

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

การประยุกต์ใช้กระบวนการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งแบบสุญญากาศ
ในการพัฒนาคุณภาพกล้วยไข่กึ่งแห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

สุภาพรรณ กองสมเพชร

28 พ.ค. 2557

TH 0026948

337487

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤษภาคม 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.วิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้ความรู้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อ. เต็มศักดิ์ ส่งวัฒนา ที่มอบทุนการศึกษาและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสงบ คงสมเพชร และคุณแม่จรรววรรณ มีสา ที่เป็นกำลังใจสำคัญ ตลอดจนพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกท่าน ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่มีส่วนคอยช่วยเหลือทั้งร่างกายแรงใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูแก่เวทิตาแด่ บพการี บุรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบนานเท่านานนี้

สุภาพรรณ คงสมเพชร

48910882: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร; วท.ม. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร)

คำสำคัญ: กล้วยไข่/ สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย/ การออสโมซิส/ การทำแห้งแบบสูญญากาศ

สุภาพรณ คงสมเพชร: การประยุกต์ใช้กระบวนการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งแบบสูญญากาศในการพัฒนาคุณภาพกล้วยไข่กึ่งแห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

(APPLICATION OF OSMOSIS PROCESS COMBINED WITH VACUUM DRYING FOR QUALITY DEVELOPMENT OF INTERMEDIATE MOISTURE BANANA (*Musa sapientum* L.) ENRICHED WITH PHYSIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์:

วิชมนี ยืนยงพุทธกาล, Ph.D. 230 หน้า. ปี พ.ศ. 2557.

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กึ่งแห้งโดยใช้วิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งแบบสูญญากาศและเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เพื่อเพิ่มมูลค่าให้วัตถุดิบกล้วยไข่ จากการศึกษาผลของการออสโมซิสโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโอลิโกฟรุคโตส 30-50 กรัมต่อ 100 กรัม และซูโครส 10-20 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design พบว่า เมื่อความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักลดลง (WR) เพิ่มขึ้น และสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสารกับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก รวมถึงสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนองได้ โดยการใช้โอลิโกฟรุคโตส 47 กรัมต่อ 100 กรัม และซูโครส 19 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม มีความเหมาะสมมากที่สุด จากการศึกษาการใช้สภาวะสูญญากาศในการเตรียมชิ้นต้น โดยแปรความดันสูญญากาศ 50 และ 100 มิลลิบาร์ และเวลาการสูญญากาศ 5 และ 10 นาที พบว่า การใช้สภาวะสูญญากาศในการเตรียมชิ้นต้นมีผลทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยการเตรียมชิ้นต้นในสภาวะสูญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีค่า WL SG และ WR ร้อยละ 27.17 2.52 และ 24.65 ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง จากการศึกษาการเสริมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติก คือ ไอรอนกลูโคเนต 0-2 กรัมต่อ 100 กรัม และแคลเซียมแลคเตต 0-2 กรัมต่อ 100 กรัม พบว่า การเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตตในสารละลายออสโมติกทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณเหล็กและปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยการเติมไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตต 2 กรัมต่อ 100 กรัม ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมสูงที่สุด ($p < 0.05$) เมื่อนำกล้วยไข่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาทำแห้งแบบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 480 มิลลิบาร์ กำหนดให้มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 15 ± 1 พบว่า การออสโมซิสกล้วยไข่ก่อนการทำแห้งช่วยลดเวลาการทำแห้งได้ประมาณ 170 นาที กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะปรากฏที่ดี มีสีเหลืองอมน้ำตาล โดยมีปริมาณเหล็ก 22.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และแคลเซียม 30.28 กรัมต่อ 100 กรัม กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเก็บรักษาอย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสได้รับความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนนขึ้นไป ตลอดเวลาการเก็บรักษา

48910882: MAJOR: FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY; M.Sc. (FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY)

KEYWORDS: BANANA (*Musa sapientum* L.) / PHYSIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS/ OSMOSIS/ VACUUM DRYING

SUPAPUN KHONGSOMPHET: APPLICATION OF OSMOSIS PROCESS COMBINED WITH VACUUM DRYING FOR QUALITY DEVELOPMENT OF INTERMEDIATE MOISTURE BANANA (*Musa sapientum* L.) ENRICHED WITH PHYSIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS. ADVISORY COMMITTEE: WICHAMANEY YUENYONGPUTTAKAL, Ph.D. 230 P. 2014.

