ผ่านมากกว่าตัวถูกละลาย เนื่องจากตัวถูกละลายมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ ดังนั้น น้ำจะแพร่กระจายออกจากเซลล์ผักผลไม้ได้มากกว่าการแพร่กระจายของตัวถูกละลายภายนอกเข้าไปในเนื้อผักผลไม้ การถ่าย เทมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายนี้ จะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุลของมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้ อัตราการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายจะมีค่าคงที่ มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้ และสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ด้วย แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 5-1 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส
ที่มา: Torreggiani (1993)

สารที่นำมาใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก

1) น้ำตาลทราย

น้ำตาลทรายหรือน้ำตาลซูโครสมีสูตรทางเคมี คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) เกิดการจับตัวของน้ำตาลกลูโครสและฟรักโทสด้วยพันธะ α-(1 $\rightarrow$2) ทำให้ไม่มีหมู่แอลดีไฮด์และหมู่คีโตนอิสระ จึงเป็น non-reducing sugar ไม่คงตัวเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นกรด และเกิดการสลายตัวได้เป็นคาราเมลที่มีสีน้ำตาล เมื่อได้รับความร้อนสูง 210°C (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) น้ำตาลทรายมีคุณสมบัติเป็นสารให้ความหวานโดยมีค่ามาตรฐานเท่ากับ 100 หน่วย สร้างความหนืด ความแวววัน เพิ่มน้ำหนักแรงตึงผิว แรงดันออสโมติก และช่วยลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์อาหาร (กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2542) ในกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส นิยมใช้น้ำตาลเป็นสารละลายออสโมติก (Osmotic agent) โดยนิยมใช้น้ำตาลซูโครสมากที่สุด เนื่องจากทำให้การอบแห้งมีคุณภาพดี นอกจากจะให้รสหวานแล้วยังใช้งานสะดวก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักมากขึ้น และมีราคาถูกกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ นอกจากนี้การใช้น้ำตาลซูโครสในการออสโมซิสยังสามารถเป็นสารยับยั้ง (Inhibitor) ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ Polyphenol oxidize ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิด Oxidative browning ของชิ้นอาหารที่ถูกตัดแต่ง และช่วยป้องกันการสูญเสียส่วนประกอบของกลิ่นรสที่ระเหยได้ระหว่างการทำแห้งด้วย (พนิดา เนตรวีระ, 2548)

2) กลีเซอรอล

กลีเซอรอล อาจเรียกว่า glycerine (1,2,3-trihydroxypropane หรือ 1,2,3-propanetriol) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ จัดเป็นสารประกอบประเภทไตรไฮดริกแอลกอฮอล์ (Trihydric alcohol) กลีเซอรอลสามารถสกัดได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสไขมันทั้งจากพืชและสัตว์ ในอุตสาหกรรมอาหารกลีเซอรอลจัดอยู่ในวัตถุเจือปนอาหารกลุ่ม GRAS (generally recognized as safe) ได้รับอนุญาตจาก สหรัฐอเมริกาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1959 และจัดอยู่ในรายการของสารที่มีคุณสมบัติหลากหลาย (multipurpose) หากมีอยู่ในอาหารจะทำให้ผลิตที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น เช่น เพิ่มความหวาน มีความคงตัวดีขึ้น จัดเป็นสารคงความชื้น (Humectants) ช่วยลดค่า a_w จึงลดความเสี่ยงจากการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้อายุการเก็บนานขึ้น ป้องกันการเปลี่ยนสี กลิ่นรส เมื่อเก็บไว้นาน ดังนั้น จึงช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้นุ่มนวล ควบคุมการระเหยและการตกผลึก (graining) ให้ช้าลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ติดกับบรรจุภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งไม่เยิ้ม (ศิวาพร ศิรเวชช, 2546; วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2546) สามารถละลายในน้ำและเอทานอลได้ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหวานประมาณ 0.6-0.7 เท่าของน้ำตาลซูโครส มีจุดหลอมเหลว 178 °C จุดเดือด 290 °C มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.261 เป็นสารติดไฟง่ายและค่อนข้างเสถียร เมื่ออยู่ในรูปของเหลวจะไม่เป็นอันตราย และมีความหนืดสูงเหมือนน้ำเชื่อม (ไพโรจน์ วิระยะจารี, 2539; พนิดา เนตรวีระ, 2548)

3) เกลือ

เกลือโซเดียมคลอไรด์มีสูตรโครงสร้าง คือ NaCl มีมวลโมเลกุล 58.44 g/mol ความหนาแน่น 2.16 g/cm^3 มีจุดเดือด 1465 °C และจุดหลอมเหลว 801°C สมบัติของเกลือโซเดียมคลอไรด์ คือ ละลายน้ำได้ ไม่มีความสามารถในการนำไฟฟ้า หากเป็นสารละลายอิ่มตัวมาตรฐานจะมีค่า a_w เท่ากับ 0.75 (ยงยุทธ์ เฉลิมชาติ และ ภิญโญ โอวาสิทธิ์, 2552; สารานุกรมเสรี, 2552) และเป็นสารละลายออสโมติกที่ดีมากสำหรับผักและผลไม้ รวมถึงเนื้อปลาและเนื้อสัตว์ แต่การใช้กับผลไม้จะถูกจำกัดเนื่องจากมีรสเค็ม นอกจากนี้ยังมีการใช้เกลือหรือกรดร่วมกับการใช้น้ำตาลซูโครส เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสาร ทั้งนี้เนื่องจากเกลือที่เติมลงไปจะไปช่วยเพิ่มแรงขับของสารละลาย อีกทั้งยังช่วยลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ แต่จะต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ถ้าใช้ในปริมาณมากจะมีรสเค็ม (พนิดา เนตรวีระ, 2548)

อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food: IMF)

อาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยความชื้นประมาณ 20-50 % โดยน้ำหนัก และมีค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในช่วง 0.95-1.00 อาหารที่ลดค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ลงจนอยู่ในช่วง 0.65-0.85 และมีความชื้นประมาณ 10-14 % จะเรียกว่าอาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food: IMF) (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550; ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539)

ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ (2528) Smith and Norvell (1975) และ Sych (2003) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง คือ มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.9 และมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% มีแนวโน้มพอเพียงต่อการถนอมอาหาร และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

ชมภู่ ยิ้มโต (2550) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่สามารถบริโภคได้โดยไม่ต้องนำไปคืนตัว มีความคงตัวโดยไม่ต้องนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำ หรือฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ซึ่งอาหารกึ่งแห้งยังคงมีปริมาณน้ำจำนวนหนึ่งจึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยทั่วไปควรจะดึงน้ำออกให้เหลือต่ำกว่า 10% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบเป็นสำคัญ ถ้าจะป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ควรจะลดต่ำลงจนถึงประมาณ 5% ตัวอย่างของอาหารกึ่งแห้งที่พบโดยทั่วไป เช่น เจลลี ผลไม้แห้ง แยม น้ำผึ้ง ขนมเค้ก และไส้กรอกแห้ง เป็นต้น

ไพโรจน์ วิริยะจารี (2539) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นระดับที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อราและยีสต์ ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีส่วนใหญ่การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งมีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานมากที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ โดยเน้นในด้านความคงทนต่อจุลินทรีย์

คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี และการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ สามารถการจัดกลุ่มอาหารตามค่า a_w ได้ดังนี้

- อาหารที่มีความชื้นสูง (High Moisture Food: HMF) เป็นอาหารที่มีความชื้นมากกว่า 50 % หรือ มี 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 %

- อาหารที่มีความชื้นต่ำ (Low Moisture Foods: LMF) เป็นอาหารที่มีความชื้นประมาณ 10-40 % หรือมีค่า a_w ระหว่าง 0.6-0.09 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาทางเคมีและใช้ในการเจริญเติบโตได้เพียงเล็กน้อย

ปัจจัยที่มีผลต่อระดับของ a_w ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ประกอบด้วย ชนิดของสารละลาย ความเป็นกรด-เบส สารยับยั้งและชนิดของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียจะถูกยับยั้งถ้าอาหารมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.9 แต่ถ้า a_w< 0.80 จะมีจุลินทรีย์พวก Xerophilic moulds, Halophilic bacterias และ Osmophilic yeasts เจริญได้ โดยการลดค่า a_w เพื่อไม่ให้จุลินทรีย์สามารถนำน้ำไปใช้ในการเจริญได้มีหลายวิธี เช่น การกำจัดน้ำออกโดยการทำแห้ง การระเหยและการอบแห้งแบบระเหิด การทำให้น้ำในอาหารตกผลึกกลายเป็นน้ำแข็ง และการตรึงน้ำในอาหาร เช่น การใส่สารคอลลอยด์ที่ชอบรวมกับน้ำ (gel) ทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่นำน้ำไปใช้ไม่ได้ และการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย เช่น เกลือ น้ำตาล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำให้สุก (Cooking)

Khalil and Mansour (1995) ได้ศึกษาผลของการทำให้ถั่ว faba สุก โดยวิธีการต้มและการใช้ Autoclave ต่อคุณค่าทางโภชนาการของถั่ว faba 1) การต้ม ทำได้โดยนำเมล็ดถั่วมาแช่ในน้ำกลั่นใช้อัตราส่วน (1 : 20 w/v) ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ล้างน้ำ 3 ครั้ง นำมาต้มในน้ำปริมาณ 3 ml/g ให้ความร้อนโดย Hot plate เป็นเวลา 45 นาที 2) การใช้ Autoclave ทำได้โดยนำเมล็ดถั่วมาล้างน้ำและบรรจุในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำปริมาณ 2 ml/g ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 นาที พบว่า การปรุงสุกด้วยวิธีต้มจะทำให้ถั่วยังคงมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 29 g/100 g ซึ่งมากกกว่าวิธี Autoclave ที่มีปริมาณโปรตีน 27.5 g/100 g และกระบวนการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธีมีผลต่อปริมาณน้ำตาลจำพวก stachyose ที่พบได้ในถั่ว เช่น แทนนิน กรดไฟติก ไวซิน สารยับยั้งทริฟซิน และไวรัส haemagglutinin (stachyose, tannins, phytic acid, vicine, trypsin inhibitor และ haemagglutinin activity) และปริมาณวิตามิน B โดยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับถั่วดิบ และปริมาณ leucine

threonine และ histidine เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามกระบวนการให้ความร้อนไม่มีผลต่อปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นทั้งหมด

Wang et al. (1997) ได้ศึกษาผลกระทบจากวิธีกระบวนการ (processing method) ต่อคุณค่าทางโภชนาการใน cowpea โดยวิธีการแช่ร่วมกับการต้มด้วยน้ำ หรือการนึ่งด้วยไอน้ำ การแช่ทำได้โดยแช่ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 และ 16 ชั่วโมง แล้วนำมาต้มด้วยน้ำ หรือนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 20 และ 40 นาที พบว่า เวลาในการแช่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่สูญเสีย ปริมาณโปรตีนและไขมัน และไม่มีผลต่อการเกิดเจลของแป้ง cowpea เมื่อนำมาต้มด้วยน้ำ แต่อย่างไรก็ตามการแช่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจลของแป้ง cowpea เมื่อนำมานึ่งด้วยไอน้ำ ส่วนการต้มด้วยน้ำ หรือการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 20 และ 40 นาที พบว่าการต้มด้วยน้ำทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียมากกว่า และปริมาณโปรตีน ไขมัน และ oligosaccharides ลดลงมากกว่าการนึ่งด้วยไอน้ำ

Alfonso et al. (1998) ได้ศึกษาผลของการปรุงสุกของเมล็ด Chickpea (*Cicer arietinum*) ต่อปริมาณโปรตีน ปริมาณกรดอะมิโน และความสามารถในการย่อยของโปรตีน โดยการเปรียบเทียบกับเมล็ด Chickpea ดิบ การปรุงสุกทำได้โดยต้มในน้ำกลั่น ใช้อัตราส่วนเมล็ด Chickpea:น้ำ เป็น 1:25 w/v โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า Digester Tecator ใช้อุณหภูมิ 120 °C ภายใต้ความดัน เป็นเวลา 50 นาที พบว่า ที่เวลา 10 และ20 นาที ไม่มีผลต่อการสูญเสียปริมาณวิตามิน แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการปรุงสุกตั้งแต่ 30 ถึง 50 นาที จะทำให้สูญเสียปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 0.6% เป็น 3.4% การให้ความร้อนจะทำปริมาณกรดอะมิโนเช่น methionine cysteine lysine arginine tyrosine และ leucine ลดลง โดยกรดอะมิโนที่ลดลงสูงสุดคือ cysteine (15%) และ lysine (13.2%) และโปรตีนที่ย่อยได้เพิ่มขึ้นจาก 71.8% เป็น 83.5% หลังการปรุงสุก เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนโครงสร้าง globulins จะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นโปรตีนที่ย่อยได้เพิ่มขึ้น ซึ่งการปรุงสุกที่อุณหภูมิสูง ทำให้ปริมาณ Protein fractions globulins albumins และ lysine ลดลง

Yousif et al. (2002) ได้ศึกษาผลกระทบของระยะเวลาและสภาวะการเก็บรักษาต่อค่าความแข็งและการปรุงสุกของถั่ว Adzuki (*Vigna angularis*) โดยการเก็บรักษาถั่ว adzuki 2 สายพันธุ์ คือ Bloodwood และ Erimo เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ ความชื้น และการเก็บรักษาต่อคุณภาพ โดยเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ (10 20 และ 30 °C) และความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ (relative humidity: RH) (40 และ 65%) สำหรับการปรุงสุกทำได้โดยล้างถั่วในน้ำเย็น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95-100 °C โดยใช้เวลา 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 นาที และทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง พบว่า การเก็บถั่ว Adzuki ที่อุณหภูมิ 30 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 40 % ทำให้สูญเสียความชื้นมาก ใช้เวลาในการดูดน้ำกลับเพิ่มขึ้น และคุณภาพของการปรุงสุกลดลง สภาวะการเก็บรักษาที่ดีที่สุดของการรักษาถั่ว Adzuki คือ 10°C และ RH 65 % ทั้งนี้การปรุงสุกที่

อุณหภูมิ 95-100 °C เวลา 40 นาที จะเป็นเวลาปรุงสุกที่ดีที่สุดทำให้ค่าความแข็งเหมาะสม การใช้เวลาปรุงสุกมากกว่า 40 นาที ได้ถั่วที่มีความนิ่มและมีความแข็งที่ไม่เหมาะสม

Alajaji and El-Adawy (2006) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาการของถั่ว chickpea ที่มีผลกระทบจากการปรุงสุกด้วยไมโครเวฟและวิธีการปรุงสุกแบบดั้งเดิม เช่น การต้ม และการ Autoclave การเตรียมขั้นต้นก่อนการปรุงสุกทำโดยนำเมล็ด chick pea แช่ในน้ำในอัตราส่วนเมล็ด chick pea ต่อน้ำ 1:10 w/v ที่อุณหภูมิ 25 °C นาน 12 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 3 ครั้ง จากนั้นนำไปปรุงสุกด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้ 1) วิธีการต้ม ต้มที่น้ำเดือดอุณหภูมิ 100°C บน Hot plate อัตราส่วนเมล็ด chickpea ต่อน้ำ 1:10 w/v เวลา 90 นาที 2) วิธีการ Autoclave นำเมล็ด Chickpea ปรุงสุกด้วยการใช้ autoclave ที่ความดัน 15 ปอนด์ อุณหภูมิ 121°C เวลา 35 นาที 3) การใช้ไมโครเวฟ นำ Chickpea ใส่บีกเกอร์ อัตราส่วนเมล็ด chickpea ต่อน้ำ 1:10 w/v นำใส่ในไมโครเวฟ ความถี่ 2,450 MHz เวลา 15 นาที พบว่า วิธีการปรุงสุกทำให้ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า และคาร์โบไฮเดรตต่างๆ (reducing sugar. sucose และ stachyose) ลดลง การปรุงสุกด้วยวิธีการต้มและวิธีการ Autoclave ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินบี และแร่ธาตุต่างๆใน chickpea ส่วนวิธีการปรุงสุกด้วยไมโครเวฟไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลทางโภชนาการ และช่วยลดระยะเวลาในการปรุงสุกลง

Tania, Beatriz and Franco (2009) ได้ศึกษาผลการปรุงสุกใน non-starch polysaccharides ของถั่วที่ยากต่อการปรุงสุก โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงจากถั่วที่ยากต่อการปรุงสุก (hard-to-cook: HTC) โดยเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 75% เป็นเวลา 8 เดือน และนำมาปรุงสุก ซึ่งทำได้โดยแช่ในน้ำ 5 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนเมล็ด: น้ำ (1:3 w/w) ใช้เวลา 30 นาที และต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 30 นาที พบว่า ถั่วที่ไม่ได้เก็บรักษาและนำมาปรุงสุกจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าถั่วที่ไม่ได้เก็บรักษาและไม่ปรุงสุก ปริมาณเถ้าลดลง แต่ปริมาณไขมันไม่เปลี่ยนแปลง เส้นใยที่ละลายได้และละลายไม่ได้ ไม่มีผลต่อการปรุงสุก แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นๆ ถั่วดิบที่มี non-starch polysaccharides ที่ละลายในน้ำได้น้อย จะสูญเสีย galacturonans และ arabinose-rich polysaccharides น้อยลงเมื่อผ่านการปรุงสุก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

Moreira et al. (2006) ศึกษาผลของการกวนสารละลายและการใช้สารละลายกลีเซอรอล และสารละลายเกลือเป็นสารละลายออสโมติกในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของเกาลัด โดยมีแนวคิด คือ กระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสเป็นกระบวนการที่น่าสนใจ เนื่องจากต้นทุนในการผลิตต่ำและทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น แบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) แปรความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอลเป็น 25 35 45 และ 60 g/100 g แช่เกาลัดที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 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/100 g โดยไม่มีการกวนสารละลาย จะทำให้มีค่า Water loss/Solid gain (WL/SG) สูงที่สุด คือ 3.281 kg/kg และลดค่า a_w ลดลง จาก 1.00 เป็น 0.77 2) ศึกษาการใช้สารละลายผสมระหว่างกลีเซอรอล 35 g/100g กับเกลือ 9.7 g/100g พบว่า ทำให้ปริมาณน้ำสูญเสียเพิ่มขึ้น และมีปริมาณความชื้นลดลงสูงสุด จากความชื้นเริ่มต้น 1.00 kg/kg เหลือเพียง 0.78 kg/kg ที่ระยะเวลาการแช่ 8 ชั่วโมง และโดยมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงสุด จากเริ่มต้นมีปริมาณของแข็ง 1.00 kg/kg และเพิ่มเป็น 1.12 kg/kg

Chenlo et al. (2006) ได้ศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสในเกาลัด โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (17.0% 22% และ26.5% w/w) และที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (25 35 และ 45°C) โดยมีเวลาในการแช่ตั้งแต่ 1-8 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนในการแช่เกาลัด: สารละลาย เป็น 1: 10 w/w พบว่า การแช่เกาลัดในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 22% w/w ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 1-8 ชั่วโมง มีอัตราส่วนของ WL/SG สูงที่สุด คือ 1.926 kg/kg และพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนของ WL/SG ลดลง

Chenlo (2006) ได้ศึกษาผลการทดลองและโมเดลจลน์ศาสตร์ของกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในเกาลัดโดยใช้สารละลายกลูโคส ที่ความเข้มข้นต่างๆ (40.0 50.0 และ 56.5% w/w) และที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (25 35 และ 45°C) โดยมีเวลาในการแช่ตั้งแต่ 1-8 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนในการแช่เกาลัด: สารละลาย เป็น 1: 10 w/w พบว่า การแช่เกาลัดในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 56.5% w/w ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 1-8 ชั่วโมง มีอัตราส่วนของ WL/SG สูงที่สุด คือ 4.19 kg/kg

