รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพมูลค่าสูง ด้วยวิธีการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการทำแห้ง

Development of Intermediate Moisture Young Palmyra (*Borassus flabellifera*) as High Value Functional Food using Vacuum Osmotic Dehydration combined with Drying

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล	หัวหน้าโครงการวิจัย
ผศ.ดร.สันทัด วิเชียรโชติ	ผู้ร่วมวิจัย
ผศ.ดร.ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล	ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๙
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2559A10802063
สัญญาเลขที่ 104/2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพมูลค่าสูง ด้วยวิธีการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการทำแห้ง

Development of Intermediate Moisture Young Palmyra (*Borassus flabellifera*) as High Value Functional Food using Vacuum Osmotic Dehydration combined with Drying

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล[1] หัวหน้าโครงการวิจัย
ผศ.ดร.สันทัด วิเชียรโชติ[2] ผู้ร่วมวิจัย
ผศ.ดร.ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล[3] ผู้ร่วมวิจัย

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]สถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[3]คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

เมษายน 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 104/2559 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวช่อทิพย์ โกมลวาทิน และนางสาวสิริมา แต่สกุล ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าว (0-60%) กับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (0-60%) ผลการทดลองพบว่ามีผลทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL SG และ WR รวมถึงคุณภาพของลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสด้านปริมาณความชื้น ค่า a_w ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าสี และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี และด้านเนื้อสัมผัส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การใช้สารละลายผสมมีผลให้ค่า WL SG และ WR เพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 1.29-11.57% 2.09-2.64% และ 8.66-8.93% ตามลำดับ จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส พบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อ ค่า WR ปริมาณน้ำตาล ปริมาณวิตามินซี ค่าสี และค่าความแน่นเนื้อ ($p<0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อความชอบด้านสี และความชอบด้านลักษณะปรากฏ ($p\geq0.05$) สิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้แคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ การเตรียมขั้นต้นด้วยการออสโมซิสลูกตาลอ่อนช่วยลดเวลาในการทำแห้งด้วยลมร้อนลงได้ 80 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (5.55g/100g) ปริมาณแคลเซียม (198.47mg/100g) และปริมาณวิตามินซี (966.38mg/100g) มากกว่าลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส รวมถึงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าอยู่ในระดับชอบปานกลาง ($p<0.05$) โดยมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคที่อุณหภูมิอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็น เมื่อเก็บรักษาอย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสได้รับความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนนขึ้นไป ตลอดเวลาการเก็บรักษา

Abstract

Effect of using osmotic mixture solution consisted of coconut sugar (0-60%) and oligofructose (0-60%) was investigated. It was resulted statistically significant in the mass transfer, including the WL SG and WR as well as the quality of the young palmyra after osmosis process in terms of moisture content, a_w value, total sugar content, color value and liking sensory scores in terms of appearance, color and texture ($p<0.05$). Using the mixture solution increased in WL SG and WR more than using oligofrutose alone as 1.29-11.57% 2.09-2.64% and 8.66-8.93%, respectively. The effect of calcium lactate concentration and ascorbic acid concentration combined with osmosis under vacuum pressure were carried out. Interaction of all three factors significantly affected the mass transfer, including the WL value, total sugar content, vitamin C content, color value and firmness value ($p<0.05$). There was no influence factors affected color liking and appearance liking ($p\geq0.05$). The appropriate condition treatment was using 2% calcium lactate and 2% ascorbic acid under vacuum. Osmotic pretreatment of young palmyra reduced hot air drying time up to 80 minutes compared with non-pretreatment. Intermediate moisture young palmyra product with osmotic pretreatment had more total sugar content (5.55 g/100g) calcium content (198.47 mg/100g) and vitamin C content (966.38 mg/100g) than Intermediate moisture young palmyra product without osmotic pretreatment including received more overall liking score in moderately like level ($p <0.05$). Intermediate moisture young palmyra product was safely for consume during stored at room temperature and refrigerated temperature at least 4 weeks and gained more than 6 overall liking score along storage time.

สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	Abstract	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	จ
	สารบัญภาพ	ซ
บทที่		
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	4
3	วิธีดำเนินการทดลอง	21
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	28
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	77
	บรรณานุกรม	79
	ภาคผนวก	85
	ประวัตินักวิจัย	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณค่าทางอาหารของลูกตาลอ่อนในสัดส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม.....	6
2-2	ปริมาณ Indigestible polysaccharides ที่สกัดได้.....	6
2-3	ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายควรได้รับ.....	13
2-4	ปริมาณวิตามินซีที่ร่างกายควรได้รับ.....	14
2-5	คุณค่าทางอาหารของน้ำตาลมะพร้าวในสัดส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม.....	15
2-6	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าว.....	15
2-7	ชนิดและปริมาณของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ในเวลาต่างๆ.....	16
3-1	ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3-2	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ.....	24
4-1	ค่าการถ่ายเทมวลสารด้านปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน.....	33
4-2	ปริมาณความชื้น (%) ของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน.....	37
4-3	ค่า a_w ของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน.....	37
4-4	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม) ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน.....	39
4-5	ค่าสี L* a* และ b* ของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน.....	39

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-6	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน	42
4-7	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (AA)	45
4-8	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ	48
4-9	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรการใช้สภาวะสุญญากาศ	48
4-10	ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ	49
4-11	ปริมาณความชื้นของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรการใช้สภาวะสุญญากาศ	50
4-12	ค่าสี L* a* และb* ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเคท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ	52
4-13	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก	53
4-14	ปริมาณแคลเซียมของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ	55
4-15	ปริมาณวิตามินซีของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ	56
4-16	ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเคท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ	57
4-17	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ	58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-18	คะแนนความชอบด้านรสชาติของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก	59
4-19	คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท	59
4-20	คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท	59
4-21	สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับเวลาทำแห้ง (x) ของลูกตาลที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสนำมาทำแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	63
4-22	คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสและลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	64
4-23	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส	67
4-24	คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 °C)	71
4-25	คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (5±1 °C)	72
4-26	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 °C)	73
4-27	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (5±1 °C)	74
4-28	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 °C)	75
4-29	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (5±1 °C)	75

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะของผลตาล	4
2-2	ลักษณะของลูกตาลอ่อน	5
2-3	การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส	8
2-4	กลไก Hydrodinamic machanism (HDM)	12
2-5	โครงสร้างของน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส	17
3-1	ลักษณะเนื้อลูกตาลอ่อนที่หั่นเป็นชิ้น	22
4-1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) กับเวลาออสโมซิสชิ้นลูกตาลอ่อน เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)	29
4-2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาออสโมซิสชิ้นลูกตาลอ่อน เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)	30
4-3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาออสโมซิสชิ้นลูกตาลอ่อน เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)	30
4-4	ลักษณะของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว:น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)	32
4-5	ลักษณะสีของสารละลายออสโมติกก่อนการใช้งานทั้ง 5 สิ่งทดลอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว:น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-6	ลักษณะของชิ้นลูกตาลอ่อนสด (ก) และหลังการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง (ข)-(ฌ) เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) กรดแอสคอร์บิก (AA) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (VI).....	46
4-7	ลักษณะสีของสารละลายออสโมติกก่อนการใช้ เมื่อใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าว 20%w/w กับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส 40%w/w แปรความความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) และกรดแอสคอร์บิก (AA) แตกต่างกัน.....	51
4-8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งลูกตาลที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	60
4-9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งลูกตาลที่ผ่านการออสโมซิส เป็นเวลานาน 240 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	62
4-10	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งลูกตาลที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เป็นเวลานาน 300 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	62
4-11	ลักษณะของชิ้นลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข).....	63
4-12	ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน.....	76

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ตาลโตนด หรือ ตาล เป็นปาล์มชนิดหนึ่ง เป็นต้นไม้เก่าแก่ของประเทศไทย ต้นตาลเป็นพืชที่ปลูกในประเทศไทยนานกว่า 1,000 ปี สภาพภูมินิเวศที่ตาลเติบโตได้ดี คือ มีแสงแดดจัดและความชื้นต่ำ จึงพบมากที่สุดในภาคตะวันตก ได้แก่ เพชรบุรี สุพรรณบุรี ราชบุรี ภาคกลางพบมากที่สุดที่สิงห์บุรี อ่างทอง ปทุมธานี ภาคใต้พบที่ สงขลา พัทลุง และนครศรีธรรมราช ตาลจึงจัดเป็นพืชเศรษฐกิจของหลายจังหวัดในประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดเพชรบุรี จังหวัดสงขลา เนื่องจากตาลเป็นพืชสารพัดประโยชน์ และสามารถให้ผลผลิตในลักษณะต่างๆ ตลอดปี ค่อนข้างสม่ำเสมอและแน่นอน จึงก่อให้เกิดวิถีชีวิตเกี่ยวข้องกับต้นตาลและใช้ภูมิปัญญาการนำตาลมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่สมัยบรรพบุรุษ จนเกิดเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัด ก่อให้เกิดอาชีพหลักและอาชีพเสริม ได้แก่ อาชีพทำน้ำตาลโตนด อาชีพการทำขนมหวานต่างๆ การเพาะเมล็ดเพื่อให้ได้จาวตาลสำหรับทำเป็นขนม โดยเฉพาะผลผลิตสดและผลิตภัณฑ์แปรรูปจากลูกตาล เช่น ลูกตาลในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง สามารถพัฒนาจนเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกต่างประเทศได้อีกด้วย (เกสร สว่างพนาพันธุ์, 2555)

ลูกตาลอ่อนเป็นผลผลิตที่ได้จากต้นตาลโตนด ในประเทศไทยมีแหล่งปลูกอยู่ในหลายจังหวัด ได้แก่ สงขลา เพชรบุรี นครศรีธรรมราช นครปฐม สุพรรณบุรี ชัยนาท พิษณุโลก และบุรีรัมย์ มีปริมาณผลผลิตตลอดปี แต่จะมีมากในราวเดือนมกราคม-เดือนกุมภาพันธ์ โดยส่วนใหญ่มักบริโภคในรูปแบบเนื้อลูกตาลสด พบว่ามีการนำมาแปรรูปเพื่อจำหน่ายทางการค้าอยู่บ้าง ตัวอย่างเช่น ลูกตาลบรรจุกระป๋อง เครื่องดื่มผสมเนื้อลูกตาล (สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์, 2547; มณีรัตน์ ชาญชัยศิลป์, 2558) จากการตรวจเอกสารยังไม่พบการนำเนื้อลูกตาลอ่อนมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ทั้งที่เนื้อลูกตาลอ่อนจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพ มีลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ โดยมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม และยังพบว่า มีสรรพคุณทางยา เช่น ช่วยละลายเสมหะ บรรเทาอาการไอ แก้กระหาย และแก้ร้อนใน (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2543) นอกจากนี้เนื้อลูกตาลยังมีองค์ประกอบของวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น วิตามินซี แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2543) รวมทั้งมีรายงานว่าเนื้อลูกตาลจัดเป็นส่วนของพืชที่มีปริมาณสารสำคัญที่มีสมบัติเป็นพรีไบโอติกในระดับสูง โดยมีองค์ประกอบของ Indigestible Polysaccharides ที่มีสมบัติเป็นพรีไบโอติกในปริมาณ 334.87 mg/g dry extract (Thammarutwasik et al., 2007) ดังนั้นเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับการเติบโตของธุรกิจอาหารเพื่อสุขภาพ ความต้องการของผู้บริโภค และเป็นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตร โดยการแปรรูปให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ จึงมีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพชนิดใหม่จากเนื้อลูกตาลอ่อน อย่างไรก็ตามเนื่องจากลูกตาลอ่อนมีอายุการเก็บสั้น สามารถเน่าเสียง่ายระหว่างการรอจำหน่าย โดยมีอายุการเก็บประมาณ 1-2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากมีน้ำในวัตถุดิบสูง จัดเป็นอาหารประเภทเสื่อมเสียง่าย (Perishable Food) (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2534)

อาหารเพื่อสุขภาพได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการวิจัย และเชิงพาณิชย์ มีรายงานว่ามูลค่าทางการตลาดสำหรับอาหารเพื่อสุขภาพในประเทศไทยคิดเป็น 8,000-10,800 ล้านบาทในปี 2555 ทั้งนี้เนื่องจากผู้บริโภคมีความใส่ใจในเรื่องสุขภาพ ต้องการลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง เบาหวาน และโรคหัวใจ รวมถึงต้องการสร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย (สถาบันอาหาร, 2552; ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2555) ดังนั้นเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับการเติบโตของธุรกิจอาหาร ความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรโดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง ให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีอายุการเก็บรักษานาน งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากลูกตาลอ่อน คือ ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่เป็นอาหารเพื่อสุขภาพมูลค่าสูง โดยมีแนวคิดผลิตภัณฑ์ คือ เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทกึ่งแห้งที่พร้อมรับประทานได้ทันที (Ready to eat) โดยพยายามคงลักษณะกลิ่นรสและรสชาติของลูกตาลให้มากที่สุด มีสีไม่ดำคล้ำ เก็บรักษาได้นานและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีการเสริมวิตามินซี ธาตุแคลเซียม นอกจากนี้ชนิดของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิสจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง โดยปกติการออสโมซิสมักใช้น้ำตาลซูโครส เนื่องจากมีราคาถูกหาได้ง่าย และส่งเสริมให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดี แต่ในการแปรรูปอาหารเพื่อสุขภาพ มักหลีกเลี่ยงการใช้น้ำตาลซูโครสในปริมาณสูง ในงานวิจัยนี้มีขอบเขตการศึกษาการใช้น้ำตาลชนิดอื่น ได้แก่ น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (Oligofructose) ซึ่งมีสมบัติเป็นพรีไบโอติก และให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส 50% และมีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลซูโครสประมาณ 35% (อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ, 2539) และมีการใช้น้ำตาลมะพร้าว ซึ่งเป็นน้ำตาลจากธรรมชาติ มีรายงานว่าน้ำตาลมะพร้าว มีองค์ประกอบหลัก คือ น้ำตาลซูโครสประมาณ 68-81 กรัม/100 กรัม และมีองค์ประกอบของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสประมาณ 3-7 กรัม/100 กรัม (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์, 2551; Apriyantono et al., 2002) นอกจากนี้ดัชนีการดูดซับน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวต่ำกว่าน้ำตาลซูโครสซึ่งจะถูกย่อยและถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ช้ากว่าน้ำตาลซูโครส โดยน้ำตาลมะพร้าวมีดัชนีการดูดซับน้ำตาลเท่ากับ 35 และน้ำตาลซูโครสมีดัชนีการดูดซับน้ำตาลเท่ากับ 58-65 (ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์, 2557) รวมทั้งน้ำตาลมะพร้าวยังมีองค์ประกอบของแร่ธาตุพวกแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์, 2551) การใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในการออสโมซิส พบข้อจำกัดในการถ่ายเมมวลสาร เนื่องจากโอลิโกฟรุกโตสเป็นน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง การนำมาใช้เป็นสารละลายออสโมติก จึงทำให้อัตราการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นผลไม้ต่ำ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่า การใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสความเข้มข้น 60% ในการออสโมซิสแอปเปิ้ลร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส ทำให้สามารถลดความชื้นของแอปเปิ้ลได้มากกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศอย่างเดียวประมาณ 10% (Matusek et al., 2008; Fito et al., 2001) รายงานว่า การแช่ชิ้นผักผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่เสริมสาร PAC ในสภาวะสุญญากาศ ทำให้เร่งอัตราการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่าการแช่ชิ้นชิ้นผักผลไม้แบบดั้งเดิมซึ่งการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศทำได้โดย แช่ชิ้นผักผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกแล้วให้สภาวะสุญญากาศในภาชนะปิดสนิทเป็นระยะหนึ่ง หลังจากนั้นจะปล่อยให้กลับคืนความดันบรรยากาศ โดยจะช่วยให้สารละลายแพร่ผ่านเข้าสู่โครงสร้างของชิ้นผักผลไม้ได้ดีมากขึ้น

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์การอาหาร เลือกกรรมวิธีการแปรรูปที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากหรือใช้เทคโนโลยีชั้นสูง ราคาแพง และให้ความสำคัญกับการสามารถนำมาใช้

งานได้จริงกับชุมชนและเป็นประโยชน์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับลูกตาลอ่อน ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์ อาจนำไปจำหน่ายในรูปของฝาก ซึ่งสนับสนุนการพัฒนาการท่องเที่ยว เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจของท้องถิ่น ทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็งมากขึ้น ได้เป็นอาหารสุขภาพที่เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคทั่วไปได้ และอาจปรับใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกต่อไป

วัตถุประสงค์

1) ศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าวกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส

2) ศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมและวิตามินซีร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

3) เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

4) ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

5) ถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งให้เป็นอาหารสุขภาพมูลค่าสูง ขอบเขตโครงการวิจัยครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนากรรมวิธีการผลิต การตรวจสอบคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน โดยแบ่งงานเป็น 5 ตอน ดังนี้คือ ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าวกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส โดยแปรสิ่งทดลองดังนี้คือ น้ำเชื่อมที่เตรียมจาก 1) น้ำตาลมะพร้าวอย่างเดียว 2) น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว 3) สารละลายผสมของน้ำตาลมะพร้าวและโอลิโกฟรุกโตสในอัตราส่วนต่างๆ ตอนที่ 2 การศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมและวิตามินซีร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส เป็นการกระตุ้นสภาวะการออสโมซิสโดยการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศในระยะเวลาสั้นๆก่อนการแช่ในสภาวะสุญญากาศ โดยเติมธาตุแคลเซียมในรูปแคลเซียมแลคเตท และเติมวิตามินซีในรูปกรดแอสคอร์บิกในสารละลายออสโมติก ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส ในขั้นตอนนี้เป็นการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของลูกตาลหลังการออสโมซิสให้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง และเปรียบเทียบคุณภาพกับลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ตอนที่ 4 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา เป็นการติดตามตรวจสอบคุณภาพลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้ซึ่งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 $^{\circ}$C) และอุณหภูมิตู้เย็น (4±1 $^{\circ}$C) ซึ่งเป็นการเลียนแบบสภาวะจริงของการจำหน่าย และตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน โดยการจัดทำเอกสารเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ชุมชน

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ลูกตาลอ่อน

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลูกตาลอ่อน (Palmyra) เป็นผลผลิตที่ได้จากต้นตาลโตนด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifera* เป็นพืชยืนต้นขนาดกลาง ตาลโตนดหรือตาลเป็นพืชในตระกูล Palmaceae พวกเดียวกับมะพร้าว จาก ชิด สละ สาคู ระกำ และอินทผาลัม (ปิฏฐะ บุนนาค, 2524) ตาลที่พบทั่วไปในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 พันธุ์ คือ ตาลไข่ และตาลหม้อ ซึ่งทั้งสองพันธุ์มีลักษณะต้นทั่วไปเหมือนกัน จะแตกต่างกันที่ลักษณะผลเท่านั้น (อุดม ลคหวั่น, 2528) ต้นตาลจะมีลำต้นสูงคล้ายต้นมะพร้าว เปลือกลำต้นขรุขระเป็นวงซ้อนกัน เนื่องจากรอยใบที่เคยเกาะติดกับลำต้นซึ่งมีสีคล้ำคล้ายขี้เถ้า ต้นตาลที่เจริญตามปกติจะมีกลุ่มใบอยู่ใกล้ยอด ใบมีลักษณะคล้ายพัด สีเขียวเข้ม มีก้านใบเรียกว่าทางใบหรือทางตาล ลักษณะหนาและโค้งเล็กน้อย ขอบทั้งสองข้างของทางใบมีหนามแหลมขนาดไม่สม่ำเสมอ ต้นตาลเป็นพืชที่มีดอกแบบไม่สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้และตัวเมียแยกกันอยู่คนละต้นจึงเรียกตาลต้นผู้และตาลต้นเมียตามชนิดของดอกที่เกิด ช่อดอกจะแทงออกมาจากต้นระหว่างกาบใบมีลักษณะคล้ายงวง จึงเรียกว่า “งวงตาล” ตาลต้นเมียจะมีงวงขนาดใหญ่ ชุ่มน้ำหวานมากกว่างวงจากต้นผู้และเป็นส่วนที่จะติดผล แต่ละต้นจะมี 4-5 งวง และเมื่องวงติดผลแล้วจะเรียกชื่อว่า “ทลายผล” แต่ละทลายจะมีผล 15-30 ผล

ผลตาลจะมีลักษณะเป็นผลรวม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ผลของตาลไข่มีขนาดเล็กกว่าตาลหม้อเล็กน้อย ผลอ่อนทั้งสองพันธุ์มีเปลือกสีเขียวอ่อนเมื่อสุกตาลไข่จะมีสีเหลือง ส่วนตาลหม้อจะมีเปลือกด้านข้างผลจนไปถึงขั้วเป็นสีดำ ส่วนบริเวณก้นจะมีสีเหลือง (อุดม ลคหวั่น, 2528) ลักษณะของผลตาลแสดงดังภาพที่ 2-1

ภาพที่ 2-1 ลักษณะของผลตาล
ที่มา : เดชา ศิริภัทร (ม.ป.ป.)

ภายในผลตาลจะมีเมล็ด 3-4 เมล็ด แต่โดยทั่วไป มี 3 เมล็ด ซึ่งเมล็ดนี้อาจเรียกว่าลูกตาล จะฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อชั้น Mescsocarp หากอายุผลตาลอยู่ในช่วงประมาณ 75-80 วัน เมล็ดภายในจะยังมีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม ใสเหมือนวุ้น มีน้ำขังอยู่ข้างใน รสหวานหอม ซึ่งจัดเป็นส่วนของ Gelatinous endosperm ซึ่งเรียกว่าลูกตาลอ่อน แต่หากผลตาลสุกเนื้อเยื่อเหล่านี้จะอ่อนนุ่ม และมีสีเหลืองสดใส มีกลิ่นหอม (นฤมล เหลืองนภา, 2533; สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์, 2547) ลักษณะของลูกตาลอ่อนแสดงดังภาพที่ 2-2

ภาพที่ 2-2 ลักษณะของลูกตาลอ่อน
ที่มา : สมเกียรติ ขันอ่อน (2552)

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการ

ลูกตาลอ่อนอุดมไปด้วยสารอาหารต่างๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามินซี วิตามินบี 1 วิตามินบี-2 วิตามินบี-3 แคลเซียม และฟอสฟอรัส (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2543) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-1 นอกจากนี้มีรายงานของ Thammarutwasik et al. (2007) ที่ศึกษาสมบัติในการเป็นพรีไบโอติกในพืชที่พบในประเทศไทยทั้งหมด 14 ชนิด คือ กล้วย กระเจี๊ยบเขียว ขนุน ข้าว เงาะ ปาล์ม จำปาดะ มันสีส้ม ทุเรียน มะขาม มะพร้าวอ่อน ลูกก่อ ลูกตาลอ่อน และมะม่วงสุก พบว่า ส่วนของพืชที่มีปริมาณ Indigestible polysaccharides สูงที่สุด 10 อันดับแรก แสดงดังตารางที่ 2-2 โดยเนื้อลูกตาล (Flesh) มีปริมาณ Indigestible polysaccharides เท่ากับ 334.87 mg/g ซึ่งจัดอยู่ในลำดับที่ 10 ทั้งนี้ส่วน Pericarp (เปลือก) และEmbyo (จาวตาล) มีส่วนของ Indigestible polysaccharides เท่ากับ 705.80 mg/g และ 409.85 mg/g นอกจากนี้พบว่า ลูกตาลมีสรรพคุณในการช่วยละลายเสมหะที่มีในลำคอ และช่วยบรรเทาอาการไอ แก้กระหาย ตลอดจนช่วยลดความร้อนภายในร่างกาย (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2543)

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางอาหารของลูกตาลอ่อนในสัดส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	
พลังงาน	47	แคลอรี่
คาร์โบไฮเดรต	9.0	กรัม
เส้นใย	0.5	มิลลิกรัม
วิตามินบี-1	0.03	มิลลิกรัม
วิตามินบี-2	0.01	มิลลิกรัม
วิตามินบี-3	0.5	มิลลิกรัม
วิตามินซี	2.0	มิลลิกรัม
ไขมัน	1.0	กรัม
โปรตีน	0.5	กรัม
แคลเซียม	6.0	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	20	มิลลิกรัม
เหล็ก	1.7	มิลลิกรัม

ที่มา : กระยาทิพย์ เรือนใจ (2543)

ตารางที่ 2-2 ปริมาณ Indigestible polysaccharides ที่สกัดได้

Rank	Plant	Part	Solvent	Extract yield (% dry weight)	Indigestible polysaccharide (mg/g dry extract)
1	Palm fruit	Pericarp	Et 95%	51.69	705.80
2	Jack fruit	Skin	Et 95%	71.54	689.08
3	Jack fruit	Flesh	Et 95%	59.43	605.76
4	Rambutan	Flesh	Et 50%	55.73	566.83
5	Jampadah	Flesh	Et 95%	34.11	542.56
6	Young coconut	Flesh	CW	22.66	513.87
7	Okra	Pod	Et 50%	12.39	460.73
8	Palm fruit	Embryo	Et 50%	26.54	409.85
9	Jack fruit	Seed	Et 50%	16.00	403.44
10	Palm fruit	Flesh	Et 50%	44.94	334.87

Et = ethanaol , CW = Cold water

ที่มา : Thammarutwasik et al. (2007)

2.2 ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง

จากการตรวจเอกสารมีการให้ความหมายของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งจากหลายแหล่งดังนี้

ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ (2528) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food) คือผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.90

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก (2532) กล่าวว่า โดยทั่วไปอาหารประกอบด้วยความชื้นประมาณร้อยละ 20-50% โดยน้ำหนัก และมีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.95-1.0 อาหารที่ลดปริมาณน้ำให้ลดลงจนเหลือความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% และมีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.80-0.85 จะเรียกว่า อาหารกึ่งแห้ง

ไพโรจน์ วิริยจารี (2539) กล่าวว่า อาหารทั่วไปจะประกอบด้วยความชื้นประมาณ 20-50% โดยน้ำหนัก และมีค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (a_w) ในช่วง 0.95-1.00 อาหารที่ลดค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.65-0.85 และมีความชื้นประมาณ 10-14% จะเรียกว่า อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food : IMF)

ชมภู่ ยิ้มโต (2550) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้งหมายถึง อาหารที่สามารถบริโภคได้โดยไม่ต้องนำไปคืนตัวมีความคงตัวโดยไม่ต้องนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำหรือฆ่าเชื้อด้วยความร้อน มีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.6-0.9 เช่น เจลลี ผลไม้แห้ง แยม น้ำผึ้ง ขนมเค้ก และไส้กรอกแห้ง เป็นต้นอาหารกึ่งแห้งอาศัยหลักการทำให้ค่า a_w ต่ำลงโดยการเติมตัวถูกละลาย เช่น กลูโคส ซูโครส เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