This research was developed the intermediate moisture banana (*Musa sapientum* L.) product by using osmosis treatment combined with vacuum drying and enriched with physiologically active compounds in order to value added for banana product. The effect of osmosis process using mixture agents of oligofructose 30-50 g/100 g and sucrose 10-20 g/100 g combined with sodium chloride 5 g/100 g studied with Central Composite Design was carried out. The results showed that increasing concentration of oligofructose and sucrose affect the mass transfer parameters namely water loss (WL) solid gain (SG) and weight reduction (WR) were increased. The mathematical models of mass transfer parameters fitted as a function of osmotic solution concentration were created and response surface plot were also developed. The optimum osmotic agent compositions were oligofructose 47 g/100 g, sucrose 19 g/100 g and sodium chloride 5 g/100 g. The effect of vacuum impregnation pretreatment condition applying vacuum pressure at 50 and 100 mbar for 5 and 10 min were varied. It was found that vacuum impregnation pre-treatment result increased mass transfer ($p < 0.05$). The optimum pretreatment condition was vacuum pressure at 50 mbar for 5 min. The WL, SG and WR were reached 27.17%, 2.52% and 24.65%, respectively and the overall liking score at moderate level was gained ($p < 0.05$). The effect of iron gluconate 0-2 g/100 g and calcium lactate 0-2 g/100 g added in the osmotic solutions were studied. It showed that the osmosed banana had iron content and calcium content increased with iron gluconate and calcium lactate concentration ($p < 0.05$). Adding iron gluconate and calcium lactate 2 g/100 g in osmotic agents resulted the osmosed banana had the highest iron and calcium content ($p < 0.05$). Banana with and without osmosis treatment were vacuum dried at temperature 60 ± 2 °C, pressure 480 mbar until reached $15 \pm 1\%$ moisture content. It was found that osmosis treatment prior to the drying decreased drying time approximately 170 min. The intermediate moisture banana with osmosis treatment had good appearance, a yellow-brown color enriched with iron content (22.04 mg/100 g) and calcium content (30.28 mg/100 g). Intermediate moisture banana with and without osmosis treatment were safely to consumer at room temperature at least 4 weeks. The result showed that intermediate moisture banana with osmosis treatment gained more than 6 overall liking score along storage time.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
กล้วยไข่.....	5
สถานการณ์การปลูกกล้วยไข่ในประเทศ.....	11
สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย.....	12
อาหารกึ่งแห้ง.....	15
การคั้นน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส.....	16
การเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายโดยการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ.....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสผักผลไม้.....	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสผักผลไม้ในสภาวะสุญญากาศ.....	24
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสริมแร่ธาตุผักผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ.....	26
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งผักผลไม้ด้วยลมร้อนและการทำแห้งแบบสุญญากาศ.....	28
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
วัสดุและสารเคมี.....	30
เครื่องมือและอุปกรณ์.....	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
ตอนที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบกล้วยไข่ที่ใช้ในการวิจัย.....	31
ตอนที่ 2 การศึกษาผลของการออสโมซิสโดยใช้สารละลายผสมต่อ	
ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่.....	32
2.1 การศึกษาผลของชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์ต่อ	
ค่าการถ่ายเทมวลสารของกล้วยไข่.....	32
2.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตสและซูโครสต่อค่าการถ่ายเท	
มวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่.....	34
ตอนที่ 3 การศึกษาผลของการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อน	
การออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่.....	38
ตอนที่ 4 การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติกต่อ	
ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่.....	40
ตอนที่ 5 การหาเวลาในการทำแห้งแบบสุญญากาศและการเปรียบเทียบคุณภาพ	
กล้วยไข่ทั้งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส.....	42
ตอนที่ 6 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่ทั้งแห้งที่ผลิตได้ระหว่าง	
การเก็บรักษา.....	44
4 ผลการวิจัย.....	46
ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบกล้วยไข่ที่ใช้ในการวิจัย.....	46
ตอนที่ 2 ผลของการออสโมซิสโดยใช้สารละลายผสมต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและ	
คุณภาพของกล้วยไข่.....	47
2.1 ผลของชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์ต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร	
ของกล้วยไข่.....	47
2.2 ผลของความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตสและซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร	
และคุณภาพของกล้วยไข่.....	52
ตอนที่ 3 ผลของการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิส	
ต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่.....	64

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ตอนที่ 4 ผลของการเสริมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพของกล้วยไข่.....	78
ตอนที่ 5 ผลของการหาเวลาในการทำแห้งแบบสุญญากาศและการเปรียบเทียบคุณภาพกล้วยไข่ทั้งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส.....	86
ตอนที่ 6 ผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่ทั้งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา.....	92
5 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง.....	104
ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบกล้วยไข่ที่ใช้ในการวิจัย.....	104
ตอนที่ 2 ผลของการออสโมซิสโดยใช้สารละลายผสมต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่.....	105
2.1 ผลของชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์ต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของกล้วยไข่.....	105
2.2 ผลของความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตสและซูโครสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่.....	107
ตอนที่ 3 ผลของการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมชิ้นต้นก่อนการออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่.....	113
ตอนที่ 4 ผลของการเสริมแร่ธาตุในสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของกล้วยไข่.....	120
ตอนที่ 5 ผลของการหาเวลาในการทำแห้งแบบสุญญากาศและการเปรียบเทียบคุณภาพกล้วยไข่ทั้งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส.....	125
ตอนที่ 6 ผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่ทั้งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา.....	129
สรุปผลการทดลอง.....	133
ข้อเสนอแนะ.....	136
บรรณานุกรม.....	137
ภาคผนวก.....	150
ภาคผนวก ก.....	151

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ข	159
ภาคผนวก ค	169
ภาคผนวก ง	176
ภาคผนวก จ	181
ภาคผนวก ฉ	190
ภาคผนวก ช	226
ประวัติย่อของผู้วิจัย	230

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยไข่ กล้วยหอม และกล้วยน้ำว้าสุก ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม.....	6
2-2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบสโมซิต ในผักผลไม้.....	21
2-3 การเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (PAC) โดยการอบสโมซิตในสภาวะสุญญากาศ..	23
3-1 สารละลายอบสโมติกที่ได้จากการแปรชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์ใน การอบสโมซิต.....	32
3-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครส โดยการจัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design (CCD).....	35
3-3 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรระดับความดันสุญญากาศและเวลาการเป็นสุญญากาศ ในการเตรียมขั้นต้นก่อนการอบสโมซิต.....	38
3-4 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของไอรอนกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตท ที่เติมในสารละลายอบสโมติก.....	40
4-1 ค่าคุณภาพของกล้วยไข่ที่ใช้ในการวิจัย.....	46
4-2 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (ร้อยละ) ของกล้วยไข่ในระหว่างการอบสโมซิต เมื่อใช้สารละลายอบสโมติกที่ได้จากการแปรชนิดของน้ำตาลและการใช้ โซเดียมคลอไรด์.....	48
4-3 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ) ของกล้วยไข่ในระหว่างการอบสโมซิต เมื่อใช้สารละลายอบสโมติกที่ได้จากการแปรชนิดของน้ำตาลและการใช้ โซเดียมคลอไรด์.....	49
4-4 ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (ร้อยละ) ของกล้วยไข่ในระหว่างการอบสโมซิต เมื่อใช้สารละลายอบสโมติกที่ได้จากการแปรชนิดของน้ำตาลและการใช้ โซเดียมคลอไรด์.....	50
4-5 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของกล้วยไข่ในระหว่างการอบสโมซิต 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายอบสโมติก ที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตส (30-50 กรัมต่อ 100 กรัม) ซูโครส (10-20 กรัมต่อ 100 กรัม) ร่วมกับการใช้โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม.....	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-6 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรีด (WR) ของกล้วยไข่ในระหว่างการอบโมซิส 6 ชั่วโมง กับความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตส (OLF) และซูโครส (SU).....	54
4-7 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของกล้วยไข่หลังการอบโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายอบโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตส (30-50 กรัมต่อ 100 กรัม) และซูโครส (10-20 กรัมต่อ 100 กรัม) ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม.....	57
4-8 ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไข่สด ของกล้วยไข่หลังการอบโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายอบโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตส (30-50 กรัมต่อ 100 กรัม) และซูโครส (10-20 กรัมต่อ 100 กรัม) ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม.....	58
4-9 ค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่หลังการอบโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายอบโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตส (30-50 กรัมต่อ 100 กรัม) และซูโครส (10-20 กรัมต่อ 100 กรัม) ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม.....	61
4-10 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกล้วยไข่หลังการอบโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายอบโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตส (30-50 กรัมต่อ 100 กรัม) และซูโครส (10-20 กรัมต่อ 100 กรัม) ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม.....	62
4-11 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของกล้วยไข่หลังการอบโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายอบโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตส (30-50 กรัมต่อ 100 กรัม) และซูโครส (10-20 กรัมต่อ 100 กรัม) ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม.....	63
4-12 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรีด (WR) ของกล้วยไข่หลังการอบโมซิส เมื่อแปรระดับความดันสุญญากาศและเวลาการสุญญากาศในการเตรียมขึ้นคั่นก่อนการอบโมซิส.....	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-13 ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความดันสุญญากาศและเวลาการสุญญากาศในการเตรียมขึ้นต้นก่อนการออสโมซิส.....	68
4-14 ค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่หลังการใช้สภาวะสุญญากาศและหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความดันสุญญากาศและเวลาการสุญญากาศในการเตรียมขึ้นต้นก่อนการออสโมซิส.....	71
4-15 การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume Change) ของกล้วยไข่หลังการใช้สภาวะสุญญากาศและหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความดันสุญญากาศและเวลาการสุญญากาศในการเตรียมขึ้นต้นก่อนการออสโมซิส.....	72
4-16 การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Shape Change) ของกล้วยไข่หลังการใช้สภาวะสุญญากาศและหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความดันสุญญากาศและเวลาการสุญญากาศในการเตรียมขึ้นต้นก่อนการออสโมซิส.....	73
4-17 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความดันสุญญากาศและเวลาการสุญญากาศในการเตรียมขึ้นต้นก่อนการออสโมซิส.....	77
4-18 ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนัที่ลดลง (WR) ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของไฮรอนกลูโคเนต (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม) และแคลเซียมแลคเตท (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม).....	79
4-19 ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ค่าเฉดสี (Hue angle) ค่าความเข้มของสี (Chroma) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของไฮรอนกลูโคเนต (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม) และแคลเซียมแลคเตท (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม).....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-20 ค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของไอออนกลูโคเนต (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม) และแคลเซียมแลคเตท (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม).....	82
4-21 ปริมาณเหล็กและปริมาณแคลเซียมของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของเฟอร์รัสกลูโคเนต (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม) และแคลเซียมแลคเตท (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม).....	83
4-22 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายออสโมติกก่อนและหลังการออสโมซิสกล้วยไข่ เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของไอออนกลูโคเนต (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม) และแคลเซียมแลคเตท (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม).....	84
4-23 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของไอออนกลูโคเนต (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม) และแคลเซียมแลคเตท (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม).....	85
4-24 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลาทำแห้ง (x) ของกล้วยไข่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสที่สภาวะอุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ความดัน 480 มิลลิบาร์.....	88
4-25 ค่าคุณภาพของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส.....	90
4-26 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	99
4-27 ปริมาณ <i>Escherichia coli</i> (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	100
4-28 ปริมาณ <i>Staphylococcus aureus</i> (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	100
4-29 ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	101

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ลักษณะของต้นกล้วยไข่ (ก) และผลกล้วยไข่สุก (ข).....	5
2-2 ลักษณะของกล้วยไข่ที่แก่เกินร้อยละ 80 (ก) และผลของกล้วยไข่ที่แก่ประมาณร้อยละ 80 (ข).....	7
2-3 สีของเนื้อมีกล้วยไข่ที่อายุได้ 25 วัน (ก) 35 วัน (ข) 45 วัน (ค) และเกิน 45 วัน (ง) หลังตัดปลี).....	8
2-4 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกกระหว่างการสุกของกล้วยตามดัชนีสีเปลือกกล้วย.....	9
2-5 ลักษณะโครงสร้างของ (ก) แคลเซียมกลูโคเนต และ (ข) แคลเซียมแลคเตต.....	13
2-6 ลักษณะโครงสร้างของ (ก) เพอร์สัลเฟต (ข) เพอร์สกลูโคเนตหรือไฮรอนกลูโคเนต และ (ค) เพอร์สฟูมาเรต.....	14
2-7 ลักษณะโครงสร้างของโพลิโอฟอสโฟส.....	15
2-8 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส.....	17
2-9 การเคลื่อนที่ของสารละลายในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยกลไก Hydrodynamic Mechanism.....	19
2-10 โมเดลของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่ในสถานะสุญญากาศ.....	20
3-1 กล้วยไข่ที่ใช้ในการวิจัย (ก) ลักษณะกล้วยไข่ทั้งหวี และ (ข) ลักษณะเนื้อมีกล้วยไข่.....	31
4-1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่สูญเสีย (ร้อยละ) ของกล้วยไข่ในระหว่างการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์.....	48
4-2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ) ของกล้วยไข่ในระหว่างการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์.....	49
4-3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหนักรวมที่ลดลง (ร้อยละ) ของกล้วยไข่ในระหว่างการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์.....	50
4-4 ลักษณะของชิ้นกล้วยไข่สด (ก) ลักษณะของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง (ข)-(จ) และหลังการออสโมซิส 7 ชั่วโมง (ฉ)-(ญ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรชนิดของน้ำตาลและการใช้โซเดียมคลอไรด์.....	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-5 พื้นที่การตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) (ก) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) (ข) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) (ค) ของกล้วยไข่ หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง กับความเข้มข้นของโพลิโกฟรุคโตสและซูโครส.....	55
4-6 ลักษณะของขึ้นกล้วยไข่สด (ก) ลักษณะของกล้วยไข่หลังการออสโมซิสทั้ง 11 สิ่งทดลอง (ข)-(ง) หลังการออสโมซิส 6 เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของโพลิโกฟรุคโตส (30-50 กรัมต่อ 100 กรัม) และซูโครส (10-20 กรัมต่อ 100 กรัม) ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม.....	56
4-7 ลักษณะของขึ้นกล้วยไข่หลังการออสโมซิส เมื่อไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นในสภาวะสุญญากาศ (ก) และผ่านการเตรียมขึ้นต้นในสภาวะสุญญากาศ เมื่อแปรระดับความดันสุญญากาศและเวลาการสุญญากาศ (ข)-(จ).....	67
4-8 เซลล์กล้วยไข่สด (ก) เซลล์กล้วยไข่หลังการออสโมซิสเมื่อไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้นในสภาวะสุญญากาศ (ข) และเซลล์กล้วยไข่หลังการออสโมซิสเมื่อผ่านการเตรียมขึ้นต้นในสภาวะสุญญากาศความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที (ค) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 100X.....	76
4-9 ลักษณะของขึ้นกล้วยไข่หลังการออสโมซิสทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก)-(ข) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของไฮรอนกลูโคเนต (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม) และแคลเซียมแลคเตท (0-2 กรัมต่อ 100 กรัม)	80
4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาทำแห้งกล้วยไข่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสที่สภาวะอุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส ความดัน 480 มิลลิบาร์.....	87
4-11 ลักษณะของขึ้นกล้วยไข่ทั้งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส (ก) และกล้วยไข่ทั้งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (ข)	89
4-12 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของกล้วยไข่ทั้งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส.....	91
4-13 กราฟไขแมงมุมแสดงความเข้มของคุณลักษณะจากการทดสอบโดยวิธี QDA ของกล้วยไข่ทั้งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส.....	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-14 ลักษณะของซึ้นกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส (ก-จ) และกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (ฉ-ฐ) ในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	93
4-15 ค่าความสว่าง (L^*) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	94
4-16 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	94
4-17 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	95
4-18 ค่าเจดสี (Hue angle) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	95
4-19 ค่าความเข้มของสี (Chroma) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	96
4-20 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	96
4-21 ค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	97
4-22 ปริมาณความชื้นของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	98
4-23 ค่า a_w ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	98
4-24 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	102
4-25 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง.....	103