Chenlo (2007) ได้ศึกษากระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสของเกาลัดโดยใช้สารละลายซูโครสต่อการถ่ายเทมวลสารและโมเดลจลน์ศาสตร์โดยรวม ใช้สารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นต่างๆ (40 50 และ 60% w/w) และที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (25 35 และ 45°C) โดยมีเวลาในการแช่ตั้งแต่ 1-8 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนในการแช่เกาลัด: สารละลาย เป็น 1: 10 w/w พบว่า การแช่เกาลัดในสารละลายซูโครสเข้มข้น 60% w/w ที่อุณหภูมิ 25°C มีอัตราส่วนของ WL/SG สูงที่สุด คือ 2.758 kg/kg

Antonio et al. (2008) ศึกษากระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของมันเทศ (*Ipomoea batatas*) ในสารละลายผสม ทำได้โดยใช้สารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 50% w/w ร่วมกับการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0 5 10% w/w ใช้อุณหภูมิในการแช่ 40°C และกวนสารละลายความเร็ว 90 rpm โดยใช้เวลาในการแช่เป็นเวลา 240 นาที พบว่า การใช้สารละลายซูโครส 50% ร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% ทำให้มีปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้น เนื่องจาก การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์จะทำให้เกิดแรงขับมากขึ้น และการใช้สารละลายผสมซูโครสร่วมกับใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ จะทำให้ปริมาณของแข็งลดลงเมื่อเทียบกับการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว

Antonio et al. (n.d.) นำมันเทศที่สไลด์เป็นแผ่นขนาด 0.5 mm. มาแช่ในสารละลาย potassium metabisulphite ความเข้มข้น 2% เป็นเวลา 10 นาที เพื่อลดปฏิกิริยา non-enzymatic browning โดยแช่ตัวอย่างในสารละลายออสโมติกในอัตราส่วนสารละลาย: แผ่นมันเทศ เป็น 10:1 w/v สารละลายออสโมติกที่ใช้ คือ สารละลายซูโครสความเข้มข้น 40-60% w/w และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0-10% w/w อุณหภูมิในการออสโมซิส 30-50 °C และเวลาในการแช่เป็น 240 นาที พบว่า การใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 60% สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10% และอุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 240 นาที มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียเท่ากับ 48.83% และปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 14.58%

วนิดา สระทองคำ (2543) ได้ศึกษาการทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส จากการศึกษาหาระยะเวลาในการลวกฟักทองโดยใช้ไอน้ำ พบว่า การลวกฟักทองโดยใช้ไอน้ำ การลวก 6 นาที สามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ 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 และทำแห้งที่อุณหภูมิที่ 60°C ใช้เวลา 8 ชั่วโมง 15 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุด จากการศึกษาการใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัปในการออสโมซิสฟักทอง พบว่า WL และ SG เพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดซิตริก ($P \leq 0.05$) และการใช้กรดซิตริก 1.0% มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด จากการศึกษาการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับซูโครสไซรัป และกรดซิตริกในการออสโมซิสฟักทอง พบว่า ค่า 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 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณ ß-carotene และคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด ($P < 0.05$)

เสกสรร บุราณสุข และ สิทธิวุฒิ คำโสม (2550) ได้ศึกษาการแช่เผือกในสารละลายออสโมติกก่อนการอบแห้งเผือก เพื่อลดปริมาณน้ำเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง โดยแช่เผือกในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 40 50 และ 60 °Brix แล้วนำไปอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 °C พบว่า เผือกที่แช่สารละลายน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 60 °Brix แช่ที่อุณหภูมิห้อง มีการสูญเสียน้ำอิสระเท่ากับ 43.19% และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเผือกที่แช่สารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเผือกที่แช่สารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 60 °Brix ใช้เวลาน้อยที่สุดในการอบแห้งเท่ากับ 33 นาที การใช้สารละลายซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 60 และ 80°Brix จะ

ทำให้เผือกมีสีและลักษณะปรากฏดีที่สุด และความร้อนมีผลทำให้เผือกที่แช่สารละลายน้ำตาลซูโครสก่อนอบแห้งมีการหดตัวและงอตัวน้อยกว่าเผือกที่ไม่แช่สารละลายน้ำตาลซูโครส เนื่องจากสารละลายน้ำตาลซูโครสจะเข้าไปแทนที่น้ำที่สูญเสียทำให้รักษาโครงสร้างของเผือกไว้ได้ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การแช่สารละลายน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นสูง คือ 60 °Brix และอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ คือ 80 °C เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การดำเนินงานวิจัยตามโครงการวิจัยที่เสนอนี้คาดว่าจะมีศักยภาพในการอำนวยประโยชน์ด้านต่างๆ ดังนี้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	หน่วยงานที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์
1) การสร้างองค์ความรู้เพื่อใช้ประโยชน์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่จากถั่วนิ้วนางแดงที่มีคุณภาพที่ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สามารถนำไปผลิตจริงในเชิงพาณิชย์ ได้ และสามารถนำไปเผยแพร่เทคโนโลยีวิจัยต่อไป ได้แก่ - ได้ทราบวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งซึ่งเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารประเภทลักษณะคล้ายคลึงกันได้ - สามารถนำข้อมูลส่วนนี้ไปสนับสนุนให้ประชาชนเห็นประโยชน์ หันมาบริโภคถั่วซึ่งเป็นอาหารโปรตีนราคาถูกและหาได้ในประเทศ โดยแนวทางและรูปแบบการเผยแพร่องค์ความรู้และเทคโนโลยีสามารถดำเนินการโดย -เผยแพร่ในวารสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง -การเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการภายในประเทศ	• ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมอาหาร • ผู้ประกอบการรายย่อยและผู้ผลิตสินค้าเพื่อสุขภาพ • เกษตรกรและชุมชนผู้ปลูกถั่ว • หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร สถานศึกษา ทั้งในภาครัฐและเอกชน
2) ประโยชน์ด้านการบริการความรู้แก่ประชาชนและการบริการความรู้แก่ภาคธุรกิจ เช่น ความรู้เกี่ยวกับการแปรรูปอาหารกึ่งแห้ง	• ประชาชนทั่วไป • ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหาร • ผู้ประกอบการรายย่อยและผู้ผลิตสินค้าเพื่อสุขภาพ
3) ประโยชน์ด้านการพัฒนาการเรียนการสอนสำหรับนิสิต นักศึกษาที่กำลังศึกษาด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร และการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร รวมถึงการสร้างและพัฒนานักวิจัย	• สถานศึกษา หน่วยงานการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

7. วิธีดำเนินการวิจัย (Materials & Method)

วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์

วัตถุดิบ

1) เมล็ดถั่วนิ้วนางแดงแห้ง ตราไร่ทิพย์ บริษัท ไทยซีเรียลเวิลด์ จำกัด
2) น้ำตาลทราย ตรามิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด
3) เกลือ ตราปรุงทิพย์ บริษัท สหพัฒน์พิบูล จำกัด (มหาชน)
4) กลีเซอรอล บริษัท Fisher Scientific ประเทศอังกฤษ

สารเคมี

1) ฟอลิน ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) (Sigma; USA)
2) กรดแกลลิก (Gallic acid: $C_7H_6O_5$) 98% (Fluka, Switzerland)
3) เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย
4) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na_2CO_3) (Ajax Finechem, Australia)
5) ดีพีพีเอช (2-dipheny-1picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90% บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
6) Peptone water AR grade บริษัท Labscan ประเทศไทย
7) Oxygen absorber บริษัท เจนจรัสเคมซัพพลาย จำกัด ประเทศไทย
8) สารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (0.025 M, pH 1.0)
9) สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท (0.4 M, pH 4.5)

อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
2) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 211S ประเทศเยอรมนี
3) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ
4) เครื่องวัดค่า Water activity (a_w) Novasina รุ่น Thermo constanter TH 200 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

5) เครื่องวัดสี (Colorimeter) HunterLab รุ่น MiniScan XE Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

6) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) SPECTRONIC รุ่น GENESYS TH 5 ประเทศสหรัฐอเมริกา

7) เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี

8) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer)

9) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น ULE 500 ประเทศเยอรมนี

10) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) Heto รุ่น CB60BX ประเทศเดนมาร์ก

11) ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator) Memmert รุ่น BE600 ประเทศเยอรมนี

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

13) โถดูดความชื้น (Desiccator)

14) ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ บริษัท จิตราบรรจุภัณฑ์ ประเทศไทย

15) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

16) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

17) อุปกรณ์เครื่องแก้ว

18) อุปกรณ์งานครัว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาผลของระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

เนื่องจากปัจจัยด้านระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดงมีผลต่อระดับความสุกและปริมาณความชื้นเริ่มต้นของถั่วนิ้วนางแดงก่อนการออสโมซิส นอกจากนี้ปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิสเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในกระบวนการออสโมซิส (วรวีร์ หอมหวาน และกนกวรรณ มั่นศิล, 2552) ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของปัจจัยดังกล่าวต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส และคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส ดังนั้นจึงแปรปัจจัยที่ศึกษาเป็น 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ ดังนี้คือ

ปัจจัยที่ 1 เวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง คือ 30 และ 35 นาที

ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิในการออสโมซิส คือ อุณหภูมิห้อง (27±2°C) และอุณหภูมิ 45°C
ปัจจัยที่ 3 เวลาในการออสโมซิส คือ 3 และ 6 ชั่วโมง
ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

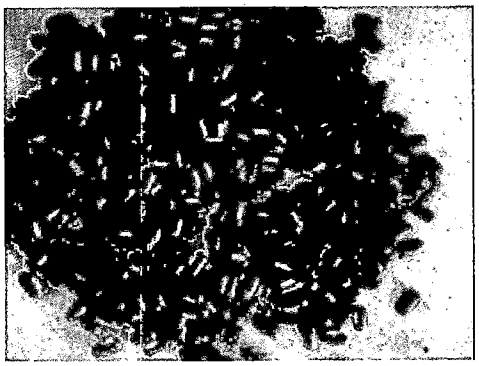
สิ่งทดลองที่	เวลาในการต้ม (นาที)	อุณหภูมิในการออสโมซิส	เวลาในการออสโมซิส (ชั่วโมง)
1	30	อุณหภูมิห้อง	3
2	30	อุณหภูมิห้อง	6
3	30	45°C	3
4	30	45°C	6
5	35	อุณหภูมิห้อง	3
6	35	อุณหภูมิห้อง	6
7	35	45°C	3
8	35	45°C	6

การต้มถั่วนิ้วนางแดง

คัดเลือกถั่วนิ้วนางแดงแห้งที่มีลักษณะเมล็ดที่สมบูรณ์ ไม่มีตำหนิหรือแตกหัก ขนาดเส้นรอบวงของเมล็ดประมาณ 1.0-1.3 เซนติเมตรและมีความยาวประมาณ 0.8-1.0 เซนติเมตร ดังภาพที่ 2 นำถั่วนิ้วนางแดงปริมาณ 200 กรัม มาต้มในน้ำเดือดโดยใช้เตาไฟฟ้าตามเวลาที่กำหนด ใช้อัตราส่วนถั่วนิ้วนางแดง: น้ำ เป็น 1:10 w/v เมื่อครบเวลานำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องทันทีเป็นเวลา 1นาที แล้ววางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที เพื่อเตรียมการออสโมซิสต่อไป

ในขั้นตอนนี้มีการตรวจสอบความสุกของถั่วนิ้วนางแดงโดยสุ่มตัวอย่างถั่วนิ้วนางแดงที่ต้มในน้ำเดือดตามเวลาที่กำหนด ประมาณ 1 กรัม มาบดให้ละเอียดเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วหยดไอโอดีนความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ เพื่อย้อมสี นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูลักษณะของเม็ดสตาร์ช

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



ภาพที่ 7-1 เมล็ดถั่วนิ้วนางแดงที่มีลักษณะสมบูรณ์

การออสโมซิส

นำถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการต้มแล้วมาแช่ลงในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 40% w/v กำหนดอัตราส่วนถั่วนิ้วนางแดง: สารละลาย เป็น 1:5 w/v แช่ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด กรณีอุณหภูมิ 45°C ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ

การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

เมื่อออสโมซิสตามเวลาที่กำหนด นำถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการออสโมซิสมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายน้ำตาลส่วนเกินออก โดยแช่ลงในน้ำที่อัตราส่วนถั่วนิ้วนางแดง:น้ำ เป็น 1:10 w/v เป็นเวลา 1 นาที และวางซับบนกระดาษเป็นเวลา 1 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) และคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร (Amami et al, 2007) ได้แก่

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss: WL)

$$WL\ (\%) = \frac{(W_i X_i - W_f X_f) \times 100}{W_i}$$

2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain: SG)

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

664.6284
W245n
ส.4

369341

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reduction: WR)

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

เมื่อ W_i = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

W_f = น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัม)

X_i = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

X_f = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัมของน้ำ/100 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้น)

การวิเคราะห์คุณภาพถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

นำตัวอย่างเมล็ดถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- ค่าสี (L* a* และ b*) ด้วยเครื่องวัดสี ตามวิธีในภาคผนวก ข-1
- ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ตามวิธีในภาคผนวก ข-2
- คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9 = ชอบมากที่สุด ทดสอบโดยผู้บริโภคจำนวน 30 คน เสิร์ฟตัวอย่างโดยการแบ่งชิมครั้งละ 4 ตัวอย่าง เพื่อป้องกันการเมื่อยล้าของผู้ทดสอบ

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับการถ่ายเทมวลสาร โดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูง และทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร คือ สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) สูง (Chenlo et al.,2006) มาใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (2 × 2 × 2) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี และความแข็ง ส่วนการประเมินด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range tests ด้วยโปรแกรม SPSS version 13

2. ศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลและเกลือร่วมกับสารละลายซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

เนื่องจากการใช้สารละลายผสมจะมีผลช่วยให้การถ่ายเทมวลสารดีขึ้น และช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารหลังการออสโมซิส โดยการใช้สารละลายเกลือจะทำให้เกิดแรงขับมากขึ้น และช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสาร ส่วนการใช้สารละลายกลีเซอรอล จะช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ลดความแข็งกระด้างของอาหารทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสดีขึ้นและช่วยลดค่า a_w (Moreira et al., 2006) ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลและเกลือร่วมกับสารละลายซูโครสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส และคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส ดังนั้นจึงแปรปัจจัยที่ศึกษาเป็น 2 ปัจจัย ดังนี้คือ

ปัจจัยที่ 1 การใช้กลีเซอรอล ความเข้มข้น 10 15 และ 20% w/v

ปัจจัยที่ 2 การใช้เกลือความเข้มข้น 0.5 และ 1% w/v

ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 7-2

ตารางที่ 7-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือร่วมกับสารละลายซูโครส

สิ่งที่ทดลอง	ซูโครส (%w/v)	กลีเซอรอล (%w/v)	เกลือ (%w/v)
1	40	10	0.5
2	40	10	1.0
3	40	15	0.5
4	40	15	1.0
5	40	20	0.5
6	40	20	1.0

ดำเนินการทดลองตามวิธีที่เลือกได้จากการทดลองข้อ 1 แต่ใช้สารละลายออสโมติกตามที่กำหนด

การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

นำถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการออสโมซิสมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายน้ำตาลส่วนเกินออก โดยแช่ลงในน้ำที่อัตราส่วนถั่วนิ้วนางแดง:น้ำ เป็น 1:10 w/v เป็นเวลา 1 นาที และวางซับบนกระดาษเป็นเวลา 1 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ปริมาณความชื้น และคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ตามรายละเอียดในตอนที่ 1

การวิเคราะห์คุณภาพถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

นำตัวอย่างเมล็ดถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการออสโมซิสทั้ง 6 สิ่งทดลอง มาวิเคราะห์คุณภาพด้านค่าสี ค่าความแข็ง และด้านประสาทสัมผัส โดยมีรายละเอียดเช่นเดียวกับในตอนที่ 1

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับการถ่ายเทมวลสาร โดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูง และทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร คือ สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) สูง (Chenlo et al., 2006) มาใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial (3×2) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี และความแข็ง ส่วนการประเมินด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range tests ด้วยโปรแกรม SPSS version 13

3. ศึกษาหาเวลาการทำแห้งถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสโดยใช้ลมร้อนเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

1) การสร้างกราฟการทำแห้ง

นำถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการออสโมซิส ตามวิธีที่เลือกได้จากการทดลองข้อ 2 มาอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด โดยใช้อุณหภูมิการอบแห้งเป็น 50°C (ดัดแปลงจากวิธีของวนิดา สระทองคำ, 2543) (เพื่อลดความชื้นและค่า a_w ลงให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) คือ มีความชื้นอยู่ในช่วง 15 - 40% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6 - 0.9 (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2528 และ Smith and Norvell, 1975)) โดยสุ่มตัวอย่างถั่วนิ้วนางแดง

ที่อบแห้งทุก 10 นาที นำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการทำแห้ง ทำนายเวลาในการทำแห้งจากกราฟ

2) การกำหนดความชื้นของผลิตภัณฑ์

คำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งให้ได้ความชื้นที่ต้องการ ซึ่งมี 3 ระดับ คือ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ จากสมการที่ได้จากกราฟการทำแห้งในข้อที่ 1) นำถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการออสโมซิสตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2 มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยอบแห้งตามเวลาที่ทำนายได้ แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า Water activity
- ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) ตามวิธีในภาคผนวก ข-1
- คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ด้านความชองลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9 = ชอบมากที่สุด ทดสอบโดยผู้บริโภคจำนวน 30 คน

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับค่า a_w และความชื้น โดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูง ร่วมกับมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.9 และความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% มาใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป และตรวจวัดปริมาณสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพดังต่อไปนี้

- ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DHPP (ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Karagozler *et al.*, 2008)
- ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Dewanto *et al.*, 2002)
- ปริมาณแอนโทไซยานิน (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Sun *et al.*, 2009)

4. การทดสอบผู้บริโภค

การดำเนินงานขั้นตอนนี้ทำเพื่อประเมินผลการยอมรับของผู้บริโภค แสดงผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรมส่วนหนึ่งถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ทำได้โดยนำถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่พัฒนาได้ซึ่งเลือกมาจากข้อ 3 มาดำเนินการทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 100 คน กลุ่มตัวอย่างเป้าหมายคือผู้บริโภคทั่วไป ออกแบบสอบถามให้ผู้บริโภคตอบคำถามด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์ และการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคร่วมกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสตัวอย่างผลิตภัณฑ์ แล้วให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส

รสชาติ และความชอบรวม นำผลจากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการคำนวณค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5. ศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

นำถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้จากขั้นตอนที่เลือกจากการทดลองข้อ 3 มาบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (ถุง LDPE เคลือบอะลูมิเนียมฟอยล์) บรรจุถั่วนิ้วนางแดงถุงละ 30 กรัม และปิดผนึกให้สนิท นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2°C) อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน และอุณหภูมิตู้เย็น(4±1°C) ซึ่งเป็นการเลียนแบบสภาวะจริงของการจำหน่าย สุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุกสัปดาห์ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน โดยวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- ค่าสี (L* a* และ b*) ด้วยเครื่องวัดสี ตามวิธีในภาคผนวก ข-1
- ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ตามวิธีในภาคผนวก ข-2
- ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า Water activity
- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา
- คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale กำหนดระดับความชอบดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9 = ชอบมากที่สุด ทดสอบโดยผู้บริโภคจำนวน 30 คน ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสต้องปลอดภัยสำหรับการบริโภค ในผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้แห้งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^3 CFU/g และมีปริมาณยีสต์ ราไม่เกิน 100 CFU/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546)

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาโดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานด้านความปลอดภัยกับผลิตภัณฑ์ที่เทียบเคียง คือ ผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้แห้ง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^3 CFU/g ปริมาณยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 CFU/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับค่า Water activity ปริมาณความชื้น ค่าสี ค่าความแข็ง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ส่วนการประเมินด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ผลทาง

สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS version 13

8. ผลการวิจัยและวิจารณ์ (Results & Discussion)

8.1 ผลของระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสและคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