2.3 การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การออสโมซิสเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถดึงน้ำออกจากอาหารได้นิยมทำในผักและผลไม้ดำเนินการโดยการแช่ผักและผลไม้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งนิยมใช้น้ำตาลหรือเกลือ การออสโมซิสมีประโยชน์ในด้านช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร เพื่อทำให้กระบวนการผลิตสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น การออสโมซิสก่อนการทำแห้งและแช่แข็ง เป็นต้น

2.3.1 การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส (Torreggiani, 1993)

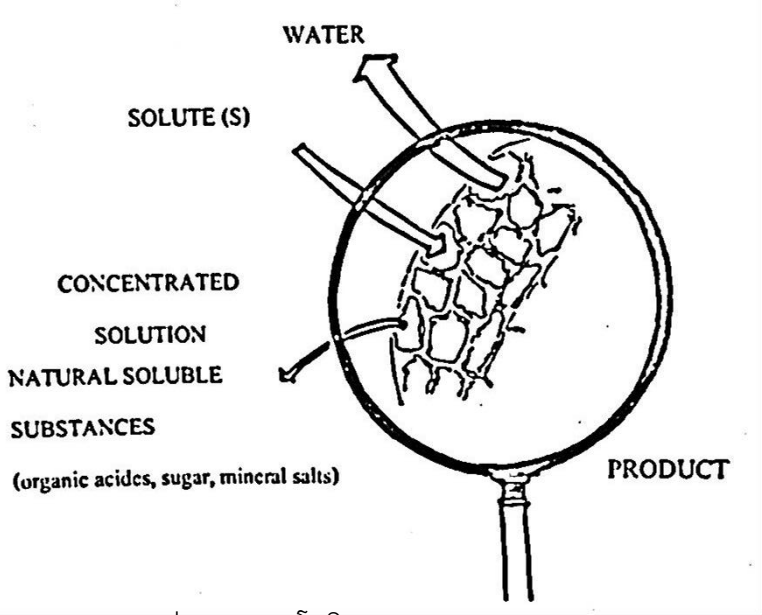
หลักการพื้นฐานของการออสโมซิส เกี่ยวข้องกับเซลล์พืชผักและผลไม้ที่ถูกแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จึงทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนน้ำให้ออกจากชิ้นอาหาร เนื่องจากแรงดันออสโมติกสูงในสารละลายออสโมติก โดยเซลล์ของอาหารทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านที่เรียกว่า Semi-permeable membrane ซึ่งตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจะเคลื่อนเข้าไปในชิ้นอาหาร จึงนิยามว่าการออสโมซิสเป็นการถ่ายเทมวลสารแบบสวนทางกัน โดยน้ำที่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ชิ้นอาหารในลักษณะสวนทางกันและจะเกิดสภาวะเช่นนี้จนเข้าสู่สมดุลของสารละลายทั้งสอง นอกจากนี้สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์โดยธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือจะแพร่ออกนอกเซลล์ด้วย เป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน (Counter-current tranfer) ดังนี้คือ

1) น้ำภายในเซลล์ของผักและผลไม้ จะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก

2) ขณะเดียวกันตัวถูกละลายที่อยู่ภายนอก เช่น น้ำตาลหรือเกลือจะแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้หรือเนื้อผักผลไม้

3) สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ (Natural soluble substance) เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล และเกลือแร่ เป็นต้น จะแพร่ออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก

เซลล์ของผักผลไม้ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านจะยอมให้น้ำแพร่มากกว่าตัวถูกละลาย เนื่องจากตัวถูกละลายมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลน้ำ ดังนั้นน้ำจะแพร่ออกจากเซลล์ผลไม้ได้มากกว่าการแพร่ของตัวถูกละลายภายนอกเข้าไปในเนื้อผักผลไม้โดยที่ตัวถูกละลายภายนอกจะแพร่กระจายเข้าไปในผักผลไม้ได้เฉพาะบริเวณขอบๆ และส่วนใหญ่จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ การถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายนี้ จะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุลมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักและผลไม้ และสารละลายภายนอกที่สภาวะสมดุล อัตราการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายมีค่าคงที่ มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้และสารละลายคงที่ด้วย การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสแสดงได้ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส
ที่มา : Torreggiani (1993)

2.3.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการออสโมซิส

ข้อดี

- วัตถุดิบหลังการออสโมซิส หากต้องนำมาอบแห้งต่อไม่จำเป็นต้องอบแห้งที่อุณหภูมิสูง
- ช่วยรักษากลิ่นรสของวัตถุดิบได้ดีกว่าการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน
- การใช้ความเข้มข้นของสารละลายสูง จะสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีสันสวยงาม

- การแพร่ผ่านของน้ำตาลจะทำให้มีรสชาติของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นเหมาะสำหรับเป็นอาหารขบเคี้ยว หรือ อาหารว่าง

-ช่วยลดพลังงานในการทำแห้งลง เนื่องจากมีการดึงน้ำออกจากชิ้นอาหารก่อนการทำแห้งบางส่วน

ข้อจำกัด

-ทำให้กรดที่มีอยู่ในผลไม้ลดปริมาณลง ดังนั้นควรมีการเติมกรดผสมลงไปในสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส

-น้ำตาลทำให้เกิดปัญหาเป็นฟิล์มบางส่วนบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ สามารถแก้ไขโดยการล้างในน้ำอย่างรวดเร็ว ภายหลังการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

-ผลของน้ำตาลที่ใช้อาจทำให้เกิดกลิ่นอับหรือกลิ่นหืนได้เมื่อเก็บรักษาไว้โดยใช้สภาวะสุญญากาศ แต่จะมีราคาถูกกว่าการทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง

-การจัดการสารละลายออสโมติกที่ใช้แล้วโดยนำสารละลายไปปรับความเข้มข้นแล้วนำกลับมาใช้ใหม่แต่มีข้อจำกัดคือ เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งกระบวนการสูงและการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องมีข้อจำกัดคือ ทำให้สารละลายเกิดการเจือจางและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์หรืออาจนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร เช่น สารให้สี สารให้กลิ่นรสกับอาหาร

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2553; ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2522; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549; วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535; Mavrovdis et al., 1998)

1) ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุก

ผลไม้บางชนิดสามารถทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสได้เร็ว บางชนิดทำได้ช้า เนื่องจากการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์ ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์มีอัตราในการทำแห้งต่างกัน นอกจากนี้ความสุกยังมีผลด้วย ผลไม้ที่สุกจะทำแห้งได้เร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่ถ้าสุกเกินไปจะเละไม่น่ารับประทาน

2) ชนิดของสารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายน้ำตาล และน้ำเกลือ นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส มอลโตส รวมทั้งน้ำเชื่อมข้าวโพด โดยสารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผักผลไม้ได้แก่ น้ำเชื่อมซูโครส น้ำตาลแลคโตสผสมกับน้ำตาลซูโครส สารละลายออสโมติกที่ใช้อาจมีการเติมสารอื่นๆลงไปด้วยเช่น กรดซิตริก เกลือซัลไฟต์ แคลเซียมคลอไรด์ สารออสโมติกที่ใช้ต้องมีค่า a_w ต่ำ มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ โดยควรมีสมบัติที่เหมาะสมโดยต้องไม่ทำให้ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป มีราคาต่อหน่วยถูก ไม่ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นมาก รวมถึงสารละลายที่ใช้ควรมีน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสม การใช้สารละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมากจะทำให้มีแรงดันออสโมติกสูงในการแพร่เข้าในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำตาลกลูโคสมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงมีแรงดันสูงกว่าน้ำตาลซูโครสที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า จึงทำให้มีปริมาณน้ำตาลแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อได้มาก ซึ่งอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสกระด้างขึ้น

3) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้มีความสำคัญมาก เพราะอาจมีส่วนช่วยในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยมีผลต่อค่า a_w ถ้าความเข้มข้นยิ่งมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะมากเป็นผลทำให้อัตราการออสโมซิสเร็วขึ้นด้วย ความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าสูงสุดค่าหนึ่งซึ่งเมื่อเลยค่านี้ไปแล้วจะไม่มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงกว่า 65% จะไม่สามารถเพิ่มความสามารถในการแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ได้ สารละลายชนิดเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจะทำให้น้ำแพร่ออกได้เร็วขึ้น แต่ในขณะเดียวกันน้ำตาลที่แพร่เข้าไปในผลไม้ได้มากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเป็นข้อดีอันหนึ่งของวิธีการออสโมซิสนี้คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่หวานจนเกินไป

4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิในการออสโมซิสก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกประการหนึ่ง เพราะว่ามีผลต่ออัตราการออสโมซิส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงไปจะทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป กล่าวคือทำให้เยื่อหุ้มอ่อนตัวลงจึงมีผลทำให้ความแน่นของผลไม้เปลี่ยนไปด้วยทำให้การแพร่ผ่านดีกว่าและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ จึงเกิดการพัฒนาการออสโมซิส โดยใช้อุณหภูมิสูง เวลาสั้น ที่เรียกว่า Hight Temperature Short Osmosis (HTST osmosis)

5) อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกและผักผลไม้

การใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายออสโมติก ถ้าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำแพร่ออกได้เร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่แพร่ออกมาไม่ค่อยมีผลให้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดลง ในกรณีที่น้ำเชื่อมมีความเข้มข้นมากมีผลให้แรงขับ (Driving force) ที่หมายถึง ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์และภายนอกสูงอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำเชื่อมปริมาณมากจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและมีปัญหาในการขจัดน้ำตาลภายหลังการออสโมซิสด้วย

6) การคนหรือกวน

ในขณะที่เกิดการออสโมซิสความเข้มข้นบริเวณรอบๆชิ้นอาหารจะลดลง เนื่องจากน้ำภายในชิ้นอาหารจะแพร่ผ่านออกมา ทำให้ประสิทธิภาพการออสโมซิสต่ำลงไปด้วย ดังนั้น การคนหรือกวนจะช่วยทำให้เกิดการกระจายความเข้มข้นโดยทำให้สารละลายที่เข้มข้นมากกว่าไหลมาแทนที่สารละลายที่เจือจางกว่าทำให้การออสโมซิสดีขึ้นด้วย

7) รูปร่างและขนาดของผลไม้

รูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะแพร่ออกมาได้เร็วขึ้น เนื่องจากตัวถูกละลายสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวของผักผลไมได้มากขึ้น ถ้าผักผลไม้มีชิ้นใหญ่น้ำจะแพร่ออกได้น้อย หรือถ้ามีรูปร่างกลมน้ำจะแพร่ออกได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากทั้งสองกรณีมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อย นอกจากนี้ความเป็นรูพรุนของตัวอย่างยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียน้ำ ผลไม้ที่มีขนาดรูพรุนสูงมักมีค่าการสูญเสียน้ำสูงแต่ความเป็นรูพรุนไม่สามารถอธิบายการเพิ่มของของแข็งทั้งหมดได้ เนื่องจากมีผลกระทบจากการหดตัวและขนาดโมเลกุลของสารละลายเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

2.4 การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

การประยุกต์ในสภาวะสุญญากาศในกระบวนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส แบ่งเป็น 2 แบบ คือ การดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในสภาวะความดันสุญญากาศ (Vacuum Osmotic Dehydration; VOD) และการใช้สภาวะความดันสุญญากาศแบบจังหวะ (Pulse Vacuum Osmotic Dehydration; PVOD) ทำได้โดยการแช่ชิ้นอาหารในสารละลายออสโมติกแล้วให้สภาวะสุญญากาศในภาชนะปิดสนิท ซึ่งเรียกว่า Vacuum Impregnation (VI) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ประยุกต์ใช้แรงขับเคลื่อนในการแพร่ของน้ำตามกลไกที่เรียกว่า (Hydrodynamic Mechanism (HDM) จากเนื้อเยื่อของชิ้นอาหารไปสู่ที่มีแรงดันออสโมซิสที่สูงกว่าการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านแบบปกติ การใช้สภาวะสุญญากาศกนี้ทำได้โดยการลดความดันลง จนทำให้เกิดสภาวะความดันสุญญากาศในภาชนะที่ปิดสนิท เมื่อเริ่มต้นกระบวนการเป็นระยะหนึ่ง หลังจากนั้นจะปล่อยให้กลับคืนความดันบรรยากาศ ในขณะที่ให้ความดันสุญญากาศ อากาศที่อยู่ในโครงสร้างของอาหารจะมีปริมาณลดน้อยลง เนื่องจากอากาศถูกบีบอัดจากความดันสุญญากาศ ทำให้อากาศเกิดการแผ่ขยายและเคลื่อนที่ออกนอกเนื้อเยื่ออาหาร หลังจากนั้นเมื่อความดันกลับสู่ความดันบรรยากาศ สารละลายออสโมติกจะแพร่เข้าภายในโครงสร้างของชิ้นอาหาร เนื่องจากอากาศที่เหลือจากการถูกบีบอัดจะเป็นตัวทำละลายเข้าสู่เซลล์ทางช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้การเคลื่อนย้ายมวลสารต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้ปริมาณของตัวถูกละลายที่เข้าสู่ชิ้นอาหารมีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่ชิ้นอาหารแบบดั้งเดิม

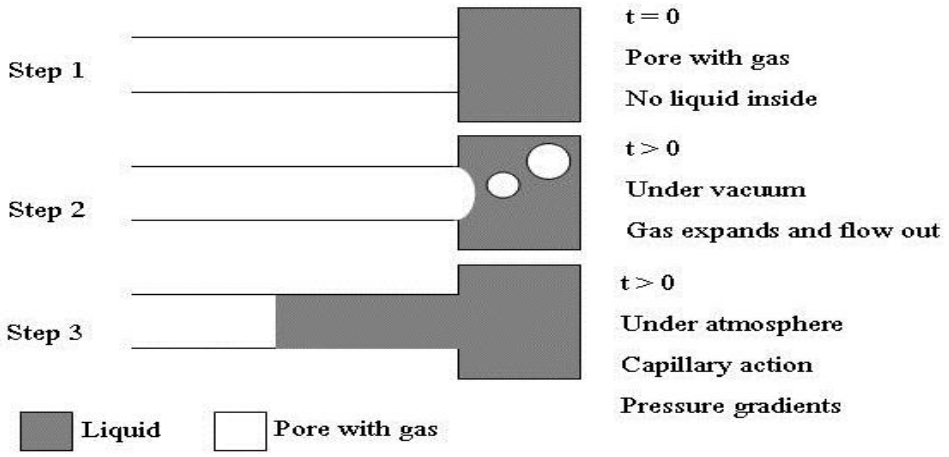
Fito et al. (1995) ได้รวบรวมเกี่ยวกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศและอธิบายว่าในระหว่างการแช่ที่สภาวะดังกล่าวจะเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เรียกว่า Hydrodynamic Mechanism (HDM) โดยมีการเปลี่ยนแปลงแต่ละขั้นตอนดังนี้

1) เมื่อ t=0 เป็นขั้นตอนที่เริ่มมีการแช่ชิ้นผักผลไม้ลงในสารละลายออสโมติก ยังไม่มีการเคลื่อนที่ของอากาศออกสู่สารละลายภายนอกหรือสารละลายออสโมติกและยังไม่มีการเคลื่อนที่ของสารละลายออสโมติกเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์

2) เมื่อเวลาผ่านไปในสภาวะสุญญากาศ t>o อากาศจากช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกสู่สารละลายภายนอกหรือสารละลายออสติก อีกทั้งยังเกิดการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ด้วย

3) เมื่อสิ้นสุดการใช้สภาวะสุญญากาศ และแช่ชิ้นผักผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศ t>o สารละลายจะแพร่ผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยจะเข้ามาแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกไปเป็นผลให้ตัวถูกละลายแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้ และในขณะเดียวกันน้ำในชิ้นผักผลไม้ก็จะสามารถแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติกได้เช่นกัน

กลไก Hydrodynamic Machanism ในระหว่างการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศแสดงได้ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 กลไก Hydrodinamic machanism (HDM)
ที่มา : ดัดแปลงจาก Fito et al., (1995)

2.5 สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย หรือ Physiologically Active Compound (PAC) หรือ Functional ingredients เป็นสารประกอบในอาหาร ทำหน้าที่ในการป้องกัน บำบัด ลดอาการเกิดโรค รักษาโรคเรื้อรัง เช่นโรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น หรือปรับปรุงภูมิคุ้มกันของร่างกาย สาร PAC พบได้ตามธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ ซึ่งความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ (Active compounds) ขึ้นอยู่กับ ชนิด พันธุ์ นอกจากนี้สภาวะแวดล้อม เช่น การเก็บรักษา แสง กระบวนการแปรรูปมีผลต่อคุณภาพของสารออกฤทธิ์ (Bioavilability) ของสาร PAC ต่างๆในอาหาร (Herring & Albrecht, 2005)

สำหรับงานวิจัยนี้มีการเติมสาร PAC ลงในสารละลายออสโมติก ได้แก่ ธาตุแคลเซียมและวิตามินซี ซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ร่างกายต้องการและขาดไม่ได้ โดยมีรายละเอียดการมีบทบาทที่สำคัญต่ออาหารเพื่อสุขภาพดังนี้

2.5.1 แคลเซียม

แร่ธาตุหรือเกลือแร่เป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการเสริมสร้างความเจริญเติบโตและความแข็งแรงของร่างกายและยังช่วยให้การทำงานของระบบต่างๆภายในร่างกายของมนุษย์มีการทำงานที่เป็นปกติอีกด้วย ซึ่งมีหน้าที่ในการทำงานและความจำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ที่แตกต่างกันออกไป (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2543) แร่ธาตุมีความสำคัญต่อร่างกาย หากขาดแร่ธาตุหรือได้แร่ธาตุไม่เพียงพอจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของร่างกายอย่างช้าๆ จนถึงระดับวิกฤตจึงจะปรากฏอาการ (วันทนีย์ เกรียงสินยศ, 2549) ประเทศที่พัฒนาแล้วจะไม่ค่อยพบการขาดแร่ธาตุ ยกเว้นคนบางกลุ่มที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคความผิดปกติของเมตาบอลิซึม การรับประทานอาหารแปลกๆตามความเชื่อ โรคตับเรื้อรัง การผ่าตัดลำไส้หรือการรับประทานยาบางชนิดเป็นเวลานาน เป็นต้น ส่วนในประเทศที่กำลังพัฒนาหรือด้อยพัฒนา พบว่ามีคนเป็นโรคขาด

โปรตีนและพลังงาน ขาดวิตามินและแร่ธาตุเป็นจำนวนมาก (ประสงค์ เทียนบุญ, 2549) โดย แร่ธาตุที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มักเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ได้แก่ แคลเซียม (อังคณา ทองพูล, 2552)

แคลเซียม (Calcium) เป็นแร่ธาตุที่มีมากที่สุดในร่างกาย คือ ประมาณ 2% ของน้ำหนักตัวผู้ใหญ่ พบมากในอาหารพวกเนื้อ นม ถั่ว น้ำเต้าหู้ เมล็ดพืช ข้าวกล้อง และผลไม้แห้ง แคลเซียมมีหน้าที่เป็นส่วนประกอบหลักของโครงร่าง คือ 99% อยู่ในกระดูก ฟัน และช่วยรักษาหน้าที่ทางชีวภาพของกล้ามเนื้อประสาท สร้างความเจริญเติบโตในเด็ก กระตุ้นเลือดให้เป็นลิ่ม และกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยและเอนไซม์หลายชนิด แคลเซียมทำงานร่วมกับฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมเสมอ ร่างกายต้องการแคลเซียมมากในช่วงอายุ 1-25 ปี ระหว่างตั้งครรภ์ หมดประจำเดือน เป็นต้น การขาดแคลเซียมในเด็กจะทำให้เป็นโรคกระดูกอ่อน ในผู้ใหญ่อาจเป็นโรคกระดูกบาง พรุนและเปราะง่าย (ศิริวรรณ สุทธจิตต์, 2548) ดังนั้นปริมาณแคลซียมที่ร่างกายต้องการจึงแตกต่างกันไปตามช่วงอายุ (สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสุขภาพ, 2554) แสดงดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายควรได้รับ

อายุ	ปริมาณที่ควรได้รับ (มิลลิกรัม/วัน)
เด็ก (1-10 ปี)	800-1,000
วัยรุ่น (11-25 ปี)	1,000
ผู้ใหญ่	1,000
หญิงตั้งครรภ์	1,000
หญิงให้นมบุตร	1,500-2,000
ผู้ป่วยกระดูกหัก	1,500

2.5.2 วิตามินซี

วิตามินซีเป็นสารอาหารที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของอวัยวะในร่างกาย ควบคุมระบบประสาทของมนุษย์ ทำให้ร่างกายมีการเจริญเติบโต และทำให้มนุษย์มีความสามารถในการต้านทานโรคร้ายต่างๆ เป็นต้น และถึงแม้ว่าวิตามินเป็นสารอาหารที่ร่างกายของมนุษย์มีความต้องการน้อยมากเมื่อเทียบกับสารอาหารประเภทอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม มนุษย์ไม่สามารถที่จะขาดสารอาหารจำพวกวิตามินได้ ดังนั้น มนุษย์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับวิตามินชนิดต่างๆในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายในแต่ละวัน โดยไม่มากหรือน้อยเกินไป เพราะถ้ามนุษย์ได้รับวิตามินในปริมาณที่มากเกินไปแล้วก็อาจจะทำให้เกิดการสะสมขึ้นมาภายในร่างกายจนกระทั่งเกิดเป็นโทษต่อร่างกายขึ้นได้ โดยวิตามินที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มักเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ได้แก่ วิตามินซี (อังคนา ทองพูล, 2552)

วิตามินซี เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย หากร่างกายขาดวิตามินซี จะทำให้เกิดผลร้ายขึ้นกับร่างกายของมนุษย์ได้อย่างมากมายหลายประการ ได้แก่ อาการเหนื่อยหอบได้ง่าย เบื่ออาหาร เหงือกบวมแดงอักเสบ แผลหายช้า และภูมิคุ้มกันโรคต่ำ วิตามินซี พบมากใน ผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวทุกชนิด เช่น ส้ม ฝรั่ง มะขาม มะเขือเทศ มะนาว เป็นต้น วิตามินซี มีคุณประโยชน์ ช่วยในการสังเคราะห์ คอลลาเจนที่จำเป็นในการสร้างกระดูก เส้นเอ็น และผิวหนัง ทำให้ผนังหลอดเลือดแข็งแรง

ถ้าหากได้รับวิตามินซีในปริมาณที่ไม่เพียงพอแล้วก็จะทำให้เป็นโรคลักปิดลักเปิดหรือเลือดออกตามไรฟันได้ นอกจากนี้วิตามินซียังมีหน้าที่ช่วยกระตุ้นการสะสมของธาตุเหล็กในตับ ซึ่งหากรับประทานอาหารที่มีวิตามินซี ร่วมไปกับอาหารที่มีธาตุเหล็กอยู่ด้วยแล้วจะทำให้การดูดซึมธาตุเหล็กดียิ่งขึ้น (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2543) โดยปริมาณวิตามินซีที่ร่างกายควรได้รับแตกต่างกันไปตามช่วงอายุ (ปาริชาติ สักกะทำนุ, 2540) แสดงดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ปริมาณวิตามินซีที่ร่างกายควรได้รับ

อายุ	ปริมาณที่ควรได้รับ (มิลลิกรัม/วัน)
0-12 เดือน	25
1-10 เดือน	30
11-14 ปี	35
15-60 ปี	60
หญิงตั้งครรภ์	50
หญิงให้นมบุตร	70-95

2.6 สารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกที่ใช้ในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ส่วนใหญ่จะเป็นสารละลายน้ำตาลซูโครส น้ำเกลือ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส มอลโตส รวมทั้งน้ำเชื่อมข้าวโพดด้วย (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533) สำหรับสารละลายออสโมติกที่ใช้ในการทดลองนี้เตรียมจากน้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส

2.6.1 น้ำตาลมะพร้าว

น้ำตาลมะพร้าว (Coconut sugar) หรืออาจเรียกว่าน้ำตาลปึก เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากจั่นมะพร้าวหรือช่อดอกของมะพร้าว (Coconutinflovescence) เมื่อต้นมะพร้าวมีอายุ 3-4 ปี จะมีจั่นมะพร้าวหรือช่อดอกที่สามารถเริ่มทำการเก็บน้ำตาลได้ โดยมีลักษณะเป็นของเหลวที่ได้จากการปาดจั่นมะพร้าว เรียกของเหลวนี้ว่า น้ำตาลสด โดยสามารถนำมาแปรรูปให้เป็นน้ำตาลมะพร้าวได้ มีขั้นตอนดังนี้ (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์, 2551 ; นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

1) การทำความสะอาดจั่นมะพร้าว โดยการรูดดอกออก ทำให้จั่นมะพร้าวสะอาดปราศจากแมลงที่จะทำให้น้ำตาลขุ่นเหนียวได้

2) การนวดจั่นมะพร้าว เป็นเทคนิคช่วยให้น้ำตาลสดไหลออกจากงวงได้มากขึ้น ทำได้โดยใช้น้ำตาลสดมาลูบให้ทั่วงวง เพื่อให้น้ำตาลช่วยรัดงวงให้นิ่มหรือใช้มือนวดเบาๆ จากโคนไปปลายงวง

3) การปาดจั่นมะพร้าว โดยใช้มีดปาดปลายจั่น ออก 3-4 นิ้ว และกรีดกาบหุ้มโคนจั่น แล้วใช้เชือกโน้มจั่นให้ต่ำลง แล้วแขวนกระบอกที่สะอาด เพื่อรองรับน้ำตาลสด โดยภูมิปัญญาชาวบ้านต้องมีการใส่ไม้พะยอมเพื่อเป็นสารกันเสียจากธรรมชาติ การปาดจั่นมะพร้าวมักทำในตอนเย็น แล้วปล่อยไว้หนึ่งคืน

4) การเก็บน้ำตาลสด มักเก็บในช่วงเช้า (ก่อนเวลา 9.00 น.) จะทำให้ได้น้ำตาลสดคุณภาพดี เพราะถ้าเก็บช้าน้ำตาลอาจเสียได้เนื่องจากจุลินทรีย์ (Microbial spoilage)

5) การทำให้เข้มข้น (Concentration) และขึ้นรูปเป็นก้อนนำน้ำตาลสด มากรอง (filtration) ด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำมาเคี่ยวเพื่อทำให้เข้มข้น ขณะเคี่ยวจะช้อนฟองออก เมื่อน้ำตาลเดือดฟองยุบจนไม่เหลือฟอง จะได้น้ำตาลสีเหลืองนวลสวย แล้วหยอดน้ำตาลเป็นก้อนเล็กๆ หรือเป็นปึกตามขนาดหรือรูปแบบที่ต้องการขณะที่น้ำตาลยังร้อน เมื่อน้ำตาลเย็นจะได้รูปตามที่หยอด

6) การบรรจุนำน้ำตาลปึกที่ได้เก็บบรรจุลงถุงพลาสติกปิดถุง และบรรจุกล่องพร้อมจำหน่าย

น้ำตาลมะพร้าวเป็นน้ำตาลจากธรรมชาติที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารต่างๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แคลเซียม และฟอสฟอรัส (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์, 2551) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-5 นอกจากนี้มีรายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวจาก Thampan. (1975) และกล้าณรงค์ ศรีรอต (2532) โดยพบว่ามีปริมาณความชื้นประมาณ 11 กรัม น้ำตาลซูโครส 68-72 กรัม/100 กรัม น้ำตาลรีดิวซิ่ง 6-8 กรัม/100 กรัม เพกตินและกัม 7-8 กรัม/100 กรัม และเถ้า 1-2 กรัม/100 กรัม (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์, 2551) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-5 คุณค่าทางอาหารของน้ำตาลมะพร้าวในสัดส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	
พลังงาน	383	กิโลแคลอรี่
โปรตีน	0.4	กรัม
ไขมัน	0.1	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	95	กรัม
แคลเซียม	80	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	43	มิลลิกรัม
เหล็ก	11.4	มิลลิกรัม
วิตามินบี 3	1	มิลลิกรัม

ที่มา : ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์ (2551)

ตารางที่ 2-6 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ	
	(Thampan, 1975)	(กล้าณรงค์, 2532)
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	10.92	11.40
น้ำตาลซูโครส (กรัม/100 กรัม)	68.35	72.04
น้ำตาลรีดิวซิง (กรัม/100 กรัม)	6.58	7.79
เพกตินและกัม (กรัม/100 กรัม)	8.72	7.09
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	2.19	1.13

ที่มา : ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์ (2551)

Apriyantono et al. (2002) รายงานว่า น้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22.5 45 67.5 นาที มีผลให้ปริมาณความชื้น น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาล ฟรุคโตส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไปบ้าง อย่างไรก็ตาม พบว่า น้ำตาลมะพร้าวที่มีลักษณะเป็นของแข็งซึ่งมีความชื้นไม่เกิน 1-4% จะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสอยู่ในช่วง 27-81% กลูโคสอยู่ในช่วง 2-3% ฟรุคโตสอยู่ในช่วง 1-3% แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ชนิดและปริมาณของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ในเวลาต่างๆ

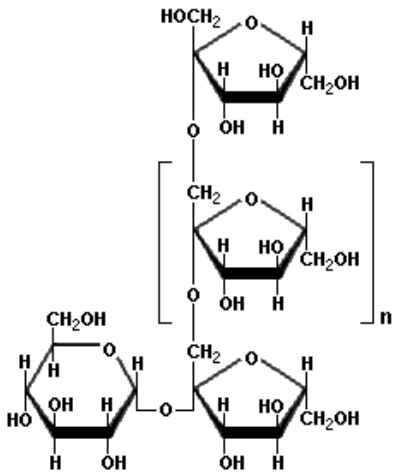
องค์ประกอบทางเคมี	เวลาในการให้ความร้อน (นาที)			
	22.5	45	67.5	90
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	4.23	5.67	7.04	1.96
น้ำตาลซูโครส (กรัม/100 กรัม)	17.87	27.34	41.95	81.23
น้ำตาลกลูโคส (กรัม/100 กรัม)	2.14	2.58	2.72	3.50
น้ำตาลฟรุคโตส (กรัม/100 กรัม)	1.20	1.75	1.82	3.60

ที่มา : Apriyantono et al. (2002)

2.6.2 น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส

โอลิโกฟรุคโตส หรือ ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรค์ จัดเป็นใยอาหารจากธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ไม่ถูกย่อยสลายและดูดซึมในลำไส้เล็ก แต่จะผ่านไปที่ลำไส้ใหญ่ และช่วยเสริมให้มีการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์สุขภาพ โพรไบโอติก ให้เกิดภาวะสมดุลในระบบทางเดินอาหาร ช่วยให้ระบบขับถ่ายดี ไม่สะสมสารพิษไว้ตามผนังลำไส้ จึงช่วยให้ร่างกายมีภูมิต้านทานดี ปัจจุบันไม่เพียงแต่ พบว่า โอลิโกฟรุกโตส สามารถเพิ่มปริมาณเชื้อโพรไบโอติกส์ที่มีคุณประโยชน์ได้จริง ยังมีงานวิจัยที่ชัดเจนว่า น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสสามารถลดการเกิดท้องเสียซ้ำในผู้ป่วยที่ท้องเสียมาแล้ว จากการติดเชื้อก่อโรคจากคลอสติเดียม (Clostridium) อีกด้วย (Lewis et al., 2005) ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรค์ (FOS) ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโตสที่เชื่อมต่อกันเพียง 2-4 หน่วย ได้แก่ 1-kestose (1-kestotriose;GF2), nystose (1,1-kestotetraose;GF3), และ 1F-β-fructofuranosylnystose (1,1,1-kestopentaose; GF4) โดย G หมายถึง น้ำตาลกลูโคส และ F หมายถึง น้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งโดยทั่วไป FOS อาจมีความความหมายเดียวกับโอลิโกฟรุคโตส และสามารถสร้างได้จากน้ำตาลซูโครสฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรค์นั้นร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยเป็นน้ำตาลสายสั้นๆได้ เนื่องจากมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-(2-1) ทำให้มีคุณสมบัติคล้ายใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fibre) ช่วยการขับถ่าย ให้พลังงานต่ำมากเพียง 1.4 Cal/g inulin ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด และมีค่า Glycemic index ต่ำ FOS ยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic) คือเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในลำไส้ของมนุษย์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น บิฟิโดแบคทีเรีย (Bifidobactiria) แลคโตบาซิลลัส (Lactobacillus) เป็นต้น ทำหน้าที่ช่วยลดจุลินทรีย์ที่ก่อโรค (Pathogenic organism) และเพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายได้อีกด้วย (Spiller, 2001)

โครงสร้างของน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแสดงดังภาพที่ 2-5 การใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในอาหารเพื่อสุขภาพเป็นแนวทางที่นิยม เนื่องจากน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสมีคุณสมบัติเป็นใยอาหารและช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายจึงส่งผลดีต่อสุขภาพ (Rao, 2001) ในปัจจุบันมีการน้ำโอลิโกฟรุคโตสมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลายเพื่อใช้เป็นสารทดแทนน้ำตาลและเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ผลิตภัณฑ์นมและเครื่องดื่ม (ศิริพร ต้นจอ และคณะ, 2553)



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส
ที่มา: นิธิยา รัตนาปนนท์ (ม.ป.ป.)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fito et al. (2001) ได้ศึกษาการใช้เทคนิค vaccum impregnation (VI) ในการเพิ่มคุณค่าทางอาหารโดยเสริมแคลเซียมและธาตุเหล็กในมะเขือยาวและเปลือกส้ม ทำได้โดยนำมะเขือยาวมาหั่นเป็นรูปทรงกระบอก ยาว 22 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. เจาะรูแกนกลางออก แล้วสไลด์เป็นแผ่นหนา 25 มม. ส่วนเปลือกส้มหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (20 mm × 20 มม.) จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปแช่ในสารละลาย sucrose, iron gluconate และ calcium gluconate โดยให้ความดันสุญญากาศไปยังสารละลายออสโมติก 50 mbar เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ยังแช่อยู่ในสารละลายออสโมติกมาให้ความดันในสภาพบรรยากาศเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดมาวิเคราะห์โครงสร้างด้วย Cryo-SEM พบว่า การเสริมแร่ธาตุแคลเซียม ธาตุเหล็กในมะเขือยาวและเปลือกส้ม เป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งในการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ เทคนิค VI สามารถควบคุมปริมาณสารละลายในโครงสร้างรูพรุนของผักผลไม้ได้ โดยสารละลายออสโมติกที่ใช้นี้มีคุณสมบัติเป็นสาร physiologically active components อีกทั้งสามารถลดค่า a_w หรือค่า pH ของผักผลไม้ และเป็น antimicrobial ทำให้สามารถรักษาความสดใหม่ของผักผลไม้ได้

Gras et al. (2003) ได้ศึกษาสมบัติทางโครงสร้างของมะเขือยาว แครอท และเห็ดนางฟ้าสำหรับการเติมแคลเซียมแลทเตทในสารละลายออสโมติก (ซูโครส) ร่วมกับการใช้เทคนิค vacuum impregnation (VI) โดยหั่นมะเขือยาวเป็นรูปทรงกระบอก (ยาว 30 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม.)

สไลด์แครอท (ความหนาต่างกัน คือ 10, 15 และ 25 มม. ยาว 10 มม. และเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม.) และเห็นนางฟ้าหั่นเป็นแบบ square (สไลด์ 20 มม. และหนา 3 มม.) นำตัวอย่างทั้งหมดไปแช่ในสารละลายซูโครส และสารละลายซูโครสที่ผสมแคลเซียมแลทเตท (33 g suc/ 20 g LCa) ซึ่งเตรียมโดยเทคนิค VI แล้วให้ความดันไปในระบบ 50 mbar เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 10 นาที แล้วมาวิเคราะห์โครงสร้างของตัวอย่างด้วย cryo-SEM พบว่า แคลเซียมมีผลต่อสมบัติเชิงกลของมะเขือยาวและแครอทเป็นอย่างมาก แม้จะให้ผลไม่แตกต่างกันเมื่อสังเกตในเห็ดนางฟ้า (ไม่มีเพคตินใน cell architecture) เมื่อดูแคลเซียมในโครงสร้างตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณแคลเซียมในส่วนของข้างในเซลล์ส่วนในแครอท พบว่า ในเซลล์และนอกเซลล์ของแครอทมีปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกัน และเห็ดนางฟ้า และตรวจพบปริมาณแคลเซียมในส่วนของช่องว่างระหว่างเส้นใย (hyphae) ของเซลล์

Barrera et al. (2004) ได้ศึกษาผลการเสริมแคลเซียมและเหล็กในชิ้นแอปเปิ้ลโดยใช้เทคนิค vacuum impregnation (VI) ต่อจลศาสตร์การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของประจุแคลเซียมและเหล็กในระหว่างออสโมซิส โดยนำแอปเปิ้ลมาสไลด์หนา 10 มม. แล้วนำมาแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 55 ^{o}Brix ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างชิ้นแอปเปิ้ลต่อสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:20 ที่มีการเติมเกลือแคลเซียมแลคเตทหรือเฟอร์รัสกลูโคเนต (ระดับในการเติม คำนวณได้จากปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน) โดยให้ความดันสุญญากาศไปยังสารละลายออสโมติก 50 mbar เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างแช่ในสารละลายออสโมติก ในสภาพบรรยากาศเป็นเวลา 0, 15, 30, 45, 60, 120 และ 180 นาที พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการใช้เทคนิค VI มีค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากอัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการใช้เทคนิค VI โดยการใช้สารละลายซูโครสที่มีการเติมเฟอร์รัสกลูโคเนตทำให้ตัวอย่างสูญเสียน้ำหนักต่ำ ส่วนการเติมแคลเซียมแลทเตททำให้ตัวอย่างมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ต่ำ โดยแคลเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินบริเวณมิลเดิลลาเมลลาของผนังเซลล์พืช จึงทำให้ตัวอย่างมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณแคลเซียมและเหล็กที่เติมในตัวอย่างมีปริมาณลดลงในระหว่างกระบวนการออสโมซิส เนื่องจากเกิดการถ่ายโอนระหว่างผลิตภัณฑ์และสารละลายออสโมติกที่ใช้ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ยังมีปริมาณมากกว่าตัวอย่างสด ดังนั้นการใช้เทคนิค VI สามารถเพิ่มแคลเซียมและเหล็กในผักผลไม้ได้ โดยคิดเป็นการเพิ่มขึ้นประมาณ 46 % และ 32 % สำหรับแคลเซียมและเหล็ก ตามลำดับ

Matusek et al. (2008) ศึกษาผลของปริมาณความชื้นในระหว่างการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ทำให้ได้โดยหั่นแอปเปิ้ลเป็นชิ้นขนาด 10x10x10 มิลลิเมตร นำมาแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 1% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา10 นาที เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล จากนั้นแบ่งตัวอย่างแอปเปิ้ลเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) การออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศโดยแช่ในสารละลายโอลิดกฟรุคโตสความเข้มข้นร้อยละ 60 ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และ 2) ทำการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศที่ 740 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 0 และ 5 นาที จากนั้นออสโมซิสที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส จนกระทั่งครบ 60 นาที พบว่า การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศร่วมด้วยสามารถลดปริมาณความชื้นเริ่มต้นได้มากกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ

คิดเป็นร้อยละ 10 ทำให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นหลังการออสโมซิสต่ำกว่าตัวอย่างที่ออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

Jacob and Paliyath (2012) ศึกษาผลการออสโมซิส ชิ้นมะม่วง ผลเชอร์รี่ และผลบลูเบอร์รี่ โดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศที่ความดัน 35-40 mmHg เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ตัวอย่างที่ออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีความชื้นต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ

Brett and Waldron (1990) ได้ศึกษาการออสโมซิสในสารละลายออสโมติกที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ พบว่า มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร เนื่องจากแคลเซียมไอออนสามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลขององค์ประกอบที่บริเวณผนังเซลล์ของผักผลไม้ได้ โดยเฉพาะโมเลกุลของเพคตินเกิดเป็นแคลเซียมแพคเตทที่มีผลต่อสมบัติทางกลของเนื้อเยื่อผักผลไม้ ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้

Luna-Guzman and Barrett (2000) ได้ศึกษาการใช้แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตทที่มีผลต่อความคงตัวและคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปสดในระหว่างการเก็บรักษา ทำได้โดยนำชิ้นแคนตาลูปสดแช่ในน้ำ (ตัวอย่างควบคุม) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์และสารละลายแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1 % และ 2.5 % นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิ 25 และ 60 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ค่าความชื้น ค่าความหนาแน่นและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรส ระหว่างการเก็บรักษานาน 12 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95 % พบว่า สารละลายแคลเซียมทั้ง 2 ชนิด ทำให้ความแน่นเนื้อของชิ้นแคนตาลูปเพิ่มขึ้น 25-33% จากตัวอย่างควบคุม การใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้น 1 % ทำให้ชิ้นแคนตาลูปมีค่าความชื้นลดลงจากชิ้นตัวอย่างสด ไม่เกิดรสขม มีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าและมีกลิ่นรสดีกว่าการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทั้งสองความเข้มข้น แต่การใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้น 2.5 % ชิ้นแคนตาลูปจะมีรสขม และมีกลิ่นรสเสียไป จากการทดลองความแน่นเนื้อของชิ้นแคนตาลูปเพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากสารละลายแคลเซียมมีส่วนทำให้ผนังเซลล์และมิลเดิลลาเมลลาของชิ้นผลไม้มีความแข็งแรงขึ้น เนื่องจากแคลเซียมจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีโครงสร้างที่แข็งแรง ส่งผลให้เนื้อเยื่อเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติของเนื้อผลไม้ปกติ และถ้าปริมาณแคลเซียมในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น ชิ้นผลไม้จะมีความหนาแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นอีกด้วย

Silva et al. (2014) ได้ศึกษาการออสโมซิสสับปะรดโดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 40% และ 50% ร่วมกับการใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2 และ 4% พบว่า การใช้สารละลายซูโครส 50% ร่วมกับการใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 4% ทำให้ค่า WL มากที่สุด เท่ากับ 40%

Lewicki et al. (2001) ศึกษาการออสโมซิสโดยการแช่มะเขือเทศในสารละลายผสมระหว่างซูโครส 61.5% และแคลเซียมคอลไรด์ 2% เป็นเวลา 180 นาที พบว่า สามารถช่วยลดปริมาณน้ำลงได้ 20% และมีผลทำให้น้ำตาลซูโครสสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นมะเขือเทศได้ง่ายขึ้น

Ponting et al. (1996) การออสโมซิสสามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารได้ เนื่องจากการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้นผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง โดยชิ้นผลไม้จมอยู่ในสารละลายตลอดเวลา ซึ่งสามารถลดการสัมผัสกับออกซิเจนป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและช่วยรักษาความคงตัวของสีในผลิตภัณฑ์ได้

Osorio et al. (2007) ได้ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรส ในระหว่างการออส โมซิสราสเบอร์รี่ และมะเขือเทศในสารละลายออสโมติก 3 ชนิด ได้แก่ 1) ซูโครส 70% 2) สารละลายผสมระหว่างซูโครส 70% และกลีเซอรอล 65% ในอัตร่าส่วน 1 : 1 และ 3) เอทานอล พบว่าหลังการออสโมซิสทำให้ค่าสีของราสเบอร์รี่และมะเขือเทศมีความแตกต่างกันกับผลไม้สด โดยมีแนวโน้มค่า L* a* มีค่าลดลง ส่วนค่า b* มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$)

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร (2557) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กึ่งแห้งโดยใช้วิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งแบบสุญญากาศและเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย จากการศึกษาผลของการออสโมซิส โดยใช้สารละลายผสมระหว่างโอลิโกฟรุกโตส 30-50 กรัม และซูโครส 10-20 กรัม ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม พบว่า เมื่อความเข้มข้นของโอลิโกฟรุกโตสและซูโครสเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น จากการศึกษาการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้น 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที พบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น จากการศึกษาการตรวจคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่ที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสและไม่ผ่านการออสโมซิส มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเก็บรักษาอย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยกล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสได้รับความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนนขึ้นไป ตลอดการเก็บรักษา

อัคราช พาอ้อ และอัฐภิญญา ปัทมภาสสกุล (2556) ศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส (0-50%) กับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (0-50%) มีผลทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร รวมถึงคุณภาพของเงาะหลังออสโมซิสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การใช้สารละลายผสมมีผลให้ค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ 100 mbar 10 นาที ทำให้เงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูงและมีความชอบรวมสูงที่สุด ($p<0.05$)

ศิลาลักษณ์ กลั่นพจน์, จุรีย์พร กิมาวะหา และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2555) ศึกษาถึงผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกต่อคุณภาพของมะพร้าวกะทิหลังการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ปัจจัยที่ศึกษา คือ ชนิดของสารที่ใช้ ลวก (น้ำ และสารละลายแคลเซียมแลคเตท) เวลาที่ใช้ลวก (2 และ 5 นาที) และอุณหภูมิในการลวก (50 และ 80 องศาเซลเซียส) พบว่าชนิดสารที่ใช้ลวกมีผลต่อดัชนี ความขาวและปริมาณน้ำ ที่สูญเสีย อิทธิพลร่วมระหว่าง ปัจจัยทั้ง 3 ได้แก่ ชนิดสาร เวลา และอุณหภูมิในการลวก มีผลต่อความแน่นเนื้อ อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและ อุณหภูมิในการลวกมีผลต่อปริมาณน้ำหนักที่ลดลง ($p< 0.05$) นอกจากนี้ได้ศึกษาการใช้สารละลายกลูโคสไซรัปและสารละลายน้ำตาลทรายเป็นสารละลายออสติก พบว่า การใช้สารละลายน้ำตาลทรายทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารมากกว่าการใช้สารละลายกลูโคสไซรัป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) ลูกตาลอ่อน รับจากตลาด ในจังหวัดชลบุรี
2) กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid) บริษัท BDH Laboratory supplies ประเทศอังกฤษ
3) น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (Oligofructose) (Beneo ^{TM} P95, ORAFTI) จัดจำหน่ายโดย บริษัท DPO จำกัด ประเทศไทย
4) แคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate) จัดจำหน่ายโดย ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส ซายน์ อุปกรณ์เคมี
5) น้ำตาลมะพร้าว (Coconut sugar) เกรดทางการค้า ตราลิน บริษัทน้ำตาลไทยรุ่งเรือง จำกัด
6) กรดซิตริก (Citric acid) บริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
2) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 211S ประเทศเยอรมนี
3) เครื่องวัดสี (Colorimeter) Hunter lab รุ่น Mini Scan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
4) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro System รุ่น TA- XT2 ประเทศอังกฤษ
5) เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) Novasina รุ่น Thermo constanter TH 200 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
6) ปั๊มดูดจ่ายของเหลว (Peristaltic pump) Watson marlow รุ่น 505U ประเทศอังกฤษ
7) ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven) บริษัทอีเทค ฟู้ดเท็ค ประเทศไทย
8) ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ (พลาสติกชนิด Nylon LDPE (พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ) เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์)
9) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสาทสัมผัส
10) อุปกรณ์เครื่องแก้ว
11) อุปกรณ์งานครัว

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโตนดกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส

ในขั้นตอนนี้ควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้เท่ากันคือ 60% (Matusek et al, 2008) แปรอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลมะพร้าว:น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส เป็น 5 ระดับ รายละเอียดดังตารางที่ 3-1 ทำได้โดยนำน้ำตาลมะพร้าวมาผสมกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสตามความเข้มข้นที่กำหนดเติมน้ำแล้วคนให้น้ำตาลละลาย นำสารละลายไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้เตาไฟฟ้า แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาใช้งาน

ตารางที่ 3-1 ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่ใช้ในการทดลอง

สิ่งทดลองที่	น้ำตาลมะพร้าว (%w/w)	น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (%w/w)
1	0	60
2	60	0
3	10	50
4	20	40
5	30	30

การเตรียมตัวอย่าง

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย คือ ลูกตาลอ่อน (อายุประมาณ 75-80 วัน) นำมาปอกเปลือกออก ล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1.0 x 4.0 x 1.0 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x หนา) แสดงดังภาพที่ 3-1 นำมาแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.3% เป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (นวพร หงส์พันธุ์ และจันทรสุดา อดุลยศักดิ์สกุล, 2556)

ภาพที่ 3-1 ลักษณะเนื้อลูกตาลอ่อนที่หั่นเป็นชิ้น

การออสโมซิสและการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

นำชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่เตรียมไว้ มาแช่ในสารละลายออสโมติก โดยบรรจุในโหลแก้วและปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติกต่อชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนเท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) แช่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และสุ่มตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง เพื่อชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC,1990) คำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) คำนวณจากสูตรดังนี้

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss ; WL)

$$WL\ (\%) = \frac{(W_0M_0 - W_tM_t)}{W_0} \times 100$$

2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG)

$$SG\ (\%) = \frac{[(W_t(1 - M_t) - W_0(1-M_0)] \times 100}{W_0}$$

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weigth reducing; WR) คำนวณได้จาก

$$WR\ (\%) = \frac{W_0 - W_t \times 100}{W_0}$$

เมื่อ W_0 และ W_t คือ น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้นและหลังการออสโมซิส (กรัม

M_0 และ M_t คือ ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้นและหลังการออสโมซิส (กรัมน้ำ/กรัมของตัวอย่าง)

การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส

สุ่มตัวอย่างเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 1990)

3) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b* และคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE)

4) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

5) ความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณากำหนดระยะเวลาที่เหมาะสม จากเวลาที่ทำให้ทุกสิ่งทดลองมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุดและมีค่าคงที่ สำหรับเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองเลือก คือ สิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆ ที่วัดได้

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมและวิตามินซีร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาการเสริมแคลเซียมและวิตามินซี ในรูปของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ โดยกระตุ้นสภาวะออสโมซิสโดยการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศในระยะเวลาสั้นๆ ก่อนการแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศ การทดลองนี้แปรปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2 x 2 x 2 ได้ 8 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท คือ 1% และ 2% (w/w)

ปัจจัยที่ 2 ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก คือ 1% และ 2% (w/w)

ปัจจัยที่ 3 การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส คือ ใช้ และ ไม่ใช้

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท(% w/w)	กรดแอสคอร์บิก (% w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ
1	1	1	ใช้
2	1	1	ไม่ใช้
3	1	2	ใช้
4	1	2	ไม่ใช้
5	2	1	ใช้
6	2	1	ไม่ใช้
7	2	2	ใช้
8	2	2	ไม่ใช้

การออสโมซิสและการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

เตรียมตัวอย่างลูกตาลอ่อนและสารละลายออสโมติกตามที่เลือกได้จากตอนที่ 1 โดยเติมแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิกลงในสารละลายออสโมติกที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว ตามความเข้มข้นที่กำหนด คนผสมให้เข้ากัน การใช้สภาวะสุญญากาศดำเนินการโดยบรรจุชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนและสารละลายออสโมติกในขวดรูปชมพู่ กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติกต่อชิ้นเนื้อลูก

ตาลอ่อนเท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) ปิดขวดรูปชมพู่ด้วยจุกยางให้เป็นระบบปิดและเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศ กำหนดใช้ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที (อัคราช พาอ้อ และอัฐภิญญา ปัทมาภาสสกุล, 2556) เมื่อครบกำหนดเวลา นำมาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศตามเวลาที่เลือกใช้ในข้อ 3.1 เมื่อครบกำหนดเวลา นำตัวอย่างหลังการออสโมซิสมาชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC,1990) แล้วคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) ตามวิธีในตอนที่ 1

การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส

นำตัวอย่างเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 1990)

3) ปริมาณแคลเซียม (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

4) ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 1995)

5) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

6) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

7) ความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่มีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูง และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆ ที่วัดได้

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ในขั้นตอนนี้เป็นการทำแห้งเพื่อลดความชื้นของลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสให้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) คือ มีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.90 (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2528) โดยเตรียมลูกตาลอ่อนตามวิธีที่เลือกได้จากตอนที่ 2 และนำลูกตาลอ่อนที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มาทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีความชื้นสุดท้าย 15% (อัคราช พาอ้อ และอัฐภิญญา ปัทมาภาสสกุล, 2556)

การสร้างกราฟการทำแห้งเพื่อทำนายเวลาการทำแห้ง

ทำนายเวลาในการทำแห้งจากกราฟการทำแห้ง โดยสุ่มตัวอย่างลูกตาลอ่อนที่ทำแห้งทุก 60 นาที มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) ตามวิธีภาคผนวก ก-1 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น กับระยะเวลาในการทำแห้ง พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการความสัมพันธ์ที่ได้โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาจากค่า R^2 (Coefficient of determination) โดยหากมีค่ามากแสดงถึงสมการมีความน่าเชื่อถือสูง แล้วทำนายเวลาการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้น 15% แล้วนำลูกตาลอ่อนทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาทำแห้งตามเวลาที่ทำนายได้

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 1990)

3) ปริมาณแคลเซียม (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

4) ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 1995)

5) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

6) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

7) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

8) ความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

9) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2003)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ T-test ด้วยโปรแกรม SPSS

ตอนที่ 4 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

นำลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้มาบรรจุในถุงพลาสติก LDPE (พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ) เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์ ถุงละ 30 กรัม และปิดผนึกให้สนิท นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 $^{\circ}$C) และอุณหภูมิตู้เย็น (5±1 $^{\circ}$C) ซึ่งเป็นการเลียนแบบสภาวะจริงของการจำหน่าย ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณแคลเซียม (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

3) ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 1995)

4) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

5) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

6) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

7) ความชอบทางประสาทสัมผัส_ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

8) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา (BAM, 2003)

ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำเอกสารโดยให้ความรู้เชิงเทคนิคในการแปรรูปลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งให้ได้คุณภาพมาตรฐาน โดยดำเนินการประสานงานส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล เพื่อเผยแพร่ต่อให้กับกลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนที่แปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อน ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว และประชาชนที่สนใจ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

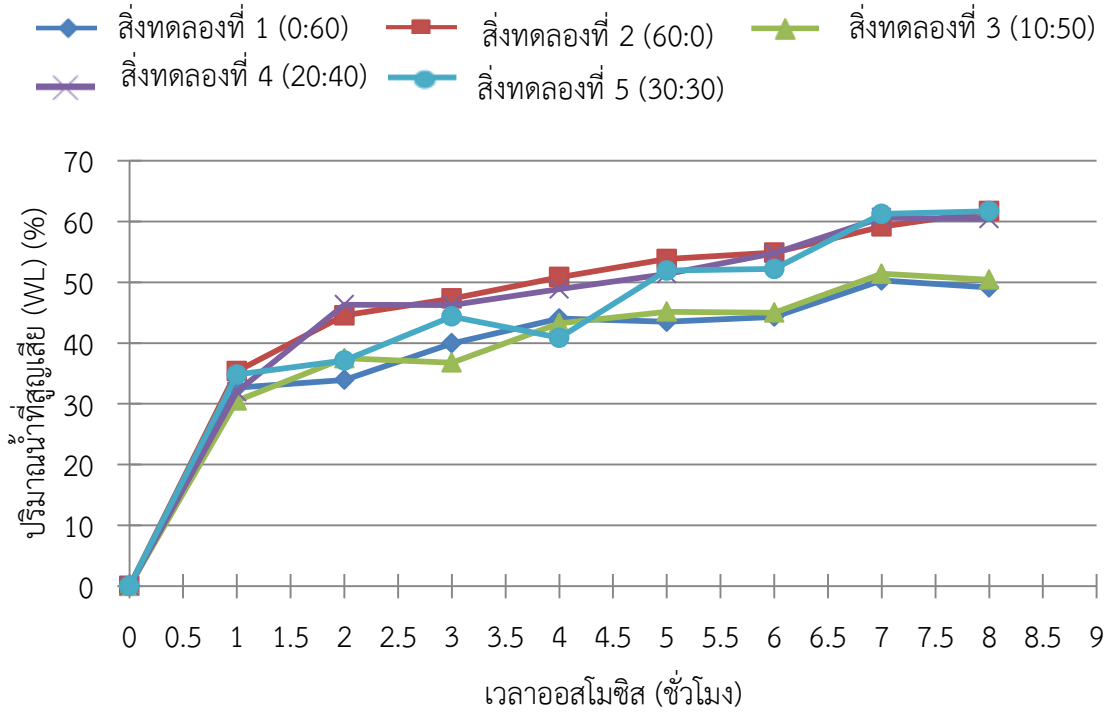
ตอนที่ 1 ผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโตนดกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส

1) ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

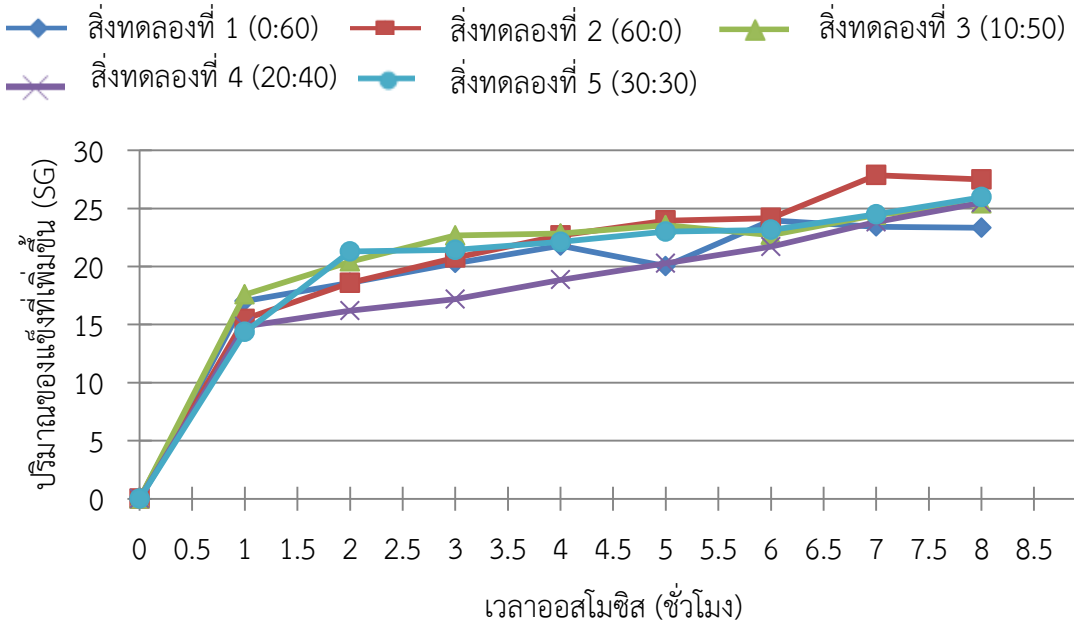
อัตราการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิส เป็นผลตอบสนองที่สำคัญของการออสโมซิส ในการทดลองนี้ศึกษาการถ่ายเทมวลสาร 3 ค่า ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) จากผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-1 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ พบว่า ค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาในการออสโมซิส แสดงให้เห็นว่าเกิดการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายในระหว่างการออสโมซิส ตามหลักการของการออสโมซิสจากการเกิดแรงขับ (Driving force) เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและความเข้มข้นภายในเซลล์ชิ้นผักผลไม้ โดยน้ำภายในเซลล์ชิ้นผักผลไม้แพร่ออกสู่สารละลายออสโมติก ในขณะเดียวกันตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกแพร่สู่ภายในเซลล์ชิ้นผักผลไม้ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งมีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Torreggiani, 1993)

จากภาพที่ 4-1 4-2 และ 4-3 พบว่า ค่า WL SG และ WR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากใน 2 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิสสังเกตได้จากกราฟมีความชันมาก เนื่องจากในช่วงแรกของการออสโมซิสมีความแตกต่างกันมากระหว่างความเข้มข้นภายในเซลล์ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อน และสารละลายออสโมติก จึงเกิดแรงขับทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมาก และเมื่อเวลาการออสโมซิสนานขึ้นจะเกิดการสะสมของน้ำที่แพร่ออกมารอบๆชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมากขึ้น ทำให้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นลดลง ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกลดน้อยลงด้วย ทำให้แนวโน้มการถ่ายเทมวลสารลดลง สังเกตได้จากกราฟมีความชันลดลง ซึ่งสอดคล้องกับที่ Torreggiani (1993) กล่าวว่า การออสโมซิสเป็นการถ่ายเทมวลสารแบบสวนทางกัน โดยน้ำที่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ชิ้นผักผลไม้ในลักษณะสวนทางกันกับของแข็งที่สามารถแพร่เข้าสู่ชิ้นผักผลไม้ โดยอัตราการถ่ายเทมวลสารจะเกิดมากในช่วงต้นของกระบวนการออสโมซิส และจะเกิดสภาวะเช่นนี้จนเข้าสู่สมดุล โดยอัตราการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายจะมีแนวโน้มคงที่ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิลาลักษณ์ กลั่นพจน์ และคณะ (2555) ที่ศึกษาผลของการใช้สารละลายกลูโคสไซรัป และสารละลายน้ำตาลทรายต่อค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของมะพร้าวกะทิ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเวลาในการออสโมซิสเพิ่มขึ้นค่า WL SG และ WR ของตัวอย่างมะพร้าวกะทิทั้งที่ใช้สารละลายกลูโคสไซรัป และสารละลายน้ำตาลทราย มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิส และตั้งแต่การออสโมซิสในชั่วโมงที่ 6 เป็นต้นไป ค่าการถ่ายเทมวลสารมีแนวโน้มคงที่ และสอดคล้องกับที่ Lenart (1996) รายงานว่า ผลของการใช้สารละลายซูโคสในการออสโมซิสขนุนสไลด์เกิดการถ่ายเทมวลสารมากในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการ

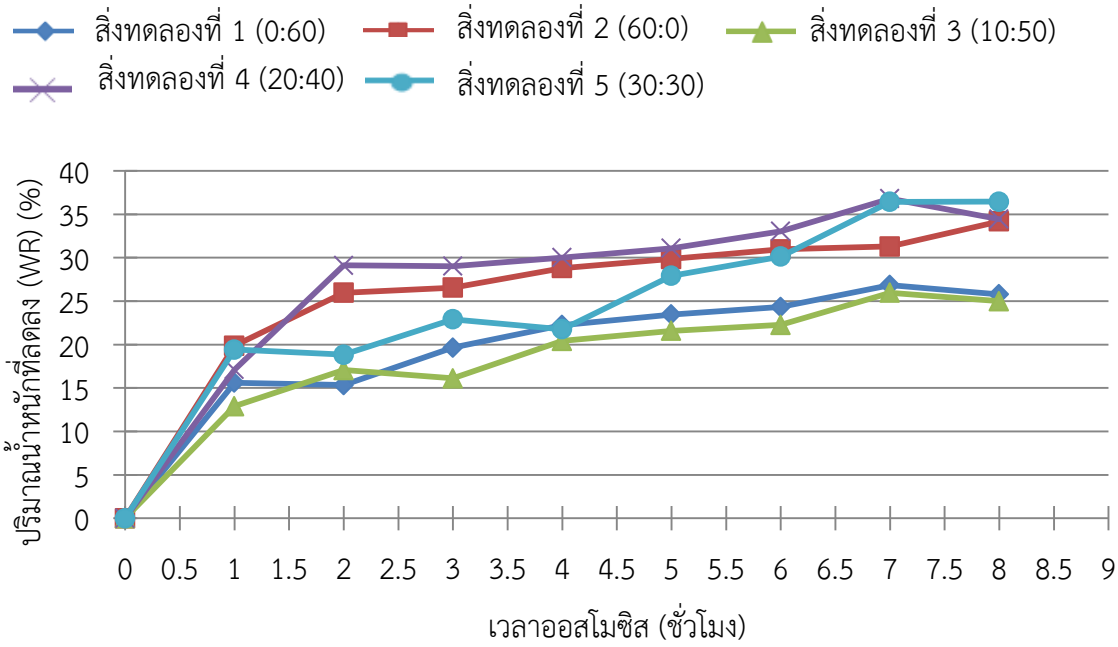
ออสโมซิส ซึ่งสอดคล้องกับที่ Barrera et al. (2004) และ Sanjinez-Argadona et al. (2002) ได้ศึกษาการออสโมซิสในสารละลายซูโคส และมอลโตส ที่มีผลต่อจลศาสตร์การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสในมันเทศ และฝรั่ง พบว่า มีการถ่ายเทมวลสารมากในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิส และเกิดการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุดและคงที่ เข้าสู่สมดุลโดยสมบูรณ์เมื่อออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง



ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) กับเวลาออสโมซิสชิ้นลูกตาลอ่อน เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาออสโมซิสชิ้นลูกตาลอ่อน เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาออสโมซิสชิ้นลูกตาลอ่อน เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสของทุกสิ่งทดลอง ร่วมกับผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติของแต่ละสิ่งทดลอง ตามเวลาในการออสโมซิส พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่า (WL SG และ WR) สูงที่สุดและคงที่ ($p \geq 0.05$) ในช่วงเวลา 7-8 ชั่วโมง (รายละเอียดข้อมูลและผลวิเคราะห์ทางสถิติตามภาคผนวกที่ จ-1 ถึง จ-3) และเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าการถ่ายเทมวลสารของทุกสิ่งทดลองเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยสมบูรณ์จึงกำหนดเวลาในการออสโมซิสในขั้นตอนต่อไปสำหรับทุกสิ่งทดลองเท่ากันคือ 8 ชั่วโมง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะปรากฏของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส พบว่า การใช้เวลาในการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนยังคงลักษณะเป็นชิ้นรูปร่างสมบูรณ์ไม่นิ่มเละจนเกินไป

2) ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส

จากการนำชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมาออสโมซิสโดยแช่ในสารละลายออสโมติกแบบสารละลายผสมที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ได้แก่ น้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส ในระดับต่างๆ ทั้ง 5 สิ่งทดลอง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ลักษณะปรากฏของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-4 พบว่า ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนยังมีรูปร่างเป็นชิ้นที่สมบูรณ์ ไม่นิ่มเละ แต่มีการหดตัวลงจากชิ้นเนื้อลูกตาลสดเล็กน้อย นอกจากนี้สังเกตเห็นว่าสีของเนื้อลูกตาลอ่อนของสิ่งทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีสีออกเหลืองเข้มกว่าสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งจากการทดลอง พบว่า สีของสารละลายออสโมติกที่ใช้ทั้ง 5 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกัน สิ่งทดลองที่มีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเป็นส่วนผสมในสารละลายออสโมติกด้วยจะมีสีออกเหลือง โดยสารละลายออสโมติกจะมีสีเหลืองเข้มขึ้น เมื่อใช้น้ำตาลมะพร้าวในปริมาณมากขึ้น ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีการใช้น้ำตาลมะพร้าวใช้สารละลายโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียวมีลักษณะค่อนข้างใส และไม่มีสี แสดงลักษณะสีของสารละลายออสโมติกก่อนการออสโมซิสทั้ง 5 สิ่งทดลองดังภาพที่ 4-5 ดังนั้น การที่เนื้อลูกตาลอ่อนในสิ่งทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีสีออกเหลืองเข้มกว่าสิ่งทดลองที่ 1 อาจเพราะสิ่งทดลองดังกล่าวเป็นการแช่ชิ้นลูกตาลอ่อนในสารละลายออสโมติกที่มีสีเหลืองเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จึงมีโอกาสทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อน มีสีคล้ายกับสีของน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (0:60)

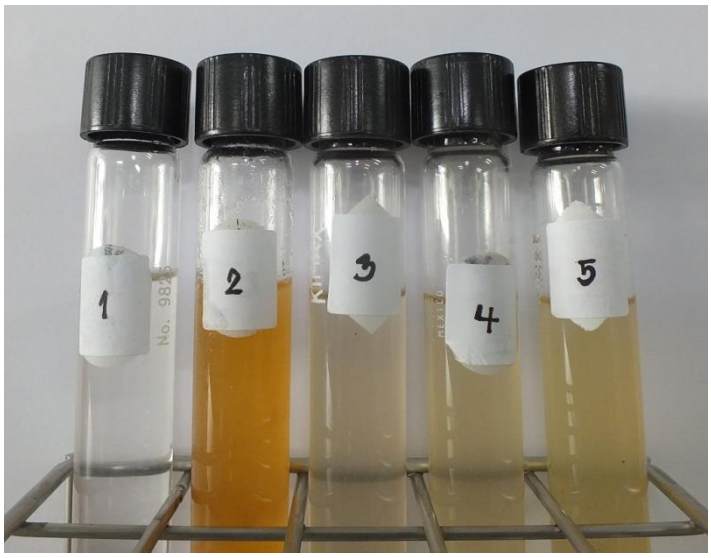
(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (60:0)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (10:50)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (20:40)

(จ) สิ่งทดลองที่ 5 (30:30)

ภาพที่ 4-4 ลักษณะของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว:น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)



(0:60) (60:0) (10:50) (20:40) (30:30)

ภาพที่ 4-5 ลักษณะสีของสารละลายออสโมติกก่อนการใช้งานทั้ง 5 สิ่งทดลอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว:น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส %w/w)

2.1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากการเตรียมสารละลายออสโมติก โดยควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้เท่ากัน คือ 60% โดยแปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าว:น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส เป็น 5 ระดับ ได้แก่ 0:60 60:0 10:50 20:40 และ 30:30 % (w/w) นำมาใช้ในการออสโมซิสชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อน ค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่าการถ่ายเทมวลสารด้านปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่ (น้ำตาลมะพร้าว : โอลิโกฟรุกโตส)	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	WL	SG	WR
1 (0:60)	49.12 ± 0.75^{b}	23.33 ± 0.32^{c}	25.79 ± 1.07^{b}
2 (60:0)	62.92 ± 0.78^{a}	27.50 ± 1.34^{a}	35.42 ± 2.10^{a}
3 (10:50)	50.41 ± 7.51^{b}	25.42 ± 4.38^{b}	24.99 ± 2.30^{b}
4 (20:40)	60.42 ± 1.60^{a}	25.49 ± 2.70^{b}	34.45 ± 4.33^{a}
5 (30:30)	60.69 ± 0.24^{a}	25.97 ± 1.65^{b}	34.72 ± 1.92^{a}

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

จากตารางที่ 4-1 แสดงค่า WL SG และ WR ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกแตกต่างกัน พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว 60% มีแนวโน้มค่า WL SG และ WR ต่ำที่สุด เท่ากับ 49.12%, 23.33% และ 25.79% ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว 60% มีแนวโน้มค่า WL SG และ WR สูงที่สุด เท่ากับ 62.92%, 27.50% และ 35.42% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลมะพร้าวมีองค์ประกอบของน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส เมื่อนำมาใช้เตรียมเป็นสารละลายออสโมติก จึงอาจมีผลทำให้น้ำตาลมะพร้าวสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้ง่ายและเร็วกว่า เกิดแรงดันออสโมติกสูงกว่า มีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเป็นสารละลายออสโมติก จึงมีผลให้การถ่ายเทมวลน้ำภายในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนออกมาสู่สารละลายออสโมติกได้มาก และมีการถ่ายเทมวลตัวถูกละลาย จากสารละลายออสโมติกเข้ามาในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้มากด้วย ส่งผลให้มีค่า WL และ SG มาก รวมถึงทำให้ค่า WR ซึ่งเป็นผลของน้ำหนักสุทธิที่ลดลงมากด้วยเช่นกัน ตามที่มีรายงานว่าน้ำตาลมะพร้าวเป็นน้ำตาลจากธรรมชาติ มีองค์ประกอบหลัก คือ น้ำตาลซูโครสประมาณ 68-81 กรัม/100 กรัม และมีองค์ประกอบของน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสประมาณ 3-7 กรัม/100 กรัม (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์, 2551; Apriyantono et al., 2002) รวมทั้งมีรายงานว่าน้ำตาลมะพร้าวมีองค์ประกอบของน้ำตาลซูโครส 68-72 กรัม/100 กรัม และน้ำตาลรีดิวซิ่ง 6-8 กรัม/100 กรัม (Thampan, 1975; กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2532) ซึ่งน้ำตาลซูโครสมีมวลโมเลกุล 342.296 กรัม/โมล น้ำตาลกลูโคส 180.516 กรัม/โมล และน้ำตาลฟรุกโตสมีมวลโมเลกุล 178 กรัม/โมล ในขณะที่น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (Beneo™ P95, ORAFTI) เป็นน้ำตาลที่จำหน่ายทางการค้าผลิตจากการนำชิโครี่อินนูลิน (Chicory inulin) มาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส โดยมีน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ถึง 93.2% (Degree of polymerization เท่ากับ 2–8) มีน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครส เป็นองค์ประกอบอยู่เพียงเล็กน้อยประมาณ 6.8% ซึ่งยังจัดเป็นน้ำตาลประเภทโอลิโกแซคคาร์ไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาล 2-10 โมเลกุล มีมวลโมเลกุล 828 กรัม/โมล (Matusek et al., 2008; Khan, 2012)

Matusek et al. (2008) รายงานว่า การใช้สารละลายออสโมติกจากน้ำตาลที่มีความบริสุทธิ์และมีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น น้ำตาลซูโครส เปรียบเทียบการใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า การใช้น้ำตาลซูโครสมีผลทำให้ค่า WL และ SG มากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส จากการออสโมซิสแอปเปิ้ลในสารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส พบว่า ที่สภาวะการออสโมซิสเหมือนกัน คือใช้ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 60% เวลาการออสโมซิส 40 นาที และอุณหภูมิการออสโมซิส 40 องศาเซลเซียส การใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสมีผลให้ค่า WL และ SG มากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสคิดเป็นประมาณ 1.2 เท่า และ 1.8 เท่า ตามลำดับ โดยการใช้สารละลายออสโมติกจากน้ำตาลซูโครสมีค่า WL และ SG เท่ากับ 2.172 กรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 1.418 กรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่การใช้สารละลายออสโมติกจากน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสมีค่า WL และ SG เท่ากับ 1.804 กรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 0.789 กรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ข้อสังเกตจากผลการทดลองในโครงงานวิจัยนี้ที่พบว่า ค่า WL และ SG ของสิ่งทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าแตกต่างกันเพียง 13.80% และ 4.17% ตามลำดับเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้เป็นน้ำตาลจากธรรมชาติ ซึ่งอาจมีความบริสุทธิ์ไม่สูงนัก ไม่ได้มีเพียงองค์ประกอบของน้ำตาลเพียงอย่างเดียว ยังมีองค์ประกอบพวกแร่ธาตุต่างๆด้วย ซึ่งอาจมีผลต่อการขัดขวางการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้ จากรายงานของ ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์ (2551) กล่าวว่า น้ำตาลมะพร้าวเป็นน้ำตาลจากธรรมชาติ ที่มีองค์ประกอบของแร่ธาตุและวิตามิน จำพวกแคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และวิตามินบี 3 รวมอยู่ด้วย โดย Barrera (2004) กล่าวว่า ในสารละลายออสโมติกที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ มีผลต่อการขัดขวางการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสได้ โดยแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) สามารถสร้างพันธะกับสารประกอบเพคตินที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อผักผลไม้ทำให้ผนังเซลล์ (Cell wall) และมิดเดิลลาเมลลา (Middle lamella) ทำให้เนื้อเยื่อผักผลไม้มีความยืดหยุ่นน้อยลง เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมากขึ้นและขัดขวางการแพร่ออกของน้ำออกจากเซลล์ ซึ่งสอดคล้องกับที่ Brett and Waldron (1990) รายงานว่า ในสารละลายออสโมติกที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร เนื่องจากแคลเซียมไอออนสามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลขององค์ประกอบที่บริเวณผนังเซลล์ของผักผลไม้ได้ โดยเฉพาะโมเลกุลของเพคตินเกิดเป็นแคลเซียมแพคเตทที่มีผลต่อสมบัติทางกลของเนื้อเยื่อผักผลไม้ ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้

จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่มีการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าวกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในสิ่งทดลองที่ 3 4 และ 5 มีแนวโน้มทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR เพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียวในสิ่งทดลองที่ 1 โดยการใช้น้ำตาลมะพร้าวแทนที่น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพิ่มขึ้นปริมาณ 10% 20% และ 30% ในสิ่งทดลองที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสารดังนี้ สำหรับค่า WL พบว่า การใช้น้ำตาลมะพร้าวแทนที่น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในปริมาณ 10% ทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมีค่า WL (50.41%) ไม่แตกต่างกับการใช้โอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว (49.12%) ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อใช้น้ำตาลมะพร้าวแทนที่น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสมากขึ้นถึง 20% และ 30% ทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมีค่า WL เพิ่มขึ้น จนอยู่ในช่วง 60.42% - 60.69% ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว (62.92%) ($p \geq 0.05$) ส่วนค่า SG พบว่า การใช้น้ำตาลมะพร้าวแทนที่น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในปริมาณ 10%, 20% และ 30% ทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมีค่า SG ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 25.42-25.97% ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว ในสิ่งทดลองที่ 1 (23.33%) ($p<0.05$) สำหรับค่า WR ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำหนักที่ลดลง อาจกล่าวได้ว่าเป็นผลต่างจากปริมาณน้ำที่สูญเสียกับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลอง พบว่า มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่า WL โดยการใช้น้ำตาลมะพร้าวแทนที่น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในปริมาณ 10% ทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมีค่า WR (24.99%) ไม่แตกต่างกับการใช้โอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว (25.79%) ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อใช้น้ำตาลมะพร้าวแทนที่น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสมากขึ้นถึง 20% และ 30% ทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมีค่า WR เพิ่มขึ้น จนอยู่ในช่วง 34.45% - 36.20% ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการถ่ายเทมวลสารโดยรวม พบว่า การใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าว (10%-30%) กับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (30%-50%) มีแนวโน้มทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว และพบว่าเมื่อใช้น้ำตาลมะพร้าวร่วมด้วยถึง 20% และ 30% ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นมากจนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการออสโมซิสที่ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว โดยหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมีค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงดังนี้ 60.42%-60.69%, 25.49%-25.97% และ 34.45%-34.72% ตามลำดับ

2.2) ความชื้น และ a_w

จากตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณความชื้นของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน พบว่า ปริมาณความชื้นเป็นผลจากค่า WL ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อน โดยสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว และสิ่งทดลองที่ 4 และ 5 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าว 20% และ 30% ตามลำดับ มีค่า WL สูงที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่า WL อยู่ในช่วง 60.42-62.92% แสดงถึงสิ่งทดลองดังกล่าวมีปริมาณน้ำที่สูญเสียไประหว่างการออสโมซิสมากที่สุด จึงมีปริมาณความชื้นคงเหลือต่ำที่สุด โดยสิ่งทดลองที่ 2, 4 และ 5 มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 51.85-53.52% สำหรับสิ่งทดลองที่ 1 และ 3 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด อยู่ในช่วง 55.71-56.57% ซึ่งสอดคล้องกับค่า WL เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการออสโมซิสชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนในสารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสแตกต่างกัน กลไกการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในอัตราแตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณความชื้นสุดท้ายของชิ้นลูกตาลอ่อน อย่างไรก็ตามชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นลดลงกว่าเนื้อลูกตาลอ่อนสดที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นก่อนการออสโมซิสประมาณ 93.11% ซึ่งเป็นการยืนยันให้เห็นว่าการออสโมซิสโดยแช่ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนในสารละลายออสโมติกตามการทดลองนี้สามารถลดปริมาณความชื้นของลูกตาลได้ ประมาณ 36-41%

จากตารางที่ 4-3 แสดงค่า a_w ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.946-0.954 ซึ่งต่ำกว่าค่า a_wของเนื้อลูกตาลอ่อนสด (0.970) แสดงให้เห็นว่าการออสโมซิสทำให้ค่า a_w ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนต่ำลงได้ เนื่องจากในการออสโมซิสเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสาร เกิดการแพร่ของน้ำภายในเซลล์สู่สารละลายภายนอก ในขณะเดียวกันตัวถูกละลายในที่นี้คือน้ำตาลชนิดต่างๆ สามารถแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ได้ จึงเป็นการลดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และเพิ่มของแข็งเป็นผลให้ค่า a_w ของตัวอย่างลดลง (Lerici et al., 1985)

เมื่อพิจารณาค่า a_w ของแต่ละสิ่งทดลอง พบว่า ค่า a_w มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับค่า WL ค่า SG และปริมาณความชื้น กล่าวคือ สิ่งทดลองที่มีค่า WL และ ค่า SG มาก ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมากและมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมาก และส่งผลให้มีปริมาณความชื้นคงเหลือต่ำ จะมีค่า a_w ต่ำด้วย โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว มีค่า a_w ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.946 ซึ่งไม่แตกต่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับค่า a_w ของสิ่งทดลองที่ 4 และ 5 ที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.949 และ 0.947 ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 มีค่า a_w สูงที่สุด เท่ากับ 0.954 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับค่า a_w ของสิ่งทดลองที่ 3 ที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.951

ตารางที่ 4-2 ปริมาณความชื้น (%) ของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (น้ำตาลมะพร้าว : โอลิโกฟรุกโตส)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
1 (0:60)	56.57 ± 0.21^{a}
2 (60:0)	51.85 ± 0.50^{b}
3 (10:50)	54.17 ± 0.74^{a}
4 (20:40)	52.72 ± 0.95^{b}
5 (30:30)	52.26 ± 1.14^{b}

[a,b] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-3 ค่า a_w ของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (น้ำตาลมะพร้าว : โอลิโกฟรุกโตส)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD
1 (0:60)	0.954 ± 0.005^{a}
2 (60:0)	0.946 ± 0.001^{b}
3 (10:50)	0.951 ± 0.001^{a}
4 (20:40)	0.949 ± 0.007^{b}
5 (30:30)	0.947 ± 0.002^{b}

[a,b] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.3) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จากตารางที่ 4-4 แสดงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว มีปริมาณ

น้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด (9.31 กรัม/100กรัม) ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยที่สุด (5.20 กรัม/100กรัม) ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำตาลมะพร้าวมีองค์ประกอบของน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส รวมถึงน้ำตาลกลุ่มน้ำตาลรีดิวซิ่ง (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์, 2551; Apriyantono et al., 2002; Thampan, 1975; กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2532) ซึ่งมีมวลเมโลกุลต่ำกว่าน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสที่ใช้ในงานวิจัยนี้ที่มีมวลโมเลกุล 828 กรัม/โมล และมีน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสที่ใช้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง มีน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ถึง 93.2% และมีน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครส เป็นองค์ประกอบอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Matusek et al., 2008; Khan, 2012) การที่น้ำตาลมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าจึงสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์เนื้อลูกตาลอ่อนได้ง่ายและรวดเร็วกว่า เกิดการสะสมของน้ำตาลอยู่ในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้มากกว่าน้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า

นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มว่า การใช้น้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้นเป็น 10% 20% และ 30% ในสิ่งทดลองที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ ทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 5.93 6.10 และ 6.27 กรัม/100กรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มน้ำตาลมะพร้าวในสารละลายออสโมติก ทำให้เกิดการแพร่ของน้ำตาลเข้าไปในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้นเป็น 10% 20% และ 30% ในสิ่งทดลองที่ 3 4 และ 5 พบว่า ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (5.93-6.27 กรัม/100กรัม) ($p\geq0.05$) ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับค่า SG ที่พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($p\geq0.05$) โดยมีค่า SG อยู่ในช่วง 25.42-25.97% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดแทนโอลิโกฟรุกโตสด้วยน้ำตาลมะพร้าวในปริมาณไม่แตกต่างกันมาก ทำให้เกิดแรงดันออสโมติกที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แรงดันออสโมติกจึงเป็นผลจากโอลิโกฟรุกโตสเป็นสำคัญ จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้สิ่งทดลองดังกล่าวมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม) ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (น้ำตาลมะพร้าว : โอลิโกฟรุกโตส)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย ± SD (กรัม/100กรัม)
1 (0:60)	5.20 ± 0.35[c]
2 (60:0)	9.31 ± 0.63[a]
3 (10:50)	5.93 ± 0.16[b]
4 (20:40)	6.10 ± 0.19[b]
5 (30:30)	6.27 ± 0.40[b]

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

2.4) ค่าสี

จากการพิจารณาชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ด้วยสายตา พบว่าสีของสารละลายออสโมติกที่ใช้ทั้ง 5 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4-4 เมื่อนำชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี รายงานเป็นค่าสี L* a* และ b* รวมถึงค่า ΔE และวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน มีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าสี L* a* และ b* ของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่ (น้ำตาลมะพร้าว : โอลิโกฟรุกโตส)	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	L*	a*	b*	ΔE
1 (0:60)	48.73 ± 0.18[a]	-1.94 ± 0.04[b]	-1.64 ± 0.6[e]	4.91 ± 0.07[c]
2 (60:0)	40.63 ± 0.5[d]	-1.04 ± 0.07[a]	22.96 ± 0.35[a]	28.91 ± 0.39[a]
3 (10:50)	47.71 ± 0.18[b]	-2.54 ± 0.03[cd]	3.90 ± 0.1[d]	8.97 ± 0.02[c]
4 (20:40)	47.21 ± 0.39[bc]	-2.60 ± 0.04[d]	8.21 ± 0.07[c]	12.80 ± 0.12[b]
5 (30:30)	46.73 ± 0.07[c]	-2.46 ± 0.12[c]	8.81 ± 0.07[b]	13.55 ± 0.06[b]

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

ค่า ΔE คำนวณจากการเปรียบเทียบกับตัวอย่างเนื้อลูกตาลอ่อนสด ที่มีค่า L*= 53.47 a*=-1.79 และ b*=-2.93

โดยธรรมชาติชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนสดมีสีขาวใส จากการทดลองเมื่อนำเนื้อลูกตาลอ่อนสดมาวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดค่าสี พบว่า มีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 53.47 -1.79 และ -2.93 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงตัวอย่างลูกตาลอ่อนสดมีความสว่าง มี ค่า a* เป็นบวก (+) แสดงความเป็นสีเขียว และมีค่า b* เป็นลบ (-) แสดงความเป็นสีน้ำเงิน เมื่อนำมาออสโมซิสมีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารโดยน้ำในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนลดลง ในขณะที่มีตัวถูกละลายที่เป็นของแข็งเพิ่มขึ้น จึงมีผลให้เนื้อเยื่อของเนื้อลูกตาลอ่อนเรียงชิดตัวกันมากขึ้น และมีลักษณะทึบแสงมากขึ้น

จากตารางที่ 4-5 หากพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่า ΔE ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของสีของตัวอย่างหลังการออสโมซิสเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเนื้อลูกตาลอ่อนสด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 4.91-28.91 โดยสิ่งทดลองที่ 2 มีค่า ΔE มากที่สุด (28.91) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 มีค่า ΔE น้อยที่สุด (4.91) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหลังการออสโมซิสเนื้อลูกตาลอ่อนมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างสด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Osorio et al. (2007) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรส ในระหว่างการออสโมซิสราสเบอร์รี่ และมะเขือเทศในสารละลาย 3 ชนิด ได้แก่ 1) ซูโครส 70% 2) สารละลายผสมระหว่างซูโครส 70% และกลีเซอรอล 65% ในอัตร่าส่วน 1 : 1 และ 3) เอทานอล พบว่าหลังการแช่ทำให้ค่าสีของราสเบอร์รี่และมะเขือเทศมีความแตกต่างกันกับผลไม้สด ($p<0.05$) โดยมีแนวโน้มค่า L* a* มีค่าลดลง ส่วนค่า b* มีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4-5 เมื่อพิจารณาค่าสีโดยภาพรวมแสดงให้เห็นว่า ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีค่า L* ลดลง (40.63-48.73) เมื่อเทียบกับค่า L* ของเนื้อลูกตาลอ่อนสด หมายถึงมีความสว่างลดลง ส่วนค่า a* และ b* มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับสารละลายออสโมติกที่ใช้ เมื่อพิจารณาด้านค่า L* (ค่าความสว่าง) พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว มีค่าความสว่างต่ำที่สุด (40.63) เนื่องจากมีการใช้สารละลายน้ำตาลมะพร้าวความเข้มข้น 60% ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูง จึงเกิดแรงขับมาก น้ำจึงถูกดึงออกมาจากเซลล์ได้มาก รวมทั้งตัวถูกละลายที่เป็นของแข็งก็สามารถแพร่ไปในเซลล์เข้าได้มาก จึงมีโอกาสให้เนื้อเยื่อเรียงชิดกันมากขึ้น และมีลักษณะทึบแสงมากขึ้นจึงมีค่าความสว่างต่ำที่สุด สำหรับค่า a* พบว่า การใช้น้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้นเป็น 10 20 และ 30% ในสิ่งทดลองที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ มีผลให้ค่า a* มีค่าเท่ากับ -2.54 -2.60 และ -2.46 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มมีค่าความเป็นสีเขียวเพิ่มขึ้นกว่าสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว ที่มีค่า a* เท่ากับ -1.94 และสำหรับค่า b* พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว มีค่าเป็นลบ (-) ซึ่งแสดงถึงค่าความเป็นสีน้ำเงิน ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 3 4 และ 5 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเป็นองค์ประกอบมีค่าเป็นบวก (+) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมได้จากน้ำตาลมะพร้าวมีสีออกเหลืองเมื่อใช้น้ำตาลมะพร้าวในปริมาณมากขึ้นสารละลายออสโมติกจะมีสีเหลืองเข้มขึ้นด้วย ในขณะที่สารละลายออสโมติกที่ใช้สารละลายโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียวมีลักษณะค่อนข้างใส และไม่มีสี (แสดง

ลักษณะสีของสารละลายออสโมติกทั้ง 5 สิ่งทดลองดังภาพที่ 4-5) ดังนั้นการที่เนื้อลูกตาลอ่อนในสิ่งทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีสีออกเหลืองเข้มกว่าสิ่งทดลองที่ 1 อาจเพราะสิ่งทดลองดังกล่าวเป็นการแช่ชิ้นลูกตาลอ่อนในสารละลายออสโมติกที่มีสีเหลืองเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จึงมีโอกาสทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อน มีสีคล้ายกับสีของน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้ได้ จึงพบแนวโน้มว่า การใช้น้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้นเป็น 10 20 และ 30% ในสิ่งทดลองที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ มีผลให้ค่า b* มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.29 8.21 และ 8.81 ตามลำดับ

2.5) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-6 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน พบว่า คะแนนความชอบด้านรสชาติ และคะแนนความชอบโดยรวมของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.90-6.40 (เฉยๆถึงชอบเล็กน้อย) และ 6.33-6.73 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแม้ในการออสโมซิสจะมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสร่วมกันตามสัดส่วนในการทดลองนี้ ผู้ทดสอบยังคงมีความชอบรสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และสี ยังคงมีความแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลอง

ด้านลักษณะปรากฏ ผู้ทดสอบให้ข้อมูลว่า สิ่งทดลองที่มีการใช้น้ำตาลมะพร้าว (สิ่งทดลองที่ 2 3 4 และ 5) มีลักษณะคล้ายน้ำตาลเหนียวเคลือบที่ผิว ในขณะที่สิ่งทดลองที่ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 1) มีลักษณะผิวแห้งไม่มีน้ำตาลเหนียวเคลือบผิว เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า การใช้น้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้นเป็น 10% และ 20% ในสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏเท่ากับ 6.90 และ 6.63 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของสิ่งทดลองที่ 1 ที่ได้คะแนนเท่ากับ 7.00 ($p \geq 0.05$) ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง แต่เมื่อใช้น้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้นเป็น 30% ในสิ่งทดลองที่ 5 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏลดลง เท่ากับ 6.03 ซึ่งไม่แตกต่างกับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของสิ่งทดลองที่ 2 ที่ใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียวที่ได้คะแนนเท่ากับ 5.93 ($p \geq 0.05$) ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ด้านเนื้อสัมผัส (ในปาก) พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียวได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด เท่ากับ 6.84 ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.07-6.47 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อใช้เป็นสารละลายออสโมติกมีผลทำให้สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้น้อยกว่า เกิดแรงดันออสโมติกต่ำกว่าส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้น้อย จึงยังคงลักษณะตล้าของสดมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำที่สูญเสีย พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 1 มีค่า WL ต่ำที่สุด เท่ากับ 49.12% และ

สอดคล้องกับที่ อ่อนรวี รัตนาพันธุ์ (2533) พบว่า สารละลายที่ใช้ควรมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เพราะถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้มีแรงดันออสโม ติกสูง เช่น น้ำตาลกลูโคสมีแรงดันสูงกว่าน้ำตาลซูโครสจึงทำให้มีปริมาณน้ำตาลแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อได้มากและเกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าการใช้น้ำตาลซูโครส ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสกระด้างขึ้น

ด้านสี พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด เท่ากับ 7.40 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ที่ใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว ได้รับคะแนนความชอบด้านสีต่ำที่สุด เท่ากับ 5.63 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียวทำให้สารละลายออสโมติกมีสีขาวใส จึงส่งผลให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีลักษณะค่อนข้างใส และมีสีใกล้เคียงกับสีของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนสด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียวทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีสีออกเหลือง เช่นเดียวกับสีของน้ำตาลมะพร้าว แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบยังคงยอมรับสีชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่ใกล้เคียงกับสีชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนสดมากกว่า อย่างไรก็ตามพบว่า การใช้น้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้นเป็น 10% ในสิ่งทดลองที่ 3 ยังคงได้รับคะแนนความชอบด้านสี เท่ากับ 7.30 ซึ่งไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 1 ($p \geq 0.05$) ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง แต่เมื่อใช้น้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้นเป็น 20% และ 30% ในสิ่งทดลองที่ 4 และ 5 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีลดลง เท่ากับ 6.47 และ 5.97 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-6 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่ (น้ำตาลมะพร้าว : โอลิโกฟรุกโตส)	คะแนนความชอบ ± SD				
	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	คะแนนความชอบโดยรวม ^{ns}
1 (0:60)	7.00 ± 1.31^{a}	7.40 ± 1.30^{a}	5.90 ± 1.72	6.84± 1.17^{a}	6.73 ± 1.26
2 (60:0)	5.93 ± 1.44^{b}	5.63 ± 1.56^{c}	6.10 ±1.51	6.07 ± 1.40^{b}	6.40 ± 1.30
3 (10:50)	6.90 ± 1.04^{a}	7.30 ± 0.95^{a}	6.20 ± 1.63	6.47 ± 1.51^{ab}	6.60 ± 1.38
4 (20:40)	6.63± 1.29^{a}	6.47 ± 1.70^{b}	6.37 ± 1.69	6.27 ± 1.47^{ab}	6.73 ± 1.38
5 (30:30)	6.03 ± 1.97^{b}	5.97 ± 1.88^{bc}	6.40 ± 1.32	6.17 ± 1.43^{b}	6.33 ± 1.49

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

^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

3) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนด คือ เลือกสิ่งทดลองที่มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าว 20%w/w กับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส 40%w/w มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง โดยมีค่า WL และ WR สูงที่สุด เมื่อสิ้นสุดการออสโมซิสมีค่าเท่ากับ 60.47% และ 37.52% ตามลำดับ รวมถึงมีค่า SG สูง เมื่อสิ้นสุดการออสโมซิสมีค่าเท่ากับ เท่ากับ 22.97% โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางเท่ากับ 6.73 นอกจากนี้สิ่งทดลองที่ 4 ยังได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และด้านเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นการใช้สารละลายโอลิโฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆ พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 มีปริมาณความชื้น ค่า a_w และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ 1 ด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำตาลมะพร้าวผสมร่วมกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส ช่วยลดปริมาณความชื้น ค่า a_w ลงได้มาก รวมทั้งมีปริมาณน้ำตาลคงอยู่ในตัวอย่างน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว

ตอนที่ 2 ผลของการเสริมแคลเซียมและวิตามินซีร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาการเสริมแคลเซียมและวิตามินซี ในรูปของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ โดยกระตุ้นสภาวะออสโมซิสโดยการแช่ชิ้นลูกตาลอ่อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ กำหนดใช้ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมง การทดลองนี้แปรปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2 x 2 x 2 ได้ 8 สิ่งทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้ ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท คือ 1% และ 2% (w/w) ปัจจัยที่ 2 ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก คือ 1% และ 2% (w/w) และปัจจัยที่ 3 การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส คือ ใช้ และ ไม่ใช้

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ได้แก่ ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่าสี (L* a* และ b*) ค่าความแน่นเนื้อ และความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้ผลสรุปการวิเคราะห์ ANOVA แสดงผลดังตารางที่ 4-7 โดยพบว่าอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และค่าสี (L* a* และ b*) และความแน่นเนื้อ ($p<0.05$)

อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทกับกรดแอสคอร์บิก มีผลต่อความชอบด้านรสชาติ ($p<0.05$) อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) และปริมาณแคลเซียม ($p<0.05$)

อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท มีผลต่อความชอบโดยรวมและความชอบด้านเนื้อสัมผัส ($p<0.05$) ปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณความชื้น ($p<0.05$) และ พบว่า ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบด้านสี ($p\geq0.05$)

ลักษณะของชิ้นลูกตาลอ่อนสดและลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ แสดงดังภาพที่ 4-6 พบว่า ทุกสิ่งการทดลองยังคงมีรูปร่างที่สมบูรณ์ไม่นิ่มเละ แต่มีการหดตัวเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นลูกตาลสด

ตารางที่ 4-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (AA)

ค่าคุณภาพ	CL	AA	VI	CL × AA	CL × VI	AA × VI	CL × AA × VI
ค่า WL	sig	sig	sig	ns	sig	ns	ns
ค่า SG	ns	ns	sig	ns	ns	ns	ns
ค่า WR	sig	ns	sig	sig	ns	ns	Sig
ปริมาณความชื้น	ns	ns	sig	ns	ns	ns	Ns
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	sig	ns	sig	sig	ns	ns	Sig
ปริมาณแคลเซียม	sig	ns	ns	sig	sig	ns	Ns
ปริมาณวิตามินซี	sig	sig	sig	sig	sig	sig	Sig
ค่า L*	ns	sig	sig	ns	sig	ns	Sig
ค่า a*	ns	ns	sig	ns	ns	ns	Sig
ค่า b*	ns	sig	sig	sig	sig	sig	Sig
ค่าความแน่นเนื้อ	sig	sig	sig	sig	sig	sig	Sig
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านสี	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านรสชาติ	sig	sig	ns	sig	ns	ns	ns
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบโดยรวม	sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns

(ก) ลูกตาลอ่อนสด

(ข) สิ่งทดลองที่ 1
(CL1 : AA1 : VI)

(ค) สิ่งทดลองที่ 2
(CL1 : AA1 : no VI)

(ง) สิ่งทดลองที่ 3
(CL1 : AA2 : VI)

(จ) สิ่งทดลองที่ 4
(CL1 : AA2 : no VI)

(ฉ) สิ่งทดลองที่ 5
(CL2 : AA1 : VI)

(ช) สิ่งทดลองที่ 6
(CL2 : AA1 : no VI)

(ซ) สิ่งทดลองที่ 7
(CL2 : AA2 : VI)

(ฌ) สิ่งทดลองที่ 8
(CL2 : AA2 : no VI)

ภาพที่ 4-6 ลักษณะของชิ้นลูกตาลอ่อนสด (ก) และหลังการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง (ข)-(ฌ) เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) กรดแอสคอร์บิก (AA) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (VI)

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-8 แสดงปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลตเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีค่า WL มากที่สุด เท่ากับ 56.06% ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นมีค่า WL อยู่ในช่วง 46.02-49.83% เท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้นสูงเป็นการเพิ่มความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกกับสารละลายภายในชิ้นผักผลไม้ ส่งผลให้เกิดแรงขับมากขึ้น จึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลน้ำออกจากตัวอย่างได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Silva et al. (2014) รายงานว่าจากการออสโมซิสสับปะรดโดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 40% และ 50% ร่วมกับการใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2 และ 4% พบว่า การใช้สารละลายซูโครส 50% ร่วมกับการใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 4% มีผลให้ค่า WL มากที่สุด เท่ากับ 40% นอกจากนี้ Lewicki et al. (2001) พบว่าการออสโมซิสโดยการแช่มะเขือเทศในสารละลายผสมระหว่างซูโครส 61.5% และแคลเซียมคอลไรด์ 2% เป็นเวลา 180 นาที สามารถช่วยลดปริมาณน้ำลงได้ 20% และมีผลทำให้น้ำตาลซูโครสสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นมะเขือเทศได้ง่ายขึ้น เนื่องจากแคลเซียมสามารถสร้างพันธะกับเพคตินทำให้เกิดผลึกของแคลเซียมเพคเตทที่สามารถเกิดการทิ่มแทงเซลล์เนื้อเยื่อผลไม้ จึงเกิดโครงสร้างแบบเปิดทำให้สามารถเกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดีมากขึ้น สำหรับการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย มีผลให้เกิดกลไก Hydrodynamic mechanism (HDM) ทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัด ยุบตัวลง และอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย เมื่อนำมาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศทำให้เนื้อเยื่อเกิดการคลายตัว เป็นผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้นโดยน้ำหรือสารต่างๆที่อยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างเซลล์จะแพร่ออกมาได้ง่าย จากผนังเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีความเป็นรูมากขึ้น (Fito et al., 1995; Chafer et al., 2003) ดังนั้นการถ่ายเทมวลน้ำออกจากตัวอย่างลูกตาลอ่อนจึงเกิดได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ นอกจากนี้สอดคล้องกับงานที่วิจัยของ Shi et al. (1995) พบว่าการเตรียมขั้นต้นในการออสโมซิสสับปะรด ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ โดยให้ความดันสุญญากาศที่ 100 mbar นาน 5 นาที ทำให้มีค่า WL เท่ากับ 24.3% ซึ่งมากกว่าสับปะรดที่ไม่ผ่านการให้ความดันสุญญากาศ

จากตารางที่ 4-9 แสดงปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส 8 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการแสดงผลว่าปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อค่า SG พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้สภาวะสุญญากาศมีค่า SG มากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลให้เกิดกลไก HDM ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทิพย์สุดา อาสาสรรพกิจ และคณะ (2550) พบว่า การออสโมซิสสตรอเบอรี่ในน้ำเชื่อมความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ โดยใช้สภาวะสุญญากาศ 100 mbar เป็นเวลา 10 นาที สามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อสตรอเบอรี่ได้มากที่สุดเท่ากับ 43 องศาบริกซ์ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-10 แสดงปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลตเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ พบว่าสิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตท และความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิกระดับสูง (2%)

ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า WR สูงที่สุดเท่ากับ 38.71% ($p<0.05$) เนื่องจากค่า WR เป็นน้ำหนักสุทธิที่แสดงผลของการสูญเสียน้ำจากชิ้นลูกตาลอ่อนและการได้รับปริมาณของแข็งเข้ามาในชิ้นลูกตาลอ่อน ซึ่งปกติแล้วปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่ามากกว่าของแข็งที่ได้รับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า WR เป็นผลมาจาก WL เป็นสำคัญ สิ่งทดลองที่ 7 มีการใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิกในระดับสูง เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายให้กับสารละลายออสโมติก จึงช่วยเพิ่มความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกกับสารละลายภายในชิ้นตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดแรงขับมากขึ้น จึงทำเกิดการถ่ายเทมวลน้ำจากชิ้นตัวอย่างได้มาก และยังมีการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นร่วมด้วยจึงเป็นการช่วยทำให้การถ่ายเทมวลสารดีขึ้นตามกลไก HDM ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นนั่นเอง จึงเป็นผลให้สิ่งทดลองนี้มีค่า WL สูง ค่า WR จึงมีค่าสูงตามไปด้วย

จากภาพรวมการทดลองในขั้นตอนนี้ พบว่า ค่าการถ่ายเทมวลสารที่เกิดระหว่างการออสโมซิสล้วนมีอิทธิพลจากตัวแปรที่ศึกษา แต่มีอิทธิพลจากตัวแปรแตกต่างกัน โดยค่า WL เป็นผลจากอิทธิพลร่วมกันระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ ในขณะที่ค่า SG เป็นผลจากอิทธิพลของการใช้สภาวะสุญญากาศ และค่า WR เป็นผลจากอิทธิพลร่วมกันระหว่างทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นของกรดอแสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 4-8 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)
1	ใช้	48.52 ± 0.46^{b}
	ไม่ใช้	46.02 ± 0.11^{c}
2	ใช้	56.06 ± 4.99^{a}
	ไม่ใช้	49.83 ± 3.52^{b}

$^{a.b.c}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-9 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรการใช้สภาวะสุญญากาศ

การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)
ใช้	25.03 ± 1.09^{a}
ไม่ใช้	22.29 ± 1.08^{b}

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-10 ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)
1	1	1	ใช้	31.56 ± 0.09^{b}
2	1	1	ไม่ใช้	23.09 ± 2.54^{c}
3	1	2	ใช้	31.62 ± 2.13^{b}
4	1	2	ไม่ใช้	22.19 ± 2.41^{c}
5	2	1	ใช้	30.48 ± 2.28^{bc}
6	2	1	ไม่ใช้	23.84 ± 2.57^{c}
7	2	2	ใช้	38.71 ± 2.21^{a}
8	2	2	ไม่ใช้	26.45 ± 1.68^{b}

$^{a.b.c}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) ปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4-11 อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณความชื้นของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้สภาวะการสุญญากาศมีผลทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 56.75% ซึ่งน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 59.12% ($p<0.05$) เนื่องจากการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย มีผลให้เกิดกลไก HDM ทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัด ยุบตัวลง และอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย เมื่อนำมาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศทำให้เนื้อเยื่อเกิดการคลายตัว เป็นผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้นโดยน้ำหรือสารต่างๆที่อยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างเซลล์จะแพร่ออกมาได้ง่ายจากผนังเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีความเป็นรูมากขึ้น (Fito et al., 1995; Chafer et al., 2003) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tapia et al. (1999) เปรียบเทียบการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศกับสภาวะความดันสุญญากาศที่ความดัน 60 มิลลิบาร์ พบว่า การใช้สภาวะความดันสุญญากาศ แล้วแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศ เป็นเวลาส240 นาที สามารถช่วยลดปริมาณความชื้นของมะละกอได้ดีกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว Jacob and Paliyath (2012) ศึกษาผลการออสโมซิส ชิ้นมะม่วง ผลเชอร์รี่ และผลบลูเบอร์รี่ โดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศที่ความดัน 35-40 mmHg เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างที่ออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีความชื้นต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 4-11 ปริมาณความชื้นของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรการใช้สภาวะสุญญากาศ

การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)
ใช้	56.75 ± 1.03[b]
ไม่ใช้	59.12 ± 0.28[a]

[a,b] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) ค่าสี

เมื่อนำชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส ทั้ง 8 สิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-6 มาวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดค่าสี ได้ค่าสี L* a* และ b* นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อค่าสี L* a* และ b* แสดงผลดังตารางที่ 4-12

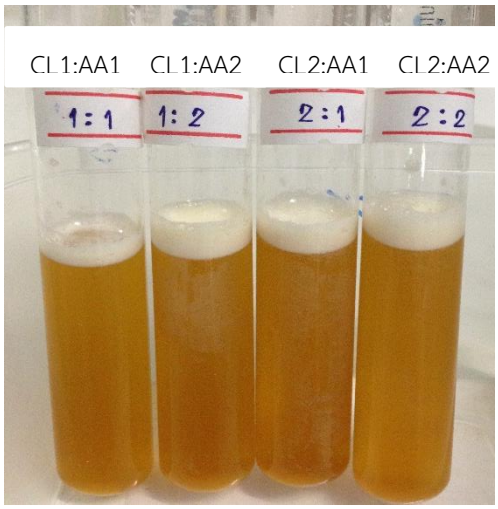
จากตารางที่ 4-12 พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า L* สูงที่สุด เท่ากับ 49.08 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 ใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า L* ต่ำที่สุด เท่ากับ 44.78 สำหรับค่า b* พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่า b* เป็นบวก (+) แสดงความเป็นสีเหลือง โดยสิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า b* สูงที่สุด เท่ากับ 13.92 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า b* ต่ำที่สุด เท่ากับ 10.97 และสำหรับค่า a* ทุกสิ่งทดลองมีค่าเป็นลบ (-) หมายถึง ค่าสีเขียว โดยสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า a* สูงที่สุด เท่ากับ -2.67 ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 8 ใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า a* ต่ำที่สุด เท่ากับ -1.74

จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศมีแนวโน้มทำให้ได้ลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีค่าความสว่างมากกว่าสิ่งทดลองที่ใช้สภาวะสุญญากาศ อาจเนื่องจากการใช้สภาวะสุญญากาศทำให้สารละลายออสโมติกแพร่เข้าไปในชิ้นลูกตาลอ่อนได้มากกว่าการไม่ใช้สภาวะสุญญากาศตามกลไก HDM ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งสีของสารละลายออสโมติก (น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส 40%w/w กับน้ำตาลมะพร้าว 20%w/w) มีสีออกเหลือง จึงทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ออสโมซิสโดยใช้สภาวะสุญญากาศมีสีออกเหลือมากขึ้นหรือมีค่าความสว่าง (L*) น้อยกว่าชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศนั่นเอง นอกจากนี้การเติมกรดแอสคอร์บิกร่วมด้วย ทำให้ทุกสิ่งทดลองมีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ทั้งนี้อาจเนื่องจากกรดแอสคอร์บิกถูกจัดเป็นสารยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning) โดยที่กรดแอสคอร์บิกมีประสิทธิภาพยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenal oxidase (PPO) ได้ (Bahceci et al., 2004) เป็นผลให้ชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีสีไม่ดำคล้ำ ยังคงมีสีเหลืองตามสีของสารละลายออสโมติก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang et al. (2000) ที่ศึกษาสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPO ใน

กล้วย พบว่า ซีสเตอีน กรดแอสคอร์บิค กรดซิตริก และกรดอะซีติก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของ PPO ได้ดี สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยได้

แต่อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองด้านค่า L* พบข้อสังเกตว่า ในสิ่งทดลองที่ใช้สารละลายของแคลเซียมแลคเตทเท่ากัน รวมถึงไม่มีการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย การเพิ่มความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกกลับมีแนวโน้มทำให้ค่า L* น้อยลง ตัวอย่างเช่น สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% มีค่าสี L* (47.84) มากกว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% (46.94) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ความเข้มข้นสูงเป็นการเพิ่มมวลของแข็งในสารละลายออสโมติกและเป็นการเพิ่มแรงขับทำให้มวลของแข็งสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นลูกตาลได้มากกว่า อาจเป็นสาเหตุให้เนื้อเยื่อมีความทึบแสงมากขึ้น ค่า L* จึงลดลง

จากภาพรวมการทดลอง พบว่า สีของชิ้นลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองมีสีออกเหลืองมากขึ้น จากการสังเกตลักษณะสีของสารละลายออสโมติกก่อนการออสโมซิสทั้ง 4 สิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-7 พบว่า สารละลายดังกล่าวมีการเติมแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมด้วยมีสีออกเหลืองเข้มกว่าสารละลายออสโมติกที่เตรียมได้จากน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสและน้ำตาลมะพร้าว โดยไม่มีการเติมแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิคร่วมด้วย จึงมีผลทำให้สีของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสทุกสิ่งทดลอง มีสีออกเหลือง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดแอสคอร์บิกเป็นโมเลกุลที่มีความไวในการทำปฏิกิริยาหรือกล่าวได้ว่า กรดแอสคอร์บิกเป็น Reducing agent ที่ดีโดยกรดแอสคอร์บิกสลายตัวได้ง่ายในบรรยากาศที่มีความร้อน แสง ความชื้น โลหะ นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกยังสามารถรีดิวซ์ Fe^{3+} (Ferric ion) เป็น Fe^{2+} (Ferrous ion) ได้ ซึ่งมีสีออกแดงส้ม (ฉัตรชัย ไตรทอง, 2553) ดังนั้น การเติมกรดแอสคอร์บิกลงไปในสารละลายออสโมติกที่มีการใช้สารละลายน้ำตาลมะพร้าวเป็นนส่วนผสม และมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ (ณัฐิริชยา อุตราภรณ์, 2551) จึงมีโอกาสทำให้สารละลายออสโมติกมีสีออกเหลืองเข้ม หรือส้มแดงมากขึ้น



ภาพที่ 4-7 ลักษณะสีของสารละลายออสโมติกก่อนการใช้ เมื่อใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าว 20%w/w กับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส 40%w/w ที่แปรความความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) และกรดแอสคอร์บิก (AA) แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-12 ค่าสี L* a* และb* ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเคท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย ± SD		
				L*	a*	b*
1	1	1	ใช้	48.26 ± 0.03^{b}	-1.95 ± 0.23^{d}	12.15 ± 0.52^{c}
2	1	1	ไม่ใช้	47.84 ± 0.26^{b}	-1.76 ± 0.05^{g}	12.34 ± 0.19^{c}
3	1	2	ใช้	44.78 ± 0.55^{f}	-2.36 ± 0.12^{b}	13.92 ± 0.63^{a}
4	1	2	ไม่ใช้	46.94 ± 0.26^{c}	-2.25 ± 0.07^{c}	10.98 ± 0.42^{d}
5	2	1	ใช้	46.15 ± 0.35^{d}	-2.67 ± 0.09^{a}	10.97 ± 0.21^{d}
6	2	1	ไม่ใช้	49.08 ± 0.34^{a}	-1.89 ± 0.11^{e}	12.22 ± 0.13^{c}
7	2	2	ใช้	45.48 ± 0.26^{e}	-1.79 ± 0.49^{f}	13.23 ± 0.66^{ab}
8	2	2	ไม่ใช้	46.13 ± 0.39^{d}	-1.74 ± 0.63^{h}	12.71 ± 0.41^{bc}

$^{a,b,c,d...}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

เนื่องจากปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เป็นอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ ($p<0.05$) ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย ± SD (g/100g)
1	1	1	ใช้	7.23 ± 0.02^{c}
2	1	1	ไม่ใช้	6.71 ± 0.11^{d}
3	1	2	ใช้	7.38 ± 0.38^{bc}
4	1	2	ไม่ใช้	7.28 ± 0.10^{c}
5	2	1	ใช้	7.68 ± 0.10^{b}
6	2	1	ไม่ใช้	7.40 ± 0.08^{bc}
7	2	2	ใช้	8.22 ± 0.03^{a}
8	2	2	ไม่ใช้	7.71 ± 0.28^{b}

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

จากตารางที่ 4-13 พบว่า สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% และกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 8.22 g/100g อาจเป็นผลเนื่องจากการสร้างพันธะของแคลเซียมไอออนกับเพคตินแล้วเกิดโครงสร้างที่เอื้อต่อการแพร่เข้าของน้ำตาลไปในชิ้นลูกตาลอ่อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lewicki et al. (2001) กล่าวว่า การเติมสารละลายแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกมีผลช่วยให้การถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากขึ้น โดยตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นผลไม้ได้มากขึ้น เนื่องจากแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) จะเข้าไปสร้างพันธะกับเพคตินที่ผนังเซลล์ทำให้เกิดโครงสร้างที่ทิ่มแทงเซลล์เนื้อเยื่อของชิ้นผลไม้ จึงเกิดโครงสร้างแบบเปิดทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้น ทำให้น้ำตาลที่อยู่ในสารละลายออสโมติกมีโอกาสแพร่เข้าไปในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้มากเช่นกัน สำหรับด้านการใช้สภาวะสุญญากาศ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่ออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่า สิ่งทดลองที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ อาจเนื่องมาจากการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้เกิดกลไก HDM นั่นเอง โดยทำให้ผนังเซลล์มีลักษณะความเป็นรูพรุนมากขึ้น และอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์ถูกดูดออกมาด้วย เมื่อนำมาแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศทำให้เนื้อเยื่อเกิดการคลายตัว เป็นผลทำให้น้ำตาลซึ่งเป็นตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้มากกว่าการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

สำหรับสิ่งทดลองอื่น พบว่า มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วง 6.71-7.71 g/100g ซึ่งต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ 7 ทั้งสิ้น ($p<0.05$)

แต่อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองด้านปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบข้อสังเกตว่า ในสิ่งทดลองที่ใช้สารละลายของแคลเซียมแลคเตทเท่ากัน รวมถึงไม่มีการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย การเพิ่มความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกกลับมีแนวโน้มทำให้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากขึ้น ตัวอย่างเช่น สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (6.71 g/100g) น้อยกว่ากว่าสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% (7.28 g/100g) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ความเข้มข้นสูงเป็นการเพิ่มมวลของแข็งในสารละลายออสโมติกและเป็นการเพิ่มแรงขับทำให้มวลของแข็งสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นลูกตาลได้มากกว่า จึงทำให้น้ำตาลที่อยู่ในสารละลายออสโมติกมีโอกาสแพร่เข้าไปในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้มาก อาจเป็นสาเหตุให้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากขึ้น

5) ปริมาณแคลเซียม

เนื่องจากอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณแคลเซียมของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4-14 ผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 404.17 mg/100g ($p<0.05$) อาจมาจากเมื่อใช้สภาวะสุญญากาศทำให้เกิดกลไก HDM ซึ่งทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัด ยุบตัวลง และอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย อาจกล่าวได้ว่าเป็นสภาวะที่สามารถกระตุ้นให้ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกแพร่เข้าไปในเซลล์ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้มาก นอกจากนี้เมื่อใช้แคลเซียมแลคเตทระดับสูงเป็นการเพิ่มปริมาณแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ในสารละลายออสโมติกจึงเพิ่มโอกาสให้เกิดการแพร่ของแคลเซียมไอออนเข้าไปในเซลล์ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้มากกว่าแคลเซียมแลคเตทระดับต่ำกว่า (1%) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัย Barrera et al. (2004) กล่าวว่าการเติมแคลเซียมความเข้มข้น 2% ในสารละลายออสโมติกทำให้ชิ้นแอปเปิ้ลมีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว และการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศสามารถทำให้แคลเซียมแพร่เข้าสู่ชิ้นแอปเปิ้ลได้มากกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้ Gras et al. (2003) ศึกษาการเสริมแคลเซียมเข้าไปในชิ้นมะเขือม่วง เห็ดนางรม และแครอท พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศ 50 mbar 10 นาที สามารถเสริมแคลเซียมในชิ้นอาหารได้ โดยใช้ในรูปสารละลายผสมของซูโครสกับแคลเซียมแลคเตท (33 g sucrose/20 g calcium lactate) โดยพบว่า การแช่ชิ้นมะเขือม่วง เห็ดนางรม และแครอทในสารละลายผสมดังกล่าวทำให้มีปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 1.80 g/100g 1.39 g/100g และ 2.70 g/100g ตามลำดับ

ตารางที่ 4-14 ปริมาณแคลเซียมของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณแคลเซียม ± SD (mg/100g)
1	ใช้	246.69 ± 3.04[c]
	ไม่ใช้	162.31 ± 2.13[d]
2	ใช้	404.17 ± 1.78[a]
	ไม่ใช้	307.23 ± 2.10[b]

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

6) ปริมาณวิตามินซี

เนื่องจากปริมาณวิตามินซีของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเป็นอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย ได้แก ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ ($p<0.05$) จึงแสดงผลดังตารางที่ 4-15 พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด เท่ากับ 1084.13 mg/100g ($p<0.05$) และสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีต่ำที่สุดเท่ากับ 210.45 mg/100g ($p<0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นสูง ช่วยเพิ่มโอกาสให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกแพร่เข้าไปในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมากกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นต่ำ และสังเกตเห็นได้ว่าการเติมแคลเซียมแลคเตทมากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณวิตามินซีในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสน้อยลง อาจเนื่องมาจากแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) สามารถสร้างพันธะกับสารประกอบเพคตินบริเวณผนังเซลล์ (Cell wall) และมิลเดิลลาเมลลา (Middle lamella) ทำให้เนื้อเยื่อผักผลไม้มีความยืดหยุ่นน้อยลง เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงมากขึ้น (Barrera et al., 2004) จึงอาจทำให้เกิดการขัดขวางการแพร่เข้าของกรดแอสคอร์บิกบางส่วนได้ ซึ่งกลไกการเกิดพันธะดังกล่าวนี้น่าจะมีผลสำคัญต่อการแพร่ของวิตามินซีมากกว่าที่ Lewicki et al. (2001) กล่าวว่า แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) จะเข้าไปสร้างพันธะกับเพคตินที่ผนังเซลล์ทำให้เกิดโครงสร้างที่ทิ่มแทงเซลล์เนื้อเยื่อของชิ้นผลไม้ จึงเกิดโครงสร้างแบบเปิดทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า สิ่งทดลองที่มีการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าสิ่งทดลองที่ออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งสอดคล้องกับ Hironaka et al. (2011) ที่ศึกษาการเสริมปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 70 mmHg เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ช่วยทำให้เพิ่มปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งเพิ่มขึ้นจาก 10 mg/100g เป็น 130 mg/100g

ตารางที่ 4-15 ปริมาณวิตามินซีของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย ± SD (mg/100g)
1	1	1	ใช้	394.37 ± 6.25^{e}
2	1	1	ไม่ใช้	362.93 ± 1.51^{f}
3	1	2	ใช้	1084.13 ± 4.20^{a}
4	1	2	ไม่ใช้	909.39 ± 1.54^{b}
5	2	1	ใช้	340.26 ± 2.74^{g}
6	2	1	ไม่ใช้	210.45 ± 7.29^{h}
7	2	2	ใช้	806.47 ± 3.15^{c}
8	2	2	ไม่ใช้	445.52 ± 5.23^{d}

$^{a,b,c,d,...}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

7) ค่าความแน่นเนื้อ

ค่าความแน่นเนื้อสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ซึ่งหมายถึง แรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหารตามระยะทางที่กำหนด ซึ่งแสดงถึงความแข็ง หรือนุ่มของผลิตภัณฑ์อาหาร ถ้าอาหารที่มีความแข็งมาก แรงที่ใช้ในการกัดอาหารในครั้งแรกก็จะมีค่ามาก (Alvarez et al., 1995) อิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้นข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4-16

จากตารางที่ 4-16 พบว่า สิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิก 2% และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด คือ 774.51 g อาจเนื่องมาจากเป็นการเติมแคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) ในสารละลายยออสโมติกโดยแคลเซียมช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีโครงสร้างแข็งแรงขึ้นส่งผลให้เนื่อเยื่อเนื้อเยื่อผักผลไม้มีความหนาแน่นมากขึ้น โดยเกลือแคลเซียมจะแตกตัวให้แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และสร้างพันธะกับเพคตินในชิ้นผักผลไม้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (Crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group -COOH) โดยแคลเซียมไอออนทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอก ซิลบนสายของเพคตินอีกสายหนึ่ง เกิดสารประกอบแคลเซียมเพคเตทซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง และมีความแน่นเนื้อมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.) ดังนั้นการใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตทในระดับสูง 2% จึงช่วยเพิ่มโอกาสให้แคลเซียมไอออนสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนได้มากขึ้นทำให้เพิ่มความแน่นเนื้อได้มากเช่นกัน ส่วนการไม่ใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสเป็นการลดโอกาสการถูกทำลายของโครงสร้างเซลล์ของชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนลงจึงช่วยรักษาความหนาแน่นเนื้อไว้ได้มากกว่า

แต่อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองด้านค่าความหนาแน่น พบข้อสังเกตว่า ในสิ่งทดลองที่ใช้สารละลายของแคลเซียมแลคเตทเท่ากัน รวมถึงไม่มีการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย การเพิ่มความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกกลับมีแนวโน้มทำให้ค่าความแน่นเนื้อมากขึ้น ตัวอย่างเช่น สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% มีค่าความหนาแน่น (716.87 g) น้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% (774.51 g) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ความเข้มข้นสูงเป็นการเพิ่มมวลของแข็งในสารละลายออสโมติกและเป็นการเพิ่มแรงขับทำให้มวลของแข็งสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นลูกตาลได้มากกว่า อาจเป็นสาเหตุให้ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-16 ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเคท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ความแน่นเนื้อเฉลี่ย ± SD (g)
1	1	1	ใช้	695.21 ± 2.81^{de}
2	1	1	ไม่ใช้	698.61 ± 0.92^{d}
3	1	2	ใช้	665.96 ± 1.42^{f}
4	1	2	ไม่ใช้	693.84 ± 2.95^{e}
5	2	1	ใช้	715.57 ± 2.29^{c}
6	2	1	ไม่ใช้	716.87 ± 1.17^{c}
7	2	2	ใช้	720.77 ± 2.35^{b}
8	2	2	ไม่ใช้	774.51 ± 1.78^{a}

$^{a,b,c,d,...}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

8) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบด้านสี ($p\geq0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-17 โดยอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก มีผลต่อความชอบด้านรสชาติ ($p<0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4-18 และ อิทธิพลหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทมีผลต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p<0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4-19 และตารางที่ 4-20 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4-17 พบว่า ทั้ง 8 สิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบด้านสี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.47-7.00 อยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

จากตารางที่ 4-18 พบว่า เมื่อใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% หรือ 2% ส่งผลให้ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมากที่สุด เท่ากับ 6.07 และ 6.12 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาตารางที่ 4-19

และ 4-20 พบว่า เมื่อใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% มีผลให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสมีค่ามากที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับ 6.35 และ 6.51 ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 4-19 และ4-20 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่มีการใช้ปริมาณแคลเซียมความเข้มข้น 2% และใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% หรือ 2% มีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ ความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด

9) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

เกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่มีปริมาณแคลเซียม และวิตามินซีสูง และคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) จากผลการทดลอง (ภาคผนวกตารางที่ จ-34) พิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอย่างน้อย 6 คะแนน ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 2 5 6 7 และ 8 เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองดังกล่าว พบว่า สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 6.67 อยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง โดยมีปริมาณแคลเซียม และวิตามินซี เท่ากับ 400.27 mg/100g และ 806.47 mg/100g ตามลำดับ

ตารางที่ 4-17 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	คะแนนค่าเฉลี่ย ± SD	
				ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}
1	1	1	ใช้	6.53 ± 1.14	6.56 ± 1.01
2	1	1	ไม่ใช้	6.57 ± 1.19	6.77 ± 1.25
3	1	2	ใช้	6.47 ± 0.97	6.53 ± 0.94
4	1	2	ไม่ใช้	6.83 ± 0.95	7.00 ± 1.44
5	2	1	ใช้	7.00 ± 0.91	6.77 ± 1.04
6	2	1	ไม่ใช้	6.97 ± 1.00	6.90 ± 1.12
7	2	2	ใช้	6.73 ± 1.14	6.57 ± 0.94
8	2	2	ไม่ใช้	6.80 ± 1.21	6.83 ± 1.32

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

ตารางที่ 4-18 คะแนนความชอบด้านรสชาติของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	คะแนนเฉลี่ย ± SD
1	1	5.45 ± 0.15^{b}
	2	4.89 ± 0.12^{c}
2	1	6.07 ± 0.06^{a}
	2	6.12 ± 0.09^{a}

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

ตารางที่ 4-19 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	คะแนนเฉลี่ย ± SD
1	6.08 ± 0.14^{b}
2	6.35 ± 0.12^{a}

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-20 คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	คะแนนเฉลี่ย ± SD
1	5.94 ± 0.17^{b}
2	6.51 ± 0.17^{a}

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

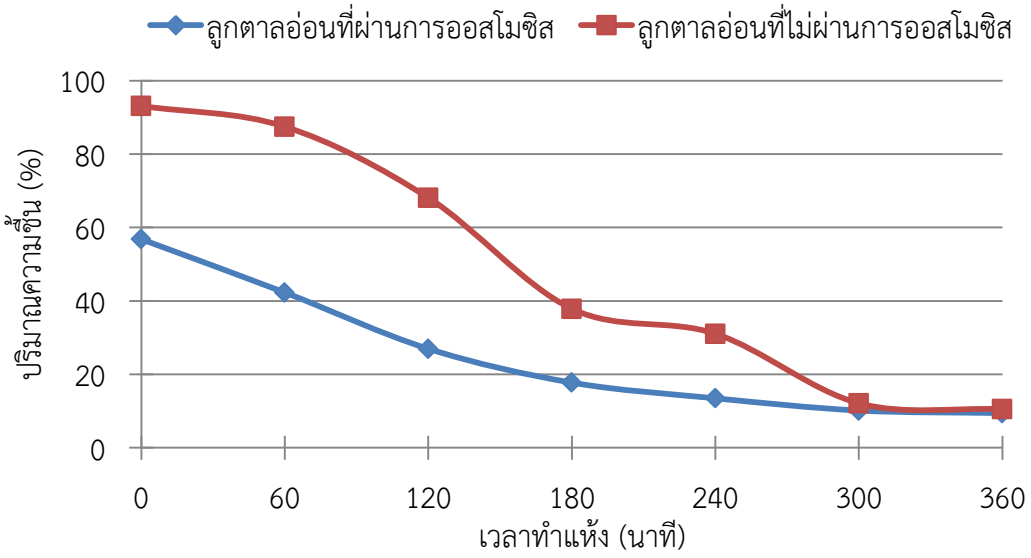
ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

จากการทำการทดลองเบื้องต้นโดยการนำชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มาทำแห้งเพื่อลดความชื้นลง พบว่า ปริมาณความชื้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถลดลงได้ โดยผลิตภัณฑ์ยังมีลักษณะดี โดยไม่แห้งแข็งมากเกินไป คือมีความชื้นประมาณ 15% และมีค่า a_w ประมาณ 0.65 ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food) ที่กำหนดไว้ว่าต้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.90 (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ , 2528) นำชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้นและค่า a_w ดำเนินการโดยการสุ่มชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนที่อบแห้งทุก 1 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์หาความชื้นแล้วสร้างกราฟการทำแห้งซึ่งเป็น

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้ง ทำนายเวลาการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้าย 15% แล้วทำแห้งตามเวลาที่ทำนายไว้จนได้ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้ง นำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ผลการสร้างกราฟการทำแห้งและการทำนายเวลาในการทำแห้ง

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการอบแห้งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) แสดงดังภาพที่ 4-8



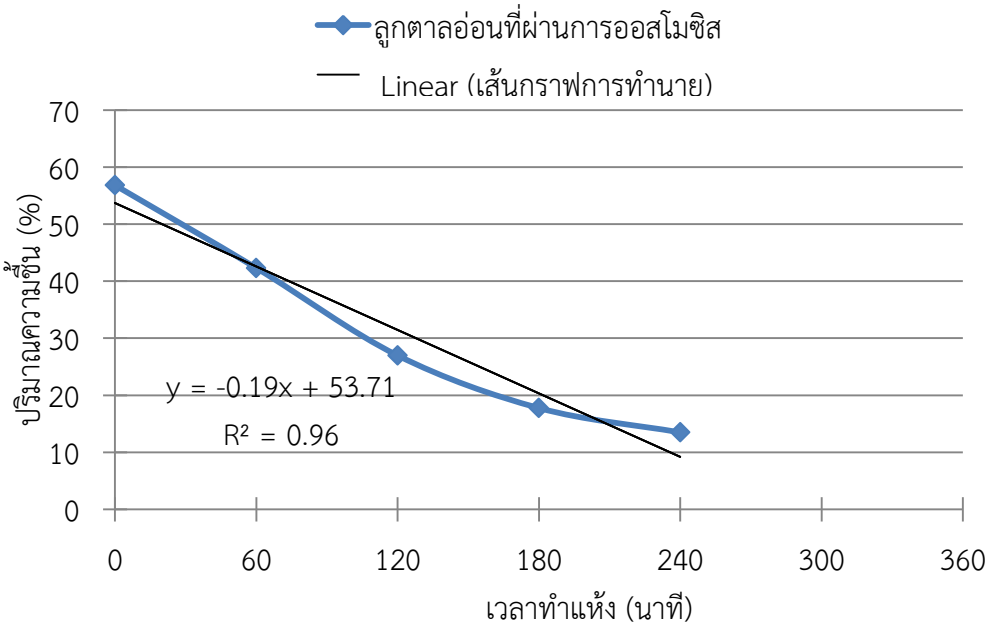
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งลูกตาลที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

หากพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นตามเวลาในการทำแห้ง ดังภาพที่ 4-8 พบว่าชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนมีปริมาณความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาการทำแห้งนานขึ้น เนื่องจากการทำแห้งด้วยลมร้อนสามารถทำให้ความชื้นในอาหารลดลงได้ โดยความร้อนจากอากาศในห้องอบจะถูกถ่ายเทไปยังผิวอาหารและทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านชั้นของอากาศรอบๆ อาหารและถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน ทำให้ความดันไอของอากาศที่ผิวลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอของความชื้นในอาหารกับอากาศร้อน ความแตกต่างนี้จะผลักดันให้น้ำภายในอาหารระเหยออกมาสู่ผิวหน้าอาหาร จึงส่งผลทำให้ความชื้นลดลง

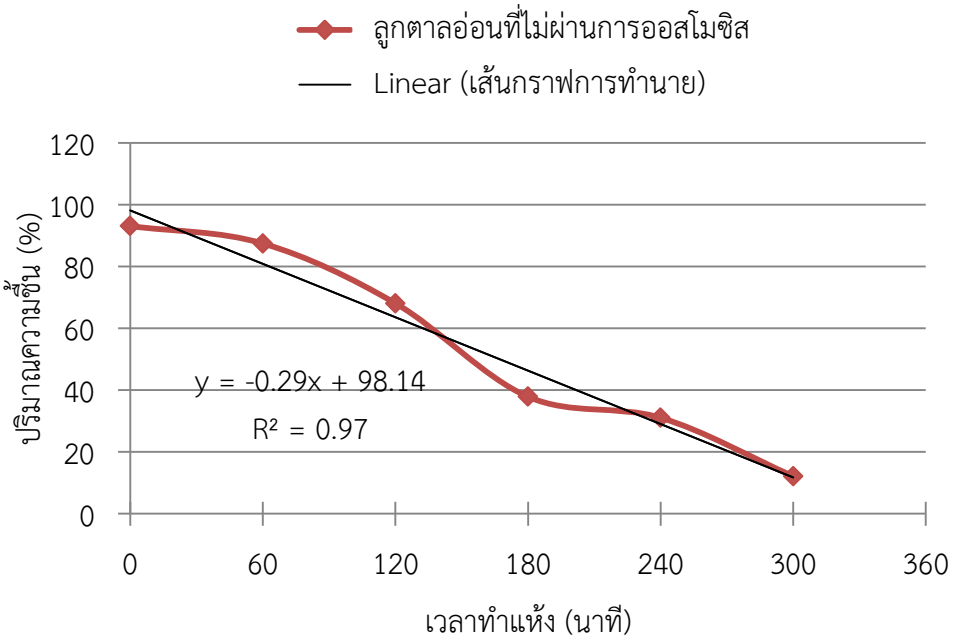
นอกจากนี้ผลการทดลอง ภาพที่ 4-8 พบว่าลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นประมาณ 56.82% ในขณะที่ลูกตาลอ่อนสดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นประมาณ 93.11% แสดงให้เห็นว่าการออสโมซิสสามารถลดความชื้นของลูกตาลก่อนการทำแห้งได้ โดยตลอดเวลาการทำแห้งปริมาณความชื้นของลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสต่ำกว่าลูกตาลที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากกระบวนการออสโมซิสเป็นกระบวนการที่ช่วยดึงน้ำออกจากชิ้นอาหารได้

ทำให้ลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าลูกตาลอ่อนที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เมื่อนำมาทำแห้งโดยตู้อบลมร้อนแบบถาด น้ำที่ยังคงมีอยู่ในชิ้นเนื้อลูกตาลอ่อนสามารถลดลงได้อย่างต่อเนื่องและมีความชื้นที่ต่ำกว่าลูกตาลอ่อนที่ไม่ผ่านการออสโมซิสตลอดการทำแห้ง

เมื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งโดยใช้รูปสมการเส้นตรง ได้ผลดังภาพที่ 4-9 และ 4-10 ซึ่งพบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาการทำแห้งของลูกตาลที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มีค่า R^2 เท่ากับ 0.96 และ 0.97 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือ โดยทั่วไปสมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 แสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือมาก (Haaland, 1998; Hu, 1999) ในการสร้างสมการทำนาย พบว่า สมการสำหรับลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิส สามารถใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งถึง 240 นาที จึงจะได้ค่า R^2 สำหรับสมการเส้นตรงสูงที่สุด (0.96) เนื่องจากในช่วง 240 นาที ของการทำแห้งมีแนวโน้มตามสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมาก เมื่อทำแห้งมากกว่า 240 นาที ปริมาณความชื้นค่อนข้างคงที่แล้ว นอกจากนี้หากต้องการทำนายเวลาในการทำแห้งให้ได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 15% การใช้เวลาทำแห้งในช่วง 240 นาที ก็เพียงพอที่จะทำนายเวลาได้แล้ว สมการสำหรับลูกตาลอ่อนที่ไม่ผ่านการออสโมซิสสามารถใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งถึงเวลา 300 นาที จึงจะได้ค่า R^2 สำหรับสมการเส้นตรงสูงที่สุด (0.97) เนื่องจากในช่วง 300 นาที ของการทำแห้งมีแนวโน้มตามความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมาก เมื่อทำแห้งมากกว่า 300 นาทีปริมาณความชื้นค่อนข้างคงที่แล้ว นอกจากนี้หากต้องการทำนายเวลาในการทำแห้งให้ได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 15% การใช้เวลาทำแห้งในช่วง 300 นาที ก็เพียงพอที่จะทำนายเวลาได้แล้ว ซึ่งจากสมการสามารถทำนายเวลาในการทำแห้งลูกตาลที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสเพื่อให้ได้ความชื้น 15% เท่ากับ 208.79 และ 288.87 นาที ตามลำดับ หากปรับเวลาเพื่อสะดวกต่อการจับเวลาทำแห้งจริงได้ เท่ากับ 209 และ 289 นาที ตามลำดับ นำลูกตาลที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาทำแห้งตามเวลาที่กำหนดดังกล่าว พบว่าทำให้ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นสุดท้าย เท่ากับ 15.32% และ 15.12% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าการออสโมซิสก่อนการทำแห้งมีผลช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้งได้ 80 นาที



ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งลูกตาลที่ผ่านการออสโมซิส เป็นเวลานาน 240 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งลูกตาลที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เป็นเวลานาน 300 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4-21 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับเวลาทำแห้ง (x) ของลูกตาลที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสนำมาทำแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	สมการ	R^2	เวลาทำแห้งตามการทำนาย (นาที)	เวลาทำแห้งจริง (นาที)	ความชื้นสุดท้ายที่ได้ (%) ± SD
ลูกตาลที่ผ่านการออสโมซิส	y = -0.19x + 53.71	0.96	208.79	209	15.32 ± 0.16
ลูกตาลที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	y = -0.29x + 98.14	0.97	288.87	289	15.15 ± 0.21

2) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้ง

2.1) คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

จากการสังเกตลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส พบว่า ชิ้นลูกตาลอ่อนมีลักษณะหดตัวลงมากกว่าลูกตาลสด และผิวด้านนอกค่อนข้างแห้ง โดยลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีสีเหลืองอ่อน ส่วนลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีสีน้ำตาลคล้ำ แสดงดังภาพที่ 4-11 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส ซึ่งมีการเติมแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้น 2% และกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 2% และลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อ ค่า a_w และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ได้ผลดังตารางที่ 4-22

(ก) ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส (ข) ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส

ภาพที่ 4-11 ลักษณะของชิ้นลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข)

ตารางที่ 4-22 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสและลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส	ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ปริมาณความชื้น^{ns} (%)	15.32 ± 0.16	15.15 ± 0.21
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด(g/100g)	5.55 ± 0.07^{a}	4.36 ± 0.24^{b}
ปริมาณแคลเซียม (mg/100g)	198.47 ± 3.42^{a}	85.17 ± 0.64^{b}
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g)	966.38 ± 1.54^{a}	19.91 ± 0.62^{b}
ค่า L*	43.04 ± 1.68^{a}	38.28 ± 0.26^{b}
ค่า a*	1.38 ± 0.15^{b}	11.48 ± 0.75^{a}
ค่า b*	15.97 ± 1.06^{b}	19.91 ± 1.75^{a}
ค่าความแน่นเนื้อ (g)	732.97 ± 1.50^{a}	700.29 ± 1.27^{b}
ค่า a_w	0.68 ± 0.01^{b}	0.69 ± 0.01^{a}
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	$2.6x10^{1\ a}$	$<1.0x10^{1\ b}$

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4-22 พบว่า ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่า a_w ค่าสี L* ค่าความแน่นเนื้อ และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด มากกว่าลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณค่าสี a* และ b* มากกว่าลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$)

ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นสุดท้าย คือ 15.32% และ 15.15% และมีค่า a_w เท่ากับ 0.68 และ 0.69 ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นอาหารกึ่งแห้ง เนื่องจากมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.90 ตามกำหนด (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2528) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน เนื่องจากในขั้นตอนการทำแห้งมีการควบคุมเวลาการทำแห้งตามการทำนายให้ได้ปริมาณความชื้นสุดท้ายตามที่กำหนดไว้ แต่ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่า a_w ต่ำกว่า ลูกตาลอ่อนที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) เนื่องจากในขั้นตอนของการออสโมซิส น้ำอิสระในผลไม้ สามารถรวมตัวกับตัวถูกละลาย เช่น น้ำตาล ในสารละลายออสโมติก และยึดต่อกับโครงสร้างของอาหารน้ำอิสระดังกล่าวจึงแยกออกจากอาหารได้ยาก ไม่สามารถเป็นตัวทำละลายกับสารอื่น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) จึงทำให้ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่า a_w ต่ำกว่า ลูกตาลอ่อนที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (5.55 g/100g) มากกว่าผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (4.36 g/100g) เนื่องจากการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้น

เนื้อลูกตาลในสารละลายออสโมติกที่มีการใช้น้ำตาลเป็นส่วนประกอบโดยใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส 40% (w/w) ผสมกับน้ำตาลมะพร้าว 20% (w/w) จึงทำให้ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส มีมากกว่าผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส

ผลการวิเคราะห์ด้านปริมาณแคลเซียมและปริมาณวิตามินซี แสดงให้เห็นว่าการเติมธาตุแคลเซียมในรูปของแคลเซียมแลคเตท และการเติมวิตามินซีในรูปของกรดแอสคอร์บิก สามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีในผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าการไม่นำมาออสโมซิส ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 198.47 mg/100g และปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 966.38 mg/100g ในขณะที่ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 85.17 mg/100g และปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 19.91 mg/100g ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fito et al. (2001) ที่แสดงให้เห็นว่าสามารถเติมสารพวก PAC (Physiologically Active Compounds) ซึ่งหมายถึงสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายลงในสารละลายออสโมติกได้ เช่น เติมแคลเซียมและเหล็กในสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่มะเขือยาวและเปลือกส้ม แล้วสามารถเพิ่มธาตุแคลเซียมและเหล็กได้มากกว่าในของสด

สำหรับค่าสี L* a* และ b* พบว่า ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่าสี L* (ความสว่าง) มากกว่าผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) แต่มีค่า a* (สีแดง) และ b*(สีเหลือง) น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีความสว่างมากกว่า ในขณะที่ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีสีออกน้ำตาลแดงและสีออกน้ำตาลเหลืองมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับสีที่สังเกตเห็นด้วยตาเปล่าทั้งนี้อาจเนื่องจากลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีโอกาสสัมผัสกับความร้อนในการทำแห้งเป็นเวลานานกว่าจึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้มากกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นได้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนหรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลผลิตที่ได้คือสารเมลานอยดิน (Melanodin) ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล (รัชนี ตัณฑะพานิช, 2535) มีรายงานว่าการออสโมซิสสามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารได้ เนื่องจากการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้นผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง โดยชิ้นผลไม้จมอยู่ในสารละลายตลอดเวลา ซึ่งสามารถลดการสัมผัสกับออกซิเจนป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและช่วยรักษาความคงตัวของสีในผลิตภัณฑ์ได้ (Ponting et al., 1996)

จากการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหาร พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีแนวโน้มค่ามากกว่า (732.97 g) ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (700.29 g) เนื่องจากการเติมแคลเซียมแลคเตทอาจมีส่วนช่วยให้ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสยังคงมีโครงสร้างแข็งไม่นิ่มเละมาก โดยเกลือแคลเซียมจะแตกตัวให้แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และสร้างพันธะกับเพคตินในชิ้นผลไม้ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (Crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) โดย Ca^{2+} เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตท (Calcium pactate) ที่ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง และแน่นเนื้อมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป .ป.) ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Barrera et al. (2004) ได้ศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมและเหล็กในโครงสร้างรูพรุนของชิ้นแอปเปิ้ล พบว่าการ

เติมแคลเซียมแลทเตททำให้ตัวอย่างมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ต่ำ โดยแคลเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินบริเวณมิลเดิลลาเมลลา (Middle lamella) ของผนังเซลล์พืชจึงทำให้ตัวอย่างมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่า จุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส และไม่ผ่านการออสโมซิส มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $2.6x10^1$ cfu/g และน้อยกว่า $1.0x10^1$ cfu/g ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ a_w ต่ำกว่า 0.9 รวมถึงรา และยีสต์ส่วนใหญ่จะไม่สามารถเจริญเติบโตที่ a_w ต่ำกว่า 0.7 (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์, 2545) เมื่อพิจารณาผลการทดลองเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.7 จึงมีโอกาสเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้น้อย แต่จากการทดลองสามารถตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วย อาจเนื่องมาจากการเจริญของจุลินทรีย์จำพวกยีสต์บางประเภท โดยเฉพาะกลุ่ม Osmophilic Yeast สามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง และทนต่อแรงดันออสโมติกได้ แม้ผลิตภัณฑ์จะมีค่า a_w ต่ำประมาณ 0.6 รวมถึงกลุ่มเชื้อราที่ชอบเจริญในที่แห้ง (Xerophilic Molds) ซึ่งสามารถเจริญได้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่า a_w 0.65 อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ได้ มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค โดยจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน 10^6 cfu/g ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 1220/2549 เรื่อง ลูกชิดเชื่อม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549)

การที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสมีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปหลายขั้นตอน ถึงแม้ว่าผู้วิจัยได้มีกระบวนการที่ช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในหลายขั้นตอน โดยมีการล้างวัตถุดิบ การแช่ในสารละลายกรดซิตริก และการให้ความร้อนสารละลายออสโมติกแล้วก็ตาม แต่ในระหว่างกระบวนการออสโมซิสที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีโอกาสทำให้เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ปนเปื้อนมาจากวัตถุดิบเจริญมากขึ้น หรืออาจจะยังคงอยู่ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปที่น้อยกว่า และนอกจากนี้ใช้เวลาในการทำแห้งมากกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสถึง 80 นาที ดังนั้นโอกาสที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญในสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการออสโมซิสจึงน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิส

2.2) คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการนำผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 - point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้ผลดังตารางที่ 4-23 พบว่า คะแนนความชอบทุกด้าน ได้แก่ ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมากกว่าผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) โดยเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส พบว่า มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และเนื้อสัมผัส ในช่วง 5.77-7.33 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึง

ชอบปานกลาง และมีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.40 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ที่ได้รับคะแนนความชอบในทุกด้าน ในช่วง 4.70-5.50 อยู่ในระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส มีลักษณะปรากฏที่ดีกว่า โดยมีสีเหลืองอ่อน รสชาติหวาน และเนื้อสัมผัสคงรูป แม้เนื้อสัมผัสด้านนอกแห้งแข็งแต่เนื้อด้านในนิ่ม เคี้ยวง่าย ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะสีน้ำตาลแดงคล้ำ รสชาติหวานน้อยกว่า และเนื้อสัมผัสทั้งด้านนอก และด้านในค่อนข้างแห้งแข็ง เคี้ยวยากกว่า จึงทำให้ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์น้อยกว่า หากพิจารณาร่วมกับค่าความแน่นเนื้อ (ตารางที่ 4-22) พบว่า การที่ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อ (732.97 g) มากกว่าค่าความแน่นเนื้อของลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (700.29 g) เป็นผลจากแรงที่ใช้กดสูงสุดจากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นลูกตาลกึ่งแห้ง ซึ่งเป็นค่าแรงที่ใช้กดบริเวณเนื้อสัมผัสด้านนอกของชิ้นลูกตาล

ตารางที่ 4-23 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย ± SD	
	ลูกตาลกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส	ลูกตาลกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	7.30 ± 1.06[a]	5.20 ± 1.00[b]
ความชอบด้านสี	7.33 ± 1.12[a]	5.50 ± 1.25[b]
ความชอบด้านรสชาติ	6.23 ± 1.45[a]	5.47 ± 1.28[b]
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	5.77 ± 2.11[a]	4.70 ± 1.64[b]
ความชอบโดยรวม	6.40 ± 1.50[a]	5.43 ± 1.22[b]

[a,b,] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตอนที่ 4 ผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

จากการนำลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้มาบรรจุในถุงพลาสติก LDPE (พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ) เคลือบอะลูมิเนียมฟอยด์และปิดผนึกให้สนิท เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 °C) และอุณหภูมิแช่เย็น (5±1 °C) และตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

จากตารางที่ 4-24 และ 4-25 เมื่อเก็บรักษาลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ เมื่อพิจารณาด้านปริมาณความชื้น พบว่า เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาการ

เก็บรักษานานขึ้น มีผลทำให้ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้ มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) อยู่ในช่วงร้อยละ 15.35-16.29 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างการเก็บตัวอย่างลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างอาจดูดซับความชื้นที่มีอยู่ในช่องว่างของบรรจุภัณฑ์รวมถึงการเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้นเอื้อต่อการหลอมละลายของน้ำตาลที่เป็นส่วนผสมในตัวอย่างได้ ในขณะที่เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็นปริมาณความชื้นไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บ ($p\geq0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ทั้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ พบว่า มีค่า a_w ไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บ ($p\geq0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.68-0.69 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้มีค่า a_w ที่มีความเสถียรต่อสภาวะการเก็บ นอกจากนี้การบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะที่เหมาะสมโดยใช้ถุงพลาสติกชนิด LDPE (พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ) เคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการซึมผ่านของอากาศความชื้น และแสงได้ดี จึงเป็นการลดปัจจัยที่จะกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านการถ่ายโอนความชื้นได้ดี โดยภาพรวมพบว่าการเก็บรักษาลูกตาลกึ่งแห้งโดยบรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPD เคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ยังคงมีปริมาณความชื้นและ ค่า a_w อยู่ในช่วงของอาหารกึ่งแห้ง ที่กำหนดว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งต้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 15%-55% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60-0.85 (Jay, 1998)

จากตารางที่ 4-24 และ 4-25 เมื่อเก็บรักษาลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ตามลำดับ เมื่อพิจารณาด้านปริมาณแคลเซียม พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ($p\geq0.05$) มีค่าประมาณ 198 mg/100 g db สำหรับปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มลดลงจากปริมาณวิตามินซีเริ่มต้นประมาณ 966 mg/100 g db เมื่อสิ้นสุดเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น เหลือวิตามินซีประมาณ 940.10 mg/100 g db และ 958.30 mg/100 g db ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณการลดลงไม่เกิน 3% อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างปริมาณแคลเซียมกับปริมาณวิตามินซี พบว่า วิตามินซีที่มีความเสถียรน้อยกว่าแคลเซียม การเก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น เอื้อต่อการสูญเสียปริมาณวิตามินซีจากผลิตภัณฑ์ไปได้ โดยอาจมีปัจจัยเร่งด้านการสัมผัสกับออกซิเจนและความร้อนทำให้วิตามินซีมีโอกาสูญเสียโครงสร้างไปได้ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งมีการเสริมปริมาณวิตามินซีในขั้นตอนการออสโมซิสด้วยแล้ว หากมีการสูญเสียวิตามินซีไประหว่างการเก็บรักษาบ้างแต่ยังคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ในปริมาณมาก

จากตารางที่ 4-24 และ 4-25 เมื่อเก็บรักษาลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ตามลำดับ เมื่อพิจารณาด้านค่าสีของลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ พบว่า มีแนวโน้มต่างกัน โดยลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิแช่เย็นมีค่าสี L* และ b* ไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บ ($p\geq0.05$) แต่ค่าสี a* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น จากที่ระยะเวลาการเก็บ 0 สัปดาห์ มีค่า a* เท่ากับ 1.37 และที่ระยะเวลาเก็บ 4 สัปดาห์ มีค่า a* เท่ากับ 2.89 โดยผลิตภัณฑ์มีสีออกน้ำตาลแดงเข้มขึ้น ในขณะที่ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้อง มีค่าสี L* a* และ b* เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บ ($p<0.05$) โดยพบว่า ค่า L* และ b* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าสี a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้มากกว่าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น โดยมีผลให้

ผลิตภัณฑ์มีสีออกน้ำตาลแดงและคล้ำลง อาจเกิดจากในระหว่างการเก็บรักษาลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอนิล ทำให้เกิดโพลีเมอร์ของสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำของเมลานอยดิน (Melanoidin) มีผลทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ไม่พึงประสงค์ โดยมีสภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษาเป็นตัวเร่งที่ทำให้อาหารกึ่งแห้งเกิดสีน้ำตาลเร็วขึ้น เช่น อุณหภูมิ และการสัมผัสกับออกซิเจนในภาชนะบรรจุ เป็นต้น (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2535; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ในการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้นลูกตาลอ่อนในสารละลายน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส รวมถึงเนื้อลูกตาลอ่อนก็มีน้ำตาลตามธรรมชาติด้วย ซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำตาลประเภทรีดิวส์ซิง คือ กลูโคส และ ฟรุคโตส จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้สูง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสเกิดสีน้ำตาลได้ นอกจากนี้การสลายตัวของวิตามินซีภายใต้สภาวะที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศก็ตาม มีผลทำให้เกิดรงควัตถุสีน้ำตาลได้ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2535) สำหรับค่าความแน่นเนื้อ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีผลทำให้ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้มีค่าความแน่นเนื้อลดลง ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ค่าความแน่นเนื้อลดลงจาก 730.37 g เหลือ 719.30 g ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ เมื่อสัมผัสกับอากาศและความชื้นที่มีอยู่ในภาชนะบรรจุน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มีโอกาสหลอมละลายออกมาจึงให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้นและมีความนุ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น พบว่า ค่าความแน่นเนื้อไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บ ($p\geq0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 730.31-734.30 g

2) คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการนำผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น และสุ่มตัวอย่างมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้ผลดังตารางที่ 4-26 และ 4-27 พบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิแช่เย็น ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ คะแนนความชอบทุกด้านไม่มีการเปลี่ยนแปลงไป ($p\geq0.05$) ยังคงได้รับความชอบอยู่ในช่วง 6.01-7.45 แสดงถึงคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้อง พบว่า คะแนนความชอบด้านรสชาติไม่มีการเปลี่ยนแปลงไป ($p\geq0.05$) ส่วนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาเก็บรักษา ($p<0.05$) ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งหลังการผลิตได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 6.01-7.33 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นมีแนวโน้มให้ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลง โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 5.99-6.97 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีสีออกน้ำตาลแดงและคล้ำลง รวมถึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มลง แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่คะแนนความชอบโดยรวมก็ยังพบว่าได้รับคะแนนในระดับชอบเล็กน้อย (6.31) แสดงว่าผู้ทดสอบยังยอมรับผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์

3) คุณภาพทางจุลินทรีย์

เมื่อเก็บรักษาลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา แสดงดังตารางที่ 4-28 และ 4-29 พบว่า ที่เวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.6 x 10^1 cfu/g ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 1.0 x 10^1 cfu/g โดยพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.5 x 10^1 cfu/g สำหรับปริมาณยีสต์และรา พบว่า เมื่อเก็บรักษา 4 สัปดาห์ มีปริมาณยีสต์และรา 1.0 x 10^1 cfu/g ในขณะที่ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.0 x 10^1 cfu/g ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 1.0 x 10^1 cfu/g จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้ผ่านการแปรรูปด้วยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งสามารถควบคุมให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นและ ค่า a_w ต่ำ ซึ่งจัดเป็นอาหารประเภทกึ่งแห้ง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้น้อยลงระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสอาจมีผลเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์บางประเภท โดยเฉพาะยีสต์ในกลุ่ม Osmophilic Yeast ซึ่งสามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง และทนต่อแรงดันออสโมติกสูงได้ดี (Shukla and Singh, 2007)

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ด้านจุลินทรีย์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนในกลุ่มอาหารกึ่งแห้งกำหนดไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องต้องไม่เกิน 1 x 10^3 cfu/g และปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 cfu/g (มผช. 161/2546 เรื่อง ผลไม้แช่อิ่ม) จากผลการทดลองจึงยืนยันได้ว่า ผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้และหลังการเก็บเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด จึงยังคงมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

ตารางที่ 4-24 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 $^{\circ}$C)

ค่าคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
ปริมาณความชื้น (%)	15.35 ± 0.50^{b}	15.39 ± 0.52^{b}	15.38 ± 0.43^{b}	16.19 ± 0.24^{a}	16.29 ± 0.52^{a}
ค่า a_w ^{ns}	0.68 ± 0.01	0.68 ± 0.00	0.68 ± 0.01	0.69 ± 0.01	0.68 ± 0.01
ปริมาณแคลเซียม ^{ns}(mg/100g db)	198.49 ± 4.13	198.51 ± 5.00	198.19 ± 4.55	198.59 ± 4.56	198.50 ± 4.80
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g db)	966.17 ± 2.10^{a}	966.12 ± 3.78^{a}	960.01 ± 2.78^{b}	958.14 ± 7.01^{b}	940.10 ± 3.15^{c}
ค่า L*	44.40 ± 1.18^{a}	44.42 ± 1.11^{a}	42.10 ± 1.08^{b}	42.14 ± 1.04^{b}	40.78 ± 1.09^{c}
ค่า a*	1.37 ± 0.22^{c}	1.38 ± 0.25^{c}	2.50 ± 0.54^{b}	2.54 ± 0.87^{b}	3.15 ± 1.18^{a}
ค่า b*	15.94 ± 1.04^{c}	15.90 ± 1.00^{c}	16.50 ± 1.45^{b}	16.57 ± 1.71^{b}	17.91 ± 0.99^{a}
ค่าความแน่นเนื้อ (g)	730.37 ± 6.07^{a}	730.39 ± 5.11^{a}	731.14 ± 5.78^{a}	730.49 ± 4.91^{a}	719.30 ± 8.11^{b}

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางที่ 4-25 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (5±1 ^{o}C)

ค่าคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
ปริมาณความชื้น ^{ns} (%)	15.35 ± 0.50	15.39 ± 0.22	15.38 ± 0.43	15.41 ± 0.14	15.39 ± 0.22
ค่า a_w ^{ns}	0.68 ± 0.01	0.68 ± 0.00	0.68 ± 0.01	0.68 ± 0.00	0.68 ± 0.01
ปริมาณแคลเซียม ^{ns}(mg/100g db)	198.41 ± 4.13	198.50 ± 5.10	198.10 ± 5.05	198.50 ± 4.50	198.11 ± 4.78
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g db)	966.38 ± 2.05^{a}	963.10 ± 4.11^{a}	965.81 ± 3.15^{a}	966.01 ± 2.74^{a}	958.30 ± 2.55^{b}
ค่า L* ^{ns}	44.40 ± 1.18	44.48 ± 1.09	44.80 ± 1.32	46.24 ± 1.25	45.05 ± 1.81
ค่า a*	1.37 ± 0.22^{c}	1.30 ± 0.18^{c}	1.99 ± 0.12^{b}	2.01 ± 0.21^{b}	2.89 ± 1.08^{a}
ค่า b* ^{ns}	15.94 ± 1.04	15.93 ± 1.11	15.90 ± 1.24	15.87 ± 2.01	15.90 ± 1.78
ค่าความแน่นเนื้อ ^{ns} (g)	730.31 ± 6.02	730.30 ± 7.05	730.35 ± 5.87	733.01 ± 5.11	734.30 ± 8.11

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

$^{\#}$ คือ คิดจากฐานน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4-26 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 °C)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	คะแนนความชอบโดยรวม
0	7.31 ± 1.21^{a}	7.33 ± 1.01^{a}	6.25 ± 1.01	6.01 ± 1.08^{a}	6.40 ± 0.98^{a}
1	7.34 ± 1.10^{a}	7.30 ± 1.08^{a}	6.29 ± 1.04	6.08 ± 1.05^{a}	6.41 ± 0.89^{a}
2	7.33 ± 0.98^{a}	7.33 ± 1.00^{a}	6.25 ± 1.01	6.05 ± 1.41^{a}	6.48 ± 1.20^{a}
3	7.30 ± 0.94^{a}	7.29 ± 1.04^{a}	6.23 ± 1.45	6.04 ± 1.47^{a}	6.40 ± 1.08^{a}
4	6.97 ± 0.58^{b}	6.87 ± 0.97^{b}	6.24 ± 1.12	5.99 ± 1.02^{b}	6.31 ± 0.94^{b}

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-27 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (5±1 ^{o}C)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	คะแนนความชอบโดยรวม^{ns}
0	7.31 ± 1.21	7.33 ± 1.09	6.25 ± 1.11	6.01 ± 1.08	6.40 ± 0.98^{a}
1	7.35 ± 1.04	7.35 ± 1.04	6.26 ± 1.04	6.09 ± 1.04	6.42 ± 1.08^{a}
2	7.30 ± 0.98	7.43 ± 0.91	6.20 ± 0.87	6.11 ± 0.58	6.44 ± 0.87^{a}
3	7.28 ± 1.14	7.45 ± 0.92	6.35 ± 0.85	6.08 ± 0.68	6.40 ± 0.90^{a}
4	7.31 ± 1.01	7.30 ± 1.23	6.25 ± 0.91	6.13 ± 0.85	6.41 ± 0.99^{a}

^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-28 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 °C)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณจุลินทรีย์ (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม)	
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	ยีสต์และรา
0	2.6×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$
1	2.5×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$
2	3.0×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$
3	3.0×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$
4	3.5×10^1 est.	1.0×10^1 est.

ตารางที่ 4-29 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (5±1 °C)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณจุลินทรีย์ (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม)	
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	ยีสต์และรา
0	2.6×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$
1	2.5×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$
2	2.5×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$
3	3.0×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$
4	3.0×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$

ตอนที่ 5 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำเอกสารโดยให้ความรู้เชิงเทคนิคในการแปรรูปลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งให้ได้คุณภาพมาตรฐาน โดยดำเนินการประสานงานส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล เพื่อเผยแพร่ต่อให้กับกลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนที่แปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อน ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว และประชาชนที่สนใจ ในจังหวัดชลบุรีและเพชรบุรี ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนแสดงดังภาพที่ 4-12

ภาพที่ 4-12 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลมะพร้าวกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส พบว่า การใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโก ฟรุกโตสแตกต่างกัน มีผลทำให้ค่า WL SG และ WR รวมถึงปริมาณความชื้น ค่าa_w ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าสี และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี และด้านเนื้อสัมผัส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีแนวโน้มว่าการใช้สารละลายน้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียวความเข้มข้น 60% ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสาร และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด การใช้สารละลายผสมโดยใช้น้ำตาลมะพร้าว 10-30% ร่วมกับการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส 30-50% มีแนวโน้มให้ค่าการถ่ายเทมวลสารไม่แตกต่างกันมากนัก และมีค่า WL SG และ WR เพิ่มมากขึ้นจากการใช้สารละลายน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว โดยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.81-1.56% 0.68-1.39% และ0.55-0.92% ตามลำดับ ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส 40%w/w กับน้ำตาลมะพร้าว 20%w/w เนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง โดยมีค่า WL และ WR สูงที่สุด เมื่อสิ้นสุดการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 60.47% และ 37.52% ตามลำดับ รวมถึงมีค่า SG สูง เมื่อสิ้นสุดการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ เท่ากับ 22.97% โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.73

5.1.2 ผลของการเติมแคลเซียมและวิตามินซีร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิส พบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อค่า WR ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และค่าสี (L* a* และ b*) และความแน่นเนื้อ ($p<0.05$) อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทกับกรดแอสคอร์บิก มีผลต่อความชอบด้านรสชาติ ($p<0.05$) อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อค่า WL และปริมาณแคลเซียม ($p<0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทมีผลต่อความชอบโดยรวม และความชอบด้านเนื้อสัมผัส ($p<0.05$) ปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อค่า SG และปริมาณความชื้น ($p<0.05$) และ พบว่า ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบด้านสี ($p\geq0.05$) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม คือ การเติมแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ 100

mbar เป็นเวลา 10 นาที เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 6.67 มีปริมาณแคลเซียม และวิตามินซี เท่ากับ 400.27 mg/100g และ 806.47 mg/100g

5.1.3 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสการออสโมซิส พบว่า การออสโมซิสลูกตาลอ่อนก่อนการทำแห้งสามารถช่วยลดเวลาในการทำแห้งเมื่อใช้ตู้อบแบบแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ลงได้ โดยลูกตาลอ่อนที่ผ่านการออสโมซิสใช้เวลา 209 นาที ในขณะที่การทำแห้งลูกตาลอ่อนที่ไม่ผ่านการออสโมซิสใช้เวลา 289 นาที โดยมีความชื้นเท่ากับ 15.32% และ 15.12% ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบคุณภาพลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส พบว่ามีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แคลเซียม วิตามินซี ค่าสี L* ค่าความแน่นเนื้อ และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณค่าสี a* ค่าb* และค่า a_w มากกว่าลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.40 คะแนนมากกว่าลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิสที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 5.43 คะแนน

5.1.4 ลูกตาลอ่อนกึ่งแห้งที่ผลิตได้เมื่อบรรจุในถุงพลาสติก LDPE (พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ) เคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยยังคงมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค และยังได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สามารถเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ได้โดยการหั่นให้มีขนาดชิ้นหรือรูปทรงแบบใหม่ หรือแต่งสีให้สวยงามมากขึ้น โดยเติมน้ำผลไม้หรือสีจากธรรมชาติลงในสารละลายออสโมติก

5.2.2 อาจมีการเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายชนิดอื่นลงในสารละลายออสโมติก เช่น แร่ธาตุ หรือวิตามินชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น

5.2.3 อาจศึกษาวิธีการอบแห้งในวิธีอื่นๆ เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งให้มีคุณภาพดีมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

กระยาทิพย์ เรือนใจ. (2543). *ผลไม้คุณค่านานาเพื่อสุขภาพ.* กรุงเทพฯ: ต้นธรรม.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. (2532). *เทคโนโลยีของน้ำตาล*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เกสร สว่างพนาพันธุ์. (2555). *ศักยภาพทางการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนของชุมชนตาลโตนด : กรณีศึกษาชุมชนตาลโตนด ตำบลถ้ำรงค์ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี*. วิทยานิพนธ์ศิลปะศาตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรวัฒนธรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ฉัตรชัย ไตรทอง. (2553). *วิตามินซี (Ascorbic acid).* วันที่ค้นข้อมูล 28 เมษายน 2559, เข้าถึงได้จาก http://thailand.digitaljournals.org/index.php/RTAMG/article

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

ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์. (2551). *ผลของการวิจัยในการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติของน้ำตาลมะพร้าว*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เดชา ศิริภัทร. (ม.ป.ป.). *ลักษณะลูกตาลโตนด*. วันที่ค้นข้อมูล 5 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http://frynn.com

ทิพย์สุดา อาสาสรรพกิจ,นิพรพรรณ์ มุทุมล และสุทัศน์ สุระวัง. (2550). การปรับปรุงคุณภาพสตรอเบอร์รีอบแห้งโดยกระบวนการออสโมติกดีไฮเดชั่นสภาวะสุญญากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร, 38(5), 317-320.

นวพร หงส์พันธุ์ และจันทรสุดา อดุลนศักดิ์สกุล. (2556). ผลของแป้งกล้วยดัดแปรและสารให้ความคงตัวทางการค้าต่ออคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมสด. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา, 44*(2), 217-220.

นฤมล เหลืองนภา. (2533). *การผลิตและการใช้เนื้อลูกตาลสุกผงในขนมไทยบางชนิด.* วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิติยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร.* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

นิติยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *น้ำตาลมะพร้าว*. วันที่ค้นข้อมูล 5 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http ://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3295/น้ำตาลมะพร้าว

นิติยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส*. วันที่ค้นข้อมูล 9 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1213/fructo-oligosaccharide-oligofructose

นิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *วิตามินซี*. วันที่ค้นข้อมูล 14 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1723/vitamin-c-ascorbic-acid

ประสงค์ เทียนบุญ. (2549). การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ. ใน *การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เภสัชกรรม 2547.* เชียงใหม่: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์. (2557). *ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index)*. วันที่ค้นข้อมูล 6 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.ezygodiet.com

ปาริชาติ สักกะทำนุ. (2540). *วิตามินซี บทบาทในการป้องกันและรักษาโรค* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์รวมทรรศ์.

ปิฎฐะ บุนนาค. (2524). *ปาล์ม*. กรุงเทพฯ: บรรณกิจเทรดดิ้ง.

ปรียา วิบูลเศรษฐ์. (2528). a_w *กับอาหารและอาหาร IMF*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (มปป.). *เกลือแคลเซียม.* วันที่ค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1868/calcium-salt-เกลือแคลเซียม

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิภ. (2532). *กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2534). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการหมัก.* เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2539). *อาหารกึ่งแห้ง.* เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2549). *ลูกชิดเชื่อม.* เข้าถึงได้จาก https://law.resource.org

มณีรัตน์ ชาญชัยศิลป์. (2558). *ราคาลูกตาล.* วันที่ค้นข้อมูล 5 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http ://www. Thainews.prd.go.th

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. (2535). *เคมีอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และไพศาล วุฒิจำนงค์. (2545). การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. เอกสารประกอบการสัมมนา-อบรมวิชาการด้านอุตสาหกรรมอาหาร. *วารสารจาร์พา, 9*(68).

วันทนีย์ เกรียงสินยศ. (2549). กินอย่างไรไม่ให้ซีดจากการขาดธาตุเหล็ก. *หมอชาวบ้าน*, 27 (321), 44-46.

วันวิสาข์ กระแสคุปส์. (2535). *การปรับปรุงคุณภาพของผลไม้อบแห้งด้วยการเคลือบก่อนการทำแห้งแบบออสโมซิส*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริพร ต้นจอ, ครรชิต จุดประสงค์ และประภาศรี ภูวเสถียร. (2553). อินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อสุขภาพ. *วารสารโภชนาการ, 45*(2), 2-13.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. (2522). *ทฤษฎีอาหาร เล่ม 2 หลักการถนอมอาหารและควบคุมคุณภาพ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: บำรุงนุกูลกิจ.

ศิริวรรณ สุทธจิตต์. (2548). *ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเพื่อสุขภาพ* (พิมพ์ครั้งที่ 3). เชียงใหม่: ธนุชพริ้นติ้ง.

ศิลาลักษณ์ กลั่นพจน์, จุรีย์พร กิมาวะหา, และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2555). ผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและชนิดของสารละลายออสโมติกต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ของมะพร้าวกะทิ. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 22,* 67-71.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2555). *การตลาดอาหารเพื่อสุขภาพ*. วันที่ค้นข้อมูล 31 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.kasikornresearch.com

สถาบันอาหาร. (2552). *ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพของโลก.* วันที่ค้นข้อมูล 31 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.fic.nfi.or.th/th/foodinsight/default.asp

ศิริวรรณ สุทธจิตต์. (2548). *ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเพื่อสุขภาพ*. (พิมพ์ครั้งที่ 3) เชียงใหม่ : ธนุชพริ้นติ้ง.

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร. (2557). *การประยุกต์ใช้กระบวนการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งแบบสุญญากาศในการพัฒนาคุณภาพกล้วยไข่กึ่งแห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์. (2547). *ผลของการใช้ความดันสูงและความร้อนต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนด.* วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอาหาร, ภาควิชาอุตสาหกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมเกียรติ ขันอ่อน. (2552). *ตาลโตนด*. วันที่ค้นข้อมูล 31 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก https://www.l3nr.org/posts/497033

สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ. (2554). *แคลเซียมไม่ว่าวัยไหนก็ขาดไม่ได้.* วันที่ค้นข้อมูล 31 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.hiso.or.th/hiso/health_news/health_story1_1php

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2555). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 1220/2549 เรื่องลูกชิดเชื่อม.* วันที่ค้นข้อมูล 30 มกราคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://app.tisi.go.th/cgi-bin/otop/stdsearch.pl

อัคราช พาอ้อ และอัฐภิญญา ปัทมาภาสสกุล. (2556). *การเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายและการปรับปรุงกระบวนการออสโมซิสโดยใช้สภาวะสุญญากาศและปั๊มดูดจ่ายของเหลวในการออสโมซิสเนื้อเงาะ.* โครงงานวิจัยระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

อังคณา ทองพูล. (2552). ระวังโรคกำเริบเพราะอาหารเสริม. *ชีวจิต.* 11(251) 52-54.

อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ. (2539). *ตามรอยน้ำตาล* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ที.พี.พริ้น.

อุดม ลคหวั่น. (2528). อาชีพเพาะจาวตาล. *ชาวเกษตร, 4*(46), 23-28.

อ่อนรวี รัตนาพันธุ์. (2533). หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส. *อาหาร*, *20*(4), 240-245.

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

AOAC. (1995). *Official method of analysis* (16th ed.). Washington, DC: Association of official analytical chemists.

Alvarez, C. A., Aguerre, R., Gomez, R., Vidales, S., Alzamora, S. M., & Gerschenson, L. N. (1995). Air dehydration of strawberries: Effects of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport. *Journal of Food Engineering*, *25*(2), 167-178.

Apriyantono, A., Aristyani, A., Nurhayati, Lidya, Y., Budiyanto, S., & Soekarto, S. T. (2002). Rate of browning reaction during preparation of coconut and palm sugar. *International Congress Series, 1245,* 275-278.

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2003). *Food Sampling/Preparation of Sample Homogenate Chaper 1*. Retrieved from http://www.fda.moph.go.th

Barrera, C., Betoret, N., & Fito, P. (2004). Ca^{2+} and Fe^{2+} influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, *65*(1), 9-14.

Bahceci, S.K., Serpen, A., Gokmen,V. (2004). Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: Change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *Journal of Food Engineering*. 66, 187-192.

Brett, C., & Waldron, K. (1990). *Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls.* London: Unwin Hyman.

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.

Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Transport mechanism in osmotic dehydration: the role of the structure. *Food Science Technology International*, *9*(3), 179-186.

Fito, P. (1995). Modelling of vacuum osmotic dehydration of foods. *Journal of Food Engineering, 23*(1-4)*,* 313–328.

Fito, P., & Chiralt, A. (1995). Cited in Derossi, A., De Pilli, T., & Severini C. (2010). Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, *99*(1), 9-15.

Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Cháfer, M., Martínez-Monzó, J., Andres, A., & Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering, 49*(2-3), 175-183.

Gras, M. L., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation Interaction with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, *56*(2-3)*,* 279-284.

Haaland, P. D. (1998). *Experimental Design in Biotechnology*. USA: Marcel Dekker, lnc.

Herring, T., & Albrecht, J. (2005). *Functional food*. USA: University of Nebraska London.

Hironaka, K., Kikuchi, M., 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*(3), 1114-1118.

Hu, R. (1999). *Food Product Design: A Computer-Aided Statistical Approach*. USA: Technomic Publishing Co., Ltd.

Jacob, J. K., & Paliyath, G. (2012). Infusion of fruits with nutraceuticals and health regulatory components for enhanced functionality. *Food Research International*, *45*, 93–102.

Khan, M. R. (2012). Osmotic dehydration technique for fruit preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Science*, *22*(2), 71-85.

Lane & Enyon. (1849). *Determination of reducing sugar by Lane-Enyon method.* Retrived November 20, 2012, from e-book.ram.edu/ee-book/f/ft332-13-20.pdf

Lenart, A. (1996). Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. *Drying Technology*, 14, 391–413.

Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Dalla, R. M., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality. *Journal of Food Science*, *50*(5), 1217-1219.

Lewis, S. Burmeister, S. Cohen, S. Brazier, J. Awasthi, A. (2005). Failure of dietary oligofructose to prevent antibiotic-associated diarrhoea. *Aliment Pharmacol Ther*, 21(4), 469-77.

Luna-Guzman, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology, 19*(1), 61-72.

Matusek, A., Czukor, B., & Merész, P. (2008). Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. *9*(3), 365–373.

Matusek, A., Czukor, B., Merész, P., & Örsi, F. (2008). Comparison of diffusion of fructo-oligosaccharide components during vacuum impregnation and osmotic dehydration. *European Food Research and Technology, 227*(2), 417-423.

Mavrovdis, N. E., Gekas, V., & Sjöholm, I. (1998). Osmotic dehydration of apples-Effects of agitation and raw material characteristics. *Journal of Food Engineering*, *35*(2), 191-209.

Osorio, C., Franco, M. S., Castaño, M. P., Gonza´lez-Miret, M. L., Heredia F. J., & Morales, A. L. (2007). Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *8*, 353–359.

Rao, V. A. (2001). The prebiotic properties of oligofructose at low intake levels. *Nutrition Research, 21*(6)*,* 843-848.

Sanjinez-Argadona, E. J., Hubinger, M. D., Menegalli, F. C. (2002). Effect of osmotic dehydration on colour and mechanical properties of dried guavas. In: International Drying Symposium, Beijing. Proceedings Beijing, 2002. v. B, 968-976.

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.

Shukla, B. D., & Singh, S. P. (2007). Osmo-convective drying of cauliflower, mushroom and greenpea. *Journal of Food Engineering*, *80*(2), 741-747.

Silva, K. S., Fernandes, M. A., & Mauro, M. A. (2014). Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. *Journal of Food Engineering, 134*, 37-44.

Spiller, A. G. (2001). *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition* (3rd ed.). USA: Boca Raton, Fla.

Tapia, M. S., Lopez-Malo, A., Consuegra, R., Corte, P., & Welti-Chanes, J. (1999). Minimally processed papaya by vacuum osmotic dehydration (VOD) techniques / Papaya. *Food Science and Technology International, 5*(1), 41-49.

Thammarutwasik, P., Hongpattarakere, T., Chantachum, S., Kitroongrote, K., Itharat, A., Reanmongkol, W., Tewtrakul, S., & Ooraikul, B. (2007). *Studies of some Thai crops as sources of prebiotic ingredient*. Final report submitted to National Science and Technology Development Agency, 1-13.

Thampan, P.K. (1975). *The Coconut Palm and Its Products*. Cochin, India: Green Villa Publishing.

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, *26*(1), 59-68.

Yang, C., Fujita, S., Ashrafuzzaman, M., Nakamura, N. and Hayashi, N. 2000. Purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (Musa sapientum L.) pulp. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 48, 2732-2735

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ก-1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

1. อุปกรณ์

1) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น 560 ประเทศเยอรมนี
2) เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (Check weigher) Sartorius รุ่น AC2115-00 ประเทศเยอรมนี
3) โถดูดความชื้น (Desiccator)
4) ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)

2. การวิเคราะห์

1) อบภาชะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2) นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างไม่เกิน 0.05 กรัม)

3) ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5 กรัม บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างอาหารที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างอาหารลงในภาชะอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักที่คงที่แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งไม่เกิน 0.05 กรัม

การคำนวณ

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

$$\text{ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัมฐานแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้} - \text{น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป}} \times 100$$

ก-2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 1990) ตามวิธีของ (Lane-Eynon, 1984)

1. สารเคมีและอุปกรณ์

1) สารละลาย Fehling reagent ซึ่งประกอบด้วย Fehling's solution no.1 และ no.2

Fehling's solution no.1 เตรียมโดยละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 69.278 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร โดยใช้ volumetric flask

Fehling's solution no.2 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 100 กรัม และ F โซเดียมโปแตสเซียมดาร์เตรท ($NaKC_4O_6 \cdot 4H_2O$) Rochelle salt 346 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร

สารละลายทั้งสองนี้ต้องเตรียมแยกกันและเก็บใส่ขวดสีน้ำตาล เมื่อต้องการใช้ให้ผสมสารละลายทั้งสองนี้ด้วยปริมาตรเท่ากันทันทีก่อน ใช้

2) สารละลาย 1% Methylene blue ในน้ำกลั่น

3) สารละลาย Zinc ferrocyanide ประกอบด้วยสารละลาย Carrez I & II

สารละลาย Carrez I เตรียมโดยละลาย zinc acitate dehydrate 21.9 กรัมในน้ำกลั่น ที่มีกรดอะซีติก (glacial acetic) 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร

สารละลาย Carrez II เตรียมโดยละลายโปแตสเฟอร์โรไซยาไนด์ 10.6 กรัมในกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

4) บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

5) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

6) ปิเปต ขนาด 5 10 และ 50 มิลลิลิตร

7) ขวดวัดปริมาตร 100 250 และ 1000 มิลลิลิตร

8) เตาไฟฟ้า (Hot plate) รุ่น ECM6 ประเทศอังกฤษ

2. การวิเคราะห์

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างมา 15 g เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ (20 มิลลิลิตร) ทำให้ใสโดยใช้สารละลาย zinc ferrocyanide ประกอบด้วยสารละลาย Carrez I & II อย่างละ 5 มิลลิลิตร เพื่อให้สามารถสังเกตจุดยุติได้ง่ายขณะไตเตรชั่น โดยเติมสารละลาย Carrez I จำนวน 5 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากันแล้วเติมสารละลาย Carrez II ลงไปอีก 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันอีกครั้งแล้วจึงปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที แล้วกรอง เก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนอินเวอร์ชั่น ซึ่งค่าที่ได้เป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารตัวอย่างที่ไม่รวมน้ำตาลซูโครส เพราะน้ำตาลซูโครสไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซิ่ง

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนการอินเวอร์ชั่น (D_1)

- **Preliminary titration**

สารละลายที่กรองได้ใส่ในบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร ไล่ฟองอากาศออกให้หมด ปิเปตสารละลาย Mixed Fehling reagent มา 10 มิลลิลิตร (ใช้อย่างละ 5 มิลลิลิตร) ใส่ในฟาสต์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วเล็กๆ ลงไป 8-10 เม็ด เพื่อกันการล้นออกมาของสารละลาย นำไปต้มให้เดือดบนเตาบุนเซ็นจนเดือด แล้วจึงไตเตรทกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจนสีน้ำเงินจางลง หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1-2 หยด ไตเตรทจนสีฟ้าหายไปหมด เหลือตะกอนสีส้มแดงของคิวปรัสออกไซด์ จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ความเข้มข้นที่เหมาสมของสารละลายน้ำตาลต้องสามารถรีดิวซ์สารละลาย Mixed Fehling reagent 10 มิลลิลิตร ได้ด้วยปริมาตรของสารละลายน้ำตาลตัวอย่างอยู่ในช่วง 15-25 มิลลิลิตร ต้องทำซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นอน แล้วหาค่าเฉลี่ยของสารลายที่ใช้ หากปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ไตเตรทน้อยกว่า 15 มิลลิลิตร ควรเจอจางสารละลายน้ำตาลดังกล่าวลงอีกแล้วทำการไตเตรทใหม่ ในทางตรงกันข้ามหากปริมาตรของสารละลายที่ใช้ไตเตรทมากกว่า 50 มิลลิลิตร แสดงว่าสารละลายน้ำตาลนั้นเจอจางเกินไป ต้องเตรียมสารละลายน้ำตาลใหม่ ให้มีความเข้มข้นมากขึ้นกว่าเดิม หากสารละลายน้ำตาลมีความเข้มข้นที่เหมาะสมแล้วจะต้องทำการไตเตรชั่นเพื่อให้รู้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่แน่นอนในขั้นตอน Accurate titration

- **Accurate titration**

โดยปิเปตสารละลาย Mixed Fehling reagent มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในฟาสต์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วลงไป 8-10 เม็ด เติมสารละลายน้ำตาลจากบิวเรตลงไปทันที โดยใช้ปริมาตรน้อยกว่าที่ใช้ในการทำ Preliminary titration ประมาณ 1-2 มิลลิลิตร แล้วต้มทันทีบนเตาบุนเซ็นจนเดือด หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1-2 หยด แล้วไตเตรทในอัตราเร็ว 0.25 ml/วินาที พยายามไตเตรทให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 3 นาที ตั้งแต่เริ่มเดือดจนสีฟ้าจางหายไปหมดเหลือตะกอนสีส้มแดงของคิวปรัสออกไซด์ จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสด้วยวิธี Lane and Eynon นั้น จะต้องมีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนและหลังอินเวอร์ชั่น โดยที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนอินเวอร์ชั่น จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งทั้งหมดที่ไม่รวมซูโครสเนื่องจากซูโครสไม่จัดเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่ง ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งหลังอินเวอร์ชั่น จะเป็นค่าบ่งบอกถึงปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ท (กลูโคส และฟรุคโตส) และน้ำตาลรีดิวซิ่งทั้งหมดอยู่ในอาหารนั้น ดังนั้นผลต่างของปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนและหลังอินเวอร์ชั่น คือ ปริมาณน้ำตาลซูโครส

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งหลังการอินเวอร์ชั่น (D_2)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งหลังการอินเวอร์ชั่นนั้นอาจใช้สารละลายน้ำตาลเดิมที่เหลือจากการไตเตรทหาค่า D_1 แล้ว โดยแบ่งมาจำนวนหนึ่งให้ทราบปริมาตรที่แน่นอนเพื่อใช้ประโยชน์ในการคำนวณกลับ ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรด

เกลือเข้มข้น 6.54 นอร์มัล 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปอุ่นใน Water bath ที่อุณหภูมิ 70 °C นานประมาณ 10 นาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว แล้วปรับให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็นกลางด้วยสารละลายด่างเข้มข้น 5.0 โมล เมื่อได้สารละลายที่เป็นกลางแล้วนำไปปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปใส่ในบิวเรตเพื่อไตเตรทกับสารละลาย Mixed Fehling reagent 10 มิลลิลิตร ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาค่า D_1 บันทึกปริมาตรสารละลายน้ำตาลที่ใช้ โดยทำซ้ำ 2-3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

ก-3 ปริมาณแคลเซียม (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

1. สารเคมีและอุปกรณ์

1) โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green)
2) สารละลายโซเดียมอะซิเตต 20% (Sodium acetate)
3) สารละลายกรดออกซาลิก 3% (Oxalic acid)
4) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide)
5) สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มัล (potassium permanganate)
6) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 37% (Hydrochloric acid 37%)
7) กรดซัลฟูริก 96% (Sulfuric 96%)
8) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น 560 ประเทศเยอรมนี
9) เตาเผา (Muffle furnace) Carholite รุ่น RWF 12/23 ประเทศอังกฤษ
10) เตาไฟฟ้า (Hot plate) รุ่น ECM6 ประเทศอังกฤษ
11) เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (Checkweigher) