



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย  
จากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวโดยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง

Development of Intermediate Moisture Ginger Product  
enriched with Physiologically Active Compounds from  
Gac Fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng) Aril  
using Osmotic Dehydration combined with Drying

นางสาววิชฌณี ยืนยงพุทธกาล

นางพรนภา น้อยพันธ์

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้  
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๘  
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2558A10802356

สัญญาเลขที่ 49/2558

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย  
จากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวโดยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง

Development of Intermediate Moisture Ginger Product  
enriched with Physiologically Active Compounds from  
Gac Fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng) Aril  
using Osmotic Dehydration combined with Drying

นางสาววิชฌณี ยืนยงพุทธกาล

นางพรนภา น้อยพันธ์

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มีนาคม 2559

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 49/2558 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวอนุสรာ พลบงู และนางสาวเพี้ย มหาขันตี

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวโดยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง จากการศึกษาผลของการลวกขิงก่อนการออสโมซิส พบว่าชนิดของสารที่ใช้ลวก (น้ำ, สารละลายโซเดียมคลอไรด์) และเวลาในการลวก (5, 10, 15 นาที) มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลจากการออสโมซิสและคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของขิงหลังการออสโมซิส ( $p < 0.05$ ) การลวกในน้ำ 5 นาที ก่อนการออสโมซิส มีผลทำให้ขิงหลังการออสโมซิสมีกลิ่นรสเผ็ดของขิงลดลง และมีค่าการถ่ายเทมวลสารจากการออสโมซิสมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) ศึกษาผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (15, 20, 25%) และระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ (1450, 2900 psi) ของสารละลายออสโมติก พบว่าอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัย มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ( $p < 0.05$ ) และพบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยต่อปริมาณไลโคพีน ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ( $p \geq 0.05$ ) การใช้ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 25% ร่วมกับความดันในการโฮโมจิไนซ์ 2900 psi ทำให้ขิงหลังการออสโมซิสมีค่าการถ่ายเทมวลสารและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด จากการศึกษาผลของเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (0 20 30 และ 40 นาที) ที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ พบว่า การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 30 นาที ก่อนการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด รวมถึงมีปริมาณไลโคพีน ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ โดยได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกับการไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งที่พัฒนาได้เมื่อบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ยังมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคและเป็นที่ยอมรับ

## Abstract

This research was developed the intermediate moisture ginger product enriched with physiologically active compounds from gac fruit aril using osmotic dehydration combined with drying. Blanching medium type (water, NaCl solution) and blanching time (5, 10, 15 min) significantly effected on mass transfer parameters of osmosis process and sensory scores of osmosed ginger ( $p < 0.05$ ). Water blanching pretreatment for 5 minutes prior to osmosis could reduce ginger tang flavor and gained highest mass transfer from osmosis process ( $p < 0.05$ ). Effect of aril gac concentration (15, 20, 25%) and homogenization pressure (1450, 2900 psi) of osmotic solution were studied. It was found that the interaction of all two factors significantly affected the mass transfer and antioxidant properties ( $p < 0.05$ ). There was no influence factors affected lycopene content, carotenoid content and total phenolics content ( $p < 0.05$ ). The treatment which adding aril gac 25% and homoginzed at pressure 2900 psi resulted highest mass transfer value and antioxidant properties of osmosed ginger. Effect of vacuum osmotic dehydration time (0 20, 30 and 40 min) at a pressure of 50 mbar was studied. It was found that osmosis under vacuum for 30 min prior to osmosis in the atmosphere resulted highest mass transfer value. Accordingly, the quantities of lycopene, carotenoids and total phenolic were higher than the sample without vacuum treated. There was no different in sensory score between sample with and without vacuum osmosis dehydration. The semi-dried developed product in aluminum foil packed and stored at room temperature was found to be safe for consumption up to 30<sup>th</sup> of storage time.

## สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ.....	ก
	บทคัดย่อ.....	ข
	Abstract.....	ค
	สารบัญ.....	ง
	สารบัญตาราง.....	จ
	สารบัญภาพ.....	ช
บทที่		
1	บทนำ.....	1
2	การตรวจเอกสาร.....	5
3	วิธีดำเนินการทดลอง.....	31
4	ผลการทดลองและวิจารณ์.....	40
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	84
	บรรณานุกรม.....	86
	ภาคผนวก.....	95
	ประวัตินักวิจัย.....	111

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณค่าทางโภชนาการของชิงอ่อนน้ำหนัก 100 กรัม.....	7
2-2	คุณค่าทางโภชนาการของฟักข้าวน้ำหนัก 100 กรัม.....	8
2-3	ปริมาณไลโคพีนของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้บางชนิดในผลไม้	10
3-1	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกชิงก่อนการ ออสโมซิส.....	32
3-2	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดัน ในการไฮโมจิไนซ์ในการออสโมซิสชิง.....	35
3-3	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรเวลาการออสโมซิสชิงในสภาวะสุญญากาศ.....	37
4-1	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อไม่ ผ่านและผ่านการลวกโดยแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกชิงก่อนการ ออสโมซิส.....	42
4-2	คะแนนความเข้มของกลิ่นชิงและกลิ่นรสเผ็ดของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อไม่ผ่านและผ่านการลวกโดยแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกชิงก่อน การออสโมซิส.....	44
4-3	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรที่ ลดลง (WR) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมงเมื่อไม่ผ่านและผ่านการลวก โดยแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกชิงก่อนการออสโมซิส.....	47
4-4	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการถ่ายเทมวลสารและปริมาณ สารพฤษเคมีของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปร ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (GF) และระดับความดันในการไฮโมจิไนซ์ (HM) ในการออสโมซิสชิง.....	48
4-5	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง (WR) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความ เข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการไฮโมจิไนซ์สารละลาย ออสโมติกในการออสโมซิสชิง.....	53

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-6	ปริมาณไลโคพีน (mg/100g) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในการออสโมซิสชิง..... 55
4-7	ปริมาณไลโคพีน (mg/100g) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรระดับความดันในการโฮมจิเนสสารละลายออสโมติกในการออสโมซิสชิง..... 55
4-8	ปริมาณแคโรทีนอยด์ ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการโฮมจิเนสสารละลายออสโมติกในการออสโมซิสชิง..... 57
4-9	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (g/100g) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการโฮมจิเนสสารละลายออสโมติกในการออสโมซิสชิง..... 59
4-10	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการโฮมจิเนสสารละลายออสโมติกในการออสโมซิสชิง..... 61
4-11	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ..... 66
4-12	ปริมาณไลโคพีน (mg/100g) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ..... 67
4-13	ปริมาณแคโรทีนอยด์ ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมงเมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ..... 68
4-14	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (g/100 g) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมงเมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ..... 69
4-15	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition) ของชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมงเมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ..... 70



### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-16	ค่าความแน่นเนื้อ (g) ของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ.....	71
4-17	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ.....	73
4-18	ปริมาณความชื้น (%) ของผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	75
4-19	ปริมาณไลโคพีน (mg/100g) ของผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	75
4-20	ปริมาณแคโรทีนอยด์ ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) ของผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บรักษา..... ที่อุณหภูมิห้อง.....	76
4-21	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ( $\text{g}/100\text{g}^*$ ) ของผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง.....	77
4-22	สมบัตการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition) ของผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บ รักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	78
4-23	ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ของ ผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	78
4-24	ค่า $a_w$ ของผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	79
4-25	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง.....	80
4-26	ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	81
4-27	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซิงกึ่งแข็งเมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง.....	82

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะเหง้าของชิงอ่อน.....	5
2-2	ลักษณะฟักข้าว.....	7
2-3	โครงสร้างของไลโคพิน.....	11
2-4	โครงสร้างอนุพันธ์แคโรทีนอยด์ .....	11
2-5	โครงสร้างโมเลกุลของโอลิโกฟรุคโตส.....	15
2-6	การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส.....	17
2-7	กลไก Hydrodynamic machanism (HDM).....	21
2-8	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์พืชระหว่างการลวก.....	22
2-9	การจำแนกอาหารตามค่า $a_w$ .....	24
3-1	ชั้นชิงขนาด 2*2*1 เซนติเมตร.....	33
3-2	ลักษณะของสารละลายออสโมติกและการแช่ชิงในสารละลายออสโมติก	35
3-3	การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสชิงก่อนการแช่ในสภาวะบรรยากาศ	37
4-1	ลักษณะชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อไม่ผ่านการลวก (ก) และผ่านการลวก (ข)-(ช) โดยแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกชิงก่อนการออสโมซิส	41
4-2	ลักษณะของชิงสด (ก) และชิงหลังการออสโมซิส (ข)-(ช) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (GF) และระดับความดันในการโฮโมจีไนส์ (HM) ในการออสโมซิสชิง.....	50
4-3	ลักษณะผิวหน้าชิงที่กำลังขยาย 200 เท่าของชิงสด.....	51
4-4	ลักษณะชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อไม่ใช้สุญญากาศในการออสโมซิส (ก) และใช้สุญญากาศในการออสโมซิส (ข)-(ง).....	62
4-5	ลักษณะผิวหน้าชิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 200 เท่าเมื่อไม่ใช้สุญญากาศในการออสโมซิส (ก) และใช้สุญญากาศในการออสโมซิส (ข)-(ง).....	63
4-6	ลักษณะของชิงกึ่งแห้งที่ผลิตได้ (ก) โดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ (ข).....	74
4-7	ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน.....	83

# บทที่ 1

## บทนำ

### ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ผู้บริโภคให้ความสำคัญและสนใจอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional food) กันมาก ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพจึงมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่องทั้งในตลาดโลกและตลาดในประเทศ (สุรอรรด ศุภจัตุรัส, 2554) นอกจากนี้ผู้บริโภคมีพฤติกรรมการดำเนินชีวิตแบบสังคมเมืองมากขึ้น เน้นความสะดวกสบายจึงนิยมซื้ออาหารประเภทพร้อมรับประทานกันมาก (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2554) ดังนั้นการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพโดยให้มีส่วนประกอบของสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในรูปแบบอาหารพร้อมรับประทาน (Ready to eat) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งสอดคล้องกับการเติบโตของธุรกิจอาหาร และความต้องการของผู้บริโภค งานวิจัยนี้สนใจที่จะเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตรที่ปลูกในประเทศไทย และมีศักยภาพด้านองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ขิง และ พักข้าว

สำหรับขิง (*Zingiberofficinale Rose.*) เป็นพืชสมุนไพรที่มีความสำคัญและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากชนิดหนึ่งของโลกสามารถใช้ประกอบอาหาร ใช้เป็นเครื่องเทศและเครื่องปรุงรสในอาหารและเครื่องดื่ม นอกจากนี้สามารถใช้เป็นส่วนผสมของยาแผนโบราณได้ด้วย โดยมีรายงานว่าขิงมีสารสำคัญได้แก่สารประกอบในกลุ่มจินเจอร์อล (Gingerols) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกช่วยลดการอักเสบ ลดอาการปวดได้ และมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดีอีกด้วย (วิภาดา กันทยศ และเพ็ญภาทรพย์เจริญ, 2545) ส่วนพักข้าว (*Momor-dicacochinchinensis* (Lous.) Spreng) เป็นพืชพื้นบ้านที่กำลังได้รับความสนใจบริโภคอย่างมาก เนื่องจากมีรายงานว่าสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในปริมาณมาก โดยเฉพาะส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดจากพักข้าวสุกซึ่งมีสีแดงเข้ม มีไลโคพีน (Lycopene) และบีตา-แคโรทีน ( $\beta$ -Carotene) ปริมาณ มากกว่าผักและผลไม้ชนิดอื่นมีรายงานว่า มีไลโคพีนปริมาณมากถึง 380 ไมโครกรัม/กรัม และบีตา-แคโรทีนปริมาณมากถึง 101 ไมโครกรัม/กรัม โดยมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี จึงลดความเสี่ยงการเกิดโรคต่างๆได้ โดยเฉพาะโรคมะเร็ง (Vuong et al., 2006; Aoki et al., 2002; Burke et al., 2005; Ishida et al., 2004)

งานวิจัยนี้มีแนวคิดผลิตภัณฑ์ใหม่ คือ เป็นผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งพร้อมรับประทานโดยเสริมสารพฤกษเคมีที่สำคัญจากเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวให้กับขิง เป็นการรวมคุณประโยชน์ของวัตถุดิบขิงและเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวไว้ในผลิตภัณฑ์เดียว โดยผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นานวิธีการหนึ่งที่สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่มีคุณภาพดีคือการใช้วิธีการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง การออสโมซิสทำได้โดยแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง โดยมีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างผลไม้กับสารละลายออสโมติกเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเข้าสู่ชั้น

อาหารได้ และยังเป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากชิ้นผลไม้อย่างช้าๆ ซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ลง โดยชิ้นผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่างๆ เพียงเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ยังคงมีสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และคุณค่าทางอาหาร ใกล้เคียงของสด (Le Marguar, 1988; Erba, 1994)

การเตรียมชิ้นต้นโดยการลวกวัตถุดิบก่อนการออสโมซิสมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ จึงช่วยลดโอกาสการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพวัตถุดิบ และช่วยทำให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่มขึ้น จึงช่วยส่งเสริมให้มีการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้มากขึ้น (วิลโลว์ รังสาทอง, 2546; Jha and Prasad, 1996; Fellows, 2000)

มีรายงานว่า การใช้ น้ำคั้นจากผลไม้เป็นส่วนผสมในสารละลายออสโมติกสามารถช่วยเพิ่มสารพฤกษเคมีจากน้ำผลไม้เข้าสู่ชิ้นผลไม้ได้ และช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสได้ดี เนื่องจากในระหว่างการออสโมซิสเกิดการแพร่ของของแข็งจากสารละลายไปยังชิ้นผักผลไม้ด้วยจึงเป็นการถ่ายเทสารพฤกษเคมีจากน้ำผลไม้ รวมถึงสารที่ให้กลิ่นรสจากน้ำผลไม้แพร่กลับคืนมาในชิ้นอาหารได้ (Lerici et al., 1985; Betoret, 2012) อย่างไรก็ตามในการออสโมซิสโดยใช้น้ำผลไม้ผสมในสารละลายออสโมติกด้วยหากส่วนผสมไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันดี หรือขนาดอนุภาคของเนื้อผลไม้มีขนาดใหญ่อาจไม่เอื้อต่อการเคลื่อนที่ของสารพฤกษเคมีแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ได้ (Betoret et al., 2012) และวิธีการหนึ่งที่จะช่วยกระตุ้นการแพร่ของสารพฤกษเคมีในการออสโมซิส คือการออสโมซิสภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นระยะเวลาสั้นก่อนการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศ เนื่องจากสามารถดึงอากาศที่ช่องว่างระหว่างเซลล์ของผลไม้และเมื่อแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศสารละลายออสโมติกจึงสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อได้มากและรวดเร็วขึ้นจึงส่งเสริมให้มีการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น (Rozek et al., 2009; Rozek et al., 2010)

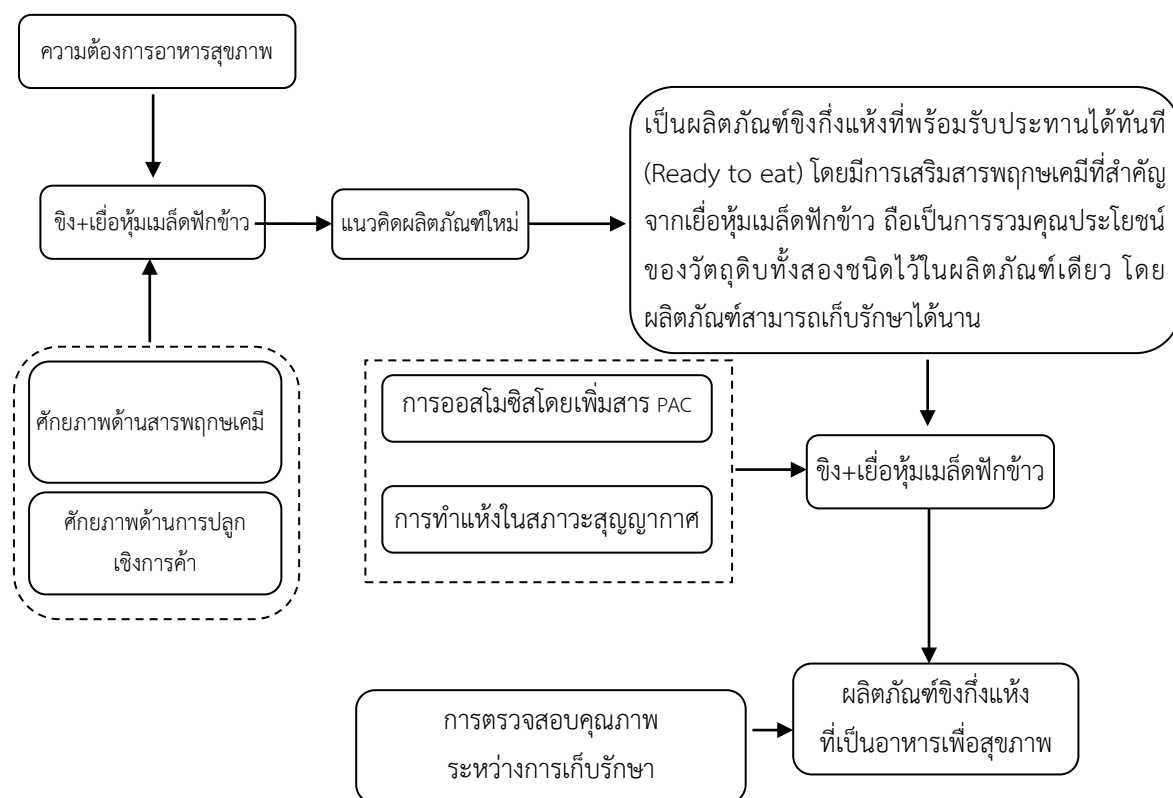
งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์การอาหาร เลือกกรรมวิธีการแปรูปที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากหรือใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ราคาแพง และให้ความสำคัญกับการสามารถนำมาใช้งานได้จริงกับชุมชนและเป็นประโยชน์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบ ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ อาจนำไปจำหน่ายในรูปของฝาก ซึ่งสนับสนุนการพัฒนาการท่องเที่ยว เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจของท้องถิ่น ทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็งมากขึ้น ได้เป็นอาหารสุขภาพที่เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคทั่วไปได้ และอาจปรับใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกต่อไป

## วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิส
- 2) ศึกษาผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ สารละลายออสโมติกต่อปริมาณสารพฤษเคมีและค่าการถ่ายเทมวลสารของซิงค์หลังการออสโมซิส
- 3) เพื่อศึกษาผลของการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่อปริมาณสารพฤษเคมีและค่าการถ่ายเทมวลสารของซิงค์หลังการออสโมซิส
- 4) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซิงค์แห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา
- 5) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

## ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์ซิงค์แห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายจากเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวโดยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง โดยขอบเขตโครงการวิจัยครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนากรรมวิธีการผลิต การตรวจสอบคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน โดยแบ่งงานเป็น 5 ตอน ดังนี้คือ **ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิส** ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวกับการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิส 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของสารที่ใช้ลวก และเวลาในการลวก และเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวควบคุม) **ตอนที่ 2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ สารละลายออสโมติกต่อปริมาณสารพฤษเคมีและค่าการถ่ายเทมวลสารของซิงค์หลังการออสโมซิส** ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว และระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ **ตอนที่ 3 การศึกษาผลของการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่อปริมาณสารพฤษเคมีและค่าการถ่ายเทมวลสารของซิงค์หลังการออสโมซิส** ในขั้นตอนนี้ต้องการกระตุ้นสภาวะการออสโมซิสโดยใช้สภาวะสุญญากาศ แล้วแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศ เปรียบเทียบกับการออสโมซิสที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ **ตอนที่ 4 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซิงค์แห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา** นำซิงค์ที่ผ่านการออสโมซิส มาลดความชื้นและค่า Water activity ให้เป็นผลิตภัณฑ์ซิงค์แห้ง นำมาเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี ประสาทสัมผัสและจุลินทรีย์ **ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน** โดยการจัดทำเอกสาร ให้ความรู้เชิงเทคนิคในการแปรรูปอาหารให้ได้คุณภาพมาตรฐาน นอกจากนี้ถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้โดยการนำเสนอผลงานผ่านการตีพิมพ์ เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักวิจัยกรอบแนวความคิดของงานวิจัย แสดงดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 ชิง (จำลอง ฝั่งชลจิตร, 2542)

ชิง (Ginger) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Zingiberofficinale Roscoe* อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae มีชื่อพื้นเมืองอื่นๆ เช่น จันทบุรีเรียกว่าชิงแกลงหรือชิงแดง เชียงใหม่เรียกว่าชิงเผือก แม่ฮ่องสอนเรียกว่าสะเอ ภาคกลางเรียกว่าชิงบ้าน ชิงแครง ชิงป่า ชิงเขา ชิงดอกเดียว จีนแต้จิ๋วเรียกว่าเกีย เป็นต้น ซึ่งเหง้าชิงมีลักษณะดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ลักษณะเหง้าของชิงอ่อน  
ที่มา : จิตวิภา สุขพิทักษ์สกุล, ม.ป.ป.

#### 2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ชิงเป็นพืชล้มลุกมีเหง้าใต้ดิน สูงประมาณ 1 เมตร โดยมีใบเดี่ยวเรียงสลับกัน ใบเป็นรูปพาย กาบใบยาวหุ้มลำต้น มีดอกขนาดเล็กเป็นช่อทรงกระบอก ตั้งออกจากเหง้าใต้ดิน กาบสีแดง กลีบสีเหลืองอมเขียว ขยายพันธุ์โดยการแยกหน่อเปลือกนอกสัน้ำตาลแกมเหลือง เนื้อในสีนวลมีกลิ่นเฉพาะทางหน่อหรือลำต้นเทียมเช่นเดียวกับไพล โดยชิงเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลเดียวกันกับ ข่า กระวาน ขมิ้น และปุด (จำลอง ฝั่งชลจิตร, 2542)

#### 2.1.2 สารสำคัญที่พบและคุณค่าทางโภชนาการ

องค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ชิงมีกลิ่นรสและความเผ็ด แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) มีอยู่ประมาณ 1-3% พบมากในส่วนของคอร์ติคอล พาเรงโคมา (Cortical

parenchyma) จึงสามารถสูญเสียไปได้ในระหว่างการปอกเปลือก น้ำมันหอมระเหยในขิงมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ซิงจิเบอริน (Zingiberene) ซิงจิเบอรอล (Zingiberol) ไบซาโบลิน (Bisabolene) และแคมฟิน (Camphene) เป็นต้น น้ำมันชัน (Oleo-resin) เป็นส่วนผสมระหว่างเรซิน (Resin) กับน้ำมันหอมระเหย มีอยู่ประมาณ 4-7.5% พบมากในชั้นเซลล์คอร์เทกซ์ (Cortex) และมีกระจายอยู่ทั่วชั้นเซลล์เอนโดเดอร์มิส (Endodermis) น้ำมันชันเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสและความเผ็ดของขิง และยังเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ จินเจอร์อล (Gingerol) และโชกาออล (Shogaol) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟีนอลิก โดยพบสารเหล่านี้ปริมาณ 25% ของน้ำมันชัน จินเจอร์อล เป็นองค์ประกอบที่สำคัญและมีปริมาณสูงในขิงสด (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552) มีรายงานว่าขิงมีสารอาหารที่มีคุณค่าต่อร่างกายที่สำคัญเช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม วิตามินเอ เป็นต้น (กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2544) แสดงดังตารางที่ 2-1

### 2.1.3 สรรพคุณ (รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2545)

ขิงนอกจากจะใช้ปรุงอาหาร หรือใช้ทำเครื่องดื่มแล้ว ยังใช้ทำเป็นยาและส่วนผสมในเครื่องสำอางด้วย ในทางยา มีฤทธิ์ขับลม ช่วยย่อยอาหาร บำบัดอาการท้องอืดท้องเฟ้อ เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยซึ่งเป็นองค์ประกอบในขิงจะไปกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อที่ระบบทางเดินอาหารให้มีการบีบตัวมากขึ้น จึงเกิดการขับลมออกมา ขิงยังมีฤทธิ์ป้องกันอาการคลื่นไส้ อาเจียนได้เป็นอย่างดี ในปี ค.ศ.1987 มีการใช้ขิงป้องกันอาการคลื่นไส้ อาเจียนในผู้ป่วยโรคมะเร็งที่รักษาด้วยเคมีบำบัด (Chemotherapy) พบว่าได้ผลดี ต่อมาในปี ค.ศ.1990 จึงมีการทดลองทางคลินิกในแผนกวิสัญญีวิทยา (Anaesthesiology) ของโรงพยาบาลเซนต์บาโทโลมิวส์ (St.Bartholomew's) กรุงลอนดอน โดยใช้ขิงกับคนไข้ 60 คน เพื่อทดสอบฤทธิ์ป้องกันอาการคลื่นไส้ อาเจียน (Motion Sickness) พบว่าขิง 1 กรัม สามารถป้องกันอาการคลื่นไส้ อาเจียนคนไข้หลังผ่าตัด ได้ดีเท่าเทียมกับยาสงบประสาทที่ใช้กันอยู่ทั่วไป (รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2545)

Srivastava and Mustafa (1989) ได้ศึกษาเกี่ยวกับขิง พบว่าขิงสามารถลดอาการอักเสบ (Anti-inflammatory) และลดอาการปวด (Analgesic) ในผู้ป่วยโรครูมาติซึม (Rheumatism) ได้ เนื่องจากสารจินเจอร์อล (Gingerol) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในขิง มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไซโคลออกซีจีเนส (Cyclooxygenase) และ 5-ไลโปออกซีจีเนส (5-lipoxygenase) จึงยับยั้งการสังเคราะห์พรอสตาแกรนดิน (Prostaglandin) และลิโคไตรอีน (Leukotrienes) โดยพรอสตาแกรนดินเป็นสาเหตุของการปวดและบวม ส่วนลิโคไตรอีนเป็นสาเหตุของการอักเสบ



ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของชิงอ่อนน้ำหนัก 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	14.0
โปรตีน (กรัม)	0.5
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	2.3
ไขมัน (กรัม)	0.3
เส้นใยอาหาร (กรัม)	0.6
ธาตุเหล็ก (มิลลิกรัม)	0.4
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	34.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	5.0
บีตา-แคโรทีน (ไมโครกรัม)	11.0
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	10.0
โธอะมีน (มิลลิกรัม)	0.02
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.1
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.05

## 2.2 ฟักข้าว (สุราทิพย์ ภูมิประวัตติ, 2550; กรณ์กาญจน์ ภูมิประวัตติ, 2556)

ฟักข้าว (Gac) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Momor-dicacochinchinensis* (Lous.) Spreng. อยู่ในวงศ์เดียวกับแตงกวาและมะระคือวงศ์ Cucurbitaceae และมีชื่อพื้นเมืองอื่นๆ เช่น ปัตตานีเรียกว่า ซี้กาเครือ ตากเรียกว่าฝักข้าว แพร่เรียกว่ามะข้าว ภาคใต้เรียกว่าซี้พร้าว ประเทศเวียดนามเรียกว่า แก้ก(Gac) Baby Jackfruit, Spiny Bitter Gourd, Sweet Gourd, และ Cochinchin Gourd ซึ่งลักษณะผลฟักข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวซึ่งอยู่ภายในผล แสดงดังภาพที่ 2-2



ก)



ข)

ภาพที่ 2-2 ลักษณะฟักข้าว ก) ผลฟักข้าว ข) เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

ที่มา : กรณ์กาญจน์ ภูมิประวัตติ, 2556

### 2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ผักข้าวเป็นไม้เถาเลื้อย มีมือเกาะใบ ใบเดี่ยวเรียงแบบสลับ รูปหัวใจ หรือรูปไข่ปลายแหลม กว้างยาวเท่ากันประมาณ 6-15 เซนติเมตร ขอบใบหยักเว้าลึกเป็นแฉก 3-5 แฉก ผิวใบมีขน ดอกเป็นดอกเดี่ยว มีกลีบดอก 5 กลีบ กลีบดอกสีขาวแกมเหลือง ยาว 5-6 เซนติเมตร ตรงกลางมีสีน้ำตาลแกมม่วง ต้นแยกเพศอยู่คนละต้น ดอกเพศผู้จะมีเกสรเพศผู้ 3 พู ลักษณะผลมีหนามทั้งผลโดยผลอ่อนมีสีเขียวมีหนามถี่ แล้วจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ส้ม และแดง ตามลำดับ ลักษณะผลเริ่มแก่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวอมส้มแดง เนื่องจากผลมีหนามแข็ง เปลือกผลชั้นนอกจึงไม่นำมารับประทาน ส่วนที่บริโภคได้คือเนื้อในขณะผลอ่อนอยู่และส่วนของเนื้อผลและเยื่อหุ้มเมล็ด ในขณะที่ผลแก่ สำหรับเมล็ดเมื่อแก่ มีความหนาค่อนข้างมาก สีน้ำตาลเข้ม ผิวไม่เรียบ ขนาด 2.2×1.2 เซนติเมตร

### 2.2.2 สารสำคัญที่พบและคุณค่าทางโภชนาการ

จากส่วนที่บริโภคได้ของผักข้าว พบว่า ส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งมีสีแดงเข้มเป็นส่วนที่นิยมนำมาบริโภคมากที่สุด มีรายงานว่าเยื่อหุ้มเมล็ดของผักข้าวมีปริมาณบีตา-แคโรทีน ( $\beta$ -Carotene) มากกว่าแครอท 10 เท่า มีไลโคพีน (Lycopene) มากกว่ามะเขือเทศ 12 เท่า และมีกรดไขมันชนิดสายยาวประมาณ 10% ของน้ำหนัก การทดสอบในห้องทดลองพบว่า ผลผักข้าวทั้งผลมีสารไลโคพีนมากกว่าในมะเขือเทศ 70 เท่า มีบีตา-แคโรทีนมากกว่าแครอท 20 เท่า มีวิตามินซีมากกว่าส้ม 40 เท่า และมีซีแซนทีน (Zeaxanthin) มากกว่าข้าวโพด 40 เท่า คุณค่าทางโภชนาการของผลอ่อนผักข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดจากผลแก่ แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 คุณค่าทางโภชนาการของผักข้าวน้ำหนัก 100 กรัม

	ผลอ่อน	เยื่อหุ้มเมล็ดจากผลแก่
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	510	523
มวลแห้ง (กรัม)	7	33
ใยอาหาร (กรัม)	1.03	1.8
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	1.8	10.5
โปรตีน (กรัม)	0.94	2.1
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	0.04	-
บีตา-แคโรทีน (มิลลิกรัม)	91	76.9
ไลโคพีน (มิลลิกรัม)	-	40.1
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	23	56
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.34	-

Kubola and Siriamornpun (2010) ตรวจสอบปริมาณสารพฤกษเคมี ไลโคปีน (Lycopene) บีต้า-แคโรทีน ( $\beta$ -Carotene) ลูทีน (Lutein) กรดฟีนอลิก (Phenolic acid) และสารต้านอนุมูลอิสระของฟักข้าว จากส่วนของเปลือก เนื้อ และเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว พบว่าเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีปริมาณไลโคปีน และบีตา-แคโรทีนมากที่สุด ในขณะที่เปลือก (สีเหลือง) มีปริมาณลูทีนมากที่สุด และเนื้อของฟักข้าว มีกรดฟีนอลิก 2 กลุ่ม คือ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก และกรดไฮดรอกซีซินนามิก คำนวณเป็นปริมาณของ p-hydroxybenzoic และพบไมริซีทินซึ่งเป็นสารประกอบของฟลาโวนอยด์ อะพิจินินที่พบมากที่สุดในส่วนเนื้อของผลฟักข้าว (สีแดง) ในขณะที่พบสารลูทีน และลูทีโอลิน ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด สารที่สกัดได้จากส่วนที่ต่างกัน พบว่าจะมีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกันด้วย จะเห็นได้ว่าส่วนของเยื่อเมล็ดจะมีปริมาณ FRAP ในปริมาณสูงสุด ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระของส่วนเปลือก และเนื้อ จะมีมากที่สุดในช่วงที่ผลของฟักข้าวยังไม่สุก ในขณะที่ส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเมล็ดจะมีสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลฟักข้าวสุกมากขึ้นปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนเปลือกและเนื้อจะลดลงในระหว่างที่ผลฟักข้าวเจริญเติบโต (ผลอ่อนมากกว่าผลสุก) ยกเว้นส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเมล็ด

### 2.2.3 สรรพคุณ

เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวจากผลแก่มีการนำมาบริโภคและใช้ประโยชน์กันมาก โดยมีรายงานว่า ส่วนน้ำมันจากเยื่อหุ้มเมล็ดผลฟักข้าวมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงทั้งบีตา-แคโรทีน ไลโคปีน ซีอาแซนทิน คริปโทแซนทิน และกรดไขมันโมเลกุลยาวไขมันในเยื่อหุ้มเมล็ดทำให้สารออกฤทธิ์อยู่ในรูปแบบที่ดูดซึมโดยร่างกายได้ง่าย สารกลุ่มแคโรทีนอยด์มีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่เมื่ออยู่ในสภาวะไร้น้ำมัน ประสิทธิภาพของร่างกายในการดูดซึมแคโรทีนอยด์จะลดลงนอกจากนี้การรับประทานฟักข้าวยังช่วยซ่อมแซมเซลล์ เสริมภูมิคุ้มกัน เสริมสร้างอสุจิในเพศชายและการเจริญของเด็กทารกในครรภ์ ทำให้เซลล์ผิวหนังมีสุขภาพดี เสริมสุขภาพหลอดเลือดหัวใจ และต้านมะเร็ง (กรณีกาญจน์ ภมรประวัติ, 2556)

Schwartz (n.d.) กล่าวว่า ไลโคปีนในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่อยู่ในรูปของไลโคปีน-ไลปิดคอมเพล็กซ์สามารถดูดซึมและนำไปใช้งานโดยร่างกายได้ดีกว่าไลโคปีนจากมะเขือเทศและแหล่งอื่น และทำให้การดูดซึมของบีตา-แคโรทีน ซีอาแซนทิน และคริปโทแซนทิน มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นด้วย ฟักข้าว 1 ผลจะได้เยื่อสีแดงประมาณ 200 กรัม

ในประเทศเวียดนาม เมื่อใช้เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเสริมอาหารให้กับเด็กก่อนวัยเรียนในงานวิจัยพบว่าเด็กในกลุ่มมีปริมาณบีตา-แคโรทีน และไลโคปีนในพลาสมาสูงขึ้น และกลุ่มที่มีปริมาณความเข้มข้นของโฮโมโกลบินต่ำมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นด้วย สันนิษฐานว่าบีตา-แคโรทีน ช่วยให้ลำไส้ดูดซึมธาตุเหล็ก (วัตถุดิบในการสร้างโฮโมโกลบิน) ดีขึ้นจึงแนะนำให้ผู้มีเลือดจางกินข้าวหุงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสุกด้วย (Howard et al., 2004)

อาบพร รอดบุญ (2554) มีการพัฒนาผลิตเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวแช่แข็งแบบระเหิด (freeze dry) ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยคงคุณค่าสารออกฤทธิ์ให้คงสภาพอยู่ได้นานที่สุดโดยไม่เสื่อมสลายเก็บรักษาได้นาน และประหยัดค่าขนส่ง

### 2.3 ไลโคพิน (กรณีกาญจน์ ภมรประวัตติ, 2556)

ไลโคพินเป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ สามารถอยู่ในรูปอิสระในเนื้อเยื่อของพืช เป็นผลึกหรือของแข็งอสัณฐานหรือเป็นสารละลายในลิปิด และยังสามารถเกิดเป็นเอสเทอร์ (esters) ของกรดไขมัน หรือรวมกับน้ำตาลและโปรตีน (ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา, 2545) พบได้ในผักผลไม้บางชนิด ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุรวบรวมแสงให้แก่พืช และป้องกันพืชผักจากออกซิเจน โมเลกุลเดี่ยว (อนุมูลอิสระ) และแสงที่จ้าเกินไป การกินไลโคพินที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้รับการพิสูจน์จากวงการแพทย์ว่า มีผลลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็งต่อมลูกหมาก พบว่า ไลโคพินมักไปสะสมบริเวณต่อมลูกหมากและผิวหนัง นอกจากนี้ ยังพบว่าผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาไลโคพินมีปริมาณของสารที่เป็นตัวชี้วัดสุขภาพของต่อมลูกหมาก prostate-specific antigen (PSA) ลดลง ซึ่งหมายถึงสุขภาพของต่อมลูกหมากดีขึ้น ในขณะที่กลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการบริโภคอาหารที่มีสารไลโคพินสูงจึงมีประโยชน์ต่อผู้ชายซึ่งมักจะมีปัญหาของต่อมลูกหมากเมื่อสูงวัยขึ้น ปริมาณไลโคพินของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้บางชนิด แสดงดังตารางที่ 2-3

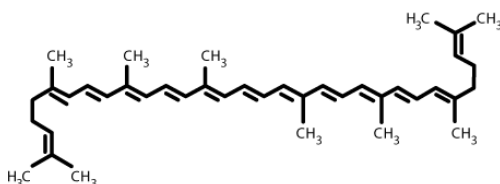
ตารางที่ 2-3 ปริมาณไลโคพินของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้บางชนิดในผลไม้

ชนิดผลไม้	ปริมาณไลโคพิน (ไมโครกรัม/กรัม)
มะเขือเทศ	31
แตงโม	41
ฝรั่ง	54
ส้มโอ	33.6
เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว	380

#### 2.3.1 โครงสร้างของไลโคพิน

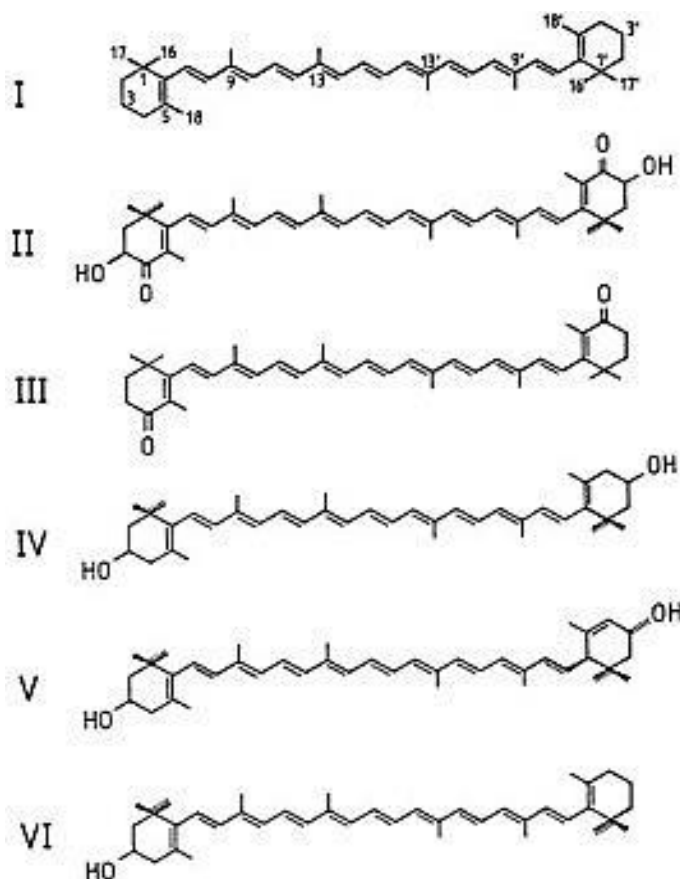
โครงสร้างของไลโคพินประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 40 อะตอม และอะตอมไฮโดรเจน 56 อะตอม (C<sub>40</sub>, H<sub>56</sub>) โดยมีน้ำหนักโมเลกุล 536.89 g/mol และส่วนประกอบของโมเลกุล (Molecular composition) คิดเป็นอะตอมคาร์บอนร้อยละ 89.49 และอะตอมไฮโดรเจนร้อยละ 10.51 ในธรรมชาติไลโคพินอยู่ในรูปของไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) สายยาวไม่เป็นวง (Acyclic)

แบบเป็นเส้นตรง (All trans-configuration) โดยมีหมู่เมทิล ( $\text{CH}_3$ ) เป็นหมู่แสดงหน้าที่ (Functional group) และประกอบด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (Non-conjugated double bonds) 2 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 2-3 จากลักษณะดังกล่าวพบว่า ไลโคพีนมีจำนวน พันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอนุพันธ์แคโรทีนชนิดอื่น ๆ ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของไลโคพีน

ที่มา : Lycopene and human health (n.d)



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างอนุพันธ์แคโรทีนชนิด  $\beta$ -Carotene (I), astaxanthin (II), canthaxanthin (III), zeaxanthin (IV), lutein (V),  $\beta$ -cryptoxanthin (VI)

ที่มา: Review of the Literature (n.d.)

### 2.3.2 ความสำคัญของไลโคพีน

เนื่องจากร่างกายมีการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมจำพวกสารเคมี รังสี หรือควันที่มีสารประกอบของออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา รวมถึงกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย เช่น การหายใจระดับเซลล์ ซึ่งส่งผลให้ร่างกายอาจมีออกซิเจนที่เกินความต้องการของร่างกาย เป็นผลทำให้เกิดอนุมูลออกซิเจนที่ว่องไว (Reactive Oxygen Species; ROS) ในร่างกายได้ อนุมูลออกซิเจนที่ว่องไวที่เกิดขึ้นนั้นถ้าร่างกายไม่สามารถกำจัดได้หมด อาจทำให้เกิดผลเสียต่อดีเอ็นเอ โปรตีน และลิพิด โดยอาจทำให้เกิดการเสียหายในการทำงานของร่างกายนำไปสู่การเกิดโรค โดยเฉพาะโรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคมะเร็ง

ไลโคพีนทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ ในการป้องกันความเสียหายต่อดีเอ็นเอ โปรตีน และลิพิดที่เกิดจากอนุมูลออกซิเจนที่ว่องไว โดยเฉพาะโมเลกุลออกซิเจนที่ไม่มีอนุภาคหรืออิเล็กตรอนเดี่ยว (Single oxygen) และเปอร์ออกซิลเรดิคัล (Peroxy radicals) เช่นเดียวกับอนุมูลในคลุ่มแคโรทีนอยด์ จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ไลโคพีนทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในอนุมูลคลุ่มแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าบีตา-แคโรทีน 2 เท่า และมากกว่าแอลฟาโทโคฟีรอล หรือวิตามินอีถึง 10 เท่า จากจำนวนพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวยิ่งมากยิ่งมีผลต่อการทำหน้าที่แอนติออกซิแดนท์ไลโคพีนจะใช้บริเวณพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวในการดับสัญญาณ (Quenching) ของอนุมูลออกซิเจนที่ว่องไว โดยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวของไลโคพีนจะรับพลังงานจากภาวะกระตุ้น (Excited state) ของอนุมูลออกซิเจนที่ว่องไว พลังงานที่ได้รับนี้จะถูกส่งต่อเป็นทอดๆ ระหว่างพันธะคู่ภายในสายพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว โดยที่ระหว่างที่มีการส่งต่อพลังงานภายในสายพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวของไลโคพีนนั้นจะมีการค่อยๆ ปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับในรูปของพลังงานความร้อน (Thermal energy) เพื่อลดความเป็นอันตรายที่จะเกิดกับเซลล์ และยังส่งผลให้สามารถดับสัญญาณของอนุมูลออกซิเจนที่ว่องไวลงได้ จึงเป็นการป้องกันความเสียหายที่เกิดกับเซลล์ร่างกายได้ (ประสิทธิ์ สุวรรณเลิศ, พัชรี บุญศิริ และเตือนจิต คำพิทักษ์, 2548)

### 2.3.3 การสูญเสียของไลโคพีนในอาหาร

เนื่องจากไลโคพีนเป็นสารคลุ่มแคโรทีนอยด์ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสลายของไลโคพีนในระหว่างการแปรรูป อาจพิจารณาเหมือนกรณีสารแคโรทีนอยด์ การสูญเสียแคโรทีนอยด์ในอาหารส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากโมเลกุลของแคโรทีนอยด์เป็นระบบไม่อิ่มตัว เมื่อทิ้งไว้ให้ถูกอากาศเป็นเวลานาน อาจถูกออกซิไดส์เองโดยออกซิเจนในอากาศอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นกับแสงความร้อนและการมีโปรออกซิเดนท์ (Pro-oxidants) หรือแอนติออกซิเดนท์ (Antioxidants) อยู่การหุงต้มธรรมดาไม่มีผลต่อสีและคุณค่าทางโภชนาการของแคโรทีนอยด์ สีของแคโรทีนอยด์ทนกรดต่างและไม่ถูกชะออกโดยน้ำและในการหุงต้มเป็นเวลานานไม่ทำให้สีของแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในผักและผลไม้ที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงจะยังคงมีสีสวยหลังหุงต้ม

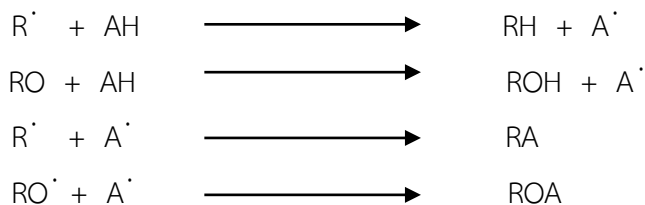
แล้ว แต่แคโรทีนอยด์ในอาหารที่ตากแห้งอาจเปลี่ยนสีได้ เมื่อทิ้งไว้ในอากาศเป็นเวลานาน (ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา, 2545)

## 2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ (บุหรัน พันธุ์สุวรรณค์, 2556)

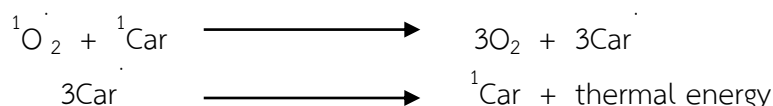
สารต้านอนุมูลอิสระถือว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระ หรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระมากมายหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่เป็นเอนไซม์ สารประกอบที่ละลายในน้ำและสารประกอบที่ละลายในไขมัน โดยสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (singlet oxygen quenching) จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (metal chelation) หยุดปฏิกิริยาการสร้าอนุมูลอิสระ (chain-breaking) เสริมฤทธิ์ (synergism) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition) ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ เป็นต้น

### 2.4.1 กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

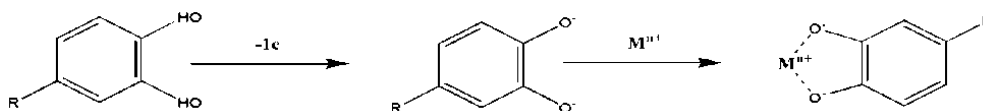
1) ดักจับอนุมูลอิสระ (Radical scavenging) เป็นที่ทราบดีว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้ง อนุมูลอิสระได้โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมี ความเสถียรขึ้นซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิด โดยการให้อิโตรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ดังสมการ



2) ยับยั้งการทำงานของซิงเกิ้ลทออกซิเจน (Singlet oxygen quenching,  $^1O_2^*$ ) สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกิ้ลทออกซิเจน โดยการเปลี่ยน ( $^1O_2^*$ ) ให้อยู่ใน รูปทริปเปรีท (triplet oxygen ( $^3O_2$ )) และปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน โดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกิ้ลทออกซิเจนได้ถึง 1,000 โมเลกุล



3) จับกับโลหะที่สามารถเร่งสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Metal chelation) (Sanchez-Moreno *et al.*, 2000) โลหะที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ  $Fe^{2+}$  และ  $Cu^{2+}$  ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (Phosphoric acid) และ ซิตริกแอซิด (Citric acid) เป็นต้น สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ แสดงดังสมการ



4) หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (Chain-breaking) วิตามินอี ( $\alpha$ -tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid autooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล Peroxyl ( $ROO^{\cdot}$ ) (Burton and Traber, 1990)

5) เสริมฤทธิ์ (Synergism) สารชนิดนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอนุมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น เช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง วิตามินอี ( $\alpha$ -tocopherol) กับ วิตามินซี (Ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารถทำงานในในสถานะไม่มีขั้ว (Hydrophobic condition) ได้เหมือนกับวิตามินอี แต่จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่ อนุมูลแอลฟา-โทโคฟีรอลเปอร์ออกซิล ( $\alpha$ -tocopherol peroxy) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลฟา-โทโคฟีรอล กับอนุมูลเปอร์ออกซิล ( $ROO^{\cdot}$ ) เพื่อเปลี่ยนรูปกลับไปเป็น แอลฟา-โทโคฟีรอล ที่สามารถทำงานได้ (Frankel, 1998)

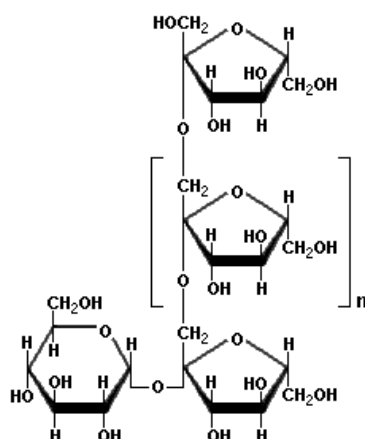
6) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (Enzyme inhibition) สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (Phenolic acid) และแกลเลต (Gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ลิพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ (Cofactor) ส่งผลให้เอนไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ (Puerta, 1999)

## 2.5 โอลิโกฟรุกโตส (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

โอลิโกฟรุกโตส (Oligofructose) หรือ ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Fructo-oligosaccharide) เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Oligosaccharide) ซึ่งใช้เป็นสารให้ความหวาน (Sweetener) แทนน้ำตาล (Sugar Substitute) มีรสชาติเหมือนกับน้ำตาล ใช้เป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลทราย (Relative Sweetness 30-50% เมื่อเทียบกับน้ำตาล Sucrose) และละลายน้ำได้ดีใช้ในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานหรือผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของโอลิโกฟรุกโตสซึ่งเกิดจากน้ำตาลฟรุกโตส (Fructose) น้อยกว่า 10 โมเลกุล โดยที่โมเลกุลที่ปลายสุดด้านหนึ่งเป็นน้ำตาล



กลูโคส (Glucose) โดยสูตรโครงสร้างของโอลิโกฟรุคโตสแสดงดังภาพที่ 2-5 โครงสร้างโมเลกุลของโอลิโกฟรุคโตสเหมือนกับอินนูลิน ซึ่งเป็นโพลีแซ็กคาไรด์แต่อินนูลินเป็นโพลีเมอร์ที่มีสายยาวกว่า ไม่มีรสหวาน และละลายได้น้อย ขณะที่โอลิโกฟรุคโตสมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่ามาก



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างโมเลกุลของโอลิโกฟรุคโตส  
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.

โอลิโกฟรุคโตสจัดเป็นสารพรีไบโอติก (Prebiotic) ชนิดหนึ่ง โดยพรีไบโอติกคือสารหรือองค์ประกอบที่ไม่ถูกย่อยในทางเดินอาหาร มีประโยชน์คือ ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร พรีไบโอติกบางชนิดสามารถจับกับจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้อย่างจำเพาะเจาะจง เช่น *Salmonella* และ *E. coli* บางชนิดอาจจะไปกระตุ้นการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ เช่น เชื้อไบฟิโดแบคทีเรีย (Bifidobacteria) และ แลคโตบาซิลไล (*Lactobacilli*) โดยเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรีย ทำให้ลำไส้เกิดความสมดุลและยังช่วยเพิ่มการนำสารอาหารไปใช้ด้วย (ชัชวิน เพชรเลิศ, 2549)

การใช้โอลิโกฟรุคโตสในอาหารเป็นการใช้ส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional Food) เนื่องจากโอลิโกฟรุคโตสมีสมบัติเป็นพรีไบโอติกนิยมใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเสริมสำหรับเด็ก เป็นสารให้ความหวาน (Sweetener) ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เครื่องดื่ม (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

## 2.6 การดื่มน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การออสโมซิสนิยมทำในผักและผลไม้ ดำเนินการโดยการแช่อาหารในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งนิยมใช้น้ำตาลหรือเกลือ ซึ่งการออสโมซิสมีประโยชน์ในด้านช่วยรักษาคุณภาพของ

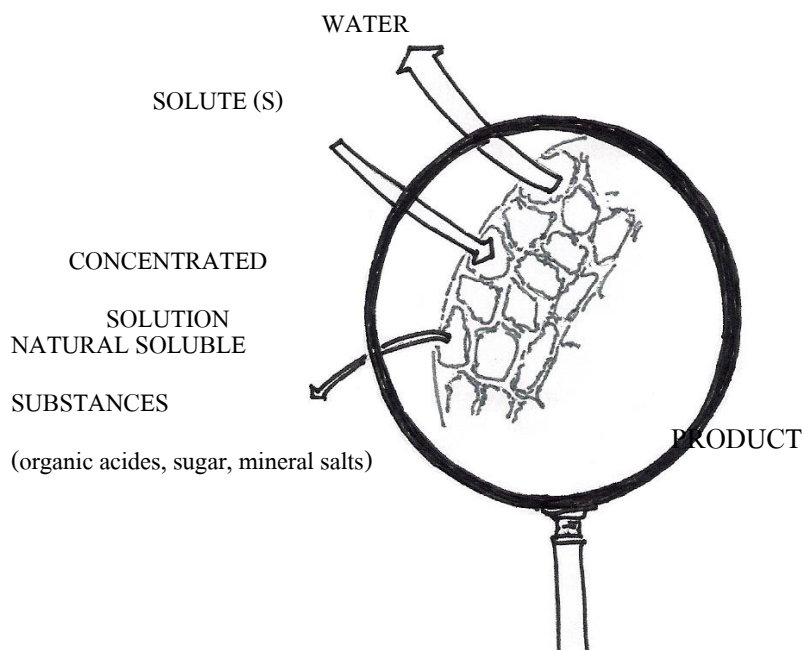
ผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร เพื่อให้กระบวนการผลิตสมบูรณ์ยิ่งขึ้นเช่น การออสโมซิสก่อนการทำแห้งและแช่แข็ง เป็นต้น

### 2.6.1 การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส (Torreggiani, 1993)

หลักการพื้นฐานของการออสโมซิสเกี่ยวข้องกับเซลล์ (ของพืชผักและผลไม้) ที่ถูกแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจึงทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนน้ำให้ออกจากชิ้นอาหาร เนื่องจากแรงดันออสโมติกสูง ในสารละลายออสโมติก โดยเซลล์ของอาหารทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านที่เรียกว่า Semi-permeable membrane ซึ่งตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจะเคลื่อนเข้าไปในชิ้นอาหาร จึงให้นิยามว่าการออสโมซิสเป็นการถ่ายเทมวลสารแบบสวนทางกัน โดยน้ำที่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ชิ้นอาหารในลักษณะสวนทางกันและจะเกิดสภาวะเช่นนี้จนเข้าสู่สมดุลของสารละลายทั้งสอง นอกจากนี้ สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์โดยธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือแร่ จะแพร่ออกนอกเซลล์ด้วย เป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน (Counter-current mass transfer) ดังนี้ คือ

- 1) น้ำภายในเซลล์ของผักและผลไม้ จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก
- 2) ขณะเดียวกันตัวถูกละลายที่อยู่ภายนอก เช่น น้ำตาลหรือเกลือจะแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้หรือเนื้อผักผลไม้
- 3) สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ (Natural soluble substance) เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล และเกลือแร่ เป็นต้น จะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก

เซลล์ของผักผลไม้ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านจะยอมให้น้ำแพร่มากกว่าตัวถูกละลาย เนื่องจากตัวถูกละลายมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นน้ำจะแพร่กระจายออกจากเซลล์ผลไม้ได้มากกว่า การแพร่กระจายตัวถูกละลายภายนอกเข้าไปในเนื้อผักผลไม้โดยที่ตัวถูกละลายภายนอกจะแพร่กระจายเข้าไปในผักผลไม้ได้เฉพาะบริเวณขอบ ๆ และส่วนใหญ่จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ การถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายนี้ จะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุลมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นและผลไม้ และสารละลายภายนอกที่สภาวะสมดุลนี้ อัตราการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายจะมีค่าคงที่ มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้และสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ด้วย โดยการถ่ายเทมวลสารแสดงดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

ที่มา: Torreggiani (1993)

**2.6.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการออสโมซิส** (คำนวณ ตั้งพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองศิริมา, 2553)

**ข้อดี**

- วัตถุดิบที่อบแห้งไม่ต้องผ่านการใช้อุณหภูมิสูง
- ช่วยรักษากลิ่นรสของวัตถุดิบได้ดีกว่าการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน
- การใช้ความเข้มข้นของสารละลายสูง จะสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีสวยงาม
- การซึมผ่านของน้ำตาลจะทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นเหมาะสำหรับเป็นอาหารขบเคี้ยว หรืออาหารว่าง
- ช่วยลดพลังงานในการทำแห้งลง เนื่องจากการดึงน้ำออกจากชิ้นอาหารก่อนการทำแห้งบางส่วน

### ข้อจำกัด

- ทำให้กรดที่มีอยู่ในผลไม้ลดปริมาณลง ดังนั้นควรมีการเติมกรดผสมลงไปในการละลายที่ใช้ในการออสโมติก
- น้ำตาลทำให้เกิดปัญหาเป็นฟิล์มบางส่วนบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ สามารถแก้ไขได้โดยการล้างในน้ำอย่างรวดเร็ว ภายหลังการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส
- ผลของน้ำตาลที่ใช้ อาจทำให้เกิดกลิ่นอับหรือกลิ่นหืนได้เมื่อเก็บรักษาไว้ที่โดยใช้สุญญากาศแต่จะมีราคาสูงกว่าการทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง
- การจัดการสารละลายออสโมติกที่ใช้แล้วโดยนำสารละลายไปปรับความเข้มข้นแล้วนำกลับมาใช้ใหม่แต่มีข้อจำกัดคือ เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งกระบวนการสูงและการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องมีข้อจำกัดคือ ทำให้สารละลายเกิดการเจือจางและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์หรืออาจนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร เช่น สารให้สี สารให้กลิ่นรสกับอาหาร

### 2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส

#### 1) ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุข

ผลไม้บางชนิดสามารถทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสได้เร็ว บางชนิดทำได้ช้า เนื่องจากการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์มีอัตราในการทำแห้งต่างกัน นอกจากนี้ความสุขยังมีผลด้วย ผลไม้ที่สุกจะทำแห้งได้เร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่ถ้าสุกเกินไปผลไม้จะเละไม่น่ารับประทาน (อ่อนรวี รัตนาพันธ์, 2533)

#### 2) ชนิดของสารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายน้ำตาล น้ำเกลือ โซลบีทอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสโมลโตส รวมทั้งน้ำเชื่อมข้าวโพดด้วย โดยสารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผักผลไม้ได้แก่ น้ำเชื่อมซูโครส น้ำตาลแลคโตสผสมกับน้ำตาลซูโครส สารละลายออสโมติกที่ใช้อาจมีการเติมสารอื่นๆลงไปด้วยเช่น กรดซิตริก เกลือซัลไฟต์ แคลเซียมคลอไรด์ สารออสโมติกที่ใช้ต้องมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำ มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ในการใช้จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีก 3 ข้อคือ

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

### 3) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้มีความสำคัญมาก เพราะอาจมีส่วนช่วยในการดึงน้ำออก จากผลิตภัณฑ์ โดยมีผลต่อค่าออสโมติกที่ถ้าความเข้มข้นยิ่งมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะมาก เป็นผลทำให้อัตราการออสโมซิสเร็วขึ้นด้วย ความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อ เลยค่านี้ไปแล้วจะไม่มี การสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ จะ ไม่สามารถเพิ่มความสามารถในการแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ได้ สารละลายชนิดเดียวกันเมื่อเพิ่ม ความเข้มข้นขึ้นจะทำให้ น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น แต่ในขณะเดียวกันน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในผลไม้ได้มากขึ้น เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเป็นข้อดีอันหนึ่งของวิธีการออสโมซิสนี้คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่หวานจนเกินไป (นิธิยา รัตนานนท์, 2549)

### 4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิในการออสโมซิสก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงอีกประการหนึ่ง เพราะว่ามีผลต่ออัตราการ ออสโมซิส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงไปจะทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป กล่าวคือ ทำให้เยื่อหุ้มอ่อนตัวลงจึงมีผลทำให้ความแน่นของผลไม้เปลี่ยนไปด้วยทำให้การซึมผ่านดีกว่าและเร็ว กว่า การใช้อุณหภูมิต่ำถึงอัตราการออสโมซิสจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การใช้อุณหภูมิสูงในระหว่าง การออสโมซิสจำเป็นต้องใช้เวลาในการออสโมซิสให้น้อยลงด้วย ทำให้ เกิดวิธีใหม่ที่เรียกว่า High Temperature Short Osmosis (HTST osmosis)

### 5) อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกและผักผลไม้

การใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายออสโมติก ถ้าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจะทำให้ น้ำซึม ออกได้เร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่ซึมออกมาไม่ค่อยมีผลให้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดลง ในกรณีที่ น้ำเชื่อมมีความเข้มข้นมาก ดังนั้น แรงขับ (Driving force) คือ ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำ ภายในเซลล์และภายนอกสูงอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำเชื่อมปริมาณมากจะทำให้ ค่าใช้จ่ายสูงและมีปัญหาในการขจัดน้ำตาลภายหลังการออสโมซิสด้วย (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535)

### 6) การคนหรือกวน

ในขณะที่เกิดการออสโมซิสความเข้มข้นบริเวณรอบๆชิ้นอาหารจะลดลงเนื่องจากน้ำภายใน ชิ้นอาหารซึมผ่านออกมา ทำให้ประสิทธิภาพการออสโมติกต่ำลงไปด้วย ดังนั้น การคนหรือกวนจะ ช่วยทำให้เกิดการกระจายความเข้มข้นโดยทำให้สารละลายที่เข้มข้นมากกว่าไหลมาแทนที่สารละลาย ที่เจือจางกว่าทำให้การออสโมติกสูงขึ้นด้วย (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535; Garrote et al.,1992 ; Mavrovdis,1998)

### 7) รูปร่างและขนาดของผลไม้

รูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วน นี้สูงน้ำจะซึมออกมาได้เร็วขึ้นเนื่องจากตัวถูกละลายสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวของผักผลไม้ได้มากขึ้น

ถ้าผักผลไม้มีชิ้นใหญ่ น้ำจะซึมออกได้น้อยหรือถ้ามีรูปร่างกลม น้ำจะซึมออกได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากทั้งสองกรณีมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อย (อ่อนรวี รัตนาพันธ์, 2533) นอกจากนี้ความเป็นรูปพรุนของตัวอย่างยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสีย น้ำ ผลไม้ที่มีขนาดของรูพรุนสูงมักมีค่าการสูญเสีย น้ำสูงแต่ความเป็นรูปพรุนไม่สามารถอธิบายการเพิ่มของของแข็งทั้งหมดได้ เนื่องจากมีผลกระทบจากการหดตัวและขนาดโมเลกุลของสารละลายเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

## 2.7 การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

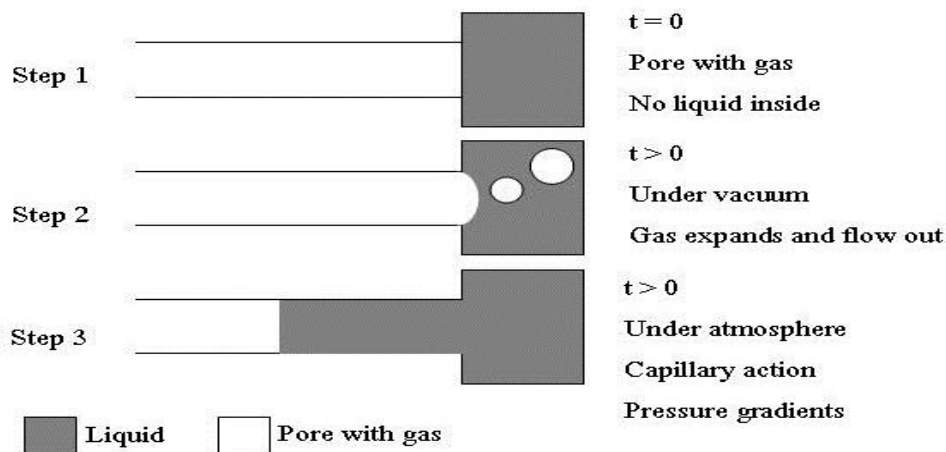
การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเสริมสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically active compound, PAC) เช่น วิตามินซี เหล็ก แคลเซียม และวิตามินต่างๆ ในผักผลไม้ได้ ซึ่งทำได้โดยแช่ชิ้นผักผลไม้ลงในสารละลายที่มี PAC ในสภาวะสุญญากาศในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการแพร่ของ PAC เข้าไปในเนื้อผักผลไม้ได้มากและเร็วขึ้น จากนั้นจึงแช่ชิ้นผักผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศ

Fito et al. (1995) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศและอธิบายว่าในระหว่างการแช่ที่สภาวะดังกล่าวจะเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เรียกว่า Hydrodynamic mechanism (HDM) ดังแสดงได้ในภาพที่ 2-7 กลไก HDM สำหรับการแช่ในสภาวะสุญญากาศมีขั้นตอนดังนี้

1) เมื่อ  $t=0$  เป็นขั้นตอนที่เริ่มมีการแช่ชิ้นผักผลไม้ลงในสารละลายออสโมติก ยังไม่มีการเคลื่อนที่ของก๊าซออกสู่สารละลายภายนอกหรือสารละลายออสโมติกและยังไม่มี การเคลื่อนที่ของสารละลายออสโมติกเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์

2) เมื่อเวลาผ่านไป ในสภาวะสุญญากาศ  $t>0$  อากาศจากช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกสู่สารละลายภายนอกหรือสารละลายออสโมติกอีกทั้งยังเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของโครงสร้างของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ด้วย

3) เมื่อสิ้นสุดการใช้สภาวะสุญญากาศ และแช่ชิ้นผักผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศ  $t>0$  สารละลายจะแพร่ผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยจะเข้ามาแทนที่ก๊าซที่ถูกดูดออกไปด้วยแรงคาพิลลารี (Capillary action) และการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ (Pressure gradient) เป็นผลให้ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้ และในขณะเดียวกันน้ำในชิ้นผักผลไม้ก็จะสามารถแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติกได้เช่นกัน



ภาพที่ 2-7 กลไก Hydrodynamic mechanism (HDM)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Fito, Andres, Pastor, & Chiralt, (1996); Chiralt & Fito (2003)

## 2.8 การเตรียมขั้นต้นด้วยการลวก

การลวกวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ก่อนการแปรรูปมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลาย Activity ของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนที่จะนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกจัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ (วิลเล่ รังสาตทอง, 2546) Fellows (2000) กล่าวว่า การลวกผักก่อนการทำแห้งมีผลทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บผักแห้งได้ ทั้งนี้ผลจากการลวกผักช่วยลดการทำงานของเอนไซม์ Polyphenoloxidase ในผักที่เป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาล ในระหว่างการเก็บรักษาได้ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลวก (Blanching time) คือ

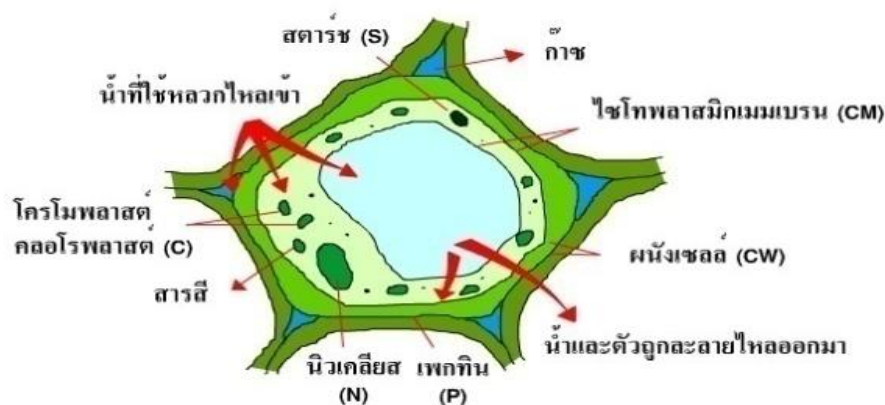
โดยสรุปวัตถุประสงค์ของการลวกมีดังนี้คือ

- 1) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inactivation) มีเอนไซม์อีก 2 ชนิด ที่พบในผักหลายชนิดที่ทนต่อความร้อนได้ดี คือ เอนไซม์แคแทเลส และเพอร์ออกซิเดส ใช้เป็นตัวชี้บ่งประสิทธิภาพของการลวก โดยเฉพาะเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความคงตัวมากกว่าเอนไซม์แคแทเลส หากตรวจวัดเอนไซม์ Activity ในผักที่ผ่านการลวกแล้วไม่พบ Activity ของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์อื่นๆ ถูกทำลายหมดแล้ว

Jha & Prasad (1996) รายงานว่าการลวกเป็นขั้นตอนในการเตรียมชิ้นต้นผักที่ตี สำหรับการนำไปทำแห้ง การลวกจะช่วยชะลอหรือยับยั้งเอนไซม์ ที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการในรสชาติและเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บและช่วยป้องกันการสูญเสียของวิตามินและสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

2) หน้าที่อื่นๆ ผลของการลวกยังช่วยทำลายและลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวนอกของอาหาร ช่วยให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น ก่อนนำไปใช้แปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกยังทำให้เนื้อเยื่อของผักนิ่มลง สามารถบรรจุลงในภาชนะบรรจุได้ง่าย และช่วยไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อ ซึ่งจะช่วยลดการเกิด Headspace vacuum ขึ้นภายในกระป๋องให้น้อยลงได้ และลดปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุด้วย

นอกจากนี้การลวกมีผลต่ออาหารในด้านต่างๆโดยความร้อนจากการลวกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร แต่ความร้อนที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าการทำสเตอริไลเซชันจึงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่มากนัก วัตถุประสงค์หลักของการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ร่วมกันผลของการลวกต่อเนื้อเยื่อพืช โดยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น ผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย มีการเปลี่ยนแปลงที่เมมเบรนของไซโทพลาซึม สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน โครงสร้างโมเลกุลของเพกตินเปลี่ยนไป โปรตีนในนิวเคลียส และไซโทพลาซึมเสียสภาพธรรมชาติ คลอโรพลาสต์ และโครโมพลาสต์มีรูปร่างเปลี่ยนไป เป็นต้นดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์พืชระหว่างการลวก  
ที่มา: ปิณณธร ภัทรสถาพรกุล, 2556



## 2.9 อาหารกึ่งแห้ง

อาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยความชื้นประมาณ 20-50% โดยน้ำหนัก และมีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในช่วง 0.95-1.00 จากการตรวจเอกสารพบว่า มีการให้ความหมายของอาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) ไว้ดังนี้

ชมพู ยิ้มโต (2550) และไพโรจน์ วิริยะจารี (2539) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้งคืออาหารที่ลดค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.65-0.85 และมีความชื้นประมาณ 10-14%

Jay (1998) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่มีน้ำปานกลาง มีปริมาณความชื้นประมาณ 15-55% มีค่า  $a_w$  ระหว่าง 0.60-0.85

ปรียา วิบุรณ์เศรษฐ์ (2528) และ Smith and Norvell, (1975) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง คืออาหารที่มีค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.65-0.90 และมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% มีแนวโน้มพอเพียงต่อการถนอมอาหาร และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

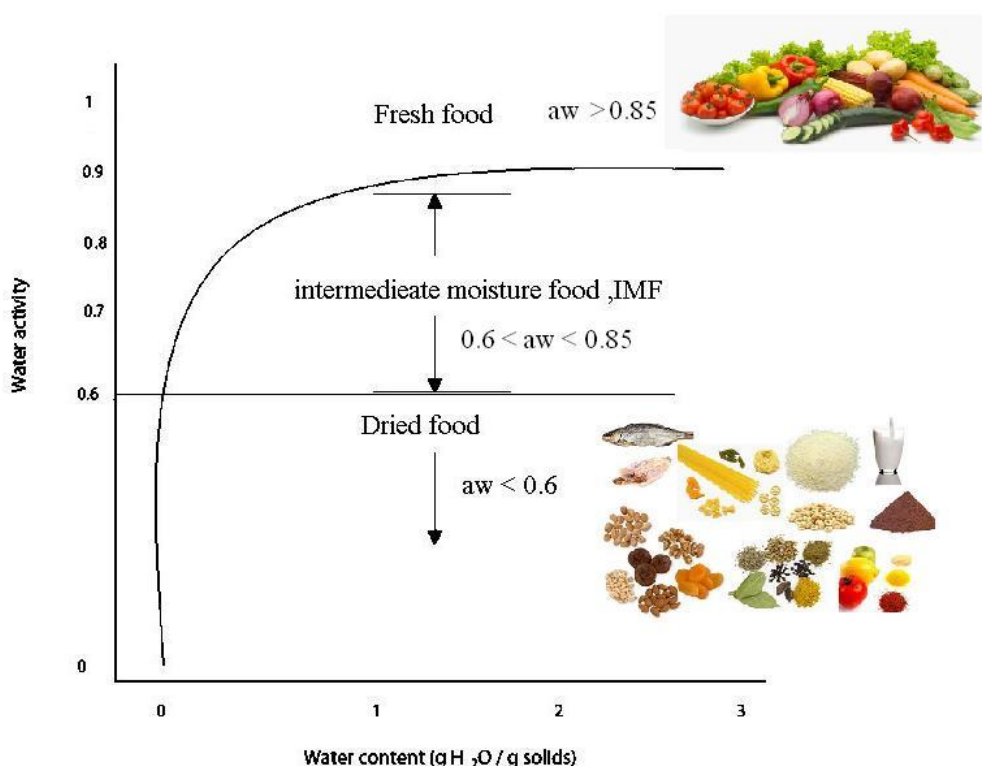
ชมพู ยิ้มโต (2550) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้งหมายถึง อาหารที่สามารถบริโภคได้โดยไม่ต้องนำไปคินตัว มีความคงตัวโดยไม่ต้องนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำ หรือฆ่าเชื้อด้วยความร้อนซึ่งอาหารกึ่งแห้งยังคงมีปริมาณน้ำจำนวนหนึ่งจึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยทั่วไปควรจะดึงน้ำออกให้เหลือต่ำกว่า 10% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบเป็นสำคัญ ถ้าจะป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ควรจะลดต่ำลงจนถึงประมาณ 5% ตัวอย่างของอาหารกึ่งแห้งที่พบโดยทั่วไป เช่น เจลลี่ ผลไม้แห้ง แยม น้ำผึ้ง ขนมเค้ก และไส้กรอกแห้ง เป็นต้น

ไพโรจน์ วิริยะจารี (2539) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นระดับที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อราและยีสต์ ที่อาจเจริญเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี ส่วนใหญ่การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานมากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ โดยเน้นในด้านความคงทนต่อจุลินทรีย์ คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสี การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ

จากความหมายของอาหารกึ่งแห้งจะเห็นว่ามี ความหมายเกี่ยวข้องกับค่า  $a_w$  ของอาหาร โดย ทิพาพร อัญวิทยา (2544) กล่าวว่า จุลินทรีย์สามารถทนความร้อนได้มากขึ้นเมื่อ  $a_w$  ในอาหารลดลง องค์ประกอบในอาหารที่มีผลไปลดค่า  $a_w$  จะช่วยไปเพิ่มความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์

สุนันทา วัฒนสินธุ์ (2549) กล่าวว่า ค่า  $a_w$  ของอาหารเป็นปัจจัยในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร โดยเฉพาะในการถนอมอาหารจะอาหารจะอาศัยค่า  $a_w$  เป็นปัจจัยในการควบคุมจุลินทรีย์ที่สำคัญในการทำให้อาหารเน่าเสียจึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารได้โดยสามารถแบ่งอาหารตามค่า  $a_w$  ออกเป็น 3 ประเภท (ภาพที่ 2-9) มีรายละเอียดดังนี้

- 1) อาหารสด (Fresh food) เป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย (Perishable food) ที่มีค่า  $a_w$  มากกว่า 0.85 เช่น เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้
- 2) อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) หมายถึง อาหารที่มีค่า  $a_w$  ระหว่าง 0.6-0.85 เช่น นมข้นหวาน กุ้งปรุงรส
- 3) อาหารแห้ง (Dried food) หมายถึงอาหารที่มีค่า  $a_w$  น้อยกว่า 0.6 เช่น นมผง น้ำผลไม้ ผง หมูหยอง



ภาพที่ 2-9 การจำแนกอาหารตามค่า  $a_w$   
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.

## 2.10 การโฮโมจีไนซ์ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

การโฮโมจีไนซ์ (Homogenization) เป็นการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า เครื่องโฮโมจีไนซ์ (Homogenizer) หรืออาจเรียกว่า Pressure homogenizer เป็นเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหารที่ใช้เพื่อการทำให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันใช้เพื่อการผสม และลดขนาดเม็ดไขมันในของเหลว เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันและเกิดอิมัลชันที่คงตัวเครื่องโฮโมจีไนซ์ใช้

อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารเหลว ได้แก่ นม และผลิตภัณฑ์นม น้ำกะทิ น้ำสลัด เป็นต้น

เครื่องโฮโมจีไนซ์ทำงานโดยใช้ป้อนความดันสูง บังคับให้ของเหลวผ่านช่องแคบ ที่เรียกว่า วาล์วโฮโมจีไนซ์ (Homogenization valve) ด้วยความเร็วสูงมาก พลังงานจากแรงดัน ทำให้เกิดแรงเฉือน (shear) แรงกระแทก และการแตกตัวของฟองอากาศขนาดเล็ก (Cavitation) อย่างรุนแรง มีผลให้อนุภาคของเหลวมีขนาดเล็กลง และเกิดการกระจาย เป็นเนื้อเดียวกันประเภทของเครื่องโฮโมจีไนซ์ที่นิยมใช้มีดังนี้

1) เครื่องโฮโมจีไนซ์แบบขั้นตอนเดียว (Single Stage homogenizer) หมายถึง เครื่องโฮโมจีไนซ์ที่มีวาล์วโฮโมจีไนซ์ ชุดเดียว ใช้ความดัน ในช่วง 2000 -2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) น้ำนมที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์มีขนาดเล็ก แต่ยังมีแนวโน้มที่กลับมารวมกันได้อีก

2) เครื่องโฮโมจีไนซ์แบบสองขั้นตอน (Two stage homogenizer) หมายถึง เครื่องโฮโมจีไนซ์ที่มีวาล์วโฮโมจีไนซ์ 2 ชุด โดย ชุดแรกใช้ความดัน ในช่วง 2000 -2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ของเหลวที่ผ่านจากวาล์วชุดแรก จะผ่านเข้าสู่วาล์วชุดที่สอง ซึ่งใช้ความดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ช่วยทำให้เม็ดไขมันที่ผ่านจากวาล์วชุดแรกซึ่งอาจกลับมารวมตัวกันได้อีก เกิดการกระจายตัวเป็นอิมัลชันที่คงตัว

จากการตรวจเอกสารมีการกล่าวถึงผลกระทบของการโฮโมจีไนซ์ต่อคุณภาพของน้ำผลไม้ ตัวอย่างเช่น Betoret et al. (2012) กล่าวไว้ดังนี้

- 1) ช่วยลดการตกตะกอนของเนื้อผลไม้ ให้รสสัมผัสและสีที่ดียิ่งขึ้น
- 2) ลดการแยกตัวกันของอนุภาคในของเหลว ทำให้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน
- 3) ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและอัตราการสกัดของส่วนประกอบที่ละลายได้ เช่น การสกัดสารพฤกษเคมีในเนื้อผลไม้ได้มากขึ้น
- 4) ระดับการโฮโมจีไนซ์ที่เหมาะสมไม่รุนแรงเกินไปสามารถช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในผักผลไม้ได้ เช่น pectin methylesterase และ polygalacturonase ในผลไม้ตระกูลส้ม ส่งผลให้ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เปลี่ยนแปลงสมบัติของสารพฤกษเคมีที่สำคัญในผักผลไม้
- 5) การโฮโมจีไนซ์ที่รุนแรงอาจเร่งการเสื่อมเสียของปฏิกิริยาต่างๆเนื่องจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในธรรมชาติถูกปลดปล่อยออกมาจากเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายจากการลดขนาดของอนุภาคลง
- 6) การโฮโมจีไนซ์เร่งการเสื่อมเสียจากการเกิด oxidation ที่เกิดจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น

นอกจากนี้ Welti et al., (2009) กล่าวถึงผลกระทบของการโฮโมจีไนซ์ต่อคุณภาพของน้ำผลไม้ดังนี้

1) ช่วยลดการตกตะกอนของเนื้อผลไม้ ให้รสสัมผัสและสีที่ดียิ่งขึ้นลดการแยกตัวกันของอนุภาคในของเหลว ทำให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันและช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและอัตราการสกัดของส่วนประกอบที่ละลายได้ เช่น การสกัดสารพฤกษเคมีในเนื้อผลไม้ได้มากขึ้น

2) ระดับการโฮโมจีไนซ์ที่เหมาะสมไม่รุนแรงเกินไปสามารถช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในผักผลไม้ได้ เช่น Pectin methylesterase และ Polygalacturonase ในผลไม้ตระกูลส้ม ส่งผลให้ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เปลี่ยนแปลงสมบัติของสารพฤกษเคมีที่สำคัญในผักผลไม้

3) การโฮโมจีไนซ์ที่รุนแรงอาจเร่งการเสื่อมเสียของปฏิกิริยาต่างๆเนื่องจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในธรรมชาติถูกปลดปล่อยออกมาจากเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายจากการลดขนาดของอนุภาคลงและการโฮโมจีไนซ์อาจเร่งการเสื่อมเสียจากการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ที่เกิดจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น

## 2.11 บรรจุภัณฑ์พลาสติก (ปูน และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

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

พลาสติก PE (Polyethylene) เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดและราคาถูก เนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกอื่นๆ ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ PE ผลิตจากกระบวนการโพลิเมอไรเซชัน (Polymerisation) ของก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงโดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (Metal Catalyst) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะโซ่สั้นและยาวจะส่งผลให้ PE ที่ได้ออกมามีความหนาแน่นแตกต่างกัน PE แบ่งเป็น 3 ประเภทตามค่าความหนาแน่นคือ

- 1) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene หรือ LDPE) ความหนาแน่น 0.910 – 0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- 2) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene หรือ MDPE) ความหนาแน่น 0.926 – 0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene หรือ HDPE) ความหนาแน่น 0.941 – 0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

LDPE เป็นพลาสติกที่ใช้กันมากและชื่อสามัญเรียกว่าถุงเย็น มักจะใช้ทำถุงฟิล์มหัดและฟิล์มยืด ขวดน้ำ และฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยืดตัวได้ดี ทนต่อการทิ่มทะลุและฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผลึกได้ดี โครงสร้างของ PE จะสามารถป้องกันความชื้นได้ดีพอสมควร แต่จุดอ่อนของ LDPE คือ สามารถปล่อยไขมันซึมผ่านได้ง่าย ด้วยเหตุนี้อาหารที่ไวต่ออากาศ เช่น ของขบเคี้ยวและของทอด เมื่อใส่ในถุงเย็นธรรมดา คุณภาพอาหารจะแปรเปลี่ยนไปเพียงเวลาไม่กี่วัน LDPE ยังมีคุณสมบัติดูดฝุ่นในอากาศมาเกาะติดตามผิว ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE นี้เมื่อทิ้งไว้นานๆจะเปรอะด้วยฝุ่น

ตัวอย่างการใช้งานของถุงพลาสติก PE ที่สำคัญดังต่อไปนี้

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

2) ใช้ห่อหรือบรรจุอาหารได้เกือบทุกชนิดโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค แต่ไม่ควรใช้ LDPE กับอาหารร้อน

3) นิยมใช้ทำถุงบรรจุขนมปัง เนื่องจาก PE ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีจึงช่วยป้องกันไม่ให้ขนมปังแห้ง เนื่องจากสูญเสียความชื้นออกไป นอกจากนั้นราคาของ PE ไม่สูงเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของขนมปัง

4) นิยมใช้ทำถุงบรรจุผักและผลไม้สด เนื่องจาก PE ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ดี ทำให้มีก๊าซออกซิเจนซึมผ่านเข้ามาเพียงพอให้พืชหายใจ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชคายออกมาก็สามารถซึมผ่านออกไปได้ง่าย ในบางกรณีจำเป็นต้องเจาะรูที่ถุงเพื่อช่วยระบายไอน้ำที่พืชคายออกมา

5) นิยมใช้ LDPE เป็นชั้นสำหรับการปิดผลึกด้วยความร้อน เนื่องจากกระดาษและแผ่นเพลวอะลูมิเนียมซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นถุงหรือซองบรรจุอาหาร ไม่สามารถปิดผลึกด้วยความร้อนได้ จึงนิยมนำ LDPE มาประกบติดกับวัสดุต่างๆเหล่านี้ โดยใช้ LDPE อยู่ชั้นในสุด และทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับปิดผลึกด้วยความร้อน ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ซองบะหมี่สำเร็จรูป แผ่นปิดด้วยโยเกิร์ต กล่องนม UHT เป็นต้น

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

7) PE ไม่นิยมใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันสูง เช่น เนย ถั่วทอด ขนมขบเคี้ยว

## 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tapia et al. (1999) เปรียบเทียบการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศกับสภาวะสุญญากาศ (Vacuum osmotic dehydration; VOD) ที่ความดัน 60 มิลลิบาร์ พบว่า สภาวะ VOD สามารถช่วยลดปริมาณความชื้นของมะละกอได้เร็วกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรสดีใกล้เคียงกับวัตถุดิบเริ่มต้น

Betoret et al. (2001) ศึกษาการเสริมโพรไบโอติกในผักและผลไม้โดยใช้กระบวนการแช่ในสภาวะสุญญากาศ นำขึ้นแอปเปิ้ลมาแช่ทั้งกับน้ำแอปเปิ้ลทางการค้าที่มี *Saccharomyces cerevisiae* และแช่กับนมหรือน้ำแอปเปิ้ลที่มี *Lactobacillus casei* (spp. *rhamnosus*)  $10^7$  หรือ  $10^8$  cfu/ml พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่แล้วมีจุลินทรีย์ประมาณ  $10^7$  cfu/g เพื่อเพิ่มความมีเสถียรภาพ และเพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาผลไม้ จึงนำตัวอย่างแอปเปิ้ลที่แช่สภาวะสุญญากาศแล้วมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณน้ำ 0.037 กิโลกรัม/น้ำ/กิโลกรัม น้ำหนักแห้งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 เดือน เมื่อเก็บไว้พบว่ามีปริมาณ *L. casei* ในผลิตภัณฑ์แห้งมากกว่า  $10^6$  cfu/g โดยระดับความเข้มข้นของโพรไบโอติกจะคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์นมในทางการค้า

Gras et al. (2001) เพื่อศึกษาการเสริมแคลเซียมในผักโดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกในการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามแคลเซียมไอออนอาจมีผลกระทบต่อเนื้อเยื่อพืช การปรับปรุงเชิงกลและการแช่ในสภาวะสุญญากาศทำการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างมะเขือเทศนางรม และแครอท โดยแช่ตัวอย่างในสารละลาย 1) น้ำตาลซูโครสและแคลเซียมแลคเตท และ 2) น้ำตาลซูโครส ภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ พบว่าแคลเซียมมีผลกระทบต่อพฤติกรรมแช่ของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ อาจสรุปได้ว่า พฤติกรรมเชิงกลของมะเขือเทศ และแครอทได้รับผลกระทบจากแคลเซียมมากที่สุด แต่ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญกับเหนียวนางรม (ปราศจากเพคตินในโครงสร้างเซลล์) การวิเคราะห์การแพร่ของแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ พบว่ามีแคลเซียมเกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างเซลล์ของมะเขือเทศ เหนียวนางรม และในไซเลมของแครอท

Chafer et al. (2003) ศึกษาผลของการลวกและการประยุกต์ใช้สุญญากาศในการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสของลูกแพร์ (var. *Blanquilla*) ศึกษาโดยการวิเคราะห์ผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวก และการประยุกต์ใช้สุญญากาศต่อการถ่ายเทมวลสาร ผลผลิตของกระบวนการ และต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (สีและพฤติกรรมเชิงกล) พบว่าตัวอย่างสด และตัวอย่างที่ผ่านการลวก และได้รับการแช่ด้วยน้ำตาลซูโครส 65 บริกซ์ ที่ความดันบรรยากาศ ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ (50 mbar เป็นเวลา 5 นาที) มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลและการสูญเสีย น้ำ รวมถึงโครงสร้างของเนื้อเยื่อ การใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อการลดลงของน้ำหนักการลวกมีผลให้มีการเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทมวลในเนื้อเยื่อลูกแพร์การใช้สภาวะสุญญากาศในตัวอย่างที่ผ่านการลวก ส่งผลให้เกิดการบีบ

อัดเนื้อเยื่อมากกว่าทำให้ตัวอย่างมีโอกาสสัมผัสกับสารละลายออสโมติกได้มากขึ้น เนื่องจากตัวอย่างมีเนื้อเยื่ออ่อนลงจากผลของความร้อน และจะมีการปล่อยอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์ออกเมื่อตัวอย่างสัมผัสความร้อน จึงกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้นด้านการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล พบว่าทุกสิ่งทดลองมีผลคล้ายคลึงกัน และพบว่าตัวอย่างที่ใช้สภาวะสุญญากาศรักษาสีเหลืองได้ดี แต่พบว่าตัวอย่างมีความโปร่งใสมากขึ้นและกลายเป็นสีเข้มขึ้นเล็กน้อย

Barrera et al. (2004) ศึกษาการเพิ่มวิตามินแคลเซียม และเหล็กของผักโดยใช้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกในการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเหล่านี้และเนื้อเยื่อพืชอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยแร่ธาตุในระหว่างกระบวนการผลิต ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของแคลเซียมและเหล็กไอออน ที่มีคุณสมบัติการรวมตัวกันในเมทริกซ์ของโครงสร้างของแอปเปิ้ลขึ้น (var. Granny Smith) ในระหว่างการออสโมซิสที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ความเข้มข้นต่ำสุดของแร่ธาตุไม่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสัทธิของมวลน้ำและตัวถูกละลายโดยการเติมแคลเซียมสามารถเสริมสร้างโครงสร้างเซลล์ แต่มีผลลดการแพร่ของมวลสาร

Arevalo-Pinedo and Murr (2007) ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งสุญญากาศของแครอท และฟักทอง เตรียมตัวอย่างโดยการลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำตัวอย่างจากทั้ง 2 วิธีมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 70 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 5 และ 25 กิโลปาสคาล พบว่า เวลาที่อบแห้งตัวอย่างแครอท และฟักทองลดลงมากเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิและความดัน โดยเวลาในการลดปริมาณความชื้นเหลือ 5% สำหรับฟักทองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 5 กิโลปาสคาล ใช้เวลา 2.5 ชั่วโมง และความดัน 25 กิโลปาสคาล ใช้เวลา 5.2 ชั่วโมงสำหรับแครอท ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสความดัน 5 กิโลปาสคาล ใช้เวลา 3 ชั่วโมง

Betoret et al. (2009) ศึกษาผลของระดับความดันในการโฮโมจีไนซ์ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 MPa ต่อการกระจายขนาดของอนุภาค สี ความขุ่น และปริมาณฟลาโวนอยด์ในน้ำส้มสด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาคุณสมบัติของน้ำส้ม ผลการศึกษาพบว่าระดับความดันในการโฮโมจีไนซ์มีผลต่อการกระจายขนาดของอนุภาคและสีของน้ำส้มในตัวอย่างที่ใช้ความดันแตกต่างกัน ส่วนปริมาณฟลาโวนอยด์ไม่ได้รับผลกระทบจากระดับความดันการโฮโมจีไนซ์ แต่หลังจากการเก็บ 5 เดือน พบว่ามีผลกระทบกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟลาโวนอยด์

Ashwini et al. (2011) ศึกษาการออสโมติกขึ้นมะพร้าวในสารละลายน้ำตาลซูโครส (0, 12.5, 25, และ 50%) ที่มีการเติมสารละลาย Curcuminoids 3% โดยนำขึ้นมะพร้าวมาสไลด์ให้มีความยาว 20 mm และหนา 2 mm ซึ่งนำหนักตัวอย่างแล้วนำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ใน Sonication bath เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปผ่านการอัลตราซาวด์ทันทีที่อุณหภูมิ

23±1 องศาเซลเซียส ใน Water bath เติมสารละลาย Curcuminoids 3% (เตรียมได้จากละลายผงเคอร์คูมินมาตรฐานกับน้ำกลั่น) โดยแช่ตัวอย่างในสารละลายออสโมติกอัตราส่วน (1:5) เป็นเวลา 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, และ 5.0 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปล้างด้วยน้ำสะอาด และชั่งน้ำหนักพบว่า การใช้อัลตราซาวด์มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารละลายเคอร์คูมินมีค่าเพิ่มขึ้น จาก  $1.64 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  เป็น  $1.87 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  การเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกมากกว่า 25% มีผลทำให้การถ่ายเทมวลสารของน้ำและของแข็งมากกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส ร่วมกับสารเคอร์คูมินให้ผลว่าเคอร์คูมินสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นมะพร้าวได้มากซึ่งทำให้มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

Betoret et al. (2012) ศึกษาการเสริมสารพฤกษเคมีจากน้ำส้มแมนดารินให้แพร่เข้าสู่ชิ้นแอปเปิ้ลโดยเทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศแล้วนำมาทำแห้งโดยใช้ลมร้อน และประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยการเสริมฟลาโวนอยด์จากน้ำส้มแมนดารินที่มีเนื้อจากถุงส้มเล็กน้อย (Mandarin LPJ) ให้แพร่สู่ชิ้นแอปเปิ้ลโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งการพัฒนาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งด้วยเทคนิคนี้มีความน่าสนใจ เหมาะสมแก่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในวงการอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ โดยมีแนวคิดในการผลิต คือ เป็นการรวมคุณสมบัติของวิตามินซีและฟลาโวนอยด์จากน้ำส้มแมนดารินโดยปราศจากการเติมส่วนผสมพิเศษอื่น พบว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้จากการแช่แอปเปิ้ลใน Mandarin LPJ ที่ผ่านการโฮมจีไนส์ที่ความดัน 15 MPa ปริมาณ 40 กรัม ให้ปริมาณ Hesperidin เทียบเท่าที่ได้จากน้ำส้มแมนดารินปริมาตร 250 มิลลิลิตร

Jissy et al. (2012) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลไม้มาแช่ในสารละลายผสมที่มีส่วนประกอบของสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ร่วมกับการทำแห้งผลไม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เชอร์รี่ หวาน มะม่วง และ บลูเบอร์รี่ ซึ่งในระหว่างกระบวนการแช่จะพบว่า บลูเบอร์รี่ และเชอร์รี่ มีการสูญเสียแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ไปบ้าง แต่ก็ไม่ทำให้คุณลักษณะทางกายภาพลดลง ในการใช้ Nutraflora™ และมีการเติม Soy lecithin ลงไปในการแช่ด้วย เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ซึ่ง Soy lecithin นั้นเป็นสารอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่ง ด้านโครงสร้างทางจุลภาคพบว่า การแช่ด้วย Nutraflora™ ในผลไม้แสดงให้เห็นว่าสามารถรักษาโครงสร้างของเนื้อเยื่อให้มีคุณภาพคล้ายกับในผลไม้สดได้ ข้อดีของการแช่ด้วย Nutraflora™ ในผลไม้แสดงให้เห็นว่า มีปริมาณของแข็งที่ไม่สามารถละลายได้สูงขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลไม้สดและผลไม้ที่ผ่านการแช่ ไม่แตกต่างกันมาก กล่าวได้ว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผลไม้ที่ผ่านการแช่ไม่ได้ลดลงดังที่กระบวนการแช่ผลไม้ด้วยสารดังกล่าว ร่วมกับการทำแห้ง ช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารที่ดีต่อสุขภาพและมีสารพฤกษเคมีมากขึ้น



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการทดลอง

#### วัตถุดิบและสารเคมี

- 1) ชিংอ่อนพันธุ์หยวก รับจากตลาดใหม่ จังหวัดชลบุรี
- 2) เยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู รับจากสวนพริกขี้หนู จังหวัดนครปฐม
- 3) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) เกรดทางการค้า ตราปรุngthิพย์ บริษัท สหพัฒน์พิบูล จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย
- 4) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) บริษัท BDH Laboratory Supplies ประเทศอังกฤษ
- 5) กรดซิตริก (Citric acid) บริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์
- 6) น้ำตาลซูโครส (Sucrose) เกรดทางการค้า ตรามิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด ประเทศไทย
- 7) น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (Oligofructose) เกรดทางการค้า บริษัท Beneo ประเทศเบลเยียม

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ประเทศไทย
- 2) เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) Hunter Lab รุ่น Mimiscan XP plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3) เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี ( $a_w$ ) Novasina รุ่น AG Labmaster-aw ประเทศสวีเดน
- 4) เครื่องโฮโมจีไนซ์ (Homogenizer) รุ่น Models 15 MR and 31 MR ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 5) ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) รุ่น Vacuum Controller V-800 ประเทศเยอรมนี
- 6) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro System รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ
- 7) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น SPECTRONIC GENESYS<sup>TM</sup> 5, USA
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA610 ประเทศเยอรมนี
- 9) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 211S ประเทศเยอรมนี
- 10) ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ (พลาสติกชนิด Nylon LDPE เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์)
- 11) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้แก่ ถ้วยใส่ตัวอย่าง ซ้อน แก้วน้ำ
- 12) อุปกรณ์เครื่องแก้วได้แก่ ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ กระจบอกดวง ปีเปต บิวเรตต์ ขวดวัดปริมาตร

## วิธีดำเนินการทดลอง

### 3.1 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิส

เนื่องจากเหง้าขิงสดมีน้ำมันหอมระเหยเป็นองค์ประกอบมาก และมีสารที่ให้กลิ่นรสเฉพาะ จึงมีกลิ่นฉุนของขิง และมีกลิ่นรสเผ็ดของขิงในระดับเข้มข้นมาก นอกจากนี้ขิงมีเนื้อเยื่อค่อนข้างแข็งและมีความเป็นเส้นใย การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกน่าจะสามารถลดกลิ่นฉุน กลิ่นรสเผ็ดของขิง ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการยอมรับของผู้บริโภค และกระตุ้นการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสได้ ขั้นตอนนี้จึงศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกก่อนการออสโมซิส

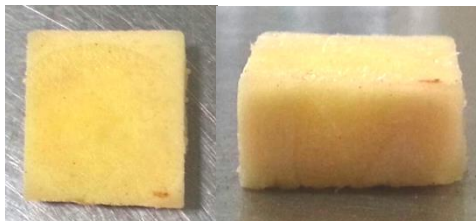
แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของสารที่ใช้ลวก (น้ำ, สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 4% w/w) และเวลาในการลวก (5, 10 และ 15 นาที) ได้เป็น 6 สิ่งทดลอง และเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่ได้ลวก (ตัวควบคุม) รายละเอียดสิ่งทดลองทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกขิงก่อนการออสโมซิส

สิ่งทดลองที่	ชนิดของสารที่ใช้ลวก	เวลาในการลวก(นาที)
1 (ตัวควบคุม)	-	-
2	น้ำ	5
3		10
4		15
5	โซเดียมคลอไรด์	5
6	ความเข้มข้น 4%	10
7		15

#### การเตรียมตัวอย่าง

รับขิงอ่อน (อายุประมาณ 4 เดือน) พันธุ์หยวกมาเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ  $4 \pm 2$  องศาเซลเซียส เตรียมตัวอย่างขิงโดยนำมาตัดก้าน ปอกเปลือกล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วหั่นเป็นชิ้นขนาด  $2 \times 2 \times 1$  เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3-1 แล้วแช่ขิงในสารละลายผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิก 1% และกรดซิตริก 0.2% เป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Abeyesekere et al, 2003)



ภาพที่ 3-1 ชิ้นชิ่งขนาด 2\*2\*1 เซนติเมตร

### การลวก

นำชิ่งที่หั่นเตรียมไว้มาลวกโดยกำหนดอุณหภูมิเท่ากันคือ 80 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้าเมื่อครบกำหนดเวลานำชิ่งแช่ในน้ำเย็น (น้ำผสมน้ำแข็ง อุณหภูมิประมาณ  $4 \pm 2$  องศาเซลเซียส) ทันทที เป็นเวลา 2 นาที กำหนดอัตราส่วนระหว่างชิ่งและสารใช้ลวก เท่ากับ 1 : 3 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และดำเนินการลวกโดยใช้ชิ่งครั้งละ 300 กรัม

### การออสโมซิส

นำชิ่งที่ผ่านและไม่ผ่านการลวกมาตั้งน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ทำได้โดยนำชิ่งมาแช่ในสารละลายออสโมติกคือสารละลายผสมที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 30% น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสความเข้มข้น 30% และโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% โดยให้ความร้อนน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำมาใช้งาน กำหนดอัตราส่วนระหว่างชิ่งและสารละลายออสโมติก เท่ากับ 1 : 3 (น้ำหนัก/ปริมาตร) แช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพ

### การวิเคราะห์คุณภาพ

- ความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน
- ความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 5-point scoring test ทดสอบความเข้มด้านกลิ่นชิ่งและกลิ่นรสเผ็ดของชิ่ง โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน
- ค่าการถ่ายเทมวลสาร โดยนำชิ่งมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออกและวางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ เป็นเวลา 2 นาที แล้วชั่งด้วยกระดาษชั่ง นำไปชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) และคำนวณหาค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss ; WL) คำนวณได้จาก

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

2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain ; SG) คำนวณได้จาก

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

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reduction ; WR) คำนวณได้จาก

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

เมื่อ  $W_i$  = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

$W_f$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังการออสโมซิส (กรัม)

$X_i$  = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมน้ำ/100 กรัมตัวอย่าง)

$X_f$  = ปริมาณความชื้นของตัวอย่างหลังการออสโมซิส (กรัมน้ำ/100 กรัมตัวอย่าง)

#### การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS

#### เกณฑ์การตัดสิน

เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับความนิยมสูงสุดโดยพิจารณา ร่วมกับการมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง

### 3.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์สารละลายออสโมติกต่อปริมาณสารพฤษเคมีและค่าการถ่ายเทมวลสารของขิงหลังการออสโมซิส

เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูเป็นแหล่งของสารพฤษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะไลโคพีน และบีตา-แคโรทีนชั้นตอนนี้จึงมีความมุ่งหมายเสริมสารพฤษเคมี ดังกล่าวในขิง ด้วยวิธีการออสโมซิสโดยนำเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูมาเติมในสารละลายออสโมติก อย่างไรก็ตามลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกัน และการลดขนาดอนุภาคของเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู รวมถึงความอิสระของสารพฤษเคมี อาจมีผลต่อการแพร่ของสารพฤษเคมีในระหว่างการออสโมซิสการโฮโมจิไนซ์

สารละลายออสโมติกในระดับที่เหมาะสม น่าจะสามารถช่วยให้เกิดการแพร่ของสารพฤษเคมีจากเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวมาสู่ขึ้นขิงในระหว่างการออสโมซิสได้ แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวที่เติมเพิ่มลงในสารละลายออสโมติก (15, 20 และ 25% w/w ของสารละลายออสโมติก) และระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ (1450 และ 2900 psi) ได้เป็น 6 สิ่งทดลองรายละเอียดสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ในการออสโมซิสขิง

สิ่งทดลองที่	ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาว (%w/w ของสารละลายออสโมติก)	ความดันในการโฮโมจิไนซ์ (psi)
1	15	1450
2		2900
3	20	1450
4		2900
5	25	1450
6		2900

### การออสโมซิส

เตรียมตัวอย่างขิงตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.1 สำหรับการเตรียมสารละลายออสโมติกทำได้โดยนำเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวมาเติมเพิ่มลงในสารละลายน้ำเชื่อมที่เตรียมไว้ซึ่งผ่านการให้ความร้อนแล้วตามความเข้มข้นที่กำหนด และนำมาโฮโมจิไนซ์โดยใช้เครื่องโฮโมจิไนซ์ตามความดันที่กำหนดเป็นเวลา 10 นาที นำขิงมาแช่ในสารละลายออสโมติก โดยกำหนดอัตราส่วนระหว่างขิงและสารละลายออสโมติก เท่ากับ 1 : 3 (น้ำหนัก/ปริมาตร) แช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ว สุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพ ลักษณะของสารละลายออสโมติกและการแช่ขิงแสดงดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 ลักษณะของสารละลายออสโมติกและการแช่ขิงในสารละลายออสโมติก

### การวิเคราะห์คุณภาพ

- ปริมาณไลโคพีน (Fish et al., 2002)
- ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ดัดแปลงจาก Georges and Olivier, 1993)
- ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dewanto et al., 2002; Fan et al., 2006)
- สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจาก Karagozler et al., 2008) โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test)
- ค่าการถ่ายเทมวลสารได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักรีดลดลง ตามวิธีในข้อ 3.1

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 3x2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS

### เกณฑ์การตัดสิน

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ชิงหลังการออสโมซิสมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดโดยพิจารณาพร้อมกับมีสารพฤกษเคมีต่างๆ ปริมาณสูงและมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง

## 3.3 การศึกษาผลของการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและค่าการถ่ายเทมวลสารของชิงหลังการออสโมซิส

การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสทำได้โดยลดความดันอากาศลง จนทำให้เกิดสภาวะความดันสุญญากาศในภาชนะปิดเมื่อเริ่มต้นกระบวนการออสโมซิสเป็นระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะปล่อยให้กลับสู่ความดันบรรยากาศ การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสเป็นการเพิ่มแรงขับในการแพร่ของน้ำจากเนื้อเยื่อของผักผลไม้ไปสู่สารละลายออสโมติกขึ้นตอนนี้จึงมีความมุ่งหมายกระตุ้นการถ่ายเทมวลสารในการออสโมซิส อย่างไรก็ตามการใช้สภาวะที่รุนแรงเกินไปอาจมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะด้านเนื้อสัมผัสและคุณภาพทางประสาทสัมผัส

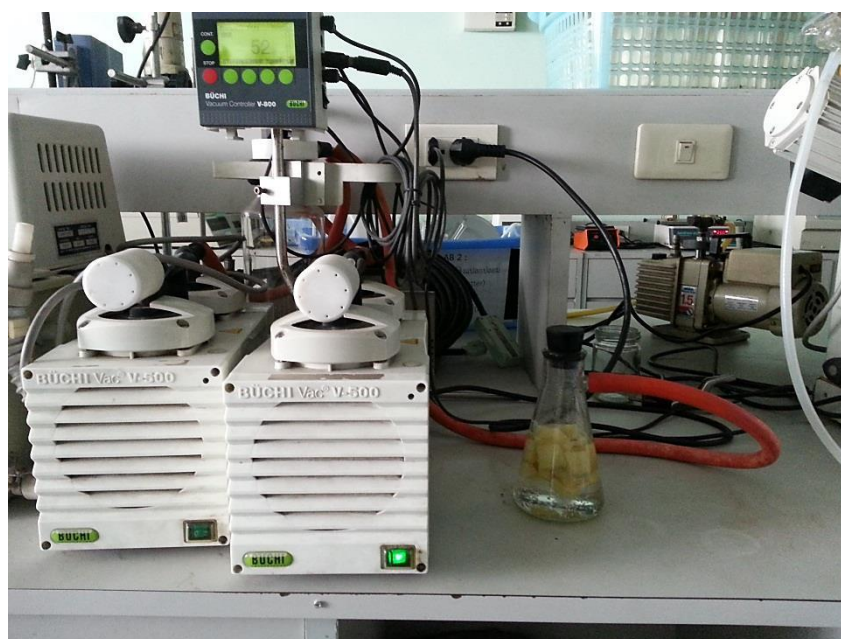
แปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศเป็น 0 20 30 และ 40 นาที กำหนดใช้ความดัน 50 มิลลิบาร์ แล้วแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง รายละเอียดสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรเวลาการออสโมซิสขิงในสภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (นาที)
1 (ตัวควบคุม)	0
2	20
3	30
4	40

### การออสโมซิส

เตรียมตัวอย่างขิงและสารละลายออสโมติกตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2 สำหรับการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศทำได้โดยบรรจุขิงและสารละลายออสโมติกในขวดรูปชมพู่ กำหนดอัตราส่วนระหว่างขิงและสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:3 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปิดขวดรูปชมพู่ด้วยจุกยางให้เป็นระบบปิดและเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 3-3 เมื่อครบกำหนดเวลาสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพ



ภาพที่ 3-3 การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสขิงก่อนการแช่ในสภาวะบรรยากาศ

### การวิเคราะห์คุณภาพ

- ปริมาณไลโคพีน (Fish et al., 2002)
- ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ดัดแปลงจาก Georges and Olivier, 1993)
- ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dewanto et al., 2002; Fan et al., 2006)
- สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจาก Karagozler et al., 2008) โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test)
- ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักรีดตามวิธีในข้อ 3.1
- ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer
- ความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติและความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกด้าน ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS

### เกณฑ์การตัดสิน

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ชิงหลังการออสโมซิสมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยพิจารณาพร้อมกับมีสารพฤกษเคมีปริมาณสูง ค่าการถ่ายเทมวลสารสูงและได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในระดับชอบ (ได้คะแนนตั้งแต่ 6 คะแนนขึ้นไป)

## 3.4 การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ชิงกิ้งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

นำชิงที่ผ่านการออสโมซิสตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.3 มาลดความชื้นและค่า  $a_w$  ลงให้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 15 -55 % และมีค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.60 - 0.85 (Jay, 1998) ดำเนินการโดยนำชิงที่ผ่านการออสโมซิส นำมาล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออก วางพักไว้บนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที แล้วซับด้วยกระดาษเกลี่ยตัวอย่างลงบนถาด และอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้น 25 % นำชิงกิ้งแห้งที่ผลิตได้มาบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ (พลาสติกชนิด Nylon LDPE เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์) หนัก 30 กรัม และปิดผนึกให้สนิท นำมาเก็บรักษาที่



อุณหภูมิห้อง ( $27 \pm 2$  °C) เป็นเวลา 30 วัน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพในวันที่ 0 10 20 และ 30 ของการเก็บรักษา

#### การวิเคราะห์คุณภาพ

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ปริมาณไลโคพีน (Fish et al., 2002)
- ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ดัดแปลงจาก Georges and Olivier, 1993)
- ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dewanto et al., 2002; Fan et al., 2006)
- สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจาก Karagozler et al., 2008) โดยทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test)
- ค่าสี รายงานผลเป็นค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$
- ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ( $a_w$ ) ด้วยเครื่องวัดค่า  $a_w$
- ความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติและความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน
- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001) โดยใช้จานเพาะเชื้อสำเร็จรูป (Compact Dry TC) ปริมาณยีสต์และรา (BAM, 2001) โดยใช้จานเพาะเชื้อสำเร็จรูป (Compact Dry YM)

#### การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS

#### เกณฑ์การพิจารณา

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของซิงกิ้งแห้งระหว่างการเก็บรักษา สำหรับด้านความปลอดภัยในการบริโภค พิจารณาโดยใช้เกณฑ์ของผลิตภัณฑ์เทียบเคียง ได้แก่ ผลไม้แห้ง ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลไม้แห้ง มาตรฐานเลขที่ มผช. 136/2550 (มผช, 2550) ที่กำหนดว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า  $1 \times 10^6$  CFU/g ปริมาณยีสต์ต้องไม่เกิน  $1 \times 10^4$  CFU/g และปริมาณราต้องไม่เกิน 500 CFU/g

### 3.5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้แก่ชุมชน โดยการจัดทำเอกสารให้ความรู้เชิงเทคนิคในการแปรรูปซิงกิ้งแห้งให้ได้คุณภาพมาตรฐาน ดำเนินการประสานงานส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล และองค์การบริหารส่วนจังหวัดที่มีความสนใจ ได้แก่ จังหวัดปราจีนบุรี และจังหวัดระยอง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลของการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิส

จากการแปรปัจจัยในการลวกซิงก่อนการออสโมซิส ได้แก่ ชนิดของสารที่ใช้ลวก (น้ำ, สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 4 %w/w) และเวลาในการลวก (5, 10 และ 15 นาที) ได้เป็น 6 สิ่งทดลอง และเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่ได้ลวก (ตัวควบคุม) นำซิงที่ไม่ผ่านและผ่านการลวกมาออสโมซิสในสารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 30% น้ำตาลโกลิโกฟรุคโตสความเข้มข้น 30% และโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลักษณะของซิงที่ได้ แสดงดังภาพที่ 4-1 แล้วนำซิงมาวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบความเข้มข้นและกลิ่นรสเผ็ดของซิงรวมถึงค่าการถ่ายเทมวลสารหลังการออสโมซิส ได้ผลการทดลองดังนี้

##### 4.1.1 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9- point Hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-1 พบว่าซิงหลังการออสโมซิสที่ไม่ผ่านและผ่านการลวก ได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่า ซิงหลังการออสโมซิสที่ไม่ผ่านการลวกในสิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบทุกด้านต่ำที่สุด ( $p < 0.05$ ) โดยได้รับคะแนนอยู่ในระดับไม่ชอบปานกลางถึงเฉยๆ (3.30-5.33) ทั้งนี้อาจเนื่องจากซิงที่ไม่ได้ผ่านการลววยังคงมีกลิ่นรสเผ็ดของซิงเข้มข้น เนื้อสัมผัสยังค่อนข้างแข็งและมีสีเหลืองซีด ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และเมื่อพิจารณาคะแนนของสิ่งทดลองที่ 2-7 ซึ่งเป็นซิงหลังการออสโมซิสที่ผ่านการลวก พบว่าได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน โดยคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.23-6.73) แสดงให้เห็นว่าการลวกทุกสภาวะทำให้ซิงหลังการออสโมซิสได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากกว่าการไม่ลวก และได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในระดับชอบ ทั้งนี้อาจเนื่องจากซิงที่ผ่านการลวกมีกลิ่นรสเผ็ดของซิงลดลง เนื้อสัมผัสนุ่มลง เมื่อนำมาออสโมซิสโดยการแช่ในสารละลายน้ำเชื่อม ทำให้น้ำตาลและเกลือในสารละลายออสโมติก สามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อได้มาก ซิงจึงมีรสหวานและเค็มมากขึ้น เป็นผลให้รสชาติโดยรวมและเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับ รวมถึงซิงมีสีเหลืองนารับประทานมากกว่าการไม่ลวก เนื่องจากสารสำคัญคือสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกที่อยู่ในซิง (Wohlmuth et al., 2005) ซึ่งสารฟีนอลิกในเซลล์ของพืชเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน ทำให้มีการสูญเสีย น้ำ มีการสลายตัว พัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล (ทิพาวรรณ บุญเชื่อม และ กอดขวัญ นามสงวน, 2554)



(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (ตัวควบคุม)



(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (น้ำ, 5 นาที)



(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (น้ำ, 10 นาที)



(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (น้ำ, 15 นาที)



(จ) สิ่งทดลองที่ 5 (โซเดียมคลอไรด์, 5 นาที)



(ฉ) สิ่งทดลองที่ 6 (โซเดียมคลอไรด์, 10 นาที)    (ช) สิ่งทดลองที่ 7 (โซเดียมคลอไรด์, 15 นาที)



ภาพที่ 4-1 ลักษณะของหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อไม่ผ่านการลวก (ก) และผ่านการลวก (ข)-(ช) โดยแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกซึ่งก่อนการออสโมซิสโดย (ก) สิ่งทดลองที่ 1 (ตัวควบคุม) (ข) สิ่งทดลองที่ 2 (น้ำ, 5 นาที) (ค) สิ่งทดลองที่ 3 (น้ำ, 10 นาที) (ง) สิ่งทดลองที่ 4 (น้ำ, 15 นาที) (จ) สิ่งทดลองที่ 5 (โซเดียมคลอไรด์ 5 นาที) (ฉ) สิ่งทดลองที่ 6 (โซเดียมคลอไรด์, 10 นาที) (ช) สิ่งทดลองที่ 7 (โซเดียมคลอไรด์, 15 นาที)

ตารางที่ 4-1 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อไม่ผ่านและผ่านการลวกโดยแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกซิงก่อนการออสโมซิส

สิ่งทดลองที่	ชนิดของสารที่ใช้ลวก	เวลาในการลวก(นาที)	ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบ± SD				
			สี	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (ตัวควบคุม)	-	-	3.30 ± 1.82 <sup>b</sup>	4.60 ± 1.56 <sup>b</sup>	5.30 ± 1.56 <sup>b</sup>	5.33 ± 1.73 <sup>b</sup>	4.97 ± 1.56 <sup>b</sup>
2	น้ำ	5	6.70 ± 1.68 <sup>a</sup>	5.76 ± 1.59 <sup>a</sup>	6.23 ± 1.41 <sup>a</sup>	6.53 ± 1.48 <sup>a</sup>	6.43 ± 1.68 <sup>a</sup>
3	น้ำ	10	6.67 ± 1.40 <sup>a</sup>	6.13 ± 1.43 <sup>a</sup>	6.17 ± 1.49 <sup>a</sup>	6.40 ± 1.57 <sup>a</sup>	6.43 ± 1.30 <sup>a</sup>
4	น้ำ	15	6.77 ± 1.28 <sup>a</sup>	6.36 ± 1.27 <sup>a</sup>	6.43 ± 1.10 <sup>a</sup>	6.50 ± 1.31 <sup>a</sup>	6.73 ± 1.05 <sup>a</sup>
5	โซเดียมคลอไรด์	5	6.67 ± 1.42 <sup>a</sup>	5.97 ± 1.50 <sup>a</sup>	5.90 ± 1.40 <sup>ab</sup>	6.40 ± 1.35 <sup>a</sup>	6.33 ± 1.45 <sup>a</sup>
6	โซเดียมคลอไรด์	10	6.27 ± 1.62 <sup>a</sup>	5.77 ± 1.48 <sup>a</sup>	5.90 ± 1.40 <sup>ab</sup>	6.40 ± 1.40 <sup>a</sup>	6.23 ± 1.17 <sup>a</sup>
7	โซเดียมคลอไรด์	15	6.33 ± 1.09 <sup>a</sup>	5.73 ± 1.74 <sup>a</sup>	6.37 ± 1.35 <sup>a</sup>	6.33 ± 1.27 <sup>a</sup>	6.50 ± 1.28 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากการทดสอบความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 5-point Scoring Test ทดสอบความเข้มด้านกลิ่นขิง และกลิ่นรสเผ็ดของขิง ได้ผลดังตารางที่ 4-2 พบว่าความเข้มกลิ่นขิงของสิ่งทดลองที่ไม่ได้ผ่านการลวกมีคะแนนความเข้มกลิ่นขิงน้อยที่สุดเท่ากับ 1.80 หมายถึงกลิ่นขิงเข้มน้อยที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ผ่านการลวกมีคะแนนความเข้มกลิ่นขิงอยู่ในช่วง 2.77-3.43 หมายถึงกลิ่นขิงเข้มน้อยถึงเข้มปานกลางแสดงให้เห็นว่าการลวกทำให้ความเข้มของกลิ่นขิงเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากน้ำมันหอมระเหยในขิงสามารถระเหยออกมาได้มากขึ้นเมื่อสัมผัสกับความร้อนจากการลวก ผู้ทดสอบจึงสามารถได้กลิ่นขิง จากการดมตัวอย่างได้มากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ได้ผ่านการลวก เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้มกลิ่นรสเผ็ดของขิง พบแนวโน้มว่าสิ่งทดลองที่ไม่ได้ผ่านการลวกมีคะแนนความเข้มกลิ่นรสเผ็ดของขิงมากที่สุดเท่ากับ 3.73 หมายถึงกลิ่นรสเผ็ดของขิงเข้มปานกลางถึงเข้มมาก ในขณะที่สิ่งทดลองที่ผ่านการลวกมีคะแนนความเข้มกลิ่นรสเผ็ดของขิงอยู่ในช่วง 2.57-3.30 หมายถึงกลิ่นรสเผ็ดของขิงเข้มน้อยถึงเข้มปานกลาง แสดงให้เห็นว่าการลวกทำให้กลิ่นรสเผ็ดของขิงลดลง อาจเนื่องมาจากสารที่ให้กลิ่นรสเผ็ดเฉพาะตัวของขิงสามารถละลายไปพร้อมสารที่ใช้ลวก จึงช่วยลดกลิ่นรสเผ็ดของขิงลงได้

จากผลการทดลองสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้กลิ่นและกลิ่นรสเฉพาะตัวของขิงเกิดจากน้ำมันหอมระเหยในเหง้า ซึ่งมีสารสำคัญคือสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก ได้แก่ จินเจอร์อล (Gingerols) โชกาออล (Shogaols) พาราโดล (Paradol) ซินเจอโรน (Zingerone) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ (Usama et al., 2013) โดยเหง้าขิงสดมักมีจินเจอร์อลเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนโชกาออลและซินเจอโรนไม่ได้เป็นสารที่เกิดตามธรรมชาติ แต่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยจินเจอร์อลจะเปลี่ยนเป็นโชกาออลซึ่งมีกลิ่นหอมฉุนมากกว่าจินเจอร์อลด้วยปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration) ซึ่งหมายถึงการขจัดน้ำและน้ำอิสระในโครงสร้างของสารหรือสารประกอบด้วยการให้ความร้อน หรืออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดหรือด่าง ดังนั้นการลวกขิงจึงมีส่วนสำคัญในการเพิ่มปริมาณสารที่ให้กลิ่นและลดกลิ่นรสเผ็ดเฉพาะตัวของขิงลงได้

นอกจากนี้ในกระบวนการออสโมซิสสามารถเกิดการถ่ายเทมวลน้ำและของแข็งระหว่างชิ้นตัวอย่างผัก ผลไม้และสารละลายออสโมติกได้โดยน้ำภายในเซลล์ของผัก ผลไม้ จะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลาย ขณะเดียวกันตัวถูกละลายที่อยู่ในสารละลาย เช่น น้ำตาลและเกลือจะแพร่เข้าสู่เซลล์ผัก ผลไม้ได้รวมถึงสารบางอย่างที่มีอยู่ในเซลล์ตามธรรมชาติจะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลายด้วย (Torregiani, 1993) มีรายงานว่า การเตรียมชิ้นต้นด้วยการลวกก่อนการออสโมซิสช่วยให้เยื่อหุ้มเซลล์ของผักผลไม้อ่อนตัวลง เพิ่มความสามารถในการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ให้มากขึ้น เพิ่มโอกาสการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์และทำให้ตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ได้มากขึ้น โดยพบว่าการลวกให้ผลดีกับผักผลไม้ที่มีเนื้อแข็ง (Escobar et al. 2007) จากหลักการของการออสโมซิสนี้จึงมีโอกาสทำให้สิ่งทดลองที่ผ่านการลวกมีโอกาสลดสารสำคัญที่ให้

กลี้นรสเผ็ดเฉพาะตัวซึ่งอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติแพร่ออกจากเซลล์ไปกับน้ำที่สูญเสียระหว่างการออสโมซิสได้ อีกทั้งกระตุ้นให้ของแข็งซึ่งในที่นี้ก็คือน้ำตาลและเกลือในสารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้ามาในชิ้นจึงได้มากกว่าซึ่งที่ไม่ผ่านการลวก จึงมีผลให้สิ่งทดลองที่ผ่านการลวกมีกลี้นรสเผ็ดของซึ่งลดลงและมีรสชาติหวานและเค็มมากขึ้น เป็นการปรับปรุงรสชาติให้ดีขึ้นได้

เมื่อพิจารณาสีของสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 4% พบว่าสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้ โดยสามารถเพิ่มการแพร่ของน้ำออกจากชิ้นซึ่ง และเพิ่มปริมาณของแข็งเข้าไปในชิ้นซึ่งได้ ส่วนความเข้มข้นด้านกลี้นซึ่ง และกลี้นรสเผ็ดของซึ่ง พบว่าเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้นกลี้นซึ่งและกลี้นรสเผ็ดของซึ่งลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำมันหอมระเหยในซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำ เมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้นทำให้น้ำมันหอมระเหยในซึ่งที่ให้กลิ่นและกลี้นรสเผ็ดของซึ่งละลายออกไปกับน้ำที่ใช้ลวกได้ ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความเข้มข้นกลี้นและกลี้นรสเผ็ดของซึ่งลดลง ทั้งนี้การลวกด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 4% และน้ำ ได้รับคะแนนความเข้มข้นไม่ต่างกัน อาจเนื่องจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้มีความเข้มข้นน้อยมาก

เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกลี้นซึ่งและกลี้นรสเผ็ดของซึ่งของสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกพบว่าทั้งการลวกด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ หากใช้เวลาในการลวกเท่ากัน มีคะแนนความเข้มข้นกลี้นซึ่งและกลี้นรสเผ็ดของซึ่งไม่แตกต่างกัน ( $p < 0.05$ ) โดยหากใช้เวลาในการลวกนานขึ้น มีแนวโน้มคะแนนความเข้มข้นกลี้นซึ่งและกลี้นรสเผ็ดของซึ่งลดลง

ตารางที่ 4-2 คะแนนความเข้มข้นของกลี้นซึ่งและกลี้นรสเผ็ดของซึ่งหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อไม่ผ่านและผ่านการลวกโดยแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกซึ่งก่อนการออสโมซิส

สิ่งทดลองที่	ชนิดของสารที่ใช้ลวก	เวลาในการลวก (นาที)	ค่าเฉลี่ยคะแนนความเข้มข้น* ± SD	
			กลี้นซึ่ง	กลี้นรสเผ็ดของซึ่ง
1 (ตัวควบคุม)	-	-	1.80 ± 0.80 <sup>c</sup>	3.73 ± 0.91 <sup>a</sup>
2	น้ำ	5	3.07 ± 0.93 <sup>ab</sup>	2.97 ± 0.80 <sup>bc</sup>
3	น้ำ	10	3.13 ± 0.64 <sup>ab</sup>	3.30 ± 0.99 <sup>ab</sup>
4	น้ำ	15	2.77 ± 0.94 <sup>b</sup>	2.57 ± 0.94 <sup>c</sup>
5	โซเดียมคลอไรด์	5	3.43 ± 0.97 <sup>a</sup>	3.00 ± 0.91 <sup>bc</sup>
6	โซเดียมคลอไรด์	10	2.87 ± 0.82 <sup>ab</sup>	3.13 ± 0.82 <sup>bc</sup>
7	โซเดียมคลอไรด์	15	2.77 ± 0.84 <sup>b</sup>	2.80 ± 0.96 <sup>bc</sup>

a,b,c คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* คะแนนความเข้มข้น 1 = เข้มน้อยที่สุด 5 = เข้มนมากที่สุด

#### 4.1.2 ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-3 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของซิงหลังการออสโมซิส ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการลวกก่อนการออสโมซิส พบว่า ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของทุกสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 29.21–38.60% 21.47–29.99% และ 1.96–12.27% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการออสโมซิสซิง คือเมื่อนำตัวอย่างซิงที่ไม่ผ่านและผ่านการลวกแล้วมาแช่ในสารละลายออสโมติก มีการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อตัวอย่างแช่อยู่ในสารละลายความเข้มข้นสูงจึงทำให้เกิดแรงขับน้ำสามารถแพร่ออกจากชั้นอาหารได้ในขณะเดียวกันตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจะแพร่เข้าไปในชั้นอาหารได้ ทำให้น้ำหนักของตัวอย่างลดลงได้ (Torreggiani, 1993)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองด้านค่า WL โดยพบว่าซิงหลังการออสโมซิสที่ไม่ผ่านการลวกในสิ่งทดลองที่ 1 มีค่า WL มากที่สุด (38.60 %) ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นๆที่ผ่านการลวกทั้งในน้ำและโซเดียมคลอไรด์เมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้นพบว่ามีความโน้มให้ซิงหลังการออสโมซิสมีค่า WL ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากซิงมีองค์ประกอบหลักเป็นแป้ง (Schweigert et al., 2008) เมื่อได้รับความร้อนจากการลวกแป้งมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเจลาติไนซ์เซชันจึงทำให้เกิดเจลไปขัดขวางการถ่ายเทมวลน้ำจากเซลล์ออกมาสู่สารละลายออสโมติกสอดคล้องกับงานวิจัยของ Varnalis et al. (2001) ที่พบว่าการลวกมีผลให้ลักษณะโครงสร้างภายในเป็นพลาสติกที่จะลดการเป็นเยื่อเลือกผ่านของน้ำ บางส่วนที่ผิวที่จะกลายเป็นไอทำให้เกิดการผิวกปิดที่ผิวช่วยให้เกิดแรงต้านจากภายในเป็นผลให้เกิดการขัดขวางการแพร่ออกของน้ำ นอกจากนี้การลวกอาจเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำให้ขึ้นตัวอย่างได้เมื่อนำไปออสโมซิส จึงเป็นการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นก่อนการออสโมซิส เมื่อครบกำหนดเวลาการออสโมซิสจึงยังคงมีปริมาณน้ำเหลือในชั้นตัวอย่างมากกว่า สำหรับค่า SG พบแนวโน้มว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการลวกมีค่า SG มากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการลวกทั้งนี้อาจเพราะการลวกทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของพืชถูกทำลายจึงเป็นผลให้การถ่ายเทมวลของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกแพร่เข้าไปได้ง่ายขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Escobar et al. (2007) ที่พบว่าการลวกแครอทในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและน้ำตาลซูโครสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการลวกทำให้เซลล์เนื้อเยื่อแครอทถูกทำลายและเกิดการสูญเสียน้ำตาลกลูโคสและอะราบิโนสซึ่งเป็นองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผนังเซลล์แครอท ทำให้โครงสร้างที่ควบคุมขนาดช่องเปิดของเซลล์ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ลวก

สำหรับค่า WR ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงน้ำหนักที่ลดลงของซิงหลังการออสโมซิส เป็นผลสุทธิที่พิจารณาจากการถ่ายเทมวลน้ำที่สูญเสียจากตัวอย่างและการถ่ายเทมวลของแข็งเข้ามาในตัวอย่าง โดยปกติการถ่ายเทมวลน้ำมีปริมาณมากกว่าการถ่ายเทมวลของแข็งเนื่องจากของแข็งที่เป็นตัวถูกละลายหลักในสารละลายออสโมติก ได้แก่ น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (มวลโมเลกุล 180 g/mol) น้ำตาลซูโครส (มวลโมเลกุล 342.30 g/mol) และเกลือ (58.44 g/mol) ซึ่งมีมวลโมเลกุลใหญ่กว่าน้ำ (18.02

g/mol) มากจึงทำให้แพร่ผ่านเข้าไปในชั้นซิงค์ได้น้อยกว่าการแพร่ของน้ำมาก ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่า WL มากกว่าค่า SG ดังนั้นซิงค์หลังการออสโมซิสจึงมีน้ำหนักลดลง ค่า WR มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับค่า WL โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 1 ซิงค์ที่ไม่ได้ผ่านการลวกมีค่า WR มากที่สุดคือ 12.27% เมื่อพิจารณาเฉพาะสิ่งทดลองที่ผ่านการลวก (สิ่งทดลองที่ 2-7) พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 มีค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR มีแนวโน้มสูงมากกว่าสิ่งทดลองอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 37.27 29.86 และ 6.07% ตามลำดับ

#### 4.1.3 การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การตัดสินใจที่กำหนดไว้ คือเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับความนิยมสูงสุด พบว่าผู้ทดสอบชอบ (ได้คะแนนความชอบตั้งแต่ 6 ขึ้นไป) ผลิตภัณฑ์ซิงค์หลังการออสโมซิสที่ผ่านการลวก (สิ่งทดลองที่ 2-7) โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดโดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) มีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.23-6.73) ในขณะที่ซิงค์หลังการออสโมซิสที่ไม่ผ่านการลวก (สิ่งทดลองที่ 1) ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ (4.97) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสารของซิงค์หลังการออสโมซิสที่ผ่านการลวก พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 คือการเตรียมชิ้นต้นด้วยการนำซิงค์มาลวกในน้ำ 5 นาที ทำให้ซิงค์หลังการออสโมซิสมีค่า WL SG และ WR มากที่สุด จึงเลือกวิธีการเตรียมชิ้นต้นตามสิ่งทดลองนี้สำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป



ตารางที่ 4-3 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง (WR) ของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมงเมื่อไม่ผ่านและผ่าน การลวกโดยแปรชนิดของสารที่ใช้ลวกและเวลาในการลวกซิงก่อนการออสโมซิส

สิ่งทดลองที่	ชนิดของสารที่ใช้ลวก	เวลาในการลวก (นาที)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD (%)		
			WL	SG	WR
1 (ตัวควบคุม)	-	-	38.60 $\pm$ 0.29 <sup>a</sup>	21.47 $\pm$ 0.29 <sup>d</sup>	12.27 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>
2	น้ำ	5	37.27 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	29.86 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	6.07 $\pm$ 0.99 <sup>b</sup>
3	น้ำ	10	30.89 $\pm$ 0.37 <sup>d</sup>	24.62 $\pm$ 0.92 <sup>c</sup>	4.87 $\pm$ 0.70 <sup>b</sup>
4	น้ำ	15	29.21 $\pm$ 0.56 <sup>f</sup>	25.57 $\pm$ 0.56 <sup>c</sup>	4.72 $\pm$ 0.99 <sup>c</sup>
5	โซเดียมคลอไรด์	5	36.55 $\pm$ 0.40 <sup>c</sup>	29.99 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>	5.43 $\pm$ 0.98 <sup>b</sup>
6	โซเดียมคลอไรด์	10	34.64 $\pm$ 0.52 <sup>d</sup>	27.61 $\pm$ 0.30 <sup>b</sup>	1.96 $\pm$ 0.59 <sup>d</sup>
7	โซเดียมคลอไรด์	15	33.60 $\pm$ 0.18 <sup>e</sup>	29.95 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	3.13 $\pm$ 0.56 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

## 4.2 ผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ สารละลายออสโมติกต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและค่าการถ่ายเทมวลสารของซิงหลัง การออสโมซิส

จากการแปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมเพิ่มลงในสารละลายออสโมติก (15, 20 และ 25% w/w ของสารละลายออสโมติก) และระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ (1450 และ 2900 psi) ได้เป็น 6 สิ่งทดลองผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร (ค่า WL SG และ WR) และปริมาณสารพฤกษเคมี (ปริมาณไลโคพีน ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ) สรุปได้ดังตารางที่ 4-4 พบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยด้านการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว และระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์มีผลต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ของซิงหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4-4 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการถ่ายเทมวลสารและปริมาณสารพฤกษเคมีของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (GF) และระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ (HM) ในการออสโมซิสซิง

ค่าคุณภาพ	GF	HM	GF*HM
ค่า WL	*	*	*
ค่า SG	ns	ns	*
ค่า WR	*	ns	*
ปริมาณไลโคพีน	*	*	ns
ปริมาณแคโรทีนอยด์	ns	ns	ns
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	ns	ns	ns
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	*	*	*

\* หมายถึง ปัจจัยมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ns หมายถึง ปัจจัยไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

จากตารางที่ 4-4 พบว่าอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมเพิ่มลงในสารละลายออสโมติกและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ (GF\*HM) มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร (ค่า WL SG และ WR) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง ( $p < 0.05$ )

ปัจจัยหลักของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เติมเพิ่มลงในสารละลายออสโมติก (GF) และระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ (HM) มีผลต่อปริมาณไลโคพิน ( $p < 0.05$ ) และพบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ( $p \geq 0.05$ )

ลักษณะของซิงหลังการออสโมซิสทั้ง 6 สิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-2 พบว่าซิงหลังการออสโมซิสทั้ง 6 สิ่งทดลองมีลักษณะหดรัดตัวลงเมื่อเปรียบเทียบกับซิงสด อาจเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำระหว่างการออสโมซิส นอกจากนี้สังเกตเห็นว่ามีสีส้มแดงของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวติดอยู่ที่ซิงซิงตามแนวเส้นของผิวตัวอย่าง โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมากมีแนวโน้มให้สีส้มแดงเข้มมากกว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวน้อย เมื่อถ่ายภาพขยาย 200 เท่า บริเวณผิวหน้าซิงซิง พบว่าสิ่งทดลองที่มีการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวน้อยร่วมกับการใช้ความดันในการโฮโมจิไนซ์ต่ำ (สิ่งทดลองที่ 1) มีสีส้มแดงติดบริเวณผิวตัวอย่างน้อยกว่าสิ่งทดลองที่มีการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมากร่วมกับการใช้ความดันในการโฮโมจิไนซ์สูง (สิ่งทดลองที่ 6) แสดงดังภาพที่ 4-3



(ก) ชิงสด



(ข) สิ่งทดลองที่ 1 (GF 15%, HM 1450psi)



(ค) สิ่งทดลองที่ 2 (GF 15%, HM 2900psi)



(ง) สิ่งทดลองที่ 3 (GF 20%, HM 1450psi)



(จ) สิ่งทดลองที่ 4 (GF 20%, HM 2900psi)



(ฉ) สิ่งทดลองที่ 5 (GF 25%, HM 1450 psi)

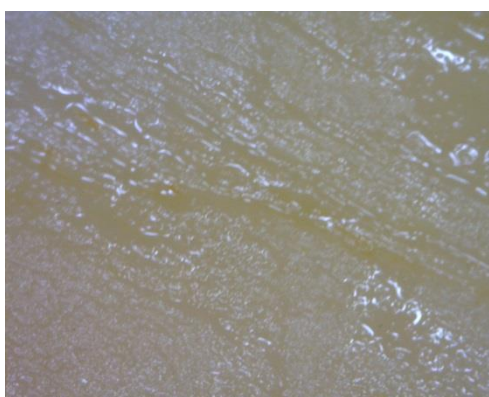


(ช) สิ่งทดลองที่ 6 (GF 25%, HM 2900 psi)

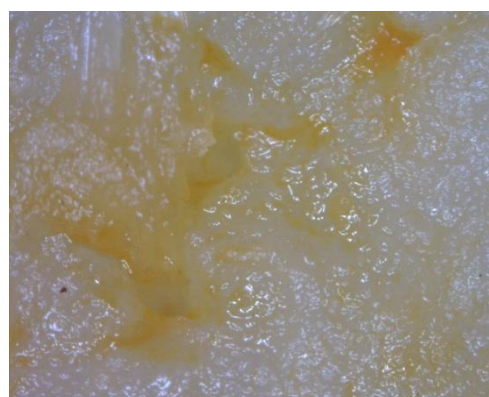
ภาพที่ 4-2 ลักษณะของชิงสด (ก) และชิงหลังการออสโมซิส (ข)-(ช) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว (GF) และระดับความดันในการโอโมจิไนซ์ (HM) ในการออสโมซิสชิงโดย (ก) ชิงสด (ข) สิ่งทดลองที่ 1 (GF 15%, HM 1450 psi) (ค) สิ่งทดลองที่ 2 (GF 15%, HM 2900 psi) (ง) สิ่งทดลองที่ 3 (GF 20%, HM 1450 psi) (จ) สิ่งทดลองที่ 4 (GF 20%, HM 2900 psi) (ฉ) สิ่งทดลองที่ 5 (GF 25%, HM 1450 psi) และ (ช) สิ่งทดลองที่ 6 (GF 25%, HM 2900 psi)



(ก) ชิงสด



(ข) สิ่งทดลองที่ 1 (GF 15%, HM 1450 psi)



(ค) สิ่งทดลองที่ 6 (GF 25%, HM 2900 psi)

ภาพที่ 4-3 ลักษณะผิวหน้าชิงที่กำลังขยาย 200 เท่าของชิ้นชิงสด (ก) และชิงหลังการออสโมซิส (ข)-(ค) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (GF) และระดับความดันในการไฮโดรไมซิส (HM) โดย (ก) ชิงสด (ข) สิ่งทดลองที่ 1 (GF 15%, HM 1450 psi) และ (ค) สิ่งทดลองที่ 6 (GF 25%, HM 2900 psi)

#### 4.2.1 ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-5 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของชิงหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการไฮโดรไมซิสในการออสโมซิสซึ่งพบว่าค่า WL SG และ WR ของทุกสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 30.13-43.86% 17.44-18.97% และ 12.68-25.93% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งมีการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 25% ร่วมกับระดับความดันในการไฮโดรไมซิส 2900 psi ทำให้ชิงหลัง

การออสโมซิสมีค่า WL (43.86%) และค่า WR (25.93%) มากที่สุด ( $p < 0.05$ ) รวมถึงมีค่า SG (17.92%) อยู่ในระดับมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) ซึ่งไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 2 3 4 และ 5 ( $p \geq 0.05$ ) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 15% ร่วมกับระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ 1450 psi ทำให้หลังการออสโมซิสมีค่า WL (30.13%) และค่า WR (12.68%) ต่ำที่สุด ( $p < 0.05$ ) รวมถึงมีค่า SG (17.44%) อยู่ในระดับต่ำสุด ( $p < 0.05$ ) ซึ่งไม่แตกต่างจากสิ่งทดลองที่ 2 และ 6 ( $p \geq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวปริมาณมาก ร่วมกับการใช้ความดันในการโฮโมจิไนซ์ระดับสูงทำให้ขิงมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงขึ้น เนื่องจากการใช้ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวปริมาณมาก เป็นการทำให้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกกับความเข้มข้นของสารละลายในตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดแรงขับมากขึ้น จึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้มากสำหรับการโฮโมจิไนซ์เป็นการใช้ปั๊มความดันสูง บังคับให้ของเหลวผ่านช่องแคบด้วยความเร็วสูงมาก พลังงานจากความดันสูง ทำให้เกิดแรงเฉือน (Shear) แรงกระแทกและการแตกตัวของฟองอากาศขนาดเล็ก (Cavitation) อย่างรุนแรง มีผลให้อนุภาคของเหลวมีขนาดเล็กลงและเกิดการกระจาย เป็นเนื้อเดียวกัน (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.) Welti et al. (2009) กล่าวว่า การโฮโมจิไนซ์โดยใช้ระดับความดันสูงช่วยให้ของเหลวมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นช่วยลดการแยกตัวกันของอนุภาคในของเหลวมีส่วนช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและอัตราการสกัดของส่วนประกอบที่ละลายได้ให้มากขึ้น เช่น การสกัดสารพฤกษเคมีจากเนื้อผลไม้ให้ละลายในน้ำผลไม้ได้มากขึ้น จึงส่งเสริมให้เกิดการแพร่ได้มากขึ้น โดยเฉพาะการแพร่ของตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกที่มีการเติมน้ำผลไม้ที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ลงไปในสารละลายออสโมติกด้วย ทำให้สามารถแพร่เข้าไปในชิ้นอาหารได้มากขึ้น

ตารางที่ 4-5 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง (WR) ของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์สารละลายออสโมติกในการออสโมซิสซิง

สิ่งทดลองที่	ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (%)	ความดันในการโฮโมจิไนซ์ (psi)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD (%)		
			WL	SG	WR
1	15	1450	30.13 $\pm$ 0.73 <sup>f</sup>	17.44 $\pm$ 0.73 <sup>b</sup>	12.68 $\pm$ 0.02 <sup>f</sup>
2	15	2900	36.67 $\pm$ 0.20 <sup>e</sup>	18.41 $\pm$ 0.38 <sup>ab</sup>	14.11 $\pm$ 0.30 <sup>e</sup>
3	20	1450	37.94 $\pm$ 0.47 <sup>d</sup>	18.97 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>	19.81 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>
4	20	2900	39.52 $\pm$ 0.39 <sup>c</sup>	18.85 $\pm$ 0.99 <sup>a</sup>	20.15 $\pm$ 0.59 <sup>c</sup>
5	25	1450	41.83 $\pm$ 0.96 <sup>b</sup>	18.90 $\pm$ 0.68 <sup>a</sup>	23.16 $\pm$ 0.39 <sup>b</sup>
6	25	2900	43.86 $\pm$ 0.69 <sup>a</sup>	17.92 $\pm$ 0.99 <sup>ab</sup>	25.93 $\pm$ 0.31 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.2.2 ปริมาณไลโคพีน

เนื่องจากปริมาณไลโคพีนของซิงหลังการออสโมซิสมีอิทธิพลจากปัจจัยหลัก ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าวและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ จึงแสดงผลดังตารางที่ 4-6 และ 4-7 จากตารางที่ 4-6 แสดงปริมาณไลโคพีนของซิงหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าวแตกต่างกัน (15 20 และ 25 %) พบว่าซิงหลังการออสโมซิสที่มีการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าว 15% มีปริมาณไลโคพีนน้อยที่สุด (0.06 mg/100g) ในขณะที่ซิงหลังการออสโมซิสที่มีการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าว 25% มีปริมาณไลโคพีนมากที่สุด (0.13 mg/100g) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าวมีปริมาณไลโคพีนสูง วรรณกาญจน์ ภมรประวัติ (2556) รายงานว่าเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าวจากผลแก้วมีปริมาณไลโคพีน 40.1 mg/100g และสุธาทิพย์ ภมรประวัติ (2550) รายงานว่าเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าวมีปริมาณไลโคพีน 380 µg/g ซึ่งมีปริมาณมากกว่าไลโคพีนในมะเขือเทศ (31µg/g) ถึงประมาณ 12 เท่าแสดงถึงเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าวเป็นแหล่งที่ดีของไลโคพีนการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าวเพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มโอกาสทำให้ไลโคพีนแพร่เข้าไปในซิงซิงได้มากขึ้นในระหว่างการออสโมซิส

การออสโมซิสที่ใช้สารละลายออสโมติกที่มีปริมาณสารพฤกษเคมี สามารถแพร่สารพฤกษเคมีนั้นเข้าไปในซิงอาหารได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ashwini et al. (2011) ที่ศึกษาการออสโมซิสขึ้นมะพร้าวในสารละลายน้ำเชื่อมที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส 12.5-50% ที่มีการเติมสารเคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoid) ความเข้มข้น 3% โดยแช่ขึ้นมะพร้าวในสารละลายออสโมติกที่กระตุ้นด้วย Sonication bath เป็นเวลา 15 นาที และแช่ต่อเป็นเวลา 0.5 - 5 ชั่วโมง พบว่า ขึ้นมะพร้าวหลังการแช่มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น จึงมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าสารพฤกษเคมีที่สำคัญที่เติมในสารละลายออสโมติก สามารถแพร่เข้าสู่ซิงอาหารได้ในระหว่างการออสโมติก

จากตารางที่ 4-7 แสดงปริมาณไลโคพีนของซิงหลังการออสโมซิสเมื่อใช้ระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์แตกต่างกัน (1450 และ 2900 psi) ในการออสโมซิสซิง พบว่าซิงหลังการออสโมซิสที่ใช้ระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ 1450 psi มีปริมาณไลโคพีนต่ำกว่า (0.09 mg/100g) ซิงที่ใช้ระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ 2900 psi ซึ่งมีปริมาณไลโคพีน 0.11 mg/100g แสดงให้เห็นว่าการใช้ระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์สูงขึ้น เป็นผลให้ค่าปริมาณไลโคพีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น Betoret et al. (2009) กล่าวว่าในการออสโมซิสหากมีการเติมน้ำผลไม้ผสมในสารละลายออสโมติกด้วยมีข้อควรคำนึงถึงคือหากส่วนผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือขนาดอนุภาคของเนื้อผลไม้มีขนาดใหญ่ อาจไม่เอื้อต่อการเคลื่อนที่ของสารพฤกษเคมีจากน้ำผลไม้แพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ได้ ดังนั้นจึงต้องนำน้ำผลไม้หรือสารละลายออสโมติกมาผ่านการโฮโมจิไนซ์ โดยการใช้ระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ที่ต่างกันมีผลต่อการกระจายขนาดของอนุภาคในน้ำผลไม้หรือสารละลายออสโมติกต่างกัน (Betoret et al., 2009) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Betoret et al. (2012) ที่รายงานว่าการใช้ความดันระดับต่ำ



เกินไปจะเกิดแรงเฉือน แรงกระแทก และทำให้เกิดการแตกตัวของอนุภาคในน้ำส้มแมนดารินน้อย และยังมีโอกาสทำให้ฟลาโวนอยด์ในน้ำส้มแมนดารินยังคงมีโครงสร้างสมบูรณ์ขนาดใหญ่ แต่การใช้ความดันระดับสูงทำให้เกิดแรงเฉือน แรงกระแทก และเกิดการแตกตัวของอนุภาคในน้ำส้มแมนดารินได้มาก ฟลาโวนอยด์จึงมีโอกาสแตกตัวเป็นโครงสร้างขนาดเล็กหรือมีความเป็นอิสระได้มากขึ้นทำให้สารพิษเคมีกลุ่มฟลาโวนอยด์จากน้ำส้มแมนดารินสามารถแพร่เข้าสู่ชั้นแอปเปิ้ลในระหว่างการออสโมซิสได้ดีมากขึ้น

ตารางที่ 4-6 ปริมาณไลโคพีน (mg/100g) ของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในการออสโมซิสซิง

ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (%)	ปริมาณไลโคพีนเฉลี่ย $\pm$ SD (mg/100g)
15	0.06 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
20	0.10 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
25	0.13 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4-7 ปริมาณไลโคพีน (mg/100g) ของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรระดับความดันในการโฮโมจิไนส์สารละลายออสโมติกในการออสโมซิสซิง

ระดับความดันในการโฮโมจิไนส์ (psi)	ปริมาณไลโคพีนเฉลี่ย $\pm$ SD (mg/100g)
1450	0.09 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>
2900	0.11 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.2.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์

จากตารางที่ 4-8 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ของซิงหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการโฮโมจิไนส์ พบว่าปัจจัยทั้ง 2 ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณแคโรทีนอยด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) ซิงหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าอยู่ในช่วง 0.00204-0.00226  $\mu\text{g}/100\text{g}$  ซึ่งมีปริมาณน้อยและใกล้เคียงกันทุกสิ่งทดลองอาจเนื่องมาจากแคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มรงควัตถุที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ ประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอนที่เป็นหน่วยโครงสร้างที่เรียกว่าไอโซพรีน (Isoprene,  $\text{C}_5\text{H}_8$ ) โดยอะตอมของคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยวและปลายด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านมีอะตอมของคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวงแหวน (อัจฉรา นิยมเดชา, 2557) จึงมี

โอกาสทำให้แคโรทีนอยด์ที่โครงสร้างขนาดใหญ่นี้แพร่เข้าไปในเซลล์ของชั้นซิงไต้ยากและน้อยกว่าตัวถูกละลายอื่นที่เป็นส่วนประกอบในสารละลายออสโมติก ทุกสิ่งทดลองจึงมีปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ใกล้เคียงกัน Torreggiani (1993) กล่าวว่าในการออสโมซิสหากใช้น้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงอาจมีโอกาสดเกิดเป็นฟิล์มบางเคลือบที่ผิวหน้าของอาหาร เป็นการขัดขวางการแพร่ของตัวถูกละลายบางส่วนได้ นอกจากนี้ Marani (2007) กล่าวว่า ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการแพร่เข้าไปในเซลล์อาหาร โดยตัวถูกละลายที่มีขนาดโมเลกุลเล็กสามารถแพร่เข้าไปได้มาก และเร็วกว่าตัวถูกละลายที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ในกรณีนี้สารละลายออสโมติกมีองค์ประกอบของตัวถูกละลายหลายชนิดซึ่งมีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันออกไป หากเรียงลำดับตามขนาดโมเลกุลได้ดังนี้ เกลือ (58.44 g/mol) น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (180 g/mol) น้ำตาลซูโครส (342.30 g/mol) ส่วนสารพฤษเคมีที่ได้จากเยื่อหุ้มเมล็ดฝักข้าวมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าตัวถูกละลายที่กล่าวมาทั้งสิ้น เช่นไลโคพีน มีขนาดโมเลกุลประมาณ 536.87 g/mol ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของแคโรทีนอยด์ และแคโรทีนอยด์มีขนาดใหญ่มากกว่า จึงมีโอกาสแพร่เข้าไปในชั้นซิงไต้ในปริมาณน้อยกว่า

ตารางที่ 4-8 ปริมาณแคโรทีนอยด์ ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) ของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการไฮโมจิไนซ์สารละลายออสโมติกในการออสโมซิสซิง

สิ่งทดลองที่	ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (%)	ระดับความดันในการไฮโมจิไนซ์ (psi)	ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย <sup>ns</sup> $\pm$ SD ( $\times 10^{-3}$ $\mu\text{g}/100\text{g}$ )
1	15	1450	2.04 $\pm$ 0.06
2	15	2900	2.06 $\pm$ 0.17
3	20	1450	2.26 $\pm$ 0.16
4	20	2900	2.10 $\pm$ 0.15
5	25	1450	2.01 $\pm$ 0.13
6	25	2900	2.13 $\pm$ 0.22

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.2.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากตารางที่ 4-9 แสดงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของชิงหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ พบว่ามีแนวโน้มผลการทดลองคล้ายกับกรณีปริมาณแคโรทีนอยด์คือ ปัจจัยทั้ง 2 ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) ชิงหลังการออสโมซิสมีฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 35.28-41.14 g/100g ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2554) กล่าวว่าสารประกอบฟีนอลิกจัดเป็นสารประกอบพวกอะโรมาติก พวกสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่มีความเสถียรสูงส่วนใหญ่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ โดยมีลักษณะเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซีน ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) ต่อกันอยู่ด้วยอย่างน้อย 1 หมู่จึงอาจเป็นไปได้ว่าการใช้ระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ที่กำหนดในการทดลองนี้ในช่วง 1450-2900 psi ไม่ได้ทำให้ฟีนอลิกทั้งหมดที่มีอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 15-25% มีความเป็นอิสระที่แตกต่างกันจึงมีผลให้แพร่เข้าไปในชั้นชิงในช่วงใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-9 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (g/100g) ของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์สารละลายออสโมติกในการออสโมซิสซิง

สิ่งทดลองที่	ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (%)	ระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ (psi)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเฉลี่ย <sup>ns</sup> ± SD (g/100 g*)
1	15	1450	39.01 ± 0.91
2	15	2900	37.26 ± 0.94
3	20	1450	41.14 ± 1.06
4	20	2900	37.37 ± 0.92
5	25	1450	36.53 ± 1.10
6	25	2900	35.28 ± 0.98

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

\* คำนวณจากน้ำหนักของสารสกัดตัวอย่าง

#### 4.2.5 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 4-10 แสดงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของชิงหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวและระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ ในการออสโมซิสชิงพบว่าสิ่งทดลองที่ 3 5 และ 6 มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็นค่า %inhibition สูงสุดคือ 82.37 83.27 และ 83.14 ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 มีค่า %inhibition ต่ำที่สุดคือ 49.07 ( $p < 0.05$ ) จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวร่วมกับการใช้ระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ที่สูงทำให้มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยมีไลโคพีนปริมาณมากถึง 380 ไมโครกรัม/กรัม และบีตา-แคโรทีนปริมาณมากถึง 101 ไมโครกรัม/กรัม (Vuong et al., 2006; Aoki et al., 2002; Burke et al., 2005; Ishida et al., 2004) และการใช้ความดันสูงจะช่วยลดการแยกตัวกันของอนุภาคในของเหลว ทำให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันและช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและอัตราการสกัดของส่วนประกอบที่ละลายได้ เช่น การสกัดสารฟลาโวนอยด์ในเนื้อผลไม้ได้มากขึ้น (Welti et al., 2009) การแช่ชิงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวมากและมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากอยู่ในสภาพพร้อมแพร่เข้าสู่ชิงได้ดี จึงเพิ่มโอกาสให้สารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวจากเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวสามารถแพร่เข้าสู่ชิงโดยกลไกการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นได้จากการออสโมซิสต้องใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นภายในชั้นผักผลไม้เพื่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันเกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายโอนมวลสารระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกจึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย (Sankat, et al., 1996) โดยมีแนวโน้มคือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกส่งผลให้อัตราการถ่ายโอนมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจากผลการทดลองจึงเห็นได้ว่าสารละลายที่มีการใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในระดับสูง 20-25% มีผลให้ชิงหลังการออสโมซิสมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในปริมาณมาก (%inhibition 80.84-83.27)

นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่าหากใช้ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในระดับสูง (20 - 25%) การเพิ่มระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์ไม่ได้ทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ( $p \geq 0.05$ ) ในขณะที่หากใช้ความเข้มข้นในระดับต่ำ (15%) การเพิ่มระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์สามารถทำให้สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่า หากมีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกกับสารละลายในชั้นตัวอย่างมาก สามารถเกิดแรงขับตามธรรมชาติที่เพียงพอต่อการแพร่ของสารฟลาโวนอยด์ได้ การใช้ระดับความดันสูงจากการโฮโมจิไนซ์จึงไม่มีผลต่อการเพิ่มการแพร่มากนัก แต่หากมีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกกับสารละลายในชั้นตัวอย่างน้อยกว่า การใช้ระดับความดันสูงจากการโฮโมจิไนซ์สามารถช่วยกระตุ้นให้มีผลต่อการแพร่ได้มากขึ้นนั่นเอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า % inhibition มีแนวโน้มไม่สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณไลโคพีน และปริมาณแคโรทีนอยด์ อาจเนื่องมาจากการทดลองเป็นการวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ วิธี DPPH free radical scavenging activity test ซึ่งทดสอบประสิทธิภาพด้านการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH แต่สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในผักผลไม้อาจมีมากมายหลายชนิดที่มีกลไกการทำงานหลายรูปแบบ เช่น ดักจับอนุมูลอิสระ จับกับโลหะที่สามารถเร่งการออกซิเดชัน หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ เสริมฤทธิ์ และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ ดังนั้นผลการทดลองด้าน % inhibition จึงอาจมีแนวโน้มไม่สอดคล้องกันกับปริมาณสารพฤกษเคมีบางชนิดที่วิเคราะห์ในการทดลอง

ตารางที่ 4-10 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition) ของชิงหลังกการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าวและระดับความดันในการโฮโมจีไนส์สารละลายออสโมติกในการออสโมซิสชิง

สิ่งทดลองที่	ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าว (%w/w ของสารละลายออสโมติก)	ระดับความดันในการโฮโมจีไนส์ (psi)	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ $\pm$ SD (%inhibition)
1	15	1450	49.07 $\pm$ 2.35 <sup>d</sup>
2	15	2900	61.20 $\pm$ 1.30 <sup>c</sup>
3	20	1450	82.37 $\pm$ 1.79 <sup>ab</sup>
4	20	2900	80.84 $\pm$ 1.35 <sup>b</sup>
5	25	1450	83.27 $\pm$ 1.18 <sup>a</sup>
6	25	2900	83.14 $\pm$ 1.41 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.2.6 การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การตัดสินใจที่กำหนดไว้คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ชิงหลังกการออสโมซิสมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 5 และ 6 ทำให้มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) โดยมี %inhibition อยู่ในช่วง 82.37-83.27 เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณสารพฤกษเคมี พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสิ่งทดลองดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 0.00201-0.00226  $\mu\text{g}/100\text{g}$  และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 35.28-41.14  $\text{g}/100\text{g}$  ( $p \geq 0.05$ ) แต่พบว่าสิ่งทดลองที่ 6 มีแนวโน้มให้ปริมาณไลโคพีนสูงกว่า เมื่อพิจารณาด้านค่าการถ่ายเทมวลสารพบว่าสิ่งทดลองที่ 6 มีค่า WL SG และ WR มากที่สุดเท่ากับ 43.86 17.92 และ 25.93% ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) สิ่งทดลองที่ 6 นี้จึงมีความเหมาะสมที่สุด คือการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดผัก

ข้าวเพิ่มลงในสารละลายออสโมติก 25% w/w ของสารละลายออสโมติก ร่วมกับการใช้ระดับความดันในการโอโมจิไนซ์สารละลายออสโมติก 2900 psi สำหรับนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

#### 4.3 ผลของเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่อปริมาณสารพฤษเคมี และค่าการถ่ายเทมวลสารของซิงหลังการออสโมซิส

จากการแปรปัจจัยเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ได้แก่ 20 30 และ 40 นาที เปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (ตัวควบคุม) โดยกำหนดใช้ความดัน 50 มิลลิบาร์ ได้เป็น 4 สิ่งทดลอง นำซิงที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมาออสโมซิสต่อในสภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำซิงหลังการออสโมซิสมาวเคราะห์ ปริมาณสารพฤษเคมี และค่าการถ่ายเทมวลสารรวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ

ลักษณะของซิงหลังการออสโมซิสทั้ง 4 สิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-4 พบว่าซิงหลังการออสโมซิสที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศทุกสิ่งทดลอง มีลักษณะหดตัวลงมากกว่าตัวควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องจากซิงที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศถูกกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียน้ำระหว่างการออสโมซิสมากกว่า หลังการออสโมซิสจึงมีการหดตัวลงได้มากกว่า นอกจากนี้เมื่อถ่ายภาพขยาย 200 เท่า บริเวณผิวหน้าซิงดังภาพที่ 4-5 พบว่าซิงที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีลักษณะซ้าอ่อนนุ่มลง และสังเกตเห็นสีส้มแดงของเยื่อหุ้มเมล็ดที่ซิงซิงตามแนวเส้นมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม



(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (ตัวควบคุม)



(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (Vac 20 นาที)



(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (Vac 30 นาที)



(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (Vac 40 นาที)

ภาพที่ 4-4 ลักษณะซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อไม่ใช้สุญญากาศในการออสโมซิส (ก) และใช้สุญญากาศในการออสโมซิส (ข)-(ง) โดยแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (Vac) (ก) สิ่งทดลองที่ 1 (ตัวควบคุม) (ข) สิ่งทดลองที่ 2 (Vac 20 นาที) (ค) สิ่งทดลองที่ 3 (Vac 30 นาที) และ (ง) สิ่งทดลองที่ 4 (Vac 40 นาที)





(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (ตัวควบคุม)



(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (Vac 20 นาที)



ภาพที่ 4-5 ลักษณะผิวหน้าซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 200 เท่า เมื่อไม่ใช้  
 สูญญากาศในการออสโมซิส (ก) และใช้สูญญากาศในการออสโมซิส (ข)-(ง) โดยแปร  
 เวลาการออสโมซิสในสถานะสูญญากาศ (Vac) (ก) สิ่งทดลองที่ 1 (ตัวควบคุม)  
 (ข) สิ่งทดลองที่ 2 (Vac 20 นาที) (ค) สิ่งทดลองที่ 3 (Vac 30 นาที) และ  
 (ง) สิ่งทดลองที่ 4 (Vac 40 นาที)

#### 4.3.1 ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-11 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของซิงหลังการออสโมซิสเมื่อแปรเวลาการ  
 ออสโมซิสในสถานะสูญญากาศต่างกันจากผลการทดลองพบว่าเวลาการออสโมซิสในสถานะ  
 สูญญากาศมีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 3 ที่ใช้  
 เวลาออสโมซิสในสถานะสูญญากาศ 30 นาที ทำให้ซิงหลังการออสโมซิสมีค่า WL SG และ WR มาก  
 ที่สุดคือ 49.36 20.02 และ 30.10 % ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าการใช้สถานะสูญญากาศสามารถเพิ่ม  
 การถ่ายเทมวลสารให้เพิ่มขึ้นได้โดยคิดเป็นการเพิ่มค่า WL SG และ WR เท่ากับ 6.45 3.19 และ

3.86 % ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 (ตัวควบคุม) ที่ไม่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ มีค่า WL SG และ WR น้อยที่สุดคือ 42.91 16.83 และ 26.24 % ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลง ทำให้ผนังเซลล์มีลักษณะมีความเป็นรู (Porosity) มากขึ้น อาจกล่าวได้ว่าการลดลงของความดันในสภาวะสุญญากาศทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดยุบตัวลงและอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย เมื่อนำมาแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศทำให้เนื้อเยื่อเกิดการคลายตัว สารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปสัมผัสกับเซลล์ ผลไม้ได้มากขึ้น เป็นผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้นโดยน้ำหรือสารต่างๆที่อยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างเซลล์จะแพร่ออกมาได้ง่ายจากผนังเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีความเป็นรูมากขึ้น (Fito et al., 1995; Chafer et al., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rastogi et al. (2002) รายงานว่าในขณะที่ให้ความดันสุญญากาศ (100-800 MPa) อากาศที่อยู่ในโครงสร้างของชิ้นผักผลไม้จะถูกบีบอัดทำให้เกิดการแพร่และเคลื่อนที่ออกจากเนื้อเยื่อ เมื่อความดันกลับสู่ความดันบรรยากาศ สารละลายออสโมติกก็จะแพร่เข้ามาในเนื้อเยื่อของผักผลไม้แทน โดยอากาศที่เหลือจากการถูกบีบอัดจะเป็นตัวนำสารละลายเข้าสู่เซลล์ทางช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้โอกาสการถ่ายโอนมวลสารต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดลองที่พบว่าสิ่งทดลองที่ 3 ที่ใช้เวลาออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ 30 นาที ทำให้จึงมีการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองที่ 4 ที่ใช้เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ 40 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงกว่า อาจเนื่องมาจากการใช้สภาวะที่รุนแรงเกินไปอาจส่งผลให้เนื้อเยื่อของพืชเกิดการสูญเสียอากาศออกจากเซลล์อย่างรวดเร็ว เซลล์จึงเกิดการหดตัวหรือมีลักษณะผิดปกติไปส่งผลให้การถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นได้ยากขึ้น ดังนั้นการใช้สุญญากาศก่อนการออสโมซิสจึงควรใช้ระดับความดันและเวลาที่เหมาะสมซึ่งจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะเนื้อเยื่อของผลไม้ (Shi, Fito and Chiralt, 1995)

#### 4.3.2 ปริมาณไลโคพีน

จากตารางที่ 4-12 แสดงปริมาณไลโคพีนของพืชหลังการออสโมซิส เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณไลโคพีน ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศนานทำให้ขึ้นจึงหลังการออสโมซิสมีปริมาณไลโคพีนเพิ่มขึ้น โดยสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 คือสิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที ทำให้ขึ้นจึงหลังการออสโมซิสมีปริมาณไลโคพีนมากที่สุดเท่ากับ 0.27 0.30 และ 0.31 mg/100 g ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 คือพืชที่ไม่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ มีปริมาณไลโคพีนน้อยที่สุด 0.17 mg/100 g ( $p < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความรุนแรงของการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 20-40 นาที ส่งเสริมการแพร่

ของไลโคพีนเข้าไปสู่อินซูลิน และปริมาณความเข้มข้นที่มากพอของเยื่อหุ้มเซลล์ฟักข้าวกับการโฮโมจิไนซ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติกเพียงพอต่อการกระตุ้นการแพร่ของไลโคพีนซึ่งเป็นตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกให้แพร่เข้าสู่ในอินซูลินได้ การกระตุ้นด้วยสภาวะสุญญากาศจึงช่วยให้การแพร่ของไลโคพีนเพิ่มขึ้นอย่างมากอย่างชัดเจน และเมื่อพิจารณาแนวโน้มปริมาณไลโคพีนที่เพิ่มขึ้นพบว่าหากใช้เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมากขึ้น ทำให้ไลโคพีนในอินซูลินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการใช้สภาวะสุญญากาศช่วยให้เพิ่มสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically Active Components, PAC) ให้กับผักผลไม้ได้ ตัวอย่างเช่น Hironaka et al. (2011) ศึกษาการเสริมปริมาณวิตามินซีในห้วมันฝรั่งโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศพบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะความดัน 70 cmHg เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ช่วยทำให้เพิ่มปริมาณวิตามินซีในห้วมันฝรั่งเพิ่มขึ้นจาก 10 mg/100 g เป็น 130 mg/100 g ซึ่งมากกว่าการแช่โดยไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ Gras et al. (2003) ศึกษาการเสริมแคลเซียมเข้าไปในขึ้นมะเขือม่วง แครอท และเห็ดนางรม พบว่าการแช่ในสภาวะสุญญากาศ 50 mbar 10 นาที สามารถเสริมแคลเซียมให้กับขึ้นมะเขือม่วงได้ 51-62% ขึ้นแครอท 3-6% และเห็ดนางรม 41% ซึ่งมากกว่าการแช่โดยไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 4-11 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง (WR) ของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (นาที)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD (%)		
		WL	SG	WR
1 (ตัวควบคุม)	0	42.91 $\pm$ 0.58 <sup>d</sup>	16.83 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>	26.24 $\pm$ 0.34 <sup>d</sup>
2	20	47.29 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	17.24 $\pm$ 0.59 <sup>b</sup>	29.33 $\pm$ 0.66 <sup>b</sup>
3	30	49.36 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>	20.02 $\pm$ 0.70 <sup>a</sup>	30.10 $\pm$ 0.61 <sup>a</sup>
4	40	45.85 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>	17.43 $\pm$ 0.49 <sup>b</sup>	28.46 $\pm$ 0.58 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบแนวโน้มว่าการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ 20-40 นาที มีผลเพิ่มปริมาณไลโคพีนในขึ้นขิงไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าแม้ใช้สภาวะในการออสโมซิสที่สุญญากาศเป็นเวลานานก็ไม่ได้ช่วยเพิ่มปริมาณไลโคพีนให้มากขึ้น การใช้สภาวะสุญญากาศ 20 นาที เพียงพอที่จะส่งเสริมให้ปริมาณไลโคพีนแพร่สู่ขึ้นขิงมากที่สุด และแตกต่างจากการไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 4-12 ปริมาณไลโคพีน (mg/100g) ของขิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (นาที)	ปริมาณไลโคพีนเฉลี่ย $\pm$ SD (mg/100g)
1 (ตัวควบคุม)	0	0.17 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
2	20	0.27 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>
3	30	0.30 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>
4	40	0.31 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.3.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์

จากตารางที่ 4-13 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ของขิงหลังการออสโมซิส เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ ( $p < 0.05$ ) โดยการใช้สภาวะสุญญากาศทำให้ขึ้นขิงหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น โดยสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 คือสิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที ทำให้ขึ้นขิงหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุดเท่ากับ 0.00512 0.00510 และ 0.00525  $\mu\text{g}/100\text{g}$  ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 คือขิงที่ไม่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ มีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุด 0.00231  $\mu\text{g}/100\text{g}$  ( $p < 0.05$ ) คิดเป็นการเพิ่มขึ้นประมาณ 0.00294  $\mu\text{g}/100\text{g}$  จากผลการทดลองพบว่ามีแนวโน้มเดียวกันกับปริมาณไลโคพีนเนื่องจากเมื่อใช้สภาวะสุญญากาศทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัด ยุบตัวลง และอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย อาจกล่าวได้ว่าเป็นสภาวะที่สามารถกระตุ้นให้ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกแพร่เข้าไปในเซลล์ของขึ้นขิงได้มากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณความเข้มข้นที่มากพอของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวกับการโฮมจิโนซ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติกเพียงพอต่อการกระตุ้นการแพร่ของแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกให้แพร่เข้าสู่ในขึ้นขิงได้ โดยการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ 20-40 นาที มี

ผลเพิ่มปริมาณแคโรทีนอยด์ในชั้นขิงไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) และสังเกตได้ว่าปริมาณแคโรทีนอยด์สามารถแพร่เข้าไปในชั้นขิงได้น้อยกว่าไลโคพีนมาก เนื่องจากแคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มรงควัตถุที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอนที่เป็นหน่วยโครงสร้างที่เรียกว่า ไอโซพรีน (Isoprene,  $C_5H_8$ ) โดยอะตอมของคาร์บอนเชื่อมต่อไอโซพรีนเป็นสายยาวด้วยพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยวและปลายด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านมีอะตอมของคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวงแหวน (อัจฉรา นิยมเดชา, 2556) จึงมีโอกาสทำให้แคโรทีนอยด์ที่โครงสร้างขนาดใหญ่นี้แพร่เข้าไปในเซลล์ของชั้นขิงได้ยากและน้อยกว่าตัวถูกละลายอื่นที่เป็นส่วนประกอบในสารละลายออสโมติก

ตารางที่ 4-13 ปริมาณแคโรทีนอยด์ ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) ของขิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมงเมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (นาทีก)	ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย $\pm$ SD ( $\times 10^{-3} \mu\text{g}/100\text{g}$ )
1 (ตัวควบคุม)	0	$2.31 \pm 0.12^b$
2	20	$5.12 \pm 0.22^a$
3	30	$5.10 \pm 0.30^a$
4	40	$5.25 \pm 0.52^a$

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.3.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากตารางที่ 4-14 แสดงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของขิงหลังการออสโมซิส เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่าการใช้เวลาการออสโมซิสในสภาวะ

สุญญากาศเพิ่มขึ้นทำให้ชั้นขิงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นโดยสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 คือสิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที ทำให้ชั้นขิงหลังการออสโมซิสมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 41.14 42.90 และ 42.92  $\text{g}/100\text{g}$  ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 คือขิงที่ไม่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุด 38.46  $\text{g}/100\text{g}$  ( $p < 0.05$ )

จากผลการทดลองพบว่ามีแนวโน้มคล้ายกันกับกรณีไลโคพีนและปริมาณแคโรทีนอยด์ เป็นการยืนยันให้เห็นว่าสามารถเสริมสารพฤกษเคมีให้กับชั้นขิงได้มากขึ้นเมื่อใช้สภาวะสุญญากาศ โดยการแช่ผักและผลไม้ในสารละลายที่มีสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically Active

Components, PAC) ในสภาวะสุญญากาศ จะทำให้อากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์เนื้อเยื่อของผักและผลไม้ถูกขับออกมาในระหว่างการดูดอากาศและหลังจากนั้นเมื่อนำมาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศ สารละลายภายนอกจะแพร่ผ่านเข้าไปแทนที่อากาศที่ถูกขับออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์นั้น ทำให้สาร PAC มีโอกาสแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้มากกว่าการแช่ในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว (Betoret et al., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับที่ Fito et al. (2001) กล่าวว่า การแช่ขึ้นผักผลไม้ในสารละลายที่มีสาร PAC โดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศสามารถเสริม PAC ให้กับผักผลไม้ได้ โดยอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกขับออกมาและหลังจากแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศ สารละลายภายนอกซึ่งประกอบด้วย PAC สามารถแพร่ผ่านเข้าไปแทนที่อากาศที่ถูกขับออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์โดยใช้หลักการของ Capillary action และ Pressure gradients อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองพบแนวโน้มว่าการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ 20 - 40 นาที มีผลเพิ่มปริมาณฟีนอลิกในขึ้นขิงไม่แตกต่างกัน โดยการใช้สภาวะสุญญากาศ 30 นาทีเพียงพอที่จะส่งเสริมให้ฟีนอลิกแพร่สู่ขึ้นขิงมากที่สุด และแตกต่างจากการไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 4-14 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (g/100 g) ของขิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (นาที)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเฉลี่ย $\pm$ SD (g/100 g*)
1 (ตัวควบคุม)	0	38.46 $\pm$ 1.16 <sup>b</sup>
2	20	41.14 $\pm$ 2.60 <sup>ab</sup>
3	30	42.90 $\pm$ 1.26 <sup>a</sup>
4	40	42.92 $\pm$ 1.75 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* คำนวณจาก น้ำหนักของสารสกัดตัวอย่าง

#### 4.3.5 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 4-15 แสดงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของขิงหลังการออสโมซิส เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่างกัน จากผลการทดลองพบแนวโน้มคล้ายกันกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่พบว่าเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่าการใช้เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศเพิ่มขึ้นในสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 คือขิงที่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาทีทำให้ขึ้นขิงหลังการออสโมซิสมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด โดยมี %inhibition เท่ากับ 85.08

84.91 และ 84.78 ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 คือขิงที่ไม่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด โดยมี %inhibition เท่ากับ 84.58 โดยปกติปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กันโดย สารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี บีตา-แคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (non-nutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารกลุ่มใหญ่สามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ตักจับ (Scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (Chelate) กับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ (Sanchez-Moreno et al., 2000) จึงพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจึงคล้ายกับสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้เยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวมีสารฟลาโวนอยด์ที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยมีไลโคพีนปริมาณมากถึง 380 ไมโครกรัม/กรัม และบีตา-แคโรทีน ปริมาณมากถึง 101 ไมโครกรัม/กรัม (Vuong et al., 2006; Aoki et al., 2002; Burke et al., 2005; Ishida et al., 2004) เมื่อผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวลสารต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้นกว่าการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว จึงทำให้สารฟลาโวนอยด์ที่มีในเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวสามารถแพร่เข้าสู่ขิงได้มาก จึงมีผลให้ขิงหลังการออสโมซิสจึงมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4-15 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition) ของขิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมงเมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (นาที)	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ± SD (%inhibition)
1 (ตัวควบคุม)	0	84.58 ± 0.65 <sup>b</sup>
2	20	85.08 ± 0.31 <sup>a</sup>
3	30	84.91 ± 0.56 <sup>ab</sup>
4	40	84.78 ± 0.48 <sup>ab</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.3.6 ค่าความแน่นเนื้อ

ค่าความแน่นเนื้อสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ซึ่งหมายถึงแรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหารตามระยะทางที่กำหนด ซึ่งแสดงถึงความแข็งหรือความนุ่มของผลิตภัณฑ์อาหาร ถ้าอาหารที่มีความแข็งมาก แรงที่ใช้ฟันกัดอาหารในครั้งแรกก็จะมีค่ามาก (Alvarez, 1995)



จากตารางที่ 4-16 แสดงค่าความแน่นเนื้อของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 1 (ตัวควบคุม) มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด 708.11g ซึ่งแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 มีค่าความแน่นเนื้อไม่ต่างกันมีค่าเท่ากับ 620.63 628.66 และ 659.04 g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้สภาวะสุญญากาศ 20-40 นาที ทำให้ซิงหลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส โดยเวลาสุญญากาศในช่วง 20-40 นาที ทำให้ค่าความแน่นเนื้อไม่ต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลง ทำให้ผนังเซลล์มีลักษณะมีความเป็นรู (Porosity) มากขึ้นโครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดยุบตัวลง มีผลให้เซลล์ผลไม้มีลักษณะอ่อนนุ่มมากขึ้น (Fito et al., 1995; Chafer et al., 2003) นอกจากนี้ Moreno et al. (2004) กล่าวว่า การใช้สภาวะสุญญากาศมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีภายในเซลล์ผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยทำให้เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์และชั้นมิดเดิล ลามลลา (Middle Lamella) ที่ทำให้โปรโตเพกตินในผลไม้เปลี่ยนรูปเป็นเพกตินที่ละลายน้ำได้ รวมถึงพันธะเคมีภายในเซลล์ของเนื้อเยื่ออาจถูกทำลาย ส่งผลให้ความแข็งแรงของโครงสร้างผนังเซลล์ลดลง และชั้นผลไม้ไม่มีความเป็นรูมากขึ้น เนื้อสัมผัสของผลไม้จึงมีโอกาสนิ่มลงเมื่อผ่านการใช้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 4-16 ค่าความแน่นเนื้อ (g) ของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมง เมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (นาที)	ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย $\pm$ SD (g)
1 (ตัวควบคุม)	0	708.11 $\pm$ 68.25 <sup>a</sup>
2	20	620.63 $\pm$ 55.57 <sup>b</sup>
3	30	628.66 $\pm$ 51.56 <sup>b</sup>
4	40	659.04 $\pm$ 61.21 <sup>b</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.3.7 ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของซิงหลังการออสโมซิสได้ผลดังตารางที่ 4-17 พบว่าสิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลอง ทั้งซิงที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ได้รับคะแนน

ความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.10-6.43) โดยปกติซึ่งมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแน่นแข็ง มีกลิ่นรสซึ่งเป็นเอกลักษณ์ชัดเจน การออสโมซิสทั้งที่ใช้และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศอาจยังสามารถรักษาลักษณะกลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รวมถึงสี ให้อยู่ในลักษณะใกล้เคียงคล้ายกัน จนผู้ทดสอบไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างจากผลการใช้สภาวะสุญญากาศที่รุนแรงต่างกันได้ จึงยังคงให้การยอมรับระดับเดียวกัน และมีรายงานว่า การใช้เทคนิคการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ สามารถรักษาสี กลิ่นรสและสารให้กลิ่นตามธรรมชาติของอาหารไว้ได้ โดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศช่วยกำจัดน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหารโดยไม่ต้องผ่านการให้ความร้อนในกระบวนการ จึงเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายเนื้อเยื่อของผักผลไม้มากนัก อีกทั้งการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกเป็นการลดการสัมผัสออกซิเจนจึงช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีของชิ้นผลไม้จากเอนไซม์ได้ (Escriche, Chiralt, Moreno, and Serra., 2000) จึงทำให้ซึ่งหลังการออสโมซิสในสิ่งทดลองที่ใช้สภาวะสุญญากาศ มีสี กลิ่น และกลิ่นรส ไม่แตกต่างกัน หากพิจารณาพร้อมกับผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อในตารางที่ 4-16 พบว่า แม้ค่าความแน่นเนื้อของสิ่งทดลองที่ 1 (708.11 g) และสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 (620.63-659.04 g) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน (6.03-6.50) แสดงให้เห็นว่าแม้ความแน่นเนื้อของซึ่งหลังการออสโมซิสที่ใช้สภาวะสุญญากาศจะลดลงแต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัสและยังอยู่ในระดับความชอบเดียวกันกับซึ่งหลังการออสโมซิสที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ

#### 4.3.8 การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การตัดสินใจที่กำหนดไว้คือเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ซึ่งหลังการออสโมซิสมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดโดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) โดยมี %inhibition อยู่ในช่วง 84.78-85.08 เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณสารพฤกษเคมี ได้แก่ ปริมาณไลโคพีน ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า สิ่งทดลองดังกล่าวมีปริมาณสารพฤกษเคมีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) เช่นกัน และยังได้รับความชอบทางประสาทสัมผัสทุกด้านอยู่ในระดับชอบ โดยมีคะแนนตั้งแต่ 6 คะแนนขึ้นไป และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) เช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสาร พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 มีค่า WL SG และ WR สูงที่สุดเท่ากับ 49.36 20.02 และ 30.10% ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) สิ่งทดลองที่ 3 จึงมีความเหมาะสมที่สุด คือการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

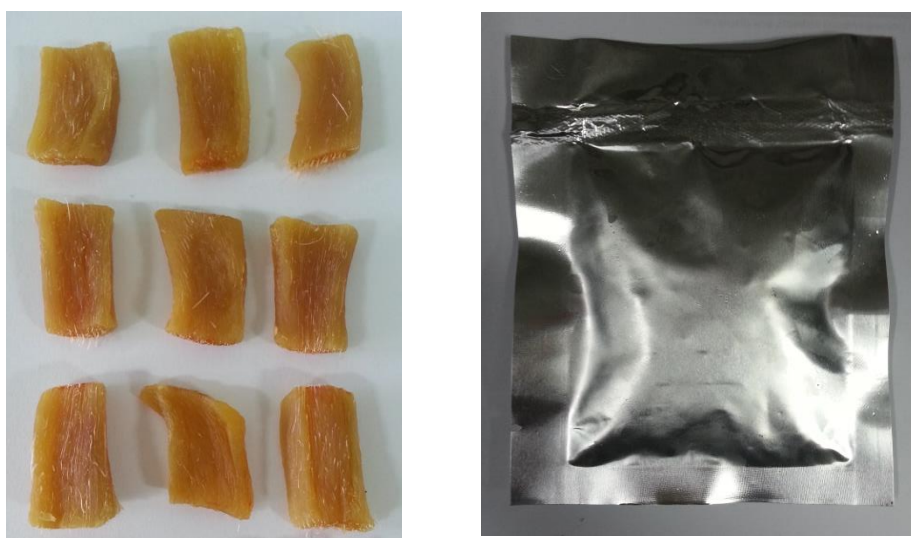
ตารางที่ 4-17 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของซิงหลังการออสโมซิส 24 ชั่วโมงเมื่อแปรเวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	เวลาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (นาที)	ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบ ± SD				
		สี <sup>ns</sup>	กลิ่น <sup>ns</sup>	กลิ่นรส <sup>ns</sup>	เนื้อสัมผัส <sup>ns</sup>	ความชอบโดยรวม <sup>ns</sup>
1 (ตัวควบคุม)	0	6.23 ± 0.55	6.30 ± 0.49	5.83 ± 0.49	6.23 ± 0.43	6.13 ± 0.43
2	20	6.20 ± 0.54	6.00 ± 0.41	6.03 ± 0.50	6.03 ± 0.88	6.10 ± 0.15
3	30	6.47 ± 0.41	6.70 ± 0.15	6.00 ± 0.80	6.47 ± 0.38	6.33 ± 0.58
4	40	6.80 ± 0.19	6.20 ± 0.49	6.03 ± 0.65	6.50 ± 0.25	6.43 ± 0.41

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

#### 4.4 ผลการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

จากการออสโมซิสขิงตามวิธีที่เลือกจากข้อ 4.3 โดยการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาทำแห้งต่อโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้น 25% เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งที่ผลิตได้โดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ (พลาสติกชนิด Nylon LDPE เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์) แสดงดังภาพที่ 4-6 ที่อุณหภูมิห้อง ( $27\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) แล้วสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพในวันที่ 0 10 20 และ 30 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 4-6 ลักษณะของขิงกึ่งแห้งที่ผลิตได้ (ก) โดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ (ข)

##### 4.4.1 ปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4-18 แสดงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ( $p \geq 0.05$ ) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งในวันที่ 0-30 มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 25.29-25.61% ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) ที่กำหนดไว้ว่าต้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-55% (Jay, 1998) การที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งบรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำเข้าหรือออกจากถุง ป้องกันความชื้น และแสงที่มีประสิทธิภาพ (ปูน คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) จึงแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาสามารถรักษาปริมาณความชื้นได้ดีไม่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามพบแนวโน้มปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น อาจเนื่องมาจากตั้งแต่

เริ่มต้นการเก็บรักษาอาจมีความชื้นในอากาศจำนวนหนึ่งที่ช่องว่างเหนืออาหาร เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นจึงมีโอกาสสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ซิงกิ้งแห้งและดูดซับความชื้นไว้ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นมากขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 4-18 ปริมาณความชื้น (%) ของผลิตภัณฑ์ซิงกิ้งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่เก็บรักษา	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย <sup>ns</sup> ± SD (%)
0	25.29 ± 0.70
10	25.52 ± 0.39
20	25.58 ± 0.14
30	25.61 ± 0.18

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.4.2 ปริมาณไลโคพิน

จากตารางที่ 4-19 แสดงปริมาณไลโคพินของผลิตภัณฑ์ซิงกิ้งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณไลโคพิน ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 0 ซิงกิ้งแห้งมีปริมาณไลโคพินมากที่สุดเท่ากับ 0.36 mg/100g ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นมีแนวโน้มปริมาณไลโคพินลดลงโดยการเก็บรักษาวันที่ 10 20 และ 30 ซิงกิ้งแห้งมีปริมาณไลโคพินน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 0.20-0.24 mg/100g ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากไลโคพินเป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดการสูญเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากโมเลกุลของไลโคพินเป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง อาจถูกออกซิไดซ์ได้เมื่อสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน (ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา, 2545) อากาศที่ช่องว่างเหนืออาหารมีโอกาสสัมผัสกับซิงกิ้งแห้งระหว่างการเก็บรักษาได้ เมื่อเก็บรักษานานขึ้นจึงทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโคพินได้มากขึ้น ปริมาณจึงลดลงตามเวลาในการเก็บ

ตารางที่ 4-19 ปริมาณไลโคพิน (mg/100g) ของผลิตภัณฑ์ซิงกิ้งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่เก็บรักษา	ปริมาณไลโคพินเฉลี่ย ± SD (mg/100g)
0	0.36 ± 0.08 <sup>a</sup>
10	0.24 ± 0.04 <sup>b</sup>
20	0.21 ± 0.02 <sup>b</sup>
30	0.20 ± 0.05 <sup>b</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.4.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์

จากตารางที่ 4-20 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ของผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นมีผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง จากผลการทดลองพบว่า มีแนวโน้มเดียวกันกับปริมาณไลโคพีน เนื่องจากการสูญเสียแคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และโมเลกุลของแคโรทีนอยด์เป็นระบบไม่อิ่มตัวอาจถูกออกซิไดซ์ได้เมื่อสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน (ปิยวรรณ ศุภวิฑิตพัฒนา, 2545) สอดคล้องกับงานวิจัยของวิศณีย์ โพธิ์หล้า และทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย (2013) รายงานว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณแคโรทีนอยด์ ของพริกแห้ง มีค่าลดลงทุกสภาวะการเก็บ ได้แก่ เก็บรักษาไว้ในถุงอะลูมิเนียมพอยด์ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน เนื่องจากการแปรรูปทำให้แคโรทีนอยด์บางส่วนเริ่มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากความรอนและการสัมผัสออกซิเจน ไฮโดรคาร์บอนตรงตำแหน่งพันธะคู่ โมเลกุลของแคโรทีนอยด์สูญเสียไฮโดรเจนอะตอมเกิดเป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษาหากสภาวะการเก็บยังมีโอกาสสัมผัสอากาศหรือความร้อน (ชาญวิทย์ รัตนราศรี และสุคนธ์ ชื่นศรีงาม, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 4-20 ปริมาณแคโรทีนอยด์ ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) ของผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่เก็บรักษา	ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย $\pm$ SD ( $\times 10^{-3} \mu\text{g}/100\text{g}$ )
0	$6.86 \pm 0.25^a$
10	$6.56 \pm 0.24^{ab}$
20	$6.28 \pm 0.41^b$
30	$6.09 \pm 0.25^b$

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.4.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากตารางที่ 4-21 แสดงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 0 ขิงกึ่งแห้งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด มากที่สุดเท่ากับ  $70.33 \text{ g}/100\text{g}$  เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นมีแนวโน้มให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง เนื่องจากขิงมีส่วนประกอบที่สำคัญคือน้ำมันระเหยง่าย (Volatile oil) และน้ำมันชัน (Oleoresin) ซึ่งน้ำมันระเหยง่ายและน้ำมันชันจัดเป็นสารที่มีลักษณะองค์ประกอบเป็นสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบของน้ำมันชันที่เป็นสารประกอบฟีนอลิก เช่น จินเจอร์อล (Gingerol) โชกาออล (Shogaol) พาราตอล

(Paradol) และซิงเจอโรน (Zingerone) เป็นต้น โดยสารประกอบของน้ำมันหอมระเหยง่าย และน้ำมันชั้นมีโครงสร้างไม่เสถียรสามารถสลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศ ความชื้น หรือความร้อน ตัวอย่างเช่น จินเจอร์อลสามารถเปลี่ยนโครงสร้างไปได้ เมื่อสัมผัสกับอากาศในสภาวะที่มีความชื้นเล็กน้อยที่อุณหภูมิห้อง ระหว่างการเก็บรักษา จึงทำให้คุณภาพของน้ำมันชั้นลดลงซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดด้วย (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552; Usama et al., 2013)

ตารางที่ 4-21 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (g/100g\*) ของผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่

อุณหภูมิห้อง	
วันที่เก็บรักษา	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเฉลี่ย $\pm$ SD (g/100 g*)
0	70.33 $\pm$ 1.07 <sup>a</sup>
10	60.84 $\pm$ 6.79 <sup>b</sup>
20	60.14 $\pm$ 5.79 <sup>b</sup>
30	60.07 $\pm$ 1.24 <sup>b</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* คำนวณจาก 100 กรัมของสารสกัดตัวอย่าง

#### 4.4.5 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 4-22 แสดงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition) ของผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อ %inhibition ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 0 ขิงกึ่งแห้งมี %inhibition มากที่สุดเท่ากับ 72.74 เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นมีแนวโน้ม %inhibition ลดลง จากผลการทดลองพบว่า มีแนวโน้มเดียวกันกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากโดยปกติปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมักมีความสัมพันธ์กันโดยสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารกลุ่มใหญ่ที่สามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ หากมีปริมาณมากจึงมีโอกาสนำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระได้มาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chang et al. (2006) ที่พบว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากผล Hawthorn (*Crataegus pinnatifida* var. *major*) นานขึ้นทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลงได้ โดยพบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส สามารถรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้มากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 23 และ 40 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4-22 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition) ของผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่เก็บรักษา	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ $\pm$ SD (%inhibition)
0	72.74 $\pm$ 0.73 <sup>a</sup>
10	69.86 $\pm$ 1.24 <sup>bc</sup>
20	69.67 $\pm$ 1.14 <sup>c</sup>
30	69.17 $\pm$ 1.47 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.4.6 ค่าสี L\* a\* และ b\*

จากตารางที่ 4-23 แสดงค่าสี L\* a\* และ b\* ของผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าวันที่ 0 ขิงกึ่งแห้งมีค่าสี L\* a\* และ b\* เท่ากับ 41.70 9.94 และ 22.68 ตามลำดับ โดยพบว่าตลอดการเก็บรักษา ค่าสี L\* a\* และ b\* มีแนวโน้มลดลงในวันที่ 10 แล้วคงที่ตลอดการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงค่าสี L\* a\* และ b\* มีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณไลโคพินและแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นรงควัตถุสำคัญที่วิเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มมีค่าความเป็นสีแดง (a\*) และความเป็นสีเหลือง (b\*) ลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุกลุ่มไลโคพินและแคโรทีนอยด์นั่นเอง ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว

ตารางที่ 4-23 ค่าความสว่าง (L\*) ค่าความเป็นสีแดง (a\*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b\*) ของผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่เก็บรักษา	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD		
	L*	a*	b*
0	41.70 $\pm$ 0.46 <sup>a</sup>	9.94 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	22.68 $\pm$ 0.87 <sup>a</sup>
10	40.03 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	9.24 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	20.32 $\pm$ 0.46 <sup>b</sup>
20	40.09 $\pm$ 0.44 <sup>b</sup>	8.89 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	20.47 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>
30	40.08 $\pm$ 0.65 <sup>b</sup>	8.85 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	20.40 $\pm$ 0.58 <sup>b</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



#### 4.4.7 ค่า $a_w$

ค่า  $a_w$  แสดงถึงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงอายุการเก็บหรือการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ (สุมนธชา วัฒนสินธุ์, 2549) เมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 4-24 พบว่า วันที่ 0 ชิงกิ้งแห้งมีค่า  $a_w$  น้อยที่สุด (0.79) โดยจัดเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) ที่กำหนดไว้ว่าต้องมีค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.60-0.85 (Jay, 1998) ค่า  $a_w$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นโดยในวันที่ 10 20 และ 30 มีค่า  $a_w$  มากที่สุดอยู่ในช่วง 0.81-0.82 อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ชิงกิ้งแห้งไม่ได้บรรจุแบบสุญญากาศจึงไม่มีการลดอากาศที่ช่องว่างเหนืออาหารก่อน ดังนั้นที่สภาวะเริ่มต้นของการเก็บรักษาอาจยังคงมีความชื้นในอากาศจำนวนหนึ่งที่ช่องว่างเหนืออาหาร เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นจึงมีโอกาสสัมผัสกับชิงกิ้งแห้งและดูดซับความชื้นไว้ส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ค่า  $a_w$  จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามแนวโน้มค่า  $a_w$  ยังเปลี่ยนไปไม่มากโดยยังจัดเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งตลอดการเก็บรักษา

ตารางที่ 4-24 ค่า  $a_w$  ของผลิตภัณฑ์ชิงกิ้งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่เก็บรักษา	ค่า $a_w$ เฉลี่ย $\pm$ SD
0	0.79 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
10	0.81 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>
20	0.81 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
30	0.82 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.4.8 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

จากตารางที่ 4-25 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชิงกิ้งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าในวันที่ 0 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า  $1.0 \times 10^1$  CFU/g แสดงว่าในกระบวนการแปรรูปที่ใช้สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในผลิตภัณฑ์ลงได้ เช่น การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณความชื้นและค่า  $a_w$  มีผลทำให้จุลินทรีย์บางส่วนตายไปหรือบางส่วนอาจอยู่รอดแต่ไม่สามารถเจริญได้ อย่างไรก็ตามพบแนวโน้มว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ผลการตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันที่ 10-30 ตรวจพบอยู่ในช่วง  $2.3 \times 10^1$  est.CFU/g -  $7.9 \times 10^2$  est.CFU/g การที่ตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เมื่อเก็บรักษานานขึ้นอาจเนื่องมาจากสภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์เอื้อต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด เช่น เป็นสภาวะที่มีแหล่งของสารอาหารที่ดี มีอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม Kilcast และ Subramaniam (2000) กล่าวว่าจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ขึ้นอยู่กับ ปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ค่าวอ

เตอร์แอกติวิตี (Water activity) ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ แร่ธาตุต่างๆ อุณหภูมิการเก็บรักษา ปริมาณความชื้น การสัมผัสกับแสง เป็นต้น โดยในผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งมีโอกาสทำให้จุลินทรีย์กลุ่ม *Pediococcus Streptococcus Micrococcus Lactobacillus* และ *Staphylococcus* สามารถเจริญได้ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.) อย่างไรก็ตามปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินมาตรฐานกำหนดของผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้แห้ง ( $1.0 \times 10^6$  CFU/g) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550) แสดงว่าผลิตภัณฑ์ยังคงมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

จากตารางที่ 4-26 แสดงปริมาณยีสต์และรา จากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ตลอดการเก็บรักษาจนถึงวันที่ 30 ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า  $1.0 \times 10^1$  CFU/g ซึ่งไม่เกินมาตรฐานกำหนดของผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้แห้ง (ปริมาณยีสต์ต้องไม่เกิน  $1.0 \times 10^4$  CFU/g และปริมาณราต้องไม่เกิน 500 CFU/g) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550) จึงแสดงว่าผลิตภัณฑ์ยังคงมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

จากผลการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา จึงสรุปได้ว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด LDPE แบบเคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ ที่อุณหภูมิห้องจนถึงวันที่ 30 ผลิตภัณฑ์ยังคงมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคได้ อาจเนื่องมาจากเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารกึ่งแห้งที่ผ่านการลดปริมาณความชื้นและค่า  $a_w$  มีผลทำให้จุลินทรีย์บางส่วนตายไปหรือบางส่วนอาจอยู่รอดแต่ไม่สามารถเจริญได้ สอดคล้องกับที่ ไพโรจน์ วิริยะจारी (2539) กล่าวว่า การแปรรูปอาหารเป็นอาหารกึ่งแห้งเป็นการปรับค่า  $a_w$  และความชื้นให้ไม่เอื้อกับการเจริญของจุลินทรีย์บางประเภท ตัวอย่างเช่น *Staphylococcus aureus* และ *Clostridium perfringens* จึงมีความเหมาะสมที่จะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้นานขึ้นและเนื่องจากมักมีการใช้ส่วนผสมที่สำคัญเพื่อช่วยลดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร เช่น ใช้เกลือหรือน้ำตาล ที่มีความเข้มข้นสูง

ตารางที่ 4-25 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่เก็บรักษา	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)
0	$<1.0 \times 10^1$
10	$2.3 \times 10^1$ est.
20	$7.4 \times 10^2$ est.
30	$7.9 \times 10^2$ est.

ตารางที่ 4-26 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของผลิตภัณฑ์ซิงกิ้งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่เก็บรักษา	ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g)
0	$<1.0 \times 10^1$
5	$<1.0 \times 10^1$
10	$<1.0 \times 10^1$
15	$<1.0 \times 10^1$

#### 4.4.9 ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-27 พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส (5.94-6.95) และความชอบโดยรวม (6.51-7.25) ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี (6.50-6.60) กลิ่น (6.67-7.10) และกลิ่นรส (6.69-6.90) ( $p \geq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า ผลิตภัณฑ์ซิงกิ้งแห้ง จากการเก็บรักษาวันที่ 0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.25) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นแต่ยังมีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 (6.51-6.95) ซึ่งหมายถึงชอบระดับเล็กน้อยถึงชอบปานกลางตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา

จากการพิจารณาภาพรวมของคุณภาพทางเคมี รวมถึงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซิงกิ้งแห้งระหว่างการเก็บรักษาเมื่อบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่อุณหภูมิห้อง แสดงให้เห็นว่าสามารถนำขิงมาเสริมสารพฤกษเคมีที่สำคัญจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งให้เป็นผลิตภัณฑ์ซิงกิ้งแห้งพร้อมรับประทานได้ โดยผลิตภัณฑ์ยังมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจนถึงวันที่ 30 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 4-27 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซิงกิ้งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่เก็บรักษา	ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบ $\pm$ SD				
	สี <sup>ns</sup>	กลิ่น <sup>ns</sup>	กลิ่นรส <sup>ns</sup>	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	6.60 $\pm$ 0.88	7.10 $\pm$ 0.12	6.90 $\pm$ 0.12	6.95 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	7.25 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>
10	6.65 $\pm$ 0.93	6.95 $\pm$ 0.99	6.70 $\pm$ 0.08	6.70 $\pm$ 0.98 <sup>a</sup>	6.85 $\pm$ 0.93 <sup>ab</sup>
20	6.51 $\pm$ 0.74	6.67 $\pm$ 0.11	6.74 $\pm$ 0.77	6.10 $\pm$ 0.41 <sup>b</sup>	6.95 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>
30	6.50 $\pm$ 0.14	6.69 $\pm$ 0.74	6.69 $\pm$ 0.55	5.94 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	6.51 $\pm$ 0.24 <sup>b</sup>

#### 4.5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ที่ได้โดยมีรายละเอียดครบถ้วนโดยย่อจากการวิจัย และขั้นตอนการผลิตซิงกิ้งแห้ง จำนวน 100 ชุด โดยมุ่งหมายเพื่อเผยแพร่ความรู้ส่งมอบให้กับชุมชน ประสานงานกับส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล องค์การบริหารส่วนจังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดปราจีนบุรี ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนแสดงดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การใช้ชนิดของสารที่ใช้ลวก (น้ำ และโซเดียมคลอไรด์ 4%) และเวลาในการลวก (5 10 และ 15 นาที) ก่อนการอบสโมคซิส มีผลต่อคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมความเข้มข้นด้านกลิ่นขิง กลิ่นรสเผ็ดของขิง และค่าการถ่ายเทมวลสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีแนวโน้มว่าขิงหลังการอบสโมคซิสที่ไม่ผ่านการลวกได้รับคะแนนความชอบทุกด้านต่ำที่สุด ( $p < 0.05$ ) และขิงหลังการอบสโมคซิสที่ผ่านการลวก พบว่าได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ( $p \geq 0.05$ ) การลวกทำให้ความเข้มข้นของกลิ่นขิงเพิ่มขึ้น และกลิ่นรสเผ็ดของขิงลดลง ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม คือ การเตรียมชิ้นต้นด้วยการนำขิงมาลวกในน้ำ 5 นาที ทำให้ขิงหลังการอบสโมคซิสมีค่า WL SG และ WR มากที่สุดเท่ากับ 37.27 29.86 และ 6.07% ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 6.43

5.1.2 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (15 20 และ 25%) และระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์สารละลายอบสโมคติก (1450 และ 2900 psi) มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และพบว่าอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีผลต่อปริมาณไลโคพีน ( $p < 0.05$ ) และอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความดันในการโฮโมจิไนซ์มีผลต่อปริมาณไลโคพีน ( $p < 0.05$ ) และไม่มีอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อปริมาณไลโคพีน ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม คือการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเพิ่มลงในสารละลายอบสโมคติก 25% ร่วมกับการใช้ระดับความดันในการโฮโมจิไนซ์สารละลายอบสโมคติก 2900 psi ทำให้ขิงหลังการอบสโมคซิสมีปริมาณไลโคพีนสูงที่สุด รวมถึงมีค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL SG และ WR มากที่สุดเท่ากับ 43.86 17.92 และ 25.93% ตามลำดับ ( $p < 0.05$ )

5.1.3 เวลาการอบสโมคซิสในสภาวะสุญญากาศ (0 20 30 และ 40 นาที) มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร ปริมาณไลโคพีน แคโรทีนอยด์ ฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และค่าความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยค่าการถ่ายเทมวลสาร ปริมาณไลโคพีน แคโรทีนอยด์ ฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมคือการใช้สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 30 นาที ทำให้ขิงหลังการอบสโมคซิส มีค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL

SG และ WR สูงที่สุด เท่ากับ 49.36 20.02 และ 30.10% ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 6.33 คะแนน

5.1.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Nylon LDPE เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นทำให้ปริมาณไลโคพิน แคโรทีนอยด์ ฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่า  $a_w$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ในวันที่ 30 พบว่า ผลิตภัณฑ์ยังมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค สำหรับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่าระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อคุณภาพด้านสี กลิ่น กลิ่นรส ( $p \geq 0.05$ ) ผลิตภัณฑ์ขิงกึ่งแห้งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น แต่ยังมีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สามารถนำสารละลายออสโมติกที่มีการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว รวมถึงสภาวะการไฮโดรจีเนซ และ การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศไปปรับใช้กับผักผลไม้ชนิดอื่นๆได้

5.2.2 อาจเติมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายชนิดอื่นลงไปในการละลายออสโมติกเพิ่ม เช่น แคลเซียม เหล็ก และวิตามินต่างๆ

5.2.3 อาจมีการศึกษาสภาวะการบรรจุในรูปแบบอื่นๆร่วมด้วย เช่น การบรรจุในสภาวะสุญญากาศ เป็นต้น

## บรรณานุกรม

- กรมกฤษฎาภิบาล ภูมิประวัตติ. (2556). *พืชพื้นบ้านมากคุณค่า*. กรุงเทพฯ: หมอชาวบ้าน.
- กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2544). *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย*. นนทบุรี: โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก.
- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2554). *รายงานประจำปี 2554*. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 8.
- คำนวน ตั้งพันธ์ุ และวัชรพงษ์ ทองสีมา. (2533). การอบแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส. *วิศวกรรมสาร* มก, 10, 85-106.
- จิตวิภา สุขพิทักษ์สกล. (ม.ป.ป.). *Thai Food to The World*. วันที่ค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก [http://thaifoodtoworld.com/home/ingredientdetail.php?ingredient\\_id=6](http://thaifoodtoworld.com/home/ingredientdetail.php?ingredient_id=6)
- จำลอง ผึ้งชลจิตร. (2542). *ไม้ไผ่คร่ำ*. กรุงเทพมหานคร: เอส.ที.พี.เวิลด์ จำกัด.
- ชาญวิทย์ รัตนราศรี และสุนันธุ์ ศรีงาม. (ม.ป.ป.). *อิทธิพลของสภาวะการแปรรูปต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในโมโรเฮยะอบแห้ง*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชมพู ยิ้มโต. (2550). *การถนอมอาหาร*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ชัยรัตน์ พึ่งเพียร. (2552). *สมบัติและกัมมันตภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากขิงที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติและการประยุกต์ใช้สารสกัดในไอศกรีม*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชัชวิน เพชรเลิศ. (2549). *ฟรีไปโอดีทส์คืออะไร*. วันที่ค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก [http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC\\_ID=1375](http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=1375)
- ทิพาพร อยู่วิทยา. (2544). *การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตในการยับยั้ง S. Senftenberg : ผลของค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ร่วมกับองค์ประกอบของอาหาร*. วันที่ค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก <http://www.kmutt.ac.th/rippc/senften.htm>
- ทิพาวรรณ บุญเชื่อม และกอดขวัญ นามสงวน. (2554). *การอบแห้งผักทองโดยใช้ไอน้ำยวดยิ่ง*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิตยา รัตนพนนท์. (2549). *เคมีอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ไพโรจน์ วิริยะจारी. (2539). *อาหารกึ่งแห้ง*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เพ็ญภา ทรัพย์เจริญ. (2545). *การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการแพทย์แผนไทยในการรักษาโรค*. กรุงเทพฯ.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.). *ฟรุ๊ตโตโอลิโกแซ็กคาไรด์*. วันที่ค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2556,



- เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1213>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.). *Water activity/แอคทีวิตีของน้ำ*. วันที่ค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.). *Homogenizer/เครื่องโฮโมจิไนซ์*. วันที่ค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1026/homogenizer>
- บุหรัน พันธุ์สุวรรณ. (2556). *อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ*. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยพะเยา.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. (2541). *บรรจุภัณฑ์อาหาร*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์หทัยเอ็ง.
- ประสิทธิ์ สุวรรณเลิศ, พชรี บุญศิริ และเตือนจิต คำพิทักษ์. (2548). โไลโคพีนกับการป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ และมะเร็ง. *วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 17(3), 33-38.
- ปณณธร ภัทรสถาพรกุล. (2556). *วิศวกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์ผลการเกษตร 2*. วันที่ค้นข้อมูล 31 มีนาคม 2556, เข้าถึงได้จาก <http://ac.rmuti.ac.th/converted-into-engineering-agricultural-products>
- ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา. (2554). *รงควัตถุ (Pigment)*. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. เอกสารการสอน.
- ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์. (2528) *ค่าวอเตอร์แอคทีวิตีกับอาหารและอาหารกึ่งแห้ง*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัตนา อินทรานุปกรณ์. (2545). ชิง: อาหารและยา. *วารสาร มฉก.วิชาการ*, 5 (10), 93-97.
- วันวิสาข์ กระแสคุปส์. (2535). *การปรับปรุงคุณภาพของผลไม้อบแห้งด้วยการเคลือบก่อนการทำแห้งแบบออสโมซิส*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรวิทย์ จันท์สุวรรณ. (2554). *หน่วยที่ 4 เคมีอินทรีย์เบื้องต้น*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. เอกสารการสอน.
- วิภาดา กันทยศ. (2554). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวมในพืชสกุลขิงบางชนิดในประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42 (2), 389-392.
- วีไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เท็กแอนด์

- วิศณีย์ โพธิ์หล้า และทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. (2013). ผลของอุณหภูมิสูงต่อลักษณะปรากฏและปริมาณแคโรทีนอยด์ของพริก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 44 (2), 549-552.
- ศิริลักษณ์ สีนธวาลัย. (2522). *ทฤษฎีอาหาร เล่ม 2 หลักการถนอมอาหารและการควบคุมคุณภาพ*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: บำรุงนุกุลกิจ.
- สุรอรธร ศุภจัตุรัส. (2554). *innovation Links*. วันที่ค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก <http://www.nia.or.th/innolinks/page.php?issue=201109&section=6>
- สุชาติพิทย์ ภมรประวัติ. (2550). *หมอบ้าน*. ปีที่ 29, ฉบับที่ 340.
- สุนทนา วัฒนสินธุ์. (2549). *ตำราจุลชีววิทยาทางอาหาร (FOOD MICROBIOLOGY)* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2550). *แก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ ๑๔๗๑ (พ.ศ. ๒๕๕๐) ผลไม้แห้ง (แก้ไขครั้งที่ ๑)*.
- อาบพร รอดบุญ. (2554). ข้อมูลเบื้องต้น (primary data) ผลิตภัณฑ์ X-10 จากการสัมภาษณ์โดยผู้เขียน: บริษัท พรีเมา ไลฟ์ไทม์ จำกัด.
- อ่อนรวี รัตนาพันธุ์. (2533). หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส. *อาหาร*, 20 (ตุลาคม-ธันวาคม), 240-245.
- อัจฉรา นิยมเดชา และมงคล คงเสน. (2556). เมทาบอลิซึมและคุณสมบัติของแคโรทีนอยด์ในการเพิ่มความเข้มสีไข่แดง. *วารสารวิทยาลัยเกษตร*, (ฉบับพิเศษ).
- AOAC. (2000). Official Method of Analysis of AOAC (17th ed). Gaithersburg: *The Association of official Analysis Chemists*.
- Abeyesekere, M., Jayawickrama, F., Ranathungage, S. & Sivakumar, D. (2003). Minimally processing bread fruit (*Artocarpusaltis*). *Australian postharvest horticulture conference*, Brisbane, Australia, 165-166.
- Alvarez, C.A. Aguerre, R., Gomez, R., Vidales, S., Alzamora, S.M. & Gerschenson, L.N. (1995). Air Dehydration of Strawberries: Effect of Blanching and Osmotic Pretreatment on the Kinetic of Moisture Transport. *Journal of Food Engineering*, 25, 167-178.
- Aleksandra Rozek, A., Achaerandio, I., Guell, C., Lopez, F., & Ferrando, M. (2009). Grape phenolic impregnation by osmotic treatment: Influence of osmotic agent on mass transfer and product characteristics. *Journal of Food Engineering*, 94, 59-68.

- Aleksandra Rozek, A., Garcia-Perez, J., Lopez, F., Guell, C., & Ferrando, M. (2010). Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering*, 99, 142-150.
- Ashwini N. B., Sowbhagya, H.B. & Rastogi, N.K. (2011). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Journal of Food Engineering*, 105, 453-459.
- Arévalo-Pinedo, A. & Xidieh Murr, F.E. (2007). Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 80, 152-156.
- Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001).วันที่ค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก  
<http://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm2006949.htm>
- Barrera, C., Betoret, N., & Fito, P. (2004). Ca<sup>2+</sup> and Fe<sup>2+</sup> influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, 65, 9-14.
- Betoret, E., Betoret, N., Carbonell, J.V., & Fito, P. (2009). Effects of pressure homogenization on particle size and the functional properties of citrus juices. *Journal of Food Engineering*, 92, 18-23.
- Betoret, E., Sentandreu, E., Betoret, N., Codoñer-Franche, P., Valls-Bellés, V., & Fito, P. (2012). Technological development and functional properties of an apple snack rich in flavonoid from mandarin juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16, 298-304.
- Betoret N., Puente L., Diaz M.J., Pagan M.J., Garcia M.J., Gras M.L., Martinez-Monzo J. & Fito J. (2001). Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 56, 273-277.
- Burke, D.S., Smidt, C.R. & Young, L.T. (2005). *Momordica cochinchinesis*, Rosa Roxburghii, wolfberry, and sea buckthorn-Highly nutritional fruit supported by tradition and science. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 3 (4), 259-266.
- Chang, Q., Zuo, Z., Chow, M.S.S. & Ho, W.K.K. (2006). Effect of storage temperature on phenolics stability in hawthorn (*Crataegus pinnatifida* var. *major*) fruits and a hawthorn drink. *Food Chem.* 98, 426-430.

- Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Transport mechanism in osmotic dehydration: the role of the structure. *Food Science Technology International*, 9(3), 179-186.
- Chafer, M., Gonzalez-Martinez, C., Fernandez, B., Perez, L., & Chiralt, A. (2003). Effect of Blanching and Vacuum Pulse Application on Osmotic Dehydration of Pear. *Food Science and Technology International*, 9 (5), 321-328.
- Choubert, G. & Heinrich, O. (1993). Carotenoid pigments of the green alga *Haematococcus pluvialis*: assay on rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, pigmentation in comparison with synthetic astaxanthin and canthaxanthin. *Aquaculture*, 112, 217-226.
- Ecobar, M.P., Galindo, G.F., Wadso, L., Najera, J.R., & Sjöholm, I. (2007). Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots (*Daucus carota L. Nerac*). *Journal of engineering*, 81, 313-317.
- Fan, Q., Shan, D., Xue, H., He, Y., & Serge Cosnier, S. (2006). Amperometric phenol biosensor based on liponite clay-chitosan nanocomposite matrix. *Biosensors and bioelectronics*, 22, 816-821.
- Moreno, A. Chiralt, I. Escriche, & J.A. Serra. (2000). Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*, 33, 609-616.
- Erba, M. L., Forni E. & Colonello A. (1994). Influence of sugar composition and air dehydration levels on the chemical-physical characteristics of osmo dehydrofrozen fruit. *Food Chemistry*, 50, 69 -73.
- Fito, P. (1995). Modelling of vacuum osmotic dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*. 23, 313-328.
- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M. L., Cháfer, M., & Martínez-Monzó, J. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering. Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*. 49, 175-183.
- Fellows, P. J. 2000. *Food Processing Technology*. 2 nd ed. Wood head Publishing Limited. Cambridge, England
- Garrote, R. L., Silva, E. R. & Bertone, R. A. (1992). Osmotic concentration at 5 °C and

- 25°C of pear and apple cubes and strawberry halves. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 25, 133-138.
- Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. (2003). Kinetic modeling of vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions. *Food Chemistry*, 83, 33-41.
- Gras, M.L., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, A., & Fito, P. (2001). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation Interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, 56, 279-284.
- Hirimitsu, A., Nguyen, T.M.K., Kuze, N. & Tomisaka, K. (2002). Carotenoid Pigments in GAC Fruit (*Momordica cochinchinensis* SPRENG). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 66(11), 2479-2482.
- Hironaka, M., Kikuchi, Koaze, H., Sato, T., Kojima, M., Yamamoto, K., Yasuda, K., Mori, M. & Tsuda, S. (2011). Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. *Food Chemistry*, 127, 1114-1118.
- Ishida, B.K., C. Turner, M.H. Chapman and T. Mckeon. (2004). Fatty acid and carotenoid composition of gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) fruit. *J. Agric. Food Chem*, 52, 274-279.
- Jay. (1998). *Modern food microbiology*. Aspen Publishers. อาหารกึ่งแห้ง. วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0908/intermediate-moisture-food-อาหารกึ่งแห้ง>
- Jha, S. N., & Prasad, S. (1996). Determination of processing conditions of gorgon nut (*Euryale ferox*). *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63, 103-112.
- Jissy & Jacob. (2012). Infusion of fruits with nutraceuticals and health regulatory components for enhanced functionality. *Food Research International*, 45, 93-102.
- Jittawan, K. & Siriamornpun, S. (2010). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127, 1138-1145.

- Karagozler, A.A., Erdag, B., Emek, Y.C., & Uygun, D.A. (2008). Antioxident activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechas hastate*, *Food Chem*, 111, 400-407.
- Kilcast, D. & Subramaniam, P. (2000). The Stability and Shelf-Life of Food. *Food Science Technology and Nutrition*, 107-128.
- Le Marguer, M., (1988). Osmotic dehydration: review and future directions. *Proceedings of the symposium in food preservation process*, 1, 283-309.
- Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Dalla, R.M., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on deying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, 50, 1217-1219
- Lycopene and human health.(n.d.). Retrieved November 20, 2013, from [http://www.lycocard.com/index.php/lyco\\_pub/health/](http://www.lycocard.com/index.php/lyco_pub/health/).
- Marani, M.E., Agnelli, R.H. & Mascheroni. (2007). Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 79, 1122-1130.
- Mavrovdís N.E., Witcomb, A., Gekas, V. & Sjöholm, I. (1998). Osmotic Dehydration of Apples-Effects of Agitation and Raw Material Characteristics. *Journal of Food Engineering*, 35, 191-209.
- Moreno, J., Bugue, G., Velasco, V., Petzold, F. & Tabilo-Munizaga, G. (2004). Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation on Physicochemical Properties of Chilean Papaya (*Carica candamarcensis*). *Journal of Food Science*, 69(3), 1-5.
- Rastogi, K.S., Raghavarao, K., Niranjana, K. & Knorr, D. (2002). Recent developments in Osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13, 48-59.
- Review of the Literature. (n.d.). Retrieved November 20, 2013, from <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/skemi/vk/haila/2.html>.
- Sanchez-Moreno, C., Jimenez-Escoria, A. & Saura-Calixto, J. (2000). Study of low-density lipoprotein oxidizability indexes to measure the antioxidant activity of dietary polyphenols. *Nutrition Research*, 20, 941-953.
- Sankat, C.K., Castaigne, F. & Maharaj, R. (1996). The air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *International Journal Food Science and Technology*, 31, 123-135.
- Schweiggert, U., Hofmann, S., Reichel, M. & Schieber, A. (2008). Enzyme-

- assisted liquefaction of ginger rhizomes (*Zingiber officinale* Rosc.) for the production of spray-dried and paste-like ginger condiments. *Journal of Food Engineering*, 84, 28-38.
- Sesso, H.D., Buring, J.E. & Norkus, E.P. (2004). Plasma lycopene, other carotenoids, and retinol and risk of cardiovascular disease in women 1'2'3. *Am J Clin Nutr*, 79 (1), 47-53.
- Shi, X.Q., Fito, P. & Chiralt, A. (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruit. *Food Research International*, 28(5), 445-454
- Smith, R.E., & Norvell, M.A. (1975). Nutrition over view of the pet food industry. *Cereal food world*, 20, 8-11.
- Srivastava, M. (1989). Ginger (*Zingiberofficinale*) and rheumatic disorders. *Madical Hypotheses*, 29, 25-28.
- Tapia, M.S., Lopez-Malo, A., Consuegra, R., Corte, P., & Welti-Chanes, J. (1999). Minimally processed papaya by vacuum osmotic dehydration techniques. *Food Science and Technology International*, 5, 41-49.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26, 59-68.
- Usama I. Aly , Mohamed S. A., Hussein, S.T. & Gaber, E.S. (2013). Characterization of 6-Gingerol for *In Vivo* and *In Vitro* Ginger (*Zingiber officinale*) Using High Performance Liquid Chromatography. *Global Journal of Botanical Science*, 1, 9-17.
- Varnalis, A.I., Brennan, J.G. & MacDougall., D.B. (2001). A proposed mechanism of high-temperature puffing of potato. Part I. The influence of blanching and drying conditions on the volume of puffed cubes. *Journal of Food Engineering*, 48, 361-367.
- Vuong, L.T., Franke, L.J., Custer & Murphy, S.P. (2006). Momordica cochinchinesis Spreng. (gac) fruit carotenoids reevaluate. *Food Composition and Analysis*. 19, 664-668.
- Dewanto,V., Wu, X. & Liu, R.H. (2002). Processed Sweet Corn Has Higher Antioxidant Activity. *J. Agric. Food Chem*. 50, 4959-4964.

- Wohlmuth, H., Leach, D.N., Smith, M.K., & Myers, S.P., (2005). Gingerol content of diploid and tetraploid clones of Ginger (*Zingiber officinale Roscoe*). *J .Agric. Food Chem.* 53, 5772-5778.
- Welti-Chanes, J., Ochoa-Velasco, C.E. & Guerrero-Beltrán, J.A. (2009). High-pressure homogenization of orange juice to inactivate pectinmethylesterase. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10,457-462.



ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**  
**การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี**

**ก-1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)**

**อุปกรณ์**

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert, ULE 560, Germany)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius, AC211S, Germany)
3. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)
4. โถดูดความชื้น (Desiccator)

**วิธีการวิเคราะห์**

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก
2. นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม)
3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5 กรัม บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างอาหารที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างอาหารลงในภาชนะอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักที่คงที่ แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ไม่เกิน 0.05 กรัม

**การคำนวณ**

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

## ก-2 ปริมาณไลโคพีน (Fish et al., 2002)

### อุปกรณ์

1. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) (SPECTRONIC GENESYS™ 5, USA)
2. เครื่อง Vortex Shaker (Vortex Shaker รุ่น Z323K, ประเทศไทย)
3. เครื่องบดอาหาร
4. หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ปีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
6. ก่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็ง
7. อะลูมิเนียมฟอยด์

### สารเคมี

1. เฮกเซน (Hexane)
2. 0.05% butylatedhydroxytoluene (BHT) ในอะซิโตน 95%
3. เอทานอล (Ethanol)

### วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างมาบดลดขนาดลงโดยหั่นเป็นชิ้นเล็ก แล้วนำมาปั่นด้วยเครื่องบดอาหาร นาน 1 นาที เทใส่ปีกเกอร์และเก็บไว้ในก่องโฟมที่มีน้ำแข็งบรรจุ
2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดมาประมาณ 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร ที่ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์
3. เติมสารสกัดไลโคพีนที่เป็นสารละลายผสมของเฮกเซน, 0.05% butylatedhydroxytoluene (BHT) ในอะซิโตน และเอทานอล (ในอัตราส่วน 1:1:1) อย่างละ 10 มิลลิลิตร เติมลงในหลอดทดลอง และนำไปเขย่าด้วยเครื่องผสมสารละลาย นาน 10 นาที
4. เติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และเขย่าด้วยเครื่องผสมสารละลายเป็นเวลา 10 นาที แล้วปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที
5. นำส่วนใส (ชั้นเฮกเซน) ที่มีสารไลโคพีนสีแดงมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร โดยใช้เฮกเซนบริสุทธิ์เป็น blank

### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไลโคพีน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)} = (X/Y) \times A_{503} \times 3.12$$

เมื่อ X = ปริมาณเฮกเซนที่ใช้ (มิลลิลิตร)

Y = น้ำหนักของตัวอย่างซึ่งที่ผ่านการออสโมซิสแล้ว (กรัม)

$A_{503}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 503 นาโนเมตร

### ก-3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ดัดแปลงจาก Georges and Olivier, 1993)

#### อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius, AC211S, Germany)
2. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) (SPECTRONIC GENESYS™ 5, USA)
3. เครื่องผสมสาร (Vortex mixture) (Heidolph, REAX 2000, Germany)
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
5. หลอด Centrifuge
6. กรวยแยก
7. กระดาษกรอง Whatman No.1

#### สารเคมี

1. เอทานอล (Absolute ethanol, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)
2. 60% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH)
3. ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)
4. 6% โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride, NaCl)
5. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

#### วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างโดยชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำมาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ประมาณ 5 มิลลิลิตร) ใส่ในบีกเกอร์ และเติมเอทานอล 10 มิลลิลิตร และ 60% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร แล้วทำให้ผสมเข้ากัน ทำการสกัดในอ่างน้ำเดือด (Water bath) ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที
2. นำไปใส่ในเครื่องปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอน นาน 5-10 นาที ที่ความเร็วรอบ 3500 รอบต่อ นาที
3. รินสารละลายลงในกรวยแยก (อย่าให้มีตะกอนปน)
4. เติมเอทานอล 2 มิลลิลิตร ลงในตะกอนแล้วทำซ้ำข้อที่ 3 และ 4 (เพื่อให้ได้สารละลาย ปริมาณมากขึ้น)
5. เติมปีโตรเลียมอีเทอร์ 15-20 มิลลิลิตร และ 6% โซเดียมคลอไรด์ 20 มิลลิลิตร
6. เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้จนสารละลายแยกเป็น 2 ชั้น ค่อยๆ ไขชั้นล่างทิ้ง

7. เติมโซเดียมคลอไรด์ 20 มิลลิลิตร ในชั้นบน เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้จนสารละลายแยกเป็น 2 ชั้น ค่อยๆ ไซ้ชั้นล่างทิ้ง
8. นำสารชั้นบนมาเติมโซเดียมซัลเฟต เพื่อดูดซับน้ำ
9. นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร (OD<sub>450 nm</sub>)

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัม/100 กรัม)} = \frac{\text{OD}_{450 \text{ nm}} \times 100}{260 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ก-4 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Dewanto et al., 2002; Fan et al., 2006)

#### อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius, AC211S, Germany)
2. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) (SPECTRONIC GENESYS™ 5, USA)
3. เครื่องผสมสาร (Vortex mixture) (Heidolph, REAX 2000, Germany)
4. ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 5 มิลลิลิตร
5. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. กระดาษกรอง Whatman No.1
7. หลอดทดลอง

#### สารเคมี

1. ฟอลิน ซีโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu's reagent)
2. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
3. กรดแกลลิก (Gallic acid; C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>5</sub>)
4. เอทานอล (Ethanol: CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH)

#### การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7% โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก 0.01 กรัม นำมาละลายด้วยเอทานอลเล็กน้อย และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

#### การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งมา 20 กรัม ทำการสกัดด้วยเอทานอล 95% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้แท่งแก้ว

คนเป็นเวลา 3 นาที และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารสกัดมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 และล้างสารสกัดผ่านกระดาษกรองด้วยเอทานอล 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาระเหยตัวละลายออกโดยใช้ Water bath ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้สารสกัดที่เป็นของแข็ง (สารเหนียว) และเก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วสีชาที่สภาวะแช่แข็ง (อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส)

#### การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับ คือ 2, 4, 6, 8 และ 10  $\mu\text{g/ml}$  ดังนี้

1. ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นมา 0.125 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโพลิน ซีโอแคลทูหลอดละ 1.00 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารเป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที
3. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7% 1.25 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
5. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) (ทำกราฟมาตรฐาน)

#### วิธีการวิเคราะห์

1. ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมขั้นต้น โดยชั่งสารสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายด้วย เอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 0.125 มิลลิลิตร
3. จากนั้นเติมสารละลายโพลิน ซีโอแคลทูหลอดละ 1.00 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที
4. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7% 1.25 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
6. คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้จากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรงที่ได้ จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

#### ก-5 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจาก Karagozler et al., 2008)

ในโครงการวิจัยนี้ใช้วิธีการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test)

##### อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius, AC211S, Germany)
2. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) (SPECTRONIC GENESYS™ 5, USA)
3. ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 5 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. หลอดทดลอง

##### สารเคมี

1. เอทานอลบริสุทธิ์ (Absolute Ethanol;  $C_2H_5OH$ )
2. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH,  $C_{18}H_{12}N_5O_6$ )

##### การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสาร DPPH ทันทีก่อนใช้ให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยชั่ง DPPH 0.004 กรัม ละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

##### วิธีการวิเคราะห์

1. ใช้สารสกัดตัวอย่างที่เตรียมได้เหมือนกับที่วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยนำสารสกัด (สารเหนียว) มา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายในเอทานอล 95% แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย เอทานอล
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mmol 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที สำหรับตัวอย่าง Blank ทำเช่นเดียวกันแต่ใช้ เอทานอล 95% แทนสารละลายตัวอย่าง
3. นำหลอดทดลองที่เป็นสารละลายตัวอย่างและ Blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

**การคำนวณ**

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

กำหนดให้  $A_0$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank

$A_1$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง



## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

#### ข-1 ค่าความแน่นเนื้อ

##### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2)
2. หัววัดรูปทรงกระบอก 35 mm (Cylinder probe (P/35))
3. Probe adapter หัววัด ขนาด 60 มิลลิเมตร (Probe adapter (AD/60))
4. Flat Plate

##### การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างซึ่งมาวัดค่าความแน่นเนื้อโดยวางบน Flat plate ใช้หัววัดกดลงบนตรงกลางชิ้นตัวอย่างโดยแต่ละสิ่งทดลองจะวัดซ้ำ 5 ตัวอย่าง และรายงานเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด

##### วิธีการวิเคราะห์

###### 1. การใช้งาน

- เปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2
- คลิกที่ start → program → texture expert → จะปรากฏหน้าต่างต่าง user selection คลิกที่ OK
- จากนั้นไปที่ file → new project จะปรากฏหน้าต่างของ project (ถ้าใช้เป็นครั้งแรก) หรือถ้าไม่ต้องการตั้ง project → restart → จะปรากฏหน้าต่างของกราฟ
- กรณีที่มีข้อมูลแล้วให้คลิกที่ open icon จะปรากฏหน้าต่างของ open แล้วเมื่อเรียกชื่อไฟล์ตามต้องการ โดยเปลี่ยนชนิดของไฟล์ที่ได้ list first of type เมื่อ
  - \*.ARC คือ ไฟล์ที่เป็นกราฟ
  - \*.RES คือ ไฟล์ที่เป็นตารางข้อมูล
  - \*.RPJ คือ ไฟล์ที่เป็น project
  - Document MAC คือ ไฟล์ที่เป็น Macro
  - \*.LIS คือ ไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ

###### 2. การเปรียบเทียบ (caribration)

- จะต้องทำการ calibrate force ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ โดยไปที่ T.A. บน menu bar calibrate force จะปรากฏหน้าต่างของ force calibration ให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน calibration platform แล้วคลิก OK

- เมื่อหน้าจอปรากฏข้อความ “calibrationsuccessful” ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก OK

### 3. การทำ T.A. setting

- ไปที่ T.A. → T.A. setting (หรือ FA) จะปรากฏหน้าต่างของ Texture Analyzer setting ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

Option:	Measure Force in compression
Pre-Test Speed:	1.5 mm/s
Test Speed:	1.5 mm/s
Post-Test Speed:	10.0 mm/s
Distance:	4 mm/s
Trigger Type:	1.5 mm/s

Data-Acquisition Rate: 200 pps

- ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลให้คลิก save กรณีจะเรียงข้อมูลให้คลิก Load
- เมื่อจะทำการขึ้นต่อไปให้คลิก update

### 4. การทำ Run a Test

- เมื่อวางตัวอย่างบนแท่นทดสอบ เลือก T.A. บน menu bar → Run a test (หรือ F2) จะปรากฏหน้าต่างของ Run a test โดยพารามิเตอร์ต่างๆมีความหมายดังนี้

Auto save: บันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติตาม dive หรือ path ที่ตั้งไว้

File ID: ตั้งชื่อไฟล์ สำหรับกราฟแสดงผล (5 ตัวอักษร)

File No: ตั้งหมายเลขไฟล์ (จำเป็นในครั้งแรกเพราะจะเพิ่มขึ้นเองโดยอัตโนมัติหลังจากที่แต่ละไฟล์ถูกบันทึก)

Drive: ตำแหน่งที่จะให้บันทึกข้อมูลไว้

Title: ตั้งชื่อกราฟแสดงผล

Note: บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

Probe and Product Data: เลือกชนิดของ probe ให้ตรงกับที่นำมาใช้

Configure: ใส่ Production dimension

Delay Start: เมื่อต้องการเลื่อนเวลาในการวัดออกไป

Clear Previous Graph: เมื่อต้องการให้การทดสอบแต่ละครั้งปรากฏ

กราฟเพียงเส้นเดียว (เป็นการลบ ARC file เดิมออกเพื่อให้ ARC file ใหม่เข้ามาแทน)

Run Macro: เมื่อต้องการให้วิเคราะห์ผลโดยอัตโนมัติ

PPS: อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปใช้ 200 pps

- เมื่อตั้งค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ให้คลิก OK เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมกับการปรากฏเส้นกราฟ ส่วนการทดสอบขั้นตอนต่อไปให้เลือก T.A. บน menu bar Quick Test Run (หรือ Ctrl+Q)
- การอ่านค่าที่ได้จากกราฟเลือก Go to บน menu bar → max force → OK

## ข-2 ค่าสี (L\* a\* และ b\*)

### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี (Colorimeter) Hunter LAB รุ่น Minican XP Plus
2. Petri dish พลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร

### การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างวางเรียงบน Petri dish จนเต็ม โดยไม่ให้มีช่องว่างระหว่างชิ้นอาหาร แล้วปิดด้วยฝาครอบสีดำ

### วิธีการวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดค่าสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผ่นสำหรับ Calibrate สีขาวแล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวของแผ่นสำหรับ Calibrate ไว้คือ ( $x = 0.012$ ,  $y = 0.234$  และ  $z = 0.122$ )
2. นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง
3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งรายงานเป็นค่า L\* a\* และ b\* ซึ่งแสดงความหมายดังนี้

ค่าสี L\* หมายถึง ค่าความสว่างมีช่วงตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)

ค่าสี a\* หมายถึง ค่าสีเขียว-แดง มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีเขียว ถ้าเป็นบวก หมายถึง สีแดง

ค่าสี b\* หมายถึง ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายถึง สีเหลือง

### ข-3 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ( $a_w$ )

#### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ Novasina รุ่น AG Labmaster-aw

#### การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาหั่นให้มีขนาดเล็กแล้วบรรจุในตลับใส่ตัวอย่าง ในปริมาณ 2/3 ของความสูงตลับ

#### วิธีการวิเคราะห์

1. กดปุ่มเปิด-ปิดเครื่อง (ด้านหน้าเครื่อง) ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที
2. Calibration เครื่องด้วยเกลือมาตรฐานอย่างน้อย 2 ค่าที่ครอบคลุมช่วงของการวัด
3. ใส่ตัวอย่างใน Sample cup ประมาณ 2/3 ของความจุ (อย่าใส่ส่วนของตัวอย่างสูงเกินขอบผิวหน้า) ถ้าไม่วัดในทันทีให้ปิดฝา Sample cup
4. เปิดฝาเครื่อง และใส่ตัวอย่างลงในช่องใส่ตัวอย่างด้านซ้ายมือ ปิดฝาเครื่องให้เรียบร้อย
5. กดปุ่มสีเหลืองที่อยู่ด้านขวาของข้อความจนปุ่มไฟสีส้มหน้า Analyzing กระทบ
6. เมื่อการวิเคราะห์  $a_w$  เสร็จสิ้น ไฟสีเขียว Stable จะติดพร้อมๆกับมีเสียงเตือนจากเครื่องเป็นจingle แล้วจึงเงียบเสียง บันทึกค่า  $a_w$  และ temp. ที่ปรากฏในกรอบสี่เหลี่ยมสีดำ
7. เปิดฝาเครื่องและเปลี่ยนเป็นตัวอย่างถัดไป

ภาคผนวก ค  
การทดสอบทางประสาทสัมผัส

**ค-1 แบบทดสอบความชอบวิธี 9- point Hedonic scale**

หมายเลขผู้ทดสอบ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์  
กรุณาบ้วนปากก่อนชิมทุกครั้ง

- |                    |              |                  |
|--------------------|--------------|------------------|
| 1= ไม่ชอบมากที่สุด | 2= ไม่ชอบมาก | 3= ไม่ชอบปานกลาง |
| 4= ไม่ชอบเล็กน้อย  | 5= เฉยๆ      | 6= ชอบเล็กน้อย   |
| 7= ชอบปานกลาง      | 8= ชอบมากๆ   | 9= ชอบมากที่สุด  |

---

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

---

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

## ค-2 แบบทดสอบวิธี 5-point Scoring Test

ชื่อผู้ทดสอบ.....

หมายเลขผู้ทดสอบ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาดมและชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความเข้มของกลิ่นขิง และกลิ่นรสเผ็ดของขิง โดยใช้เครื่องหมาย × ลงในช่องว่างตามระดับที่ท่านรู้สึก กรุณาบ้วนปากก่อนการชิมทุกครั้ง

- ความเข้มของกลิ่นขิง

ตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1=เข้มน้อยที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2=เข้มน้อย	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3=เข้มนปานกลาง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4=เข้มนมาก	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5=เข้มนมากที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

-ความเข้มของกลิ่นรสเผ็ดของขิง

ตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1=เข้มน้อยที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2=เข้มน้อย	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3=เข้มนปานกลาง	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4=เข้มนมาก	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5=เข้มนมากที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....  
 .....

## ภาคผนวก ง

### การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

#### ง-1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001)

##### วัสดุและสารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Compact Dry TC, Nissui Pharmaceutical, Japan)
2. เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meduca Limited, England)
2. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England )
3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

##### การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างชิ้นกล้วยไข่ 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม Peptone Water 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมนาน 1 นาที จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง  $10^{-1}$
2. เปิดสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1. มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดที่บรรจุสารละลาย Peptone Water 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง  $10^{-2}$
3. เจือจางสารละลายตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2 จนได้ความเจือจาง  $10^{-3}$
4. เปิดสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง  $10^{-1}$  มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป แล้วรีบปิดฝาภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป
5. ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4 จนครบสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง  $10^{-2}$  และ  $10^{-3}$
6. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
7. การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากภาดาอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีแดงทั้งหมด แล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจาง และรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด (Yousef & Carlstrom, 2003) ได้ตามสูตร ดังนี้

$$\text{โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/1 g)} = n \times df$$

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีเฉลี่ยที่ความเจือจางต่ำที่สุด

df คือ Dilution Factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะเชื้อ ในกรณีที่หาค่า n ได้

7.1 หากทุกความเจือจางมีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 1-15 โคโลนี ให้รายงานผลการตรวจนับโคโลนีที่ความเจือจางต่ำที่สุด ในรูปของโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และให้เขียนคำว่า est. ต่อท้าย

7.2 หากไม่ตรวจพบจำนวนโคโลนีเลยในจำนวน 3 ซ้ำ ให้รายงานว่า  $<1.0 \times$  (dilution ที่ความเจือจางต่ำที่สุด)

7.3 หากจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีไม่มากนัก ให้นำจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบบที่เรียกทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 300 โคโลนี เกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นำจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตร แล้วนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่อง แบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนี มากจนไม่สามารถนับได้ ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

## ง-2 ปริมาณยีสต์และรา (BAM, 2001)

### วัสดุและสารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อยีสต์และรา (Compact Dry YM, Nissui Pharmaceutical, Japan)

2. เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meduca Limited, England)

2. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England )

3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

### การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ทำวิธีเดียวกันกับภาคผนวกที่ ง-1 ในข้อที่ 1-5

2. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน

3. การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีฟ้าเขียวอ่อน (Light Bluish Green) ทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจางและรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด เช่นเดียวกับภาคผนวก ง-1

ยกเว้นกรณี หากจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีไม่มากนัก ให้นำจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบบที่เรียกทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 150 โคโลนี เกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นำจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตร แล้วนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่อง แบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น



## ประวัตินักวิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววิชมนี ยืนยงพุทธิกาล  
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Wichamaneey Yuenyongputtakal
2. ตำแหน่งปัจจุบัน  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. หน่วยงานที่สังกัด  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131  
e-mail wich@buu.ac.th
4. ประวัติการศึกษา  
ปร.ด. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วท.ม. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วท.บ. (วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยบูรพา
5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ  
Food product development, Sensory evaluation, Processing of fruit and vegetable, Osmotic dehydration

### ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางพรนภา น้อยพันธ์  
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Phornnapa Noipant
2. ประวัติการศึกษา  
วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วท.บ. (วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยบูรพา
3. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ  
Nutrition, Food Processing