ก่อนการออสโมซิสจำเป็นต้องทำให้ถั่วนิ้วนางแดงสุกก่อน ซึ่งเมื่อพิจารณาในขั้นตอนการทำให้ถั่วนิ้วนางแดงสุกก่อนการออสโมซิส น่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของถั่วนิ้วนางแดง โดยพบว่า การต้มถั่วนิ้วนางแดงเป็นเวลา 35 นาที ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวได้มากกว่าการต้มเป็นเวลา 30 นาที การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชในขั้นตอนการต้มนี้เป็นการเกิดเจลาทิไนเซชัน คือ การให้ความร้อนมีผลให้การยึดจับกันระหว่างโมเลกุลในเม็ดสตาร์ชลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดสตาร์ช เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญ โดยเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวขนาดใหญ่ขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) จากผลดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อให้เข้าใจได้ว่า วัตถุดิบเริ่มต้นมีการรับน้ำเพื่อใช้ในการพองตัวให้ถั่วนิ้วนางแดงสุกก่อนนำไปออสโมซิส

ผลจากการทดลองพบว่าถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส ส่วนใหญ่มีลักษณะนิ่มไม่เป็นไต คงรูปร่างเป็นเมล็ดถั่วที่สมบูรณ์ มีเพียงถั่วนิ้วนางแดงจากสิ่งทดลองที่ 8 ที่มีลักษณะค่อนข้างนิ่มและสังเกตเห็นรอยแตกที่เปลือกเล็กน้อย แสดงดังภาพที่ 8-1 ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวใช้เวลาในการต้มนานที่สุด (35 นาที) ใช้อุณหภูมิในการออสโมซิสสูงที่สุด (45 องศาเซลเซียส) และใช้เวลาในการออสโมซิสนานที่สุด (6 ชั่วโมง)

ภาพที่ 8-1 ถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส สิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ค่าสี (L* a* และ b*) ค่าความแข็ง และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส (ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวกตารางที่ จ-1 ถึง จ-12 และสามารถสรุปผลของระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสและคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสได้ดังตารางที่8-1

ตารางที่ 8-1 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

($Time_b$ =เวลาต้ม Temp = อุณหภูมิออสโมซิส และ $Time_o$ = เวลาออสโมซิส)

ค่าคุณภาพ	$Time_b$	Temp	$Time_o$	$Time_b$ × Temp	$Time_b$ × $Time_o$	Temp × $Time_o$	$Time_b$ × Temp × $Time_o$
WL	*	*	*	ns	ns	*	*
SG	*	*	*	*	*	*	*
WR	*	*	*	ns	*	*	*
L*	*	*	*	ns	*	*	*
a*	ns	*	*	*	*	*	*
b*	*	*	*	*	*	*	*
ความแข็ง	*	*	ns	*	*	*	*
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
ความชอบด้านสี	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
ความชอบด้านรสชาติ	*	ns	*	ns	ns	ns	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	ns	ns	ns	ns	ns	*
ความชอบโดยรวม	*	ns	*	ns	*	*	*

หมายเหตุ * หมายถึง มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

จากตารางที่ 8-1 พบว่าปัจจัยด้านระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิสมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) คุณภาพทางด้านกายภาพของถั่วนิ้วนางแดง ด้านสี (L* a* และ b*) และค่าความแข็ง รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

8.1.1 ค่าการถ่ายเทมวลสารของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

จากตารางที่ 8-2 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss: WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain: SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reduction: WR) ของทุกสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 9.34-16.33 8.85-12.95 และ 0.58-1.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการออสโมซิสถั่วนิ้วนางแดงมีการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้น เนื่องจากก่อนออสโมซิส จำเป็นต้องทำให้ถั่วนิ้วนางแดงสุกก่อน โดยการนำถั่วนิ้วนางแดงมาต้มในน้ำเดือด มีผลทำให้ถั่วนิ้วนางแดงแห้งมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น การออสโมซิสสามารถกำจัดน้ำออกจากถั่วนิ้วนางแดงได้ การแช่ถั่วนิ้วนางแดงในสารละลายซูโครสความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารแบบสวนทางกัน โดยน้ำที่อยู่ในถั่วนิ้วนางแดงจะแพร่ออกสู่สารละลายในขณะเดียวกันตัวถูกละลาย (น้ำตาลซูโครส) จะแพร่เข้าสู่ภายในถั่วนิ้วนางแดง (Lenart & Flink, 1984; อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533) ทำให้น้ำหนักของถั่วนิ้วนางแดงส่วนใหญ่ลดลง ซึ่งเป็นผลสุทธิของการถ่ายเทมวลของน้ำที่แพร่ออกจากถั่วนิ้วนางแดงซึ่งน้อยกว่าของแข็งที่แพร่เข้าไปในเซลล์ของถั่วนิ้วนางแดงนั่นเอง

จากผลการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 8 มีค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL และ WR) สูงที่สุด แตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองดังกล่าวเกิดจากการนำถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการต้มเป็นเวลานาน ซึ่งน่าจะมีปริมาณน้ำเริ่มต้นในถั่วนิ้วนางแดงก่อนการออสโมซิสสูง สภาวะเช่นนี้ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของอาหารและสารละลาย เกิดเป็นแรงขับ (Driving force) สูง ทำให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างเซลล์ของอาหารและสารละลายมาก (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533) นอกจากนี้สิ่งทดลองดังกล่าวมีการใช้ปัจจัยด้านการใช้อุณหภูมิในการออสโมซิสสูง และใช้เวลาในการออสโมซิสนานที่สุด ซึ่งอุณหภูมิมีผลให้เกิดการกระตุ้นการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้น และเวลาที่นานขึ้นจะช่วยทำให้กระบวนการออสโมซิสดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง มีโอกาสให้เกิด

การถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chenlo et al. (2007) ที่ได้ศึกษาการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของเกาลัด โดยแช่เกาลัดในสารละลายซูโครส พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเท่ากัน อุณหภูมิในการออสโมซิสแตกต่างกัน (25 35 และ 45 องศาเซลเซียส) จะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียแตกต่างกัน โดยการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น มีผลให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงขึ้น

หากพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสด้านอุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส พบว่าทั้งถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 30 และ 35 นาที มีการเปลี่ยนแปลงการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการออสโมซิส (45 องศาเซลเซียส) จะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (27 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างของอาหารเปลี่ยนสภาพไป กล่าวคือทำให้เซลล์อ่อนตัว ส่งเสริมให้เกิดการ
แพร่ผ่านของน้ำและตัวถูกละลายได้ดีกว่าและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ และการเพิ่มอุณหภูมิยังทำให้ความหนืดของน้ำเชื่อมลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำตาลสะดวกขึ้น (วันวิสาข์ กระแสคุปต์, 2535)

ตารางที่ 8-2 ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและระยะเวลาในการออสโมซิส

สิ่งทดลองที่	เวลาต้ม (นาที)	อุณหภูมิออสโมซิส	เวลาการออสโมซิส (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
				WL (%)	SG (%)	WR (%)
1	30	อุณหภูมิห้อง	3	9.34^{e}±0.15	8.85^{g}±0.10	0.77^{d}±0.02
2	30	อุณหภูมิห้อง	6	11.72^{d}±0.10	11.92^{d}±0.01	0.61^{e}±0.02
3	30	45°C	3	11.77^{d}±0.40	11.53^{e}±0.05	0.58^{e}±0.01
4	30	45°C	6	12.92^{bc}±0.04	12.85^{b}±0.02	0.74^{d}±0.01
5	35	อุณหภูมิห้อง	3	13.08^{bc}±0.35	12.94^{a}±0.01	0.91^{b}±0.01
6	35	อุณหภูมิห้อง	6	12.50^{cd}±0.44	12.95^{a}±0.02	1.02^{a}±0.01
7	35	45°C	3	13.58^{b}±0.07	12.39^{c}±0.01	0.86^{c}±0.02
8	35	45°C	6	16.33^{a}±0.26	11.03^{f}±0.01	1.04^{a}±0.01

$^{a,b,c,...}$ หมายถึงค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึงค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

8.1.2 ค่าคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

1) ค่าสี (L* a* และ b*)

จากตารางที่ 8-3 แสดงค่าสี (L* a* และ b*) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส ซึ่งพบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคุณภาพด้านความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าค่า L* อยู่ในช่วง 18.70-22.91 ค่า a* อยู่ในช่วง 5.62-7.05 และค่า b* อยู่ในช่วง 4.87-5.75 ทั้งนี้สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้เวลาในการต้มน้อย (30 นาที) อุณหภูมิในการออสโมซิสต่ำ (อุณหภูมิห้อง) และเวลาในการออสโมซิสน้อย (3 ชั่วโมง) มีค่า L* a* และ b* สูงที่สุด ซึ่งหมายถึงถั่วนิ้วนางแดงมีค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองมากที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 8 ใช้เวลาในการต้มนาน (35 นาที) อุณหภูมิในการออสโมซิสสูง (อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส) และเวลาในการออสโมซิสนาน (6 ชั่วโมง) มีค่า L* a* และ b* ต่ำที่สุด ซึ่งหมายถึงถั่วนิ้วนางแดงมีค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าการใช้สภาวะในการกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส (อุณหภูมิในการออสโมซิสสูง เวลาในการออสโมซิสนาน) มีผลให้ความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองลดลง

2) ค่าความแข็ง (Hardness)

จากตารางที่ 8-3 แสดงค่าความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส ซึ่งพบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าคุณภาพด้านความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งใช้เวลาในการต้มน้อย (30 นาที) อุณหภูมิในการออสโมซิสสูง (อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส) และเวลาในการออสโมซิสน้อย (3 ชั่วโมง) มีค่าความแข็งมากที่สุดคือ 8.44 N ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 8 ใช้เวลาในการต้มนาน (35 นาที) อุณหภูมิในการออสโมซิสสูง (อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส) และเวลาในการออสโมซิสนาน (6 ชั่วโมง) มีค่าความแข็งน้อยที่สุดคือ 3.34 N ทั้งนี้อาจเกิดจากการต้มถั่วนิ้วนางแดงเป็นเวลานาน มีผลทำให้เมล็ดถั่วดูดซึมน้ำได้มากกว่า ส่งผลให้ถั่วนิ้วนางแดงนิ่มมากขึ้นค่าความแข็งที่วัดได้จากเครื่อง วัดเนื้อสัมผัสจึงมีค่าต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่เห็น คือสิ่งทดลองที่ 8 มีลักษณะค่อนข้างนิ่มและสังเกตเห็นรอยแตกที่เปลือกเล็กน้อย

ตารางที่ 8-3 ค่าสี (L* a* และ b*) และความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

สิ่งทดลองที่	เวลาต้ม (นาที)	อุณหภูมิออสโมซิส	เวลาออสโมซิส (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
				ค่าสี			ความแข็ง (N)
				L*	a*	b*	
1	30	อุณหภูมิห้อง	3	22.91^{a} ±0.01	7.05^{a} ±0.03	5.75^{a} ±0.02	8.16^{a} ±0.02
2	30	อุณหภูมิห้อง	6	22.33^{b} ±0.07	5.72^{cd} ±0.03	4.98^{bcd} ±0.04	7.16^{bc} ±0.15
3	30	45 °C	3	19.33^{e} ±0.28	6.73^{b} ±0.06	4.93^{cd} ±0.09	8.44^{a} ±0.31
4	30	45 °C	6	20.19^{d} ±0.06	5.89^{c} ±0.06	4.95^{cd} ±0.05	7.60^{b} ±0.17
5	35	อุณหภูมิห้อง	3	21.92^{c} ±0.07	6.59^{b} ±0.09	5.06^{bc} ±0.05	3.44^{d} ±0.07
6	35	อุณหภูมิห้อง	6	21.90^{c} ±0.08	6.68^{b} ±0.14	5.08^{b} ±0.07	6.74^{c} ±0.12
7	35	45 °C	3	18.70^{f} ±0.06	6.68^{b} ±0.14	4.95^{cd} ±0.06	3.54^{d} ±0.28
8	35	45 °C	6	19.56^{e} ±0.19	5.62^{d} ±0.06	4.87^{d} ±0.03	3.34^{d} ±0.16

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

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

3) ค่าคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale

จากตารางที่ 8-4 แสดงคะแนนความชอบด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดงอุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส ซึ่งพบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกันต่อคะแนนด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อคะแนนด้านลักษณะปรากฏและสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยคะแนนด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 6.43-6.90 ด้านสีอยู่ในช่วง 6.20-6.57 ซึ่งหมายถึงความชอบระดับเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ด้านรสชาติอยู่ในช่วง 6.53-7.23 ซึ่งหมายถึงความชอบระดับเล็กน้อยถึงชอบมาก ด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 5.85-7.20 ซึ่งหมายถึงความชอบระดับเฉยๆ ถึงชอบมาก ด้านความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.20-7.40 ซึ่งหมายถึงความชอบระดับเล็กน้อยถึงชอบมาก จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่าแม้ผลจากการทดสอบคุณภาพด้านสีจากการวัดโดยเครื่องวัดสีพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับค่าสี (L^* a^* และ b^*) (ตารางที่ 8-3) แต่ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) อาจแสดงให้เห็นว่าแม้สีของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านสีของผู้ทดสอบ ในขณะที่ผลการทดสอบคุณภาพด้านค่าของความแข็งจากการวัดโดยเครื่อง Texture analyzer พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ให้ผลที่มีความสัมพันธ์กับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นกัน จากตารางที่ 8-3 พบว่าสิ่งทดลองที่ 8 มีค่าความแข็งน้อยที่สุด (3.34 N) และได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูง คือ 7.0 ซึ่งหมายถึงชอบปานกลาง และสิ่งทดลองที่ 3 มีค่าความแข็งมากที่สุด (8.44 N) และได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสต่ำ คือ 6.27 ซึ่งหมายถึงชอบเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคไม่ชอบถั่วนิ้วนางแดงที่มีเนื้อสัมผัสแข็ง โดยสิ่งทดลองที่ 6 ได้คะแนนความชอบทุกด้านสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 8-4 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

สิ่งทดลองที่	เวลาต้ม (นาที)	อุณหภูมิออสโมซิส	เวลาออสโมซิส (ชั่วโมง)	คะแนนความชอบ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
				ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	30	อุณหภูมิห้อง	3	6.47 ±0.92	6.57 ±0.80	6.53^{b} ±0.67	6.00^{b} ±0.52	6.20^{d} ±0.54
2	30	อุณหภูมิห้อง	6	6.63 ±0.95	6.43 ±0.92	6.63^{b} ±0.80	5.85^{b} ±0.62	6.27^{e} ±0.57
3	30	45 °C	3	6.63 ±0.91	6.33 ±0.91	6.57^{b} ±0.76	6.03^{b} ±0.75	6.27^{e} ±0.68
4	30	45 °C	6	6.63 ±0.87	6.20 ±0.87	6.83^{ab} ±0.86	6.23^{b} ±0.88	6.20^{d} ±0.79
5	35	อุณหภูมิห้อง	3	6.90 ±0.79	6.27 ±0.93	6.83^{ab} ±0.69	6.87^{a} ±0.76	6.57^{b} ±0.72
6	35	อุณหภูมิห้อง	6	6.73 ±0.89	6.40 ±0.95	7.23^{a} ±0.62	7.20^{a} ±0.40	7.40^{a} ±0.66
7	35	45 °C	3	6.43 ±0.84	6.40 ±0.80	6.90^{ab} ±0.75	7.00^{a} ±0.86	6.70^{c} ±0.86
8	35	45 °C	6	6.63 ±0.91	6.57 ±0.84	6.80^{b} ±0.83	7.00^{a} ±0.68	6.67^{a} ±0.70

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

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

8.1.3 การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

พิจารณาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสร่วมกับการถ่ายเทมวลสาร โดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับความชอบโดยรวมสูงและให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร คือสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) สูง เพื่อใช้ในการทดลองตอนต่อไป จากตารางที่ 8-5 พบว่าค่า WL/SG ของสิ่งทดลองที่ 6 7 และ 8 มีค่าสูง โดยค่าอยู่ในช่วง 1.10-1.16

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบโดยรวม พบว่าสิ่งทดลองที่ 6 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก จึงพิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งดำเนินการโดยนำถั่วนิ้วนางแดงมาต้มเป็นเวลา 35 นาที ใช้อุณหภูมิในการออสโมซิสที่อุณหภูมิห้อง และใช้เวลาในการออสโมซิส 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 8-5 คะแนนความชอบโดยรวม และค่า WL/SG ของสิ่งทดลอง ที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

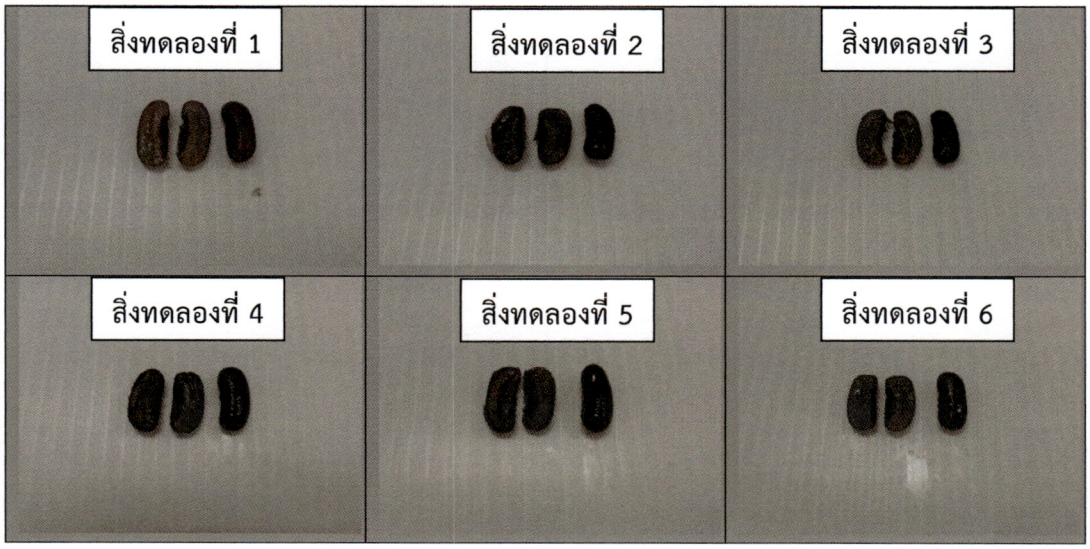
สิ่งทดลองที่	เวลาต้ม (นาที)	อุณหภูมิออสโมซิส	เวลาออสโมซิส (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
				ความชอบโดยรวม	WL/SG
1	30	อุณหภูมิห้อง	3	6.20^{d} ±0.54	1.04^{b} ±0.01
2	30	อุณหภูมิห้อง	6	6.27^{e} ±0.57	1.04^{b} ±0.01
3	30	45 °C	3	6.27^{e} ±0.68	1.03^{b} ±0.00
4	30	45 °C	6	6.20^{d} ±0.79	1.02^{b} ±0.01
5	35	อุณหภูมิห้อง	3	6.57^{b} ±0.72	1.02^{b} ±0.01
6	35	อุณหภูมิห้อง	6	7.40^{a} ±0.66	1.16^{a} ±0.06
7	35	45 °C	3	6.70^{c} ±0.86	1.10^{a} ±0.01
8	35	45 °C	6	6.67^{a} ±0.70	1.15^{a} ±0.03

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

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

8.2 ผลของการใช้กลีเซอรอลและเกลือร่วมกับสารละลายซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสและคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

เมื่อนำถั่วนิ้วนางแดงมาต้มเป็นเวลา 35 นาที ใช้อุณหภูมิการออสโมซิสที่อุณหภูมิห้อง และใช้เวลาในการออสโมซิส 6 ชั่วโมง โดยขั้นตอนนี้ศึกษาผลของการใช้สารละลายผสมระหว่างกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครสในการออสโมซิส พบว่าถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสมีลักษณะผิวมันวาว นุ่มชุ่มชื้น และมีสีแดงเข้มลดลงเมื่อเทียบกับถั่วนิ้วนางแดงดิบ แสดงดังภาพที่ 8-2



ภาพที่ 8-2 ถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสจากสิ่งทดลองที่ใช้กลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ค่าสี (L* a* และ b*) ค่าความแข็ง และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม) รายละเอียดแสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ-15 ถึง จ-25 สามารถสรุปผลของการใช้กลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสและคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส ได้ดังตารางที่ 8-6

ตารางที่ 8-6 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ใช้ร่วมกับสารละลายซูโครส (G = กลีเซอรอล และ S = เกลือ)

ค่าคุณภาพ	G	S	G×S
WL	*	*	*
SG	*	*	*
WR	*	*	*
L*	*	*	*
a*	*	*	*
b*	*	*	*
ค่าความแข็ง	*	*	*
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ns	ns	*
ความชอบด้านสี	ns	ns	*
ความชอบด้านรสชาติ	ns	ns	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	ns	ns	*
ความชอบโดยรวม	ns	*	*

หมายเหตุ * หมายถึง มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

จากตารางที่ 8-6 พบว่า ความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือมีอิทธิพลร่วมกันกับค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ค่าสี (L* a* และ b*) ค่าความแข็ง และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

8.2.1 ค่าการถ่ายเทมวลสารของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

จากตารางที่ 8-7 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอ- รอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss: WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain: SG) และ ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reduction: WR) ของทุกสิ่งทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 12.90-18.63% 11.79-18.35% และ 0.28-1.58%

ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ 6 ตอนที่ 8.1.1 ที่มีการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียวซึ่งมีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 12.50% 12.95% และ 1.02% ตามลำดับ (ตารางที่ 8-2) แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายผสมของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครสทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร คือ WL เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายเกลือทำให้เกิดแรงขับมากขึ้น ส่วนการใช้สารละลายกลีเซอรอล ซึ่งคุณสมบัติ คือ ขนาดโมเลกุลเล็ก และมีจำนวนหมู่แอลกอฮอล์ต่อจำนวนคาร์บอนสูง จึงทำให้มีการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำอิสระได้มากกว่าซูโครส ทำให้การถ่ายเทมวลสารดีขึ้น (นิราศ กิ่งวาที, 2546) Moreira et al. (2006) รายงานว่าการใช้สารละลายกลีเซอรอลและสารละลายเกลือเป็นสารละลายออสโมติกในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในเกาลัด ทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง Azaoubel and Murr. (2004) รายงานว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างซูโครสกับกลีเซอรอล ทำให้มวลโมเลกุลรวมของสารละลายลดลงเมื่อเทียบกับการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้น Tanon et al. (2007) พบว่า ในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของส้มสายน้ำผึ้งที่มีการใช้สารลายผสมระหว่างซูโครสและโซเดียมคลอไรด์ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมีค่าสูงกว่าการใช้สารละลายซูโครสเพียงชนิดเดียว จึงทำให้ส้มสายน้ำผึ้งมีการสูญเสียน้ำมากขึ้น

นอกจากนี้พบว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส มีผลทำให้ค่า SG และ WR มีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่อเทียบกับการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว เนื่องมาจากกลีเซอรอลสามารถละลายน้ำได้ดีเมื่อแพร่เข้าไปในชิ้นอาหาร และโมเลกุลของกลีเซอรอลสามารถจับกับน้ำในอาหารด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้การแพร่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายชนิดอื่นเข้าไปภายในชิ้นผลิตภัณฑ์ได้น้อยลง (นิราศ กิ่งวาที, 2546) Antonio et al. (2008) ศึกษากระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของมันเทศในสารละลายผสมระหว่างสารละลายซูโครสกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์จะทำให้เกิดแรงขับมากขึ้น และการใช้สารละลายผสมนี้จะทำให้ปริมาณของแข็งลดลงเมื่อเทียบกับการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 8-7 ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ใช้ร่วมกับสารละลายซูโครส

สิ่งทดลองที่	ซูโครส (% w/v)	กลีเซอรอล (% w/v)	เกลือ (% w/v)	ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
				WL (%)	SG (%)	WR (%)
1	40	10	0.5	12.90^{e} ±0.23	10.79^{d} ±0.11	1.27^{a} ±0.01
2	40	10	1.0	15.12^{d} ±0.21	11.79^{c} ±0.27	1.34^{a} ±0.09
3	40	15	0.5	17.47^{c} ±0.34	12.88^{b} ±0.36	0.59^{b} ±0.02
4	40	15	1.0	17.96^{bc} ±0.33	12.65^{b} ±0.68	1.58^{a} ±0.01
5	40	20	0.5	18.30^{ab} ±0.29	14.21^{a} ±0.17	0.34^{b} ±0.01
6	40	20	1.0	18.63^{a} ±0.24	14.35^{a} ±0.26	0.28^{b} ±0.02

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

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

จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุดที่แตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องมาจากสิ่งทดลองดังกล่าว ใช้กลีเซอรอลและเกลือระดับความเข้มข้นสูงที่สุด คือ 20% และ 1.0% ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 มีค่าการถ่ายเทมวลสารต่ำที่สุด เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าว ใช้กลีเซอรอลและเกลือระดับความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ 10% และ 0.5% ตามลำดับ

8.2.2 ค่าคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส

1) ค่าสี (L* a* และ b*)

จากตารางที่ 8-8 แสดงผลของค่าสี (L* a* และ b*) ของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส พบว่า ค่าสี L* a* และ b* ของทุกสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 18.46-23.50 4.78-6.91 และ 2.88-6.48 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับที่มีการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว ให้ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 21.90 6.68 และ 5.08 ตามลำดับ (สิ่งทดลองที่ 6 ตารางที่ 8-3) แสดงให้เห็นว่าการใช้กลีเซอรอลและเกลือมีผลทำให้แนวโน้มค่าสีมีค่าเพิ่มขึ้น จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ให้ค่า L* สูงที่สุด แตกต่างจากสิ่งทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างมากที่สุด

2) ค่าความแข็ง (Hardness)

จากตารางที่ 8-8 แสดงผลของค่าความแข็งของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส พบว่า การใช้กลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส มีผลให้ค่าความแข็งของทุกสิ่งทดลองมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 3.53-4.42 N เมื่อเปรียบเทียบกับที่มีการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว ให้ค่าความแข็งเป็น 6.74 N (สิ่งทดลองที่ 6 ตารางที่ 8-3) แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายผสมมีผลทำให้ถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสมีค่าความแข็งลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการใช้กลีเซอรอลซึ่งจัดเป็นสารประกอบประเภทโพลี ไฮดรอกซี แอลกอฮอล์ ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้เป็นอย่างดี ดังนั้น เมื่อกลีเซอรอลแพร่เข้าไปในอาหารทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะอุ้มน้ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 มีค่าความแข็งสูง แตกต่างจากสิ่งทดลองที่ 4 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองดังกล่าว ใช้กลีเซอรอล และเกลือที่ระดับความเข้มข้น 15% และ 0.5% ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 5 และ 6 มีค่าความแข็งต่ำ เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวใช้กลีเซอรอลและเกลือในระดับความเข้มข้นสูง คือ กลีเซอรอล 15% เกลือ 1.0% กลีเซอรอล 20% เกลือ 0.5% และกลีเซอรอล 20% เกลือ 1.0% ตามลำดับ

3) ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale

จากตารางที่ 8-9 พบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ อยู่ในช่วง 6.60-7.13 6.40-6.93 6.67-7.23 6.37-6.93 และ 6.47-7.30 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง จากการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เนื่องมาจากสิ่งทดลองดังกล่าว ใช้กลีเซอรอลในระดับปานกลาง คือ 15% และเกลือระดับความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ 0.5% เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายไม่สูงมาก จึงทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูง แตกต่างจากสิ่งทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 8-8 ค่าสี (L* a* และ b*) และความแข็ง (Hardness) ของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

สิ่งทดลองที่	ซูโครส (% w/v)	กลีเซอรอล (% w/v)	เกลือ (% w/v)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
				ค่าสี			ความแข็ง (N)
				L*	a*	b*	
1	40	10	0.5	20.95^{bc} ±0.61	6.23^{cd} ±0.02	5.20^{c} ±0.02	4.64^{a} ±0.08
2	40	10	1.0	21.15^{b} ±0.47	6.42^{bc} ±0.17	5.10^{c} ±0.14	4.24^{b} ±0.05
3	40	15	0.5	23.50^{a} ±0.43	4.78^{e} ±0.02	2.88^{d} ±0.13	4.42^{ab} ±0.21
4	40	15	1.0	20.16^{cd} ±0.16	6.59^{b} ±0.08	6.01^{b} ±0.26	3.53^{c} ±0.10
5	40	20	0.5	19.84^{d} ±0.31	6.91^{a} ±0.21	6.48^{a} ±0.33	3.64^{c} ±0.07
6	40	20	1.0	18.46^{e} ±0.39	6.05^{d} ±0.05	5.29^{c} ±0.02	3.72^{c} ±0.07

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

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

ตารางที่ 8-9 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชองโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

สิ่งทดลองที่	ซูโครส (% w/v)	กลีเซอรอล (% w/v)	เกลือ (% w/v)	คะแนนความชอบ ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
				ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	40	10	0.5	6.73^{ab} ±0.77	6.77^{ab} ±0.84	6.70^{ab} ±0.90	6.43^{ab} ±0.88	6.83^{b} ±0.90
2	40	10	1.0	6.80^{ab} ±0.91	6.83^{ab} ±0.97	6.87^{ab} ±0.85	6.93^{a} ±0.96	6.80^{b} ±0.79
3	40	15	0.5	7.13^{a} ±0.72	6.93^{a} ±0.89	7.23^{a} ±0.92	6.93^{a} ±0.81	7.30^{a} ±0.59
4	40	15	1.0	6.63^{b} ±0.80	6.40^{b} ±0.88	6.67^{b} ±0.94	6.37^{b} ±0.95	6.57^{b} ±0.84
5	40	20	0.5	6.60^{b} ±0.80	6.57^{ab} ±0.92	6.70^{b} ±0.97	6.77^{ab} ±0.99	6.80^{b} ±0.75
6	40	20	1.0	6.70^{ab} ±0.97	6.57^{ab} ±0.92	6.77^{ab} ±0.96	6.53^{ab} ±0.85	6.47^{b} ±0.88

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

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

8.2.3 การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

พิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับการถ่ายเทมวลสาร โดยเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูง และทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารสูง คือ สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) สูง เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป จากตารางที่ 8-10 คะแนนความชอบโดยรวมและค่า WL/SG ของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับการใช้สารละลายซูโครส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.57-7.30 และ WL/SG มีค่าอยู่ในช่วง 1.01-1.08

ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด แตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาค่า WL/SG พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 มีค่า WL/SG สูง เท่ากับ 1.08 โดยไม่แตกต่างกันกับสิ่งทดลองที่ 1 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่า WL/SG เท่ากับ 1.09 1.06 และ 1.08 ตามลำดับ

ตารางที่ 8-10 คะแนนความชอบโดยรวม และค่า WL/SG ของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

สิ่งทดลองที่	ซูโครส (% w/v)	กลีเซอรอล (% w/v)	เกลือ (% w/v)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
				ความชอบโดยรวม	WL/SG
1	40	10	0.5	6.83^{b} ±0.90	1.09^{a} ±0.01
2	40	10	1.0	6.80^{b} ±0.79	1.06^{ab} ±0.04
3	40	15	0.5	7.30^{a} ±0.59	1.07^{a} ±0.00
4	40	15	1.0	6.57^{b} ±0.84	1.08^{a} ±0.03
5	40	20	0.5	6.80^{b} ±0.75	1.02^{b} ±0.01
6	40	20	1.0	6.47^{b} ±0.88	1.01^{b} ±0.00

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

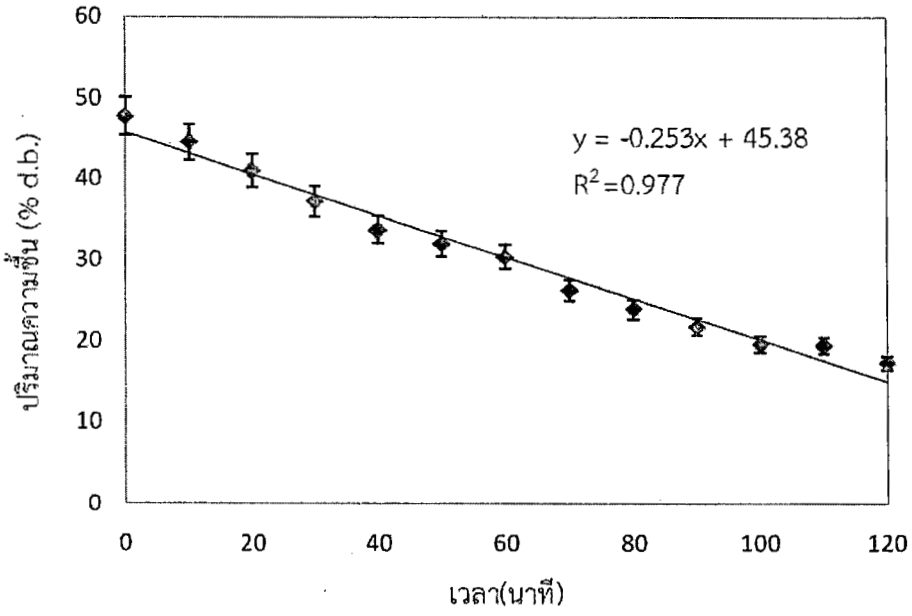
^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

8.3 ศึกษาหาเวลาการทำแห้งถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสโดยใช้ลมร้อนเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง

การทำแห้งเป็นการลดความชื้นในอาหารรวมทั้งเป็นการลดค่า a_w ในอาหาร คือ การลดปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ ซึ่งอาหารที่มีน้ำมากจะเกิดการเสื่อมเสียเร็ว (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550) ในการทดลองนี้ต้องการลดความชื้นและค่า a_w ของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสลงให้ได้เป็นผลิต ภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) โดยให้มีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.9 (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2528 และ Smith and Norvell, 1975) ในการทดลองนี้ทำการลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลง โดยแบ่งเป็น 3 ระดับคือ ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้น 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์

8.3.1 ผลการสร้างกราฟการทำแห้ง

การทำแห้งถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที (2 ชั่วโมง) สุ่มตัวอย่างถั่วนิ้วนางแดงทุกๆ 10 นาที นำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ผลการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการทำแห้ง แสดงดังภาพที่ 8-3



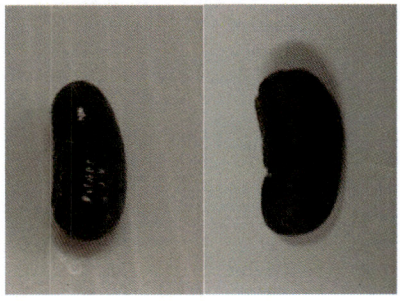
ภาพที่ 8-3 ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนไปในระหว่างการอบแห้ง

จากภาพที่ 8-3 พบว่า ปริมาณความชื้นในถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสลดลงอย่างต่อเนื่องตามเวลาในการทำแห้ง โดยปริมาณความชื้นลดลงจาก 47.74 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 17.26 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออบแห้งนาน 2 ชั่วโมง การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน เป็นการทำให้ถั่วนิ้วนางแดงสัมผัสกับอากาศร้อน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังผิวอาหาร และทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านชั้นของอากาศรอบๆ อาหารและถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน ทำให้ความดันไอของอากาศที่ผิวลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับอากาศร้อน ความแตกต่างนี้เป็นผลให้เกิดแรงผลักดันให้น้ำระเหยออกมาจากด้านในของชิ้นอาหารออกมาสู่ผิวอาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

จากกราฟในภาพที่ 8-3 สามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลา (x) เพื่อใช้ทำนายเวลาการทำแห้งถั่วนิ้วนางแดงให้ได้ความชื้น 3 ระดับ คือ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า สมการมีค่า R^2 ซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของสมการค่อนข้างสูงถึง 0.977 โดยทั่วไปสมการที่มักนำมาใช้ ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 แสดงถึงสมการมีความน่าเชื่อถือมาก (Haaland, 1988; Hu, 1999) ซึ่งจากสมการสามารถทำนายเวลาในการในการทำแห้งให้ได้ความชื้น 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ คือ 120.08 100.32 และ 80.55 นาที ตามลำดับ เพื่อให้สะดวกต่อการดำเนินการทดลองจึงปรับเวลาในการอบแห้งเป็น 120 100 และ 80 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 8-11) เมื่อนำถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสมาอบแห้งตามเวลาข้างต้นแล้ว พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสุดท้าย คือ 15.43±0.27 20.40±0.26 และ 25.31±0.19 ตามลำดับ ลักษณะของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสและถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง แสดงดังภาพที่ 8-4 ซึ่งพบว่าผิวนอกของถั่วนิ้วนางแดงมีลักษณะหดตัว มีรอยเหี่ยวย่น และค่อนข้างแห้ง

ตารางที่ 8-11 ปริมาณความชื้นที่กำหนด เวลาในการทำแห้งที่ได้จากการคำนวณ ปริมาณความชื้นจริงในผลิตภัณฑ์ และเวลาที่ใช้ในการทำแห้งจริง

ความชื้นที่กำหนด (% dry weight basis)	เวลาในการทำแห้งที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ (นาที)	เวลาในการทำแห้งจริง (นาที)	ปริมาณความชื้นจริงในผลิตภัณฑ์ (% dry weight basis)
15	120.08	120	15.43±0.27
20	100.32	100	20.40±0.26
25	80.55	80	25.31±0.19

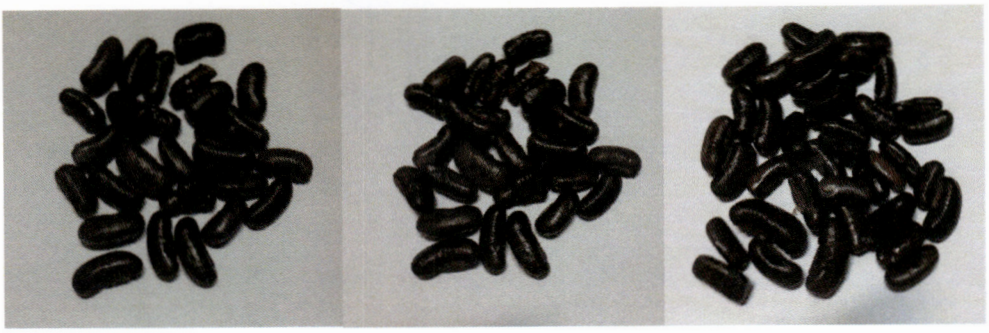


(ก) (ข)

ภาพที่ 8-4 ภาพเปรียบเทียบถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส (ก) และถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง (ข)

8.3.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง

นำถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการออสโมซิสมาอบแห้งเป็นเวลา 120 100 และ 80 นาที ได้เป็นผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งดังภาพที่ 4-5 โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งไม่มีสารละลายเคลือบที่ผิว ผิวมีรอยเหี่ยวย่น เนื้อสัมผัสแข็งเล็กน้อย และยังคงมีสีแดงเข้ม ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งมีรายละเอียดดังนี้



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 8-5 ผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 15 (ก) 20 (ข) และ 25 (ค) เปอร์เซ็นต์

1) คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพ

ตารางที่ 8-12 ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง

คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส	ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น (เปอร์เซ็นต์)		
		15	20	25
ค่า a_w	0.971±0.006	0.733±0.009	0.793±0.007	0.842±0.005
ปริมาณความชื้น	47.74±0.14	15.43±0.27	20.40±0.26	25.31±0.91
L*	29.75±0.04	25.21±0.17	26.57±0.18	27.18±0.16
a*	6.97±0.03	5.66±0.02	5.84±0.03	6.01±0.04
b*	5.73±0.12	5.10±0.05	5.48±0.05	5.64±0.04
ค่าความแข็ง	4.42±0.21	7.80±0.01	7.34±0.02	6.93±0.02

จากตารางที่ 8-12 พบว่าผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 15 20 และ 25 % มีค่า a_w เท่ากับ 0.733 0.793 และ 0.842 ตามลำดับ และมีปริมาณความชื้น 15.43 20.40 และ 25.31 % ตามลำดับ จัดว่าทั้ง 3 ระดับความชื้นเป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง เนื่องจากมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40 % มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.9 โดยเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาทางเคมีและใช้ในการเจริญเติบโตได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2528

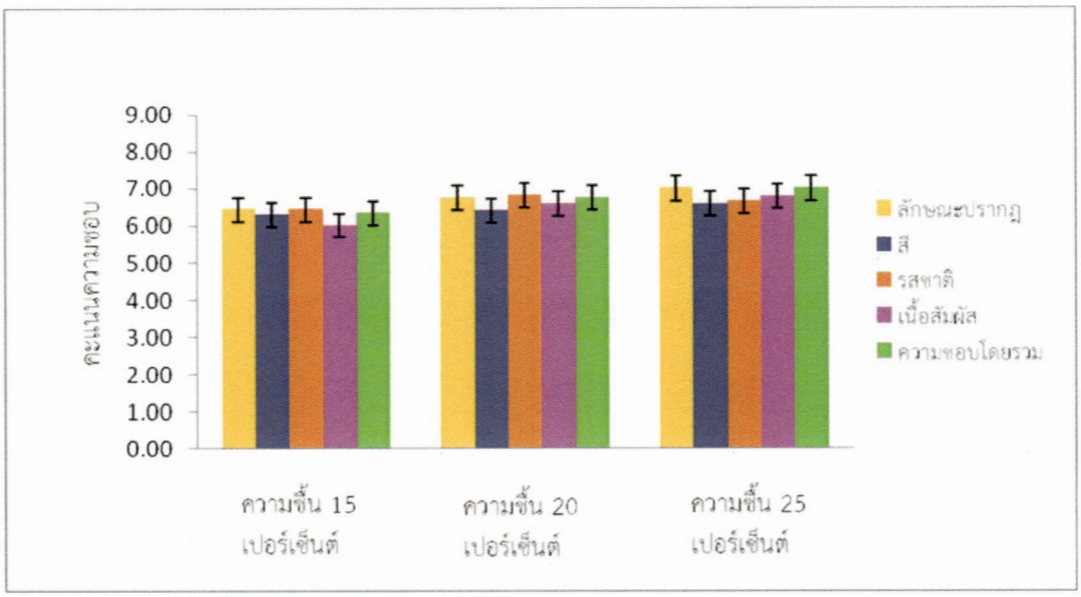
และ Smith and norvell, 1975; ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539) ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งมีคุณสมบัติในการคงตัวดี ไม่เสื่อมเสียได้ง่าย ซึ่งจากกระบวนการผลิตถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพบว่าการออสโมซิสสามารถลดปริมาณความชื้นและค่า a_w ของถั่วนิ้วนางแดงหลังการทำให้สุกลงได้จนมีค่าปริมาณความชื้นและ a_w เท่ากับ 47.74 เปอร์เซ็นต์ และ0.971 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์โดยไม่ใช้ความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่าง ๆ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และมีผลให้ลดเวลาในการทำแห้งโดยใช้ความร้อนลงได้

เมื่อพิจารณาด้านค่าสี (L* a* และ b*) พบว่าผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงลดลงเมื่อเทียบกับค่าสีของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส โดยผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 25 เปอร์เซ็นต์มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงลดลงน้อยที่สุด เนื่องจากการอบแห้งมีผลให้ลักษณะผิวหน้าของอาหารเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการสะท้อนแสงสีที่เปลี่ยน และยังมีผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ที่เกิดระหว่างการอบแห้ง (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550) และในระหว่างการอบแห้ง น้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้าและระเหยออกไป พาของแข็งที่ละลายน้ำได้ออกมาที่ผิวด้วย ทำให้ความเข้มข้นของสารดังกล่าวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนที่ทำให้อาหารเกิดลีน้ำตาลได้

เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง (Hardness) ของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสและผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 15 20 และ 25 % พบว่าค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 15 20 และ 25 % มีค่าเท่ากับ 7.80 7.34 และ 6.93 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าความแข็งของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส โดยถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 25 % มีค่าความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำที่ผิวของถั่วนิ้วนางแดงเกิดการระเหยจากผิวหน้าของอาหารไปสู่อากาศ จึงมีลักษณะเป็นเปลือกแข็งหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ หรือมีสารละลายน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว และการหดตัวของถั่วนิ้วนางแดงในการอบแห้ง เมื่อน้ำระเหยไปจะเกิดช่องว่างขึ้นทำให้เซลล์ของอาหารเชื่อมโยงติดกันถูกดึงให้เข้าไปแทนที่ช่องว่างนั้น เซลล์จะหดตัวแต่ไม่สามารถหดเข้าไปได้เท่าๆ กันทุกส่วน (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

2) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale

ผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่ได้มีลักษณะผิวค่อนข้างแห้ง คงรูปร่างดี มีรอยเหี่ยวย่นที่ผิวเล็กน้อย พบว่าถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 25 % มีลักษณะการเกิดรอยเหี่ยวย่นที่ผิวมากที่สุด ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น มีรสหวานปานกลางและรสเค็มเล็กน้อย เนื้อสัมผัสแข็งเล็กน้อย เมื่อนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ แสดงผลดังภาพที่ 4-6 พบว่าผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 25 % ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงกว่าถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 15 และ 20 % โดยได้คะแนน 7.00 6.57 6.77และ 7.00 ตามลำดับ ซึ่งทุกด้านคะแนนอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ดังนั้นจึงเลือกผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งความชื้น 25 % มาใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 8-6 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งแต่ละความชื้น

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารมีฤทธิ์ทางชีวภาพในถั่วนิ้วนางแดงแห้งและถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน ได้แก่ สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด แสดงผลดังตารางที่ 8-13

ตารางที่ 8-13 ปริมาณสารมีฤทธิ์ทางชีวภาพในถั่วนิ้วนางแดงแห้งและถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

ค่าคุณภาพ	ถั่วนิ้วนางแดงแห้ง	ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน
	ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ Inhibition (%)	62.33 ±0.47	54.00 ±0.82
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid/100 g)	330.97 ±1.04	257.11 ±0.92
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/ 100 g)	210.96 ±2.27	9.65 ±0.52

ก) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถยืดเวลาการเกิดออกซิเดชันโดยมีกลไกการยับยั้ง คือ ป้องกันการเกิดออกซิเดชันโดยลดการสร้างอนุมูลอิสระ กำจัดอนุมูลอิสระโดยยับยั้งการเริ่มต้นปฏิกิริยาลูกโซ่และยับยั้งการแพร่ของปฏิกิริยาลูกโซ่ (ไมตรี สุทธจิตต์ และคณะ, 2543) สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในรูปของสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะพบมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (โอภา วัชระคุปต์, 2549) ในโครงงานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay โดยวิธีนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH radical ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรและสามารถรับอิเล็กตรอนได้อีก เพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ และเมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลอื่น จะทำให้สารดังกล่าวหมดความเป็นอนุมูลอิสระ การศึกษาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระนี้เป็นการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรอยู่ในสารละลาย ซึ่งจะเกิดกลไกการต้านอนุมูลอิสระแบบ Scavenging activity โดยใช้ Spectrophotometer ทดสอบสารละลาย DPPH ซึ่งมีสีม่วงเข้ม ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระในระยะเวลาที่กำหนด สารละลาย DPPH พบว่ามีการ

เปลี่ยนแปลงของสีม่วงลดลง เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ลดลงนี้จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ นำสารสกัดหยาบที่ได้จากถั่วนิ้วนางแดงมาทดสอบการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และรายงานเป็นค่า %Inhibition

ค่า %Inhibition คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ จากการวิเคราะห์ พบว่า ถั่วนิ้วนางแดงแห้ง มีค่า %Inhibition เท่ากับ 62.33% และถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน มีค่า %Inhibition เท่ากับ 54.00% จะเห็นได้ว่า ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน มีค่า %Inhibition น้อยกว่าถั่วนิ้วนางแดงแห้ง (ดิบ) ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้ง เป็นการกำจัดน้ำออกจากชิ้นอาหารโดยใช้ความร้อน และสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่ไม่คงตัว สูญเสียได้ง่ายเมื่อถูกแสง ออกซิเจน และความร้อน จึงทำให้ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลง กิตินันท์ รัตนพิทักษ์กุล (2550) พบว่า กล้วยที่ผ่านการออสโมซิสแล้วนำมาอบแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่า %Inhibition เท่ากับ 47.33% และพบว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง และใช้เวลานานจะทำให้ค่า %Inhibition ลดต่ำลง

ข) สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวน ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเข้ามาแทนที่ ซึ่งอาจเข้ามาแทนที่ 1 หมู่หรือมากกว่า สารประกอบฟีนอลิกแต่ละกลุ่มที่มีโครงสร้างและองค์ประกอบแตกต่างกัน จะพบได้ในผักหรือผลไม้ต่างชนิดกัน สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันไม่ให้ร่างกายได้รับความเสียหายจากอนุมูลอิสระ และยังทำงานร่วมกับสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่นๆ ในลำไส้ ตับ และปอด เพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์เนื้องอกก่อตัว จำแนกชนิดของสารประกอบเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ กรดฟีนอลิก ลิกนิน แทนนิน และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (อธิยา เรืองจักเพ็ชร, 2550) จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ถั่วนิ้วนางแดงแห้งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 330.97 mg gallic acid/ 100 g ส่วนถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 257.11 mg gallic acid/ 100 g จะเห็นได้ว่า นิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าถั่วนิ้วนางแดงแห้ง (ดิบ) เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลเกิดการสลายตัว ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจึงมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รามราช หมื่นศรีราม (2550) ที่ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอ

ลิก โดยแบ่งกระบวนการแปรรูปกล้วยตากออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน (วันที่ 1 ใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง และวันที่ 2 3 4 และ 5 อบเป็นเวลา 3 4 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ) และวิธีที่ 2 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (วันละ 8 ชั่วโมง) พบว่า กล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปโดยวิธีที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงจากเริ่มต้นมากกว่าตัวอย่างกล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปด้วยวิธีที่ 2 โดยมีการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 40.13 และ 6.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ค) แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน จัดเป็นรงควัตถุธรรมชาติที่ให้สี ชมพู แดง ม่วง และน้ำเงิน ซึ่งจัดเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ สามารถละลายน้ำได้ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภทที่ไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล เช่น อะซิโตน เบนซิน คลอโรฟอร์ม และอีเทอร์ เป็นต้น (ทิพวดี จิตพิศุทธิ์, 2550) พบได้ทั่วไปตามผัก ผลไม้ และดอกไม้ สารกลุ่มนี้ให้คุณค่าทางอาหารเสริมสุขภาพ และเภสัชเวช เช่น ให้ฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระ ลดปริมาณคอเลสเตอรอล และต่อต้านการเกิดมะเร็ง ผักผลไม้ที่มีสีน้ำเงิน สีม่วง และสีแดง ได้แก่ กะหล่ำปลีสีม่วง มันสีม่วง ชมพู่มะเหมี่ยว ลูกหว้า ข้าวแดง ข้าวนิล ถั่วแดง ถั่วดำ ดอกอัญชัน เป็นต้น (กนกพร สมพรไพลิน, 2545) จากการวิเคราะห์พบว่า ถั่วนิ้วนางแดงแห้งมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่ากับ 210.96 mg/ 100 g ส่วนถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่ากับ 9.65 mg/ 100 g จะเห็นได้ว่าถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งโดยซึ่งใช้ความร้อน อาจทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน สอดคล้องกับงานวิจัยของ รัดดา กองมะณี (2551) พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในผลหม่อนที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกระหว่างอบแห้งมีปริมาณลดลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kirca et al. (2007) ที่พบว่าแอนโทไซยานินในรูปของ monomeric จะเสื่อมสลายเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ solid content เพิ่มขึ้นในระหว่างการให้ความร้อนและเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นมีผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง

8.4 ผลการทดสอบผู้บริโภค

จากการนำผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่พัฒนาได้ไปทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 100 คนได้ผลการทดสอบดังนี้

1) ลักษณะทางประชากรศาสตร์

ผลการสำรวจลักษณะทางประชากรศาสตร์ของของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 100 คน พบว่า ผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่ทำแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็น 80 % อายุระหว่าง 21-30 ปี คิดเป็น 85% ระดับการศึกษาปริญญาตรี คิดเป็น 73% เป็นนักเรียน นิสิตและนักศึกษา85% และมีรายได้มากกว่า 5,000 บาท / เดือน คิดเป็น 67% รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 8-14

2) ความชอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบรวม พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบทุกด้านในระดับ 6.51-7.08 (จาก 9 คะแนน) หมายถึงผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่พัฒนาได้ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 8-15

3) การยอมรับและการตัดสินใจซื้อ

ผลการทดสอบผู้บริโภคโดยเสนอตัวอย่างให้ผู้บริโภคทดสอบ พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งคิดเป็น 70% และเมื่อถามถึงการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งคิดเป็น 55% รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 8-16

ตารางที่ 8-14 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบผู้บริโภค

	ลักษณะทางประชากรศาสตร์	เปอร์เซ็นต์
เพศ	ชาย	20.00
	หญิง	80.00
อายุ	21 – 30 ปี	85.00
	31 – 40 ปี	10.00
	มากกว่า 40 ปี	5.00
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี	73.00
	สูงกว่าปริญญาตรี	27.00
อาชีพ	นักเรียน /นิสิต /นักศึกษา	85.00
	ข้าราชการ / พนักงานรัฐวิสาหกิจ	15.00
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน	ต่ำกว่า 1,000 บาท	3.00
	1,001 – 5,000 บาท	30.00
	5,001 – 10,000 บาท	50.00
	10,001 – 15,000 บาท	10.00
	15,000 – 20,000 บาท	7.00

ตารางที่ 8-15 คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งจากการทดสอบผู้บริโภค

ความชอบคุณลักษณะ	คะแนนความชอบ±SD
ลักษณะปรากฏ	7.08±0.97
สี	6.87±0.20
รสชาติ	6.51±0.21
เนื้อสัมผัส	6.66±0.78
ความชอบโดยรวม	6.59±0.87

ตารางที่ 8-16 การยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง

การยอมรับ/การตัดสินใจซื้อ		ร้อยละ
การยอมรับ	ยอมรับ	70.00
	ไม่ยอมรับ	30.00
การตัดสินใจซื้อ	ซื้อ	55.00
	ไม่แน่ใจ	15.00
	ไม่ซื้อ	30.00

8.5 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

8.5.1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาโดยการนำถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ และปิดสนิท เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนและอุณหภูมิตู้เย็น (4±1 องศาเซลเซียส) ผลการตรวจสอบคุณภาพถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา แสดงผลดังตารางที่ 8-17 และตารางที่ 8-18

ตารางที่ 8-17 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	สภาวะการเก็บรักษา		
	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน	อุณหภูมิตู้เย็น
0	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
1	2.5×10^{3}	1.2×10^{2}	0.1×10^{2}
2	3.0×10^{3}	2.8×10^{2}	0.5×10^{2}
3	-	3.7×10^{2}	1.2×10^{2}
4	-	4.0×10^{2}	1.9×10^{2}

- หมายถึง ไม่ได้ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์

ตารางที่ 8-18 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา	สภาวะการเก็บรักษา		
	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน	อุณหภูมิตู้เย็น
0	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
1	0.9×10^{2}	ไม่พบ	ไม่พบ
2	1.1×10^{2}	ไม่พบ	ไม่พบ
3	-	ไม่พบ	ไม่พบ
4	-	ไม่พบ	ไม่พบ

- หมายถึง ไม่ได้ตรวจสอบปริมาณยีสต์และรา

จากตารางที่ 8-17 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐานที่กำหนด (3.0×10^{3} CFU/g) ในผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้แห้งคือ ต้องไม่เกิน 3.0×10^{3} CFU/g

(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) ซึ่งแสดงถึงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินเกณฑ์ที่แสดงถึงความไม่ปลอดภัยที่จะนำมาบริโภค ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น เมื่อเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.0×10^{2} และ 1.9×10^{2} CFU/g ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

จากตารางที่ 8-18 แสดงปริมาณยีสต์และรา จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ มีปริมาณยีสต์และราเกินมาตรฐานที่กำหนด 1.1×10^{2} CFU/g) ในผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้แห้งคือ ต้องไม่เกิน 100 CFU/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) ซึ่งแสดงถึงปริมาณยีสต์และราเกินเกณฑ์ที่แสดงถึงความไม่ปลอดภัยที่จะนำมาบริโภค โดยสังเกตเห็นว่าที่ผิวของผลิตภัณฑ์มีราขึ้น แสดงดังภาพที่ 8-7 ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น เมื่อเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ ตรวจไม่พบยีสต์และรา จึงสามารถนำมาบริโภคได้

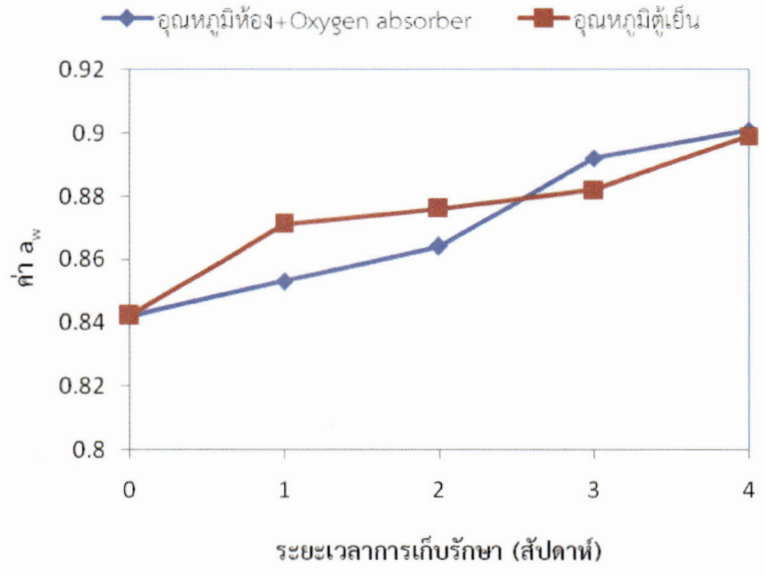
ภาพที่ 8-7 การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

จากการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา จึงสรุปได้ว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บไว้ได้นานอย่างน้อย 4 สัปดาห์ ในขณะที่ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ อาจเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลดความชื้น

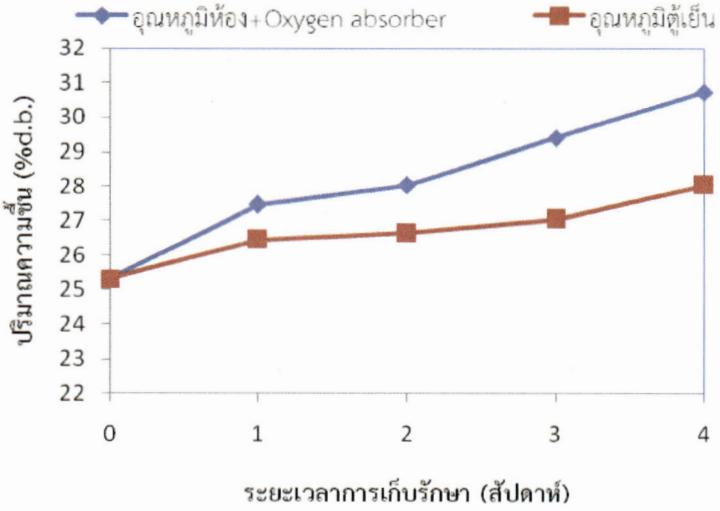
และค่า a_w มีผลทำให้จุลินทรีย์บางส่วนตายหรือบางส่วนอาจอยู่รอดแต่ไม่สามารถเจริญได้ การที่ค่า a_w ของสภาวะแวดล้อมลดลงมีผลทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์เกิด osmotic shock และสูญเสียน้ำ (Plasmolysis) ซึ่งมีผลให้เซลล์หยุดการเจริญ ทั้งนี้อาจตายไปหรือมีชีวิตอยู่ได้ (Andrews and Pitt, 1987) นอกจากนี้เนื่องจากสารดูดออกซิเจน (Oxygen absorber) มีสมบัติช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้คงสภาพเหมือนผลิตใหม่ ให้ความสด กลิ่น รสชาติ อาหารไม่เปลี่ยนสี โดยสามารถยับยั้งการหืนของผลิตภัณฑ์ได้ เพราะออกซิเจนเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อาหารเสียและกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้นได้ (Nakamura and Hoshino, 1983) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยลง เนื่องจากปกติจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ จะเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิ 5-60 องศาเซลเซียส การเก็บอาหารในตู้เย็นอุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้

8.5.2 ค่า a_w และปริมาณความชื้น

จากการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ที่สรุปได้ว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ในขณะที่ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ จึงตรวจวัดค่า a_w และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เสื่อมเสียเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 8-8 ค่า a_w ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 8-9 ปริมาณความชื้นของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา

ค่า a_w แสดงถึงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาหรือการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ได้ (Chirife & Buera, 1994) เมื่อ

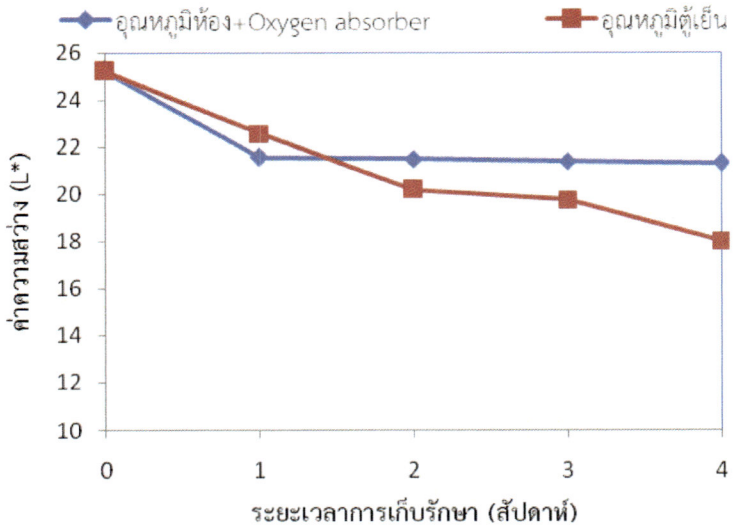
พิจารณาจากผลการทดลองในภาพที่ 8-8 พบว่าค่า a_w มีแนวโน้มสูงขึ้นทั้ง 2 สภาวะ โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน มีแนวโน้มสูงในช่วง 2 สัปดาห์ ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วง 1 สัปดาห์ รายละเอียดแสดงดังภาคผนวกตารางที่ จ-27 แต่อย่างไรก็ตาม ค่า a_w ทั้ง 2 สภาวะมีค่าอยู่ในช่วง 0.84-0.90

จากภาพที่ 8-9 พบว่า ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มสูงขึ้นทั้ง 2 สภาวะ แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น กราฟปริมาณความชื้นมีความชันน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นน้อยกว่า แสดงดังภาคผนวกตารางที่

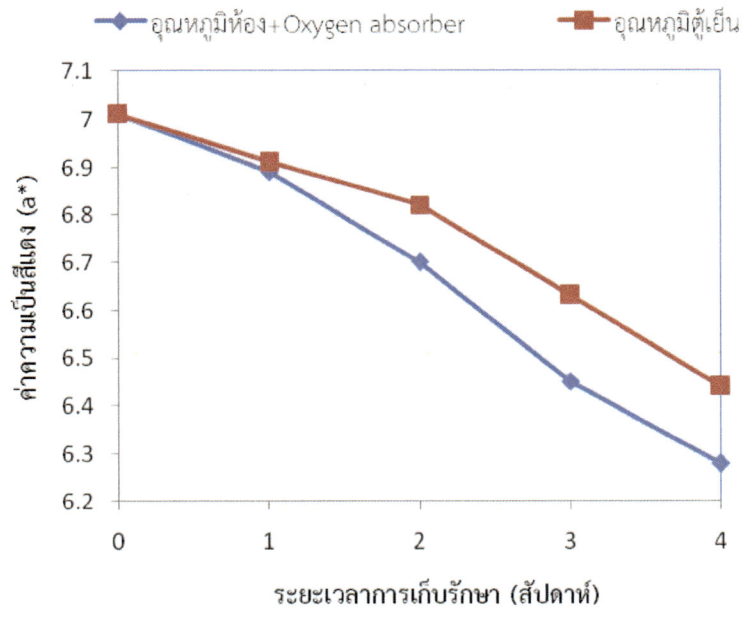
จ-27

จากความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและค่า a_w พบว่า ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า a_w มีความสัมพันธ์กัน เมื่อค่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นค่า a_w ก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนง, 2545) อย่างไรก็ตามการที่ค่า a_w และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนักอาจมีผลดีจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งมีสมบัติช่วยป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเติมสารดูดออกซิเจนจะช่วยดูดออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ ทำให้อาหารมีกลิ่น สีและรสชาติเหมือนผลิตใหม่

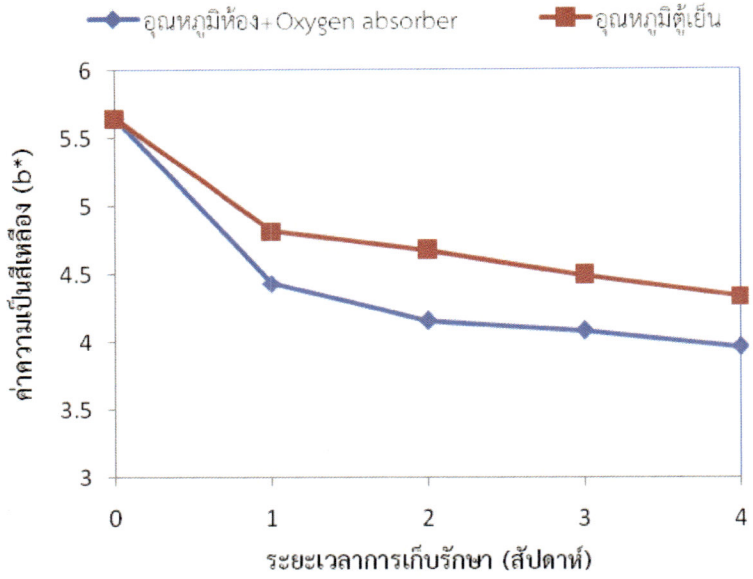
8.5.3 ค่าสี (L* a* และ b*)



ภาพที่ 8-10 ค่าความสว่าง (L*) ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา

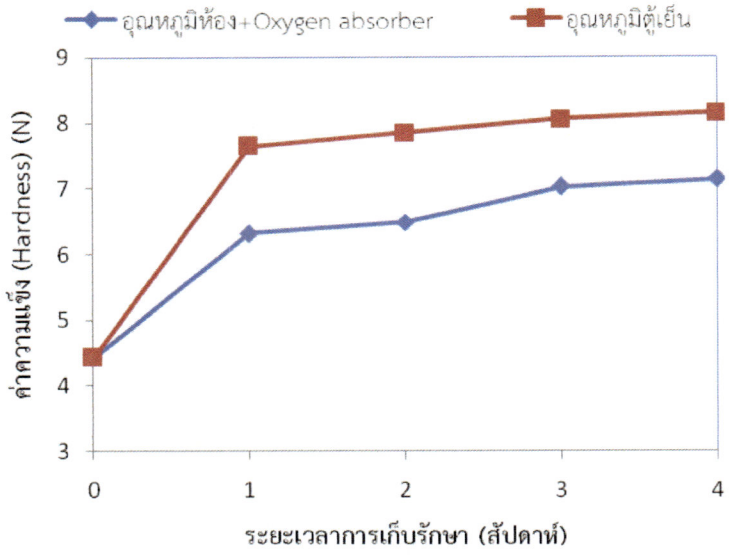


ภาพที่ 8-11 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 8-12 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา

จากภาพที่ 8-10 ถึง 8-12 พบว่าค่าสี (L* a* และ b*) ของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง (อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์) มีค่าเท่ากับ 25.21 7.01 และ 5.64 ตามลำดับ ตลอดการเก็บรักษาพบว่าค่าสี (L* a* และ b*) ของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 21.32-21.58 6.28-6.89 และ 3.96-4.43 ตามลำดับ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นมีค่าอยู่ในช่วง 18.01-22.58 6.44-6.91 และ 4.33-4.81 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นมีแนวโน้มลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน (ภาพที่ 8-10 ค่า a* (สีแดง) ของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น กราฟมีแนวโน้มชันมากในช่วง 1 สัปดาห์และลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีแดงลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพื่อขึ้น (ภาพที่ 8-11) ค่า b* (สีเหลือง) มีแนวโน้มลดลงทั้ง 2 สภาวะ โดยกราฟชันในช่วง 1 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพื่อขึ้น (ภาพที่ 8-12) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ตารางที่ จ-28



ภาพที่ 8-13 ค่าความแข็ง (Hardness) ของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา

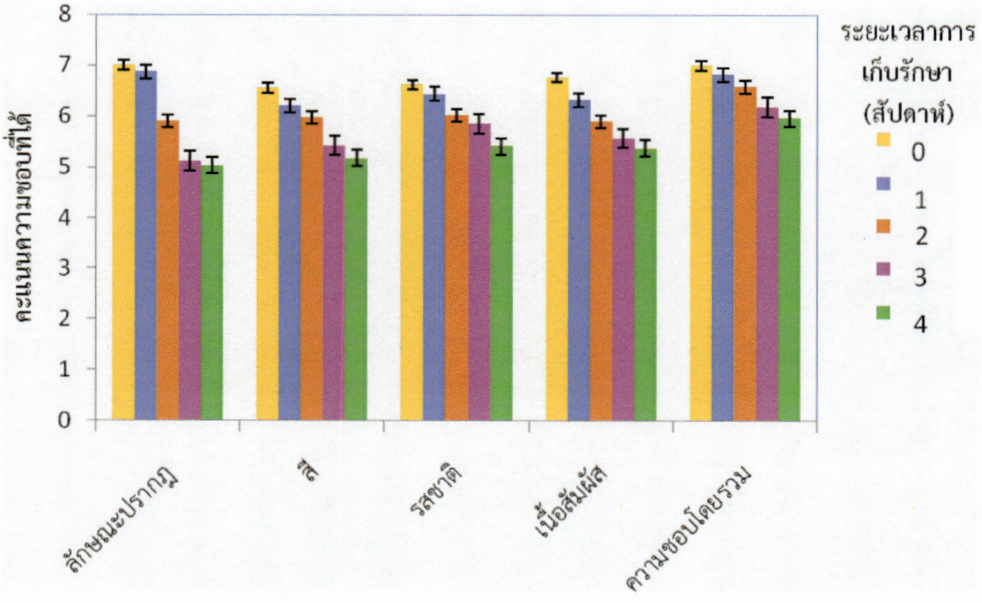
8.5.4 ค่าความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งบ่งบอกถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยค่าความแข็งได้จากการวัดด้วยเครื่อง Texture analyzer หมายถึงแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดให้ผลิตภัณฑ์แยกออกจากกัน จากผลการทดลองภาพที่ 8-13 พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 6.31-7.13 และ 7.64-8.41 N ตามลำดับ ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทั้ง 2 สภาวะ อาจเนื่องมาจากถั่วนิ้วนางแดงมีแป้งเป็นองค์ประกอบมาก ในขณะให้ความร้อนในการต้มหรืออบน้ำที่แทรกอยู่จะมีผลทำให้เกิดเจลและคุณสมบัติของเจลนี้จะเปลี่ยนแปลงน้อยหากเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง เช่น อุณหภูมิห้องแต่หากเก็บที่อุณหภูมิต่ำลงมาและใช้เวลาเก็บรักษานานขึ้นส่วนประกอบของแป้งโดยเฉพาะส่วน อะไมโลเพคตินจะเกิดตะกอนขุ่น เจลมีลักษณะแข็งขึ้นและทำให้ตัวอย่างมีความแข็ง (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสที่ได้รับคะแนนลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น รายละเอียดแสดงดังภาคผนวกตารางที่ จ-29

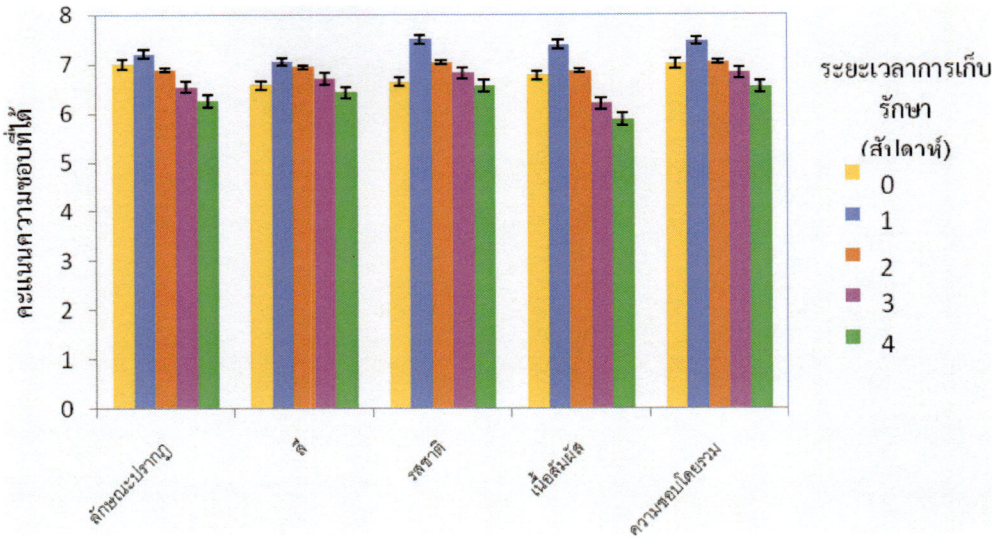
8.5.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นทุก 7 วัน เพื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงดัง ภาพที่ 8-14 และภาพที่ 8-15 พบว่า อายุการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยคะแนนความชอบทุกด้านมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา รายละเอียดแสดงดังภาคผนวกตารางที่ จ-30 และ จ-31

อย่างไรก็ตาม พบว่าผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.97-7.45 ได้รับคะแนนด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 5.04-7.21 ได้รับคะแนนด้านสีอยู่ในช่วง 5.19-7.05 ได้รับคะแนนด้านรสชาติอยู่ในช่วง 5.42-7.49 และได้รับคะแนนด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 5.97-7.45 ซึ่งทุกด้านอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก



ภาพที่ 8-14 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสามสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจนเป็นระยะเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 8-15 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสามสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องตู้เย็นเป็นระยะเวลาต่างๆ

9. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลการวิจัย

9.1.1 การศึกษาผลของระยะเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออส-โมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสและคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) คุณภาพด้านกายภาพของถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งหลังการออสโมซิส ด้านสี L* a* และ b* และค่าความแข็ง รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านรสชาติ ด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การต้มถั่วนิ้วนางแดงเป็นเวลา 35 นาที ออสโมซิสที่อุณหภูมิห้อง และใช้เวลาในการออสโมซิสนาน 6 ชั่วโมง โดยใช้สารละลายซูโครส 40% w/v เป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำให้ถั่วนิ้วนางแดงสุกไม่แข็งเป็นไต ซึ่งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง และมีค่าการถ่ายเทมวลสาร WL/SG อยู่ในระดับสูงที่สุด

9.1.2 การศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอล และเกลือร่วมกับสารละลายซูโครสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส และคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิส พบว่า ความเข้มข้นของกลีเซอรอลและเกลือมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) และคุณภาพของถั่วนิ้วนางแดงทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้สารละลายซูโครส 40% w/v กลีเซอรอล 15% w/v และเกลือ 0.5% w/v ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง และมีค่าการถ่ายเทมวลสาร WL/SG อยู่ในระดับสูง

9.1.3 การหาเวลาการทำแห้งถั่วนิ้วนางแดงหลังการออสโมซิสโดยใช้ลมร้อนเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง พบว่า การทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 80 นาที ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งที่มีค่า a_w 0.842 ปริมาณความชื้น 25.31 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ 54.00 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 257.11 มิลลิกรัม (กรดแกลลิก)/ 100 กรัม ปริมาณแอนโทไซยานิน 9.65 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

9.1.4 ผลการทดสอบผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบรวม ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับผลิตภัณฑ์ คิดเป็น 70% และตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์หากมีการวางจำหน่ายจริงคิดเป็น 55%

9.1.5 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งสามารถเก็บไว้ได้ที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน และที่อุณหภูมิตู้เย็นได้นานอย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

9.2 ข้อเสนอแนะ

9.2.1 ถั่วนิ้วนางแดงเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งของพลังงานและสารอาหารหลายชนิด สามารถนำไปพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้

9.2.2 ควรมีการศึกษาการใช้สารละลายอื่น เป็นสารละลายออสโมติกเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์

9.2.3 ควรมีการศึกษาการนำสารละลายน้ำตาลที่ผ่านการออสโมซิสแล้ว มาใช้เป็นสารปรุงแต่งรสชาติอื่นๆ

9.2.4 ควรศึกษาการใช้อุณหภูมิบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

10. ผลผลิต (Output)

1) ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการทั้งในระดับชาติและนานาชาติ

กำลังอยู่ในระหว่างการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร คาดว่าจะสามารถตีพิมพ์ได้ภายในปี 2555 จำนวน 1 บทความ และ ภายในปี 2556 จำนวน 1 บทความ

2) การจดสิทธิบัตร

ไม่มี

3) ผลงานเชิงพาณิชย์

ได้สรุปผลงานวิจัยเผยแพร่ให้กับภาคธุรกิจเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

4) ผลงานเชิงสาธารณะ

มีแผนที่จะส่งผลงานเข้าร่วมการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในปี 2555 เพื่อเผยแพร่ผลงานสู่สังคมและชุมชน

รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการ **2554A10862002**

โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

ชื่อมหาวิทยาลัย....มหาวิทยาลัยบูรพา....

ชื่อโครงการ...การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน...

(Development of ready-to-eat intermediate moisture rice bean (*Vigna umbellate*) product)

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย อ.พรนภา น้อยพันธ์

รายงานในช่วงตั้งแต่ วันที่ 1 มีนาคม 2554 ถึง วันที่ 30 เมษายน 2555

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี 1 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2554 ถึง วันที่ 30 เมษายน 2555

รายจ่าย

หมวด	รายจ่ายสะสมจากรายงานครั้งก่อน	ค่าใช้จ่ายงวดปัจจุบัน	รวมรายจ่ายสะสมถึงงวดปัจจุบัน	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	คงเหลือ (หรือเกิน)
1. ค่าตอบแทน	-	63,500	63,500	63,500	0
2. ค่าจ้าง	-	25,000	25,000	25,000	0
3. ค่าวัสดุ	18,000	56,000	74,000	74,000	0
4. ค่าใช้สอย	2,500	35,000	37,500	37,500	0
5. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	-	-	-	-	-
รวม	**20,500**	**179,500**	**200,000**	**200,000**	0

<u>จำนวนเงินที่ได้รับและจำนวนเงินคงเหลือ</u>

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1	100,000	บาท	เมื่อ วันที่ 31 สิงหาคม 2554
งวดที่ 2	80,000	บาท	เมื่อ วันที่ 30 เมษายน 2555
รวม	**180,000**	**บาท**	

(นางพรนภา น้อยพันธ์)
ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

(นางพรนภา น้อยพันธ์)
ลงนามเจ้าหน้าที่การเงินโครงการ

บรรณานุกรม

กนกพร สมพรไพลิน. (2545). ผลของชีวสังเคราะห์แอนโทไซยานินต่อการควบคุมสีในพืช. *วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง*, 10 (1): 23-27.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. (2542). *สารให้ความหวาน*. กรุงเทพฯ: จาร์พาเทคเซนเตอร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กิตินันท์ รัตนพิทักษ์กุล. (2550). *อิทธิพลของกระบวนการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกล้วยอบแห้ง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

จุฬาลักษณ์ จารุนุช และ ประชา บุญญสิริกูล. (2539). *การทำอาหารขบเคี้ยวจากถั่วนิ้วนางแดงโดยใช้เครื่องคุกเกอร์เอ็กซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่*. รายงานผลงานวิจัย ประจำปี 2535-2538 สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 69-84.

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

บัญชา สุวรรณานนท์. (2542). อาหารเครื่องยาจีน. กรุงเทพฯ: บริษัทรีดเดอร์ส ไดเจสท์ (ประเทศไทย) จำกัด.

ทิพวดี จิตพิศุทธิ์. (2550). *การสกัดแอนโธไซยานินจากเมล็ดถั่วดำและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2544). *หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

นาค โพธิ์แท่น. (2537) ถั่วแดงหรือถั่วนิ้วนางแดง. กรุงเทพฯ : กองเกษตรสัมพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร.

ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์. (2528). *A_w กับอาหารและอาหาร IMF*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรพรต พงษ์สมบูรณ์. (2550). *ผลของสูตรสารละลายออสโมติก อุณหภูมิในการทำออสโมซิสและวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของแครอทอบแห้ง*. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พนิดา เนตรวีระ. (2548). *ผลของการใช้ซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการทำออสโมซิส.* ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ไพบูลย์ ธรรมรัตนวาสิก. (2532). *กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.*กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ไพโรจน์ วิริยะจารี. (2539). *อาหารกึ่งแห้ง.* ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภิญโญ โอวาสิทธิ์ และยงยุทธ เฉลิมชาติ. (2551). *ผลของอุณหภูมิที่มีต่อซอพชันไอโซเทอมของความชื้นในผลิตภัณฑ์ปลาชะโดสวรรค์ (Effect of temperature on the moisture sorption isotherm in marinated dried giant snake head fish fillet).* งานแสดงผลงานพัฒนาเทคโนโลยีทุนปริญญาตรี สกว.ครั้งที่ 6 IRPUS 51 ณ รอยัลพารากอน ฮอลล์ ศูนย์การค้าสยามพารากอน กรุงเทพฯ. วันที่ 28-30 มีนาคม 2551.

ไมตรี สุทธจิตต์ และคณะ. (2543). *ความสามารถของสาระสำคัญในการต่อต้านสมุนไพร.* เชียงใหม่. คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รามราช หมื่นศรีธาราม. (2550). *การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รัดดา กองมะณี. (2551). *ผลกระทบร่วมของการกำจัดน้ำแบบออสโมติก การลวก และสารละลายเคมีต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของผลหม่อนอบแห้ง.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และ ไพศาล วุฒิจำนงค์. (2545). *การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. ใน:* เอกสารประกอบการสัมมนาอบรมวิชาการด้านอุตสาหกรรมอาหาร. กรมวิชาการเกษตร.

วนิดา สระทองคำ. (2543). *การทำแห้งฟักทองโดยวิธีออสโมซิส.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันวิสาข์ กระแสคุปต์. (2535). *การปรับปรุงคุณภาพผลไม้อบแห้งด้วยการเคลือบก่อนการทำแห้งแบบออสโมซิส.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. (2545). คุณสมบัติและประโยชน์ของกลีเซอรอล. *อาหาร, 32* (ตุลาคม-ธันวาคม), 87-89.

วรวีร์ หอมหวาน และกนกวรรณ มั่นศิล. (2552). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดบัวกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน.* โครงงานวิจัย วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศิวาพร ศิวเวชช. (2546). *วัตถุเจือปนอาหาร.* นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสกสรร บุราณสุข และสิทธิวุฒิ คำโสม. (2550). *การอบแห้งเผือกโดยวิธีออสโมซิส.* โครงงานวิจัย วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2546). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง.* มผช.136/2546.

สารานุกรมเสรี. (2552). *โซเดียมคลอไรด์.* วันที่ค้นข้อมูล 14 พฤศจิกายน 2554, เข้าถึงได้จาก http://en.wikipedia.org/wiki

อธิยา เรืองจักรเพ็ชร. (2550). *ผลของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในมะขามป้อมและอายุของมะกอกน้ำต่อปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชัน.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

โอภา วัชระคุปต์. (2549). *สารต้านอนุมูลอิสระ.* กรุงเทพฯ: พีเอส พริ้นท์.

Alajaji, S. A. and El-Adawy, T. A. (2006). *Nutritional composition of chickpea (Cicer arietinum L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods.* Journal of Food Composition and Analysis, 19: 806–812.

Alfonso, C., et al. (1998). *Effect of cooking on protein quality of chickpea (Cicer arietinrcm) seeds. Food Chemistry, 62*: 1-6.

Andrews, S. and Pitt, J. I. 1987. Further studies on the water relations of xerophilic fungi, including some halophiles. *Journal of General Microbiology, 134*: 669-677.

Antonio, G. C., Azoubel, P. M., Murr, F. E. X. and Park, K. J. (2008). Osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in ternary solutions. *Ci□nc. Tecnol. Aliment.*, 28, 696-701.

Antonio, G. C., et al. (nd). *Modelling of osmotic dehydration of sweet potato (Ipomoea batatas) : Determination of mass effective diffufvity coefficients.* 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering and 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering.

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

Azoubel, P. M. and Murr, F. E. X. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering, 61*:291-295.

Chenlo, F. (2006). Experimental results and modeling of the osmotic dehydration kinetics of chestnut with glucose solution. *Journal of food engineering, 74*, 324-334.

Chenlo, F. (2007). Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetic modeling. *Journal of food engineering, 78*, 765-774.

Chenlo, F., Moreira, R., Fernandez-Herrero, C. and Vazquez, G. (2006). Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. *Journal of food engineering, 73*, 164-173.

Chirife, J., Buera, P. M. A. (1994). Water activity, glass transition and microbial stability in concentrated/semimoist food systems. *Journal of Food Science, 59*, 921-927.

Clubbs, E. A., Vittadini, E., Shellhammer, T.H. and Vodovotz, Y. (2005). Changes in the mechanical properties of corn tortillas due to the addition of glycerol and salt and selective high pressure treatments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies, 6,* 304-309.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K. and Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Agricultural and Food Chemistry, 50*, 3010-3014.

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

Haaland, H. (1990). Fish silages prepared from raw materials of varying quality; chemical analysis related to balance experiments in rats. *Fiskeridirektoratets Skrifter. Serie Ern□ring, 3*, 27-35.

Karagozler, A. A., Erdag, B., Emek, Y. C., and Uygun, D. A. (2008). Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from Dorystoechas hastate. *Food Chemistry, 111*, 400–407.

Khalil, A. H. & Mansour, E. H. (1995). The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of faba beans. *Food Chemistry, 54*, 177-182.

Kirca, A., Ozkan, M., and Cemeroglu, B. (2007). Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. *Food chemistry, 101*, 212-218.

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

Lenart, A., and Flink, J. M. (1984). Osmotic dehydration of potato criteria for the end point of the osmosis process. *Journal of Food Technology, 19*, 45-63.

Li, Y. B., Cao, C. W., Yu, Q. L. and Zhong, Q. X. (1998). Study on rough rice fissuring during intermittent drying. *Drying Technology-An International Journal, 17*, 1779-1793.

Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M.D. and Vazquez, G. (2007). Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. *LWT-Food Science and Technology, 40,* 1507-1514.

Nakamura, H. and Hoshino, J. (1983) *Technique for the Preservation of Food by Employment of Oxygen Absorbers.* Tokyo: Ageless Division.

Pouplin, M., Redl, A. and Gontard, N. (1999). Glass transition of wheat gluten plasticized with water, glycerol, or sorbital. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47*, 538-543.

Sacchetti, G., Gianotti, A. and Dalla, R. M. (2001). Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering, 49*, 163-173.

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

Sun, J., Yao, J., Huang, S., Long, X., Wang J., & Garcia, E. (2009). Antioxidant activity of polyphenol and anthocyanin extracts from fruits of *Kadsura coccinea* (Lem.) A.C. Smith. *Food Chemistry, 117,* 276–281.

Sych J. (2003). *INTERMEDIATE-MOISTURE FOODS*, 3337.

Tania, M. S., Beatriz, R. C. and Franco, M. L. (2009). Effect of cooking on non-starch polysaccharides of hard-to-cook beans. *Carbohydrate Polymers, 76*, 100–109.

Tonon, R. V., Baroni, A. F. and Hubinger, M. D. (2007). Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering, 82*, 509-517.

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Reserch International, 26*, 5-58.

Torreggiani, D. and Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering, 49*, 247-253.

Verma, P. and Urmil, M. (1988). Study on physical characteristics, sensory evaluation and the effect of sprouting, cooking and dehulling on the antinutritional factors of rice bean (*Vigna umbellate*). *Journal of Food Science and Technology, 25,* 197-200.

Wang, N. et al. (1997). Effect of processing methods on nutrients and anti-nutritional factors in cowpea. *Food Chemistry, 58*, 5-58.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก-1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

1. อุปกรณ์

1.1 ตู้อบลมร้อน

1.2 โถดูดความชื้น

1.3 ภาชนะอลูมิเนียม

1.4 เครื่องชั่งชนิดละเอียด

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 อบภาชนะอลูมิเนียมในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2.2 นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งน้ำหนักอีกครั้งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน แตกต่างกันไม่เกิน 0.005 กรัม

2.3 ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนัก 1-3 กรัม บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักคงที่แล้วนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ไม่เกิน 0.005 กรัม

3. การคำนวณ

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

ก-2 การเตรียมตัวอย่างถั่วนิ้วนางแดงสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพด้านสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Karagozler *et al.*, 2008)

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียด 250 กรัม จากนั้นสกัดด้วยเอทานอล (95 เปอร์เซ็นต์) 500 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร โดยแช่ตัวอย่างที่บดละเอียดในเอทานอล ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2. นำสารสกัดมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 จากนั้นนำสารสกัดส่วนที่ใสมาระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ปรับอุณหภูมิของอ่างน้ำร้อนเป็น 80±2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลายออกจากตัวอย่างจนแห้งเป็นเวลา 3 วัน

3. ละลายสารสกัดถั่วนิ้วนางแดงอีกครั้งด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนของน้ำหนักสารสกัดแห้งต่อเอทานอลเป็น 1:1000 เก็บตัวอย่างสารสกัดในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในที่มืดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

ก-3 การวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay (ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Karagozler et al., 2008)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 มิลลิลิตร
2 .ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. หลอดทดลอง
4. กระดาษกรอง Whatman No.1
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
6. ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90 %
7. เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH)

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ทันทีก่อนใช้ ให้มีความเข้มข้น 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-3 โดยชั่งสารสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล

1.2 นำตัวอย่างสารสกัดที่ได้มา 3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายดีพีพีเอช ความเข้มข้น 0.1 mM 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ปั่นผสมด้วย vortex เป็นเวลา 3 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 15 นาที

1.3 เตรียม Blank โดยผสมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 3 มิลลิลิตร กับสารละลายดีพีพี-เอช เข้มข้น 0.1 mM 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ปั่นผสมด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 3 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 15 นาที

1.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างและ Blank ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

1.5 คำนวณหา % Inhibition จากสมการ

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

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของblank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ก-4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dewanto et al., 2002)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. เครื่องผสมสาร (Vortex mixer)
3. ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 5 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. หลอดทดลอง
6. ฟอลิน ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent)
7. กรดแกลลิก (Gallic acid: $C_7H_6O_5$) 98%
8. เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH)
9. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na_2CO_3)

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น เป็น 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 µg/ml ดังนี้

2. ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นมา 0.125 มิลลิลิตร

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

4. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7% 1.25 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

6. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)

การวิเคราะห์

1. ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากภาคผนวก ก-2 โดยชั่งสารสกัดมา 0.1 กรัม นำมาละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับเอทานอล 9.9 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ให้เข้ากัน

3. ปิเปตสารละลายในข้อที่ 2 มา 0.125 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นลงไป 0.5 มิลลิลิตร

4. เติมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลทูหลอดละ 1.25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที

5. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7% 1.25 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที

6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

7. นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาหาความเข้มข้นของกรดแกลลิกจากกราฟมาตรฐาน

ก-5 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Sun et al., 2009)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์

2. เครื่องผสมสาร (Vortex mixer)

3. ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร

4. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร

5. หลอดทลอง

6. สารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (0.025 M, pH 1.0)

7. สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท (0.4 M, pH 4.5)

การวิเคราะห์

1. ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากภาคผนวก ก-3 โดยชั่งสารสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0.1 มิลลิลิตร

3. หลอดที่ 1 เติมสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (0.025 M, pH 1.0) 9.9มิลลิลิตร

4. หลอดที่ 2 เติมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท (0.4 M, pH 4.5) 9.9 มิลลิลิตร

5. เตรียมสารละลาย bank โดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายบัฟเฟอร์

6. นำหลอดทดลองทั้ง 2 หลอด และ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 513 และ 700 นาโนเมตร

2.7 คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด จากสมการ

$$\text{Total Anthocyanin (mg/100 g)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{(\varepsilon \times 1)}$$

กำหนดให้ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง เท่ากับ $[(A_{513}-A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{513}-A_{700})_{pH\ 4.5}]$

MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 449.2

DFคือ dilution factor

ε คือ molar extinction coefficient ของ cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 29,600

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข-1 การวัดค่าสี

วัดด้วยเครื่องวัดสี ต้องดำเนินการเทียบมาตรฐานของเครื่องวัดสี (Calibration) สุ่มตัวอย่างถั่วนิ้วนางแดงประมาณ 15 กรัม จัดเรียงใส่ในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างให้เต็มถ้วย โดยแต่ละสิ่งทดลองจะวัด 3 ครั้ง ซึ่งค่าที่วัดในระบบ CIE จะอยู่ในหน่วยดังนี้

ค่า L* หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) มีช่วงตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)

ค่า a* หมายถึง ค่าสีเขียว – แดง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีเขียว ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีแดง

ค่า b* หมายถึง ค่าสีน้ำเงิน – เหลือง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีน้ำเงิน ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีเหลือง

ข-2 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส วางถั่วนิ้วนางแดงลงบนแท่นกด ครั้งละ 1 เมล็ด วัดโดยใช้แรงกด (Compression) โดยใช้หัววัดรูปทรงกระบอก (Cylinder probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (p/2) กดลงตรงกลางชิ้นผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดง โดยแต่ละสิ่งทดลองจะวัดตัวอย่างไม่น้อยกว่า 30 ชิ้น และหาค่าเฉลี่ยจากแรงสูงที่สุด รายงานเป็นค่าความแข็ง (hardness)

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์คุณภาพทางทางจุลินทรีย์

ค-1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (Compact dry) (บริษัท NISSUI pharma ประเทศญี่ปุ่น, 2553)

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม peptone water 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมอาหาร นาน 1 นาที จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1}

2. ปิเปตตัวอย่างจากข้อ 1 มา 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดที่บรรจุสารละลาย peptone water 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2}

3. เจือจางตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2 เป็นลำดับ จนได้ความเจือจาง 10^{-3}

4. วางถาดอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปสำหรับจุลินทรีย์ทั้งหมดบนพื้นราบ เปิดฝาครอบถาดอาหารเลี้ยงเชื้อออก

5. ปิเปตตัวอย่างความเจือจางที่ 10^{-1} 10^{-2} และ 10^{-3} โดยปิเปตใส่ถาดละ 1 มิลลิลิตร ต่อ 1 dilution แล้วปิดฝาถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำ 3 ซ้ำ

6. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง

7. การนับจำนวนโคโลนีจากถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละถาดที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 25 – 250 โคโลนี และคำนวณค่า CFU/g ของตัวอย่าง ทั้งนี้หากจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 1 – 25 โคโลนี ให้เขียนคำว่า estimated หรือ est. ต่อท้าย แต่หากตรวจพบจำนวนโคโลนีเพียง 1 โคโลนีในจำนวน 3 ซ้ำ ให้เขียนคำว่า <1.0 x (dilution ที่ตรวจพบ) และเขียน est. ต่อท้ายด้วย CFU/g ค่า CFU/g คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$CFU/g = n \times df$$

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีที่นับได้

df คือ Dilution factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะในถาดที่หาค่า n ได้

ค-2 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราโดยวิธีการนับ จำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (Compact dry) (บริษัท NISSUI pharma ประเทศญี่ปุ่น, 2553)

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม peptone water 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมอาหาร นาน 1 นาที ทำวิธีเดียวกับ ค-1 จนได้ความเจือจางของตัวอย่างเป็น 10^{-2} และ 10^{-3} ตามลำดับ

2. จากนั้นวางถาดอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปสำหรับจุลินทรีย์ทั้งหมดบนพื้นราบ เปิดฝาครอบถาดอาหารเลี้ยงเชื้อออก

3. ปิเปตตัวอย่างความเจือจางที่ 10^{-1} 10^{-2} และ 10^{-3} โดยปิเปตใส่ถาดละ 1 มิลลิลิตร ต่อ 1 dilution แล้วปิดฝาถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำ 3 ซ้ำ

4. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 7 วัน

5. การนับจำนวนโคโลนีจากถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละถาดที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 25 – 250 โคโลนี และคำนวณค่า CFU/g ตัวอย่าง ทั้งนี้ หากจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 1 – 25 โคโลนี ให้เขียนคำว่า estimated หรือ est. ต่อท้าย แต่หากตรวจพบจำนวนโคโลนีเพียง 1 โคโลนีในจำนวน 3 ซ้ำ ให้เขียนคำว่า <1.0 x (dilution ที่ตรวจพบ) และเขียน est. ต่อท้ายด้วย CFU/g ค่า CFU/g คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$CFU/g = n \times df$$

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีที่นับได้

df คือ Dilution factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะในถาดที่หาค่า n ได้

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-point Hedonic scale

ชื่อผู้ทดสอบ.....หมายเลขผู้ทดสอบ.....
วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์

กรุณาบ้วนปากก่อนชิมทุกครั้ง

1= ไม่ชอบมากที่สุด	2= ไม่ชอบมาก	3= ไม่ชอบมากปานกลาง
4= ไม่ชอบเล็กน้อย	5= เฉยๆ	6= ชอบเล็กน้อย
7= ชอบปานกลาง	8= ชอบมาก	9= ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

แบบสอบถามการทดสอบผู้บริโภค

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำแนะนำ : กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ในช่อง ☐ ที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงกับความคิดเห็นของท่าน

1. เพศ

☐ 1) ชาย ☐ 2) หญิง

2. อายุ

☐ 1) ต่ำกว่า 20 ปี ☐ 2) 21 – 30 ปี ☐ 3) 31 – 40 ปี

☐ 4) 41 – 50 ปี ☐ 5) มากกว่า 50 ปี

3. ระดับการศึกษา

☐ 1) ต่ำกว่าประถมศึกษา ☐ 2) ประถมศึกษา ☐ 3) มัธยมศึกษา

☐ 4) ปริญญาตรี ☐ 5) สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

☐ 1) นักเรียน /นิสิต /นักศึกษา ☐ 2) ข้าราชการ / พนักงานรัฐวิสาหกิจ

☐ 3) พนักงานบริษัทเอกชน ☐ 4) ค้าขาย / ประกอบธุรกิจส่วนตัว

☐ 5) แม่บ้าน ☐ 6) อื่นๆ (โปรดระบุ) .....

5. รายได้เฉลี่ยต่อเดือน

☐ 1) ต่ำกว่า 1,000 บาท ☐ 2) 1,001 – 5,000 บาท ☐ 3) 5,001 – 10,000 บาท

☐ 4) 10,001 – 15,000 บาท ☐ 5) 15,000 – 20,000 บาท ☐ 6) สูงกว่า 20,000 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้ง

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอให้คะแนนความชอบของตัวอย่าง โดยให้คะแนนตามคำอธิบายคะแนนความชอบที่กำหนดให้

คำอธิบายคะแนน

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

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ
ลักษณะปรากฏ	.....
สี	.....
รสชาติ	.....
เนื้อสัมผัส	.....
ความชอบรวม	.....

ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งหรือไม่

☐ ยอมรับ เพราะ.....

☐ ไม่ยอมรับ เพราะ.....

หากมีผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งออกวางจำหน่าย ท่านคิดว่าจะซื้อมาบริโภคหรือไม่

☐ ซื้อ เพราะ.....

☐ ไม่แน่ใจ เพราะ.....

☐ ไม่ซื้อ เพราะ.....

ข้อเสนอแนะสำหรับผลิตภัณฑ์

.....

.....

.....

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

ผู้วิจัย

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ จ-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) หลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	23.731	23.731	162.652	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	15.815	15.815	108.398	.000*
เวลาออสโมซิส	1	8.094	8.094	55.480	.000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	.118	.118	.812	.394
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	.461	.461	3.157	.113
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	1.085	1.085	7.436	.026*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	5.207	5.207	35.689	.000*
Error	8	1.167	.146		
Total	16	2617.995			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ จ-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) หลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	4.992	4.992	6088.147	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	.346	.346	422.468	000*
เวลาออสโมซิส	1	2.679	2.679	3267.827	000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	10.903	10.903	13298.639	000*
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	9.581	9.581	11685.185	000*
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	2.825	2.825	3445.576	000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.025	.025	29.996	000*
Error	12	.010	.001		
Total	20	2801.809			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ จ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) หลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	.321	.321	945.580	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	.002	.002	5.894	.041*
เวลาออสโมซิส	1	.019	.019	57.184	.000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	.001	.001	1.681	.231
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	.023	.023	66.839	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.034	.034	100.538	.000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.014	.014	40.019	.000*
Error	8	.003	.000		
Total	16	11.031			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* หลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	2.707	2.707	107.024	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	47.714	47.714	1886.566	.000*
เวลาออสโมซิส	1	.470	.470	18.599	.001*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	.009	.009	.349	.563
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	.120	.120	4.761	.044*
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	1.995	1.995	78.890	.000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.120	.120	4.761	.044*
Error	16	.405	.025		
Total	24	10491.886			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* หลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	.032	.032	3.072	.099
อุณหภูมิออสโมซิส	1	.595	.595	56.678	.000*
เวลาออสโมซิส	1	3.697	3.697	351.989	.000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	.248	.248	23.616	.000*
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	.427	.427	40.619	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.104	.104	9.902	.006*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	1.009	1.009	96.019	.000*
Error	16	.168	.011		
Total	24	979.871			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* หลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	.162	.162	33.747	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	.508	.508	105.914	.000*
เวลาออสโมซิส	1	.246	.246	51.347	.000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	.103	.103	21.434	.000*
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	.186	.186	38.714	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.179	.179	37.260	.000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.297	.297	61.990	.000*
Error	16	.077	.005		
Total	24	618.775			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็ง (Hardness) หลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	71.520	71.520	1012.224	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	2.882	2.882	40.782	.000*
เวลาออสโมซิส	1	.283	.283	4.003	.065
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	4.506	4.506	63.767	.000*
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	9.277	9.277	131.298	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	3.018	3.018	42.710	.000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	5.340	5.340	75.577	.000*
Error	14	.989	.071		
Total	22	871.359			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	.417	.417	1.170	.281
อุณหภูมิออสโมซิส	1	.600	.600	1.685	.196
เวลาออสโมซิส	1	.150	.150	.421	.517
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	2.017	2.017	5.664	.018*
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	.067	.067	.187	.666
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.150	.150	.421	.517
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	1.067	1.067	2.996	.085
Block	29	116.983	4.034	11.329	.000*
Error	203	72.283	.356		
Total	240	10754.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านสีที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	.038	.038	.085	.771
อุณหภูมิออสโมซิส	1	.104	.104	.235	.628
เวลาออสโมซิส	1	.004	.004	.009	.923
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	2.204	2.204	4.982	.027*
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	1.204	1.204	2.722	.101
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.004	.004	.009	.923
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.004	.004	.009	.923
Block	29	96.021	3.311	7.484	.000*
Error	203	89.813	.442		
Total	240	10007.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	5.400	5.400	12.909	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	.067	.067	.159	.690
เวลาออสโมซิส	1	1.667	1.667	3.984	.047*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	1.350	1.350	3.227	.074
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	.017	.017	.040	.842
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.417	.417	.996	.319
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	1.667	1.667	3.984	.047*
Block	29	50.083	1.727	4.129	.000*
Error	203	84.917	.418		
Total	240	11216.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	58.017	58.017	141.527	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	.417	.417	1.016	.315
เวลาออสโมซิส	1	.600	.600	1.464	.228
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	.817	.817	1.992	.160
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	.267	.267	.651	.421
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.000	.000	.000	1.000
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	1.667	1.667	4.066	.045*
Block	29	34.850	1.202	2.932	.000*
Error	203	83.217	.410		
Total	240	10398.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	21.600	21.600	59.348	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	1.350	1.350	3.709	.056
เวลาออสโมซิส	1	2.400	2.400	6.594	.011*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	1.350	1.350	3.709	.056
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	2.400	2.400	6.594	.011*
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	3.750	3.750	10.303	.002*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	2.017	2.017	5.541	.020*
Block	29	42.983	1.482	4.072	.000*
Error	203	73.883	.364		
Total	240	10396.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) หลังการออสโมซิสที่แปรปัจจัยด้านเวลาในการต้มถั่วนิ้วนางแดง อุณหภูมิ และเวลาในการออสโมซิส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
เวลาต้ม	1	.037	.037	105.456	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส	1	.001	.001	3.420	.083
เวลาออสโมซิส	1	.008	.008	21.894	.000*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส	1	.004	.004	12.582	.003*
เวลาต้ม*เวลาออสโมซิส	1	.007	.007	21.147	.000*
อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.006	.006	16.852	.001*
เวลาต้ม*อุณหภูมิออสโมซิส*เวลาออสโมซิส	1	.002	.002	5.927	.027*
Error	16	.006	.000		
Total	24	27.318			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) หลังการออสโมซิสของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	68.197	34.098	292.539	.000*
เกลือ	1	4.631	4.631	39.730	.000*
กลีเซอรอล*เกลือ	2	3.300	1.650	14.154	.001*
Error	12	1.399	.117		
Total	18	5116.843			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) หลังการออสโมซิสของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	101.472	50.736	592.627	.000*
เกลือ	1	2.093	2.093	24.448	.000*
กลีเซอรอล*เกลือ	2	3.736	1.868	21.820	.000*
Error	11	.942	.086		
Total	17	4462.811			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) หลังการออสโมซิสของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	2.979	1.490	39.315	.000*
เกลือ	1	.415	.415	10.945	.008*
กลีเซอรอล*เกลือ	2	.815	.407	10.750	.003*
Error	10	.379	.038		
Total	16	15.600			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณค่า L* หลังการออสโมซิสของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	22.832	11.416	43.541	.000*
เกลือ	1	10.245	10.245	39.076	.000*
กลีเซอรอล*เกลือ	2	9.436	4.718	17.995	.000*
Error	12	3.146	.262		
Total	18	7739.448			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณค่า a* หลังการออสโมซิสของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	1.835	.917	37.125	.000*
เกลือ	1	.562	.562	22.737	.001*
กลีเซอรอล*เกลือ	2	4.754	2.377	96.192	.000*
Error	10	.247	.025		
Total	16	630.686			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณค่า b* หลังการออสโมซิสของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	5.553	2.776	47.220	.000*
เกลือ	1	1.543	1.543	26.239	.000*
กลีเซอรอล*เกลือ	2	14.111	7.056	119.996	.000*
Error	11	.647	.059		
Total	17	474.883			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ จ-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณค่าความแข็ง (Hardness) หลังการออสโมซิสของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	1.792	.896	49.468	.000*
เกลือ	1	.712	.712	39.295	.000*
กลีเซอรอล*เกลือ	2	.699	.349	19.296	.000*
Error	12	.217	.018		
Total	18	296.054			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ จ-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	1.633	.817	2.218	.113
เกลือ	1	.556	.556	1.509	.221
กลีเซอรอล*เกลือ	2	3.411	1.706	4.631	.011*
Block	29	71.200	2.455	6.667	.000*
Error	145	53.400	.368		
Total	180	8372.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ จ-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านสีของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	1.644	.822	2.535	.083*
เกลือ	1	1.089	1.089	3.358	.069*
กลีเซอรอล*เกลือ	2	3.244	1.622	5.002	.008*
Block	29	100.311	3.459	10.666	.000*
Error	145	47.022	.324		
Total	180	8180.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติของสิ่งทดลองที่แปร ความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	1.633	.817	2.218	.113
เกลือ	1	.556	.556	1.509	.221
กลีเซอรอล*เกลือ	2	3.411	1.706	4.631	.011*
Block	29	71.200	2.455	6.667	.000*
Error	145	53.400	.368		
Total	180	8372.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	.044	.022	.038	.963
เกลือ	1	.450	.450	.770	.382
กลีเซอรอล*เกลือ	2	8.933	4.467	7.643	.001*
Block	29	64.161	2.212	3.786	.000*
Error	145	84.739	.584		
Total	180	8145.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	2.744	1.372	2.388	.095
เกลือ	1	6.050	6.050	10.526	.001*
กลีเซอรอล*เกลือ	2	3.700	1.850	3.219	.043*
Block	29	34.561	1.088	1.894	.008*
Error	145	83.339	.575		
Total	180	8437.000			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (WL/SG) หลังการออสโมซิสของสิ่งทดลองที่แปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล และเกลือ ร่วมกับสารละลายซูโครส

Source of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
กลีเซอรอล	2	.015	.007	10.673	.002*
เกลือ	1	.000	.000	.510	.489
กลีเซอรอล*เกลือ	2	.001	.000	.612	.559
Error	12	.008	.001		
Total	18	20.151			

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ จ-27 ค่า a_w และปริมาณความชื้น จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บ	ค่า a_w		ความชื้น	
	อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน	อุณหภูมิตู้เย็น	อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน	อุณหภูมิตู้เย็น
0	0.842^{e} ±0.003	0.842^{e}±0.003	25.31^{e}±0.19	25.31^{d}±0.19
1	0.853^{d}±0.003	0.871^{d}±0.003	27.46^{d}±0.26	26.45^{c}±0.39
2	0.864^{c}±0.004	0.876^{c}±0.004	28.03^{c}±0.31	26.63^{c}±0.43
3	0.892^{b}±0.005	0.882^{b}±0.005	29.41^{b}±0.35	27.04^{b}±0.55
4	0.901^{a}±0.005	0.899^{a}±0.006	30.74^{a}±0.25	28.02^{a}±0.61

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

ตารางที่ จ-28 ค่าสี (L* a* และ b*) จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บ	อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน			อุณหภูมิตู้เย็น		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	25.21^{a}±0.17	7.01^{a}±0.04	5.64^{a}±0.04	25.21^{a}±0.17	7.01^{a}±0.04	5.64^{a}±0.04
1	21.58^{b}±0.19	6.89^{b}±0.03	4.43^{b}±0.06	22.58^{b}±0.31	6.91^{b}±0.05	4.81^{b}±0.07
2	21.49^{b}±0.29	6.70^{bc}±0.05	4.15^{c}±0.07	20.18^{c}±0.15	6.82^{bc}±0.11	4.67^{b}±0.10
3	21.40^{b}±0.39	6.45^{cd}±0.03	4.08^{cd}±0.10	19.76^{d}±0.22	6.63^{cd}±0.22	4.49^{c}±0.13
4	21.32^{b}±0.18	6.28^{d}±0.05	3.96^{d}±0.13	18.01^{e}±0.19	6.44^{d}±0.15	4.33^{c}±0.11

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

ตารางที่ จ-29 ค่าความแข็ง (Hardness) จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บ	อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน	อุณหภูมิตู้เย็น
0	4.42 ± 0.21^{c}	4.42 ± 0.21^{d}
1	6.31 ± 0.23^{b}	7.64 ± 0.56^{c}
2	6.48 ± 0.34^{b}	7.85 ± 0.51^{b}
3	7.02 ± 0.44^{a}	8.05 ± 0.60^{a}
4	7.13 ± 0.29^{a}	8.14 ± 0.46^{a}

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

ตารางที่ จ-30 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องร่วมกับการเติมสารดูดออกซิเจน (27±2 องศาเซลเซียส)

ระยะเวลาการเก็บ	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.00 ± 0.67^{a}	6.57 ± 0.80^{a}	6.63 ± 0.98^{a}	6.77 ± 0.99^{a}	7.00 ± 0.68^{a}
1	6.87 ± 0.85^{a}	6.22 ± 1.13^{ab}	6.45 ± 0.86^{ab}	6.34 ± 1.15^{b}	6.83 ± 0.77^{ab}
2	5.91 ± 1.01^{b}	5.98 ± 0.99^{bc}	6.03 ± 0.73^{bc}	5.91 ± 0.96^{c}	6.59 ± 0.95^{abc}
3	5.13 ± 0.95^{bc}	5.43 ± 0.85^{cd}	5.86 ± 0.99^{cd}	5.57 ± 0.83^{d}	6.20 ± 0.80^{bc}
4	5.04 ± 0.88^{c}	5.19 ± 0.78^{d}	5.42 ± 1.08^{d}	5.38 ± 0.89^{d}	5.97 ± 1.09^{c}

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

ตารางที่ จ-31 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่ผลิตได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (4±1 องศาเซลเซียส)

ระยะเวลาการเก็บ	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.00±0.67^{a}	6.57±0.80^{ab}	6.63±0.98^{c}	6.77±0.99^{b}	7.00±0.68^{ab}
1	7.21±0.95^{a}	7.05±0.82^{a}	7.49±0.75^{a}	7.38±0.77^{a}	7.45±0.97^{a}
2	6.88±1.54^{ab}	6.94±0.97^{a}	7.03±0.85^{b}	6.85±1.44^{ab}	7.03±0.86^{ab}
3	6.53±0.81^{bc}	6.70±0.75^{ab}	6.81±0.85^{bc}	6.19±1.01^{c}	6.81±1.36^{ab}
4	6.25±0.73^{c}	6.41±0.95^{b}	6.54±0.91^{c}	5.87±0.82^{c}	6.53±0.76^{b}

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

ภาคผนวก ฉ
ภาพประกอบสำหรับโครงงานวิจัย

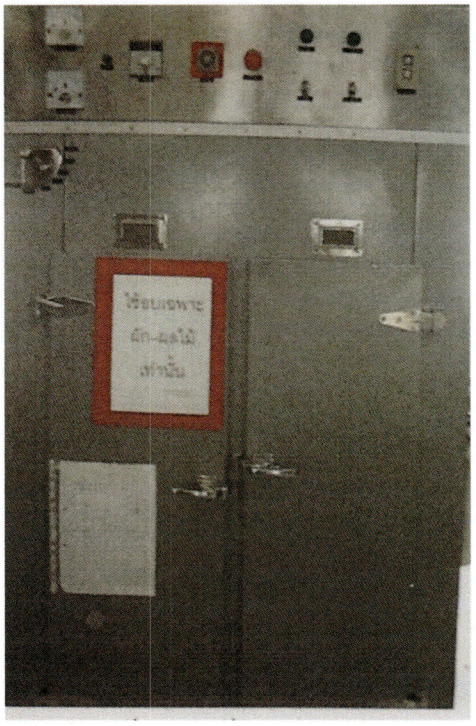
ภาพที่ ฉ-1 ลักษณะถั่วนิ้วนางแดงที่มีตำหนิ

ภาพที่ ฉ-2 การต้มถั่วนิ้วนางแดงในน้ำเดือด

ภาพที่ ฉ-3 การออสโมซิสถั่วนิ้วนางแดงที่อุณหภูมิห้อง

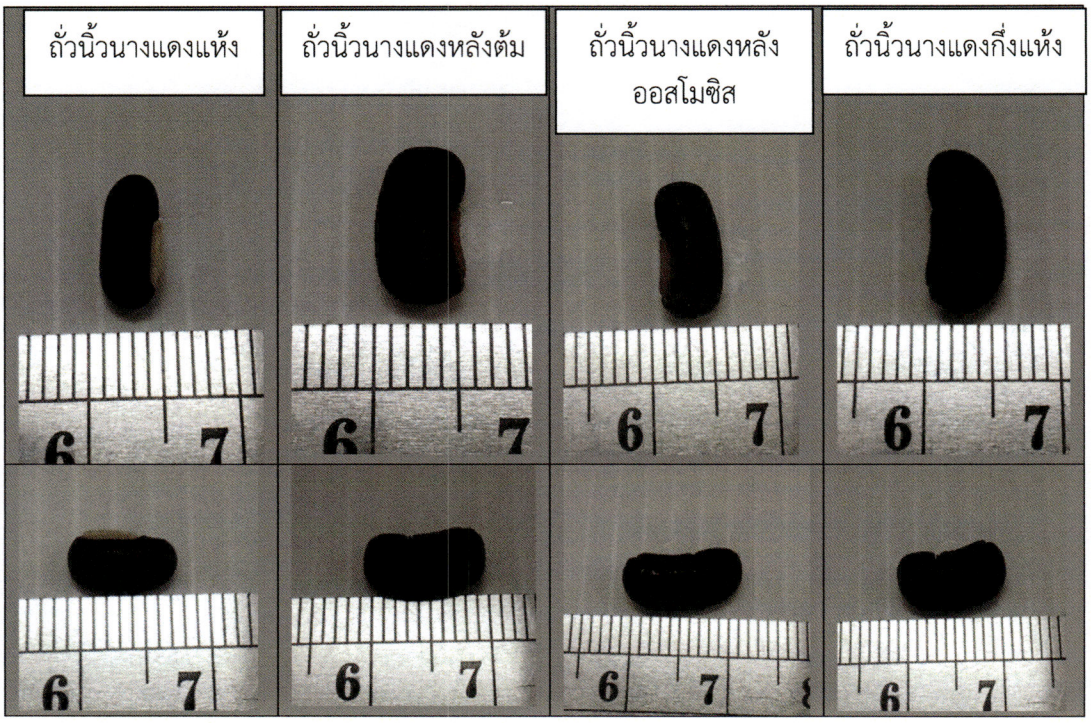
(ก) (ข)

ภาพที่ ฉ-4 ถั่วนิ้วนางแดงที่ผ่านการออสโมซิสด้วย สารละลายซูโครส (ก) สารละลายผสมระหว่าง กลีเซอรอลและเกลือ (ข)

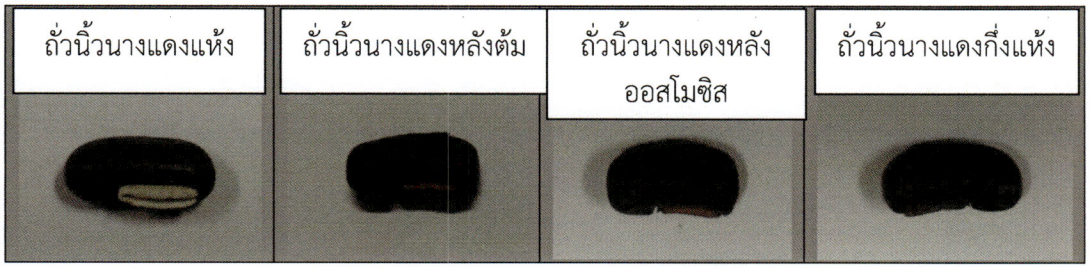


ภาพที่ ฉ-5 ตู้อบลมร้อนแบบถาดที่ใช้อบแห้งถั่วนิ้วนางแดงด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer)

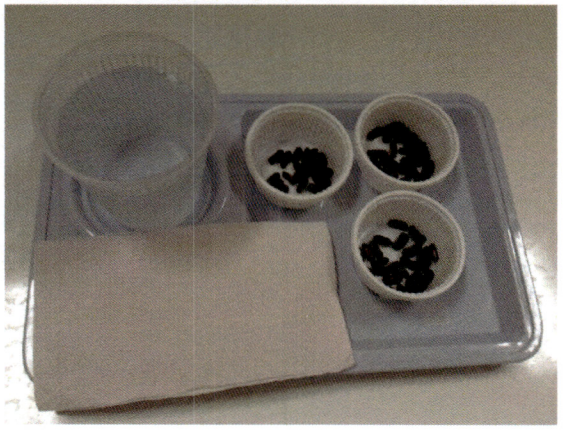
ภาพที่ ฉ-6 ผลิตภัณฑ์ถั่วนิ้วนางแดงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่พัฒนาได้



ภาพที่ ฉ-7 การเปรียบเทียบขนาดถั่วนิ้วนางแดงในระหว่างการทดลอง



ภาพที่ ฉ-8 การเปรียบเทียบลักษณะถั่วนิ้วนางแดงในระหว่างการทดลอง



ภาพที่ ฉ-9 การทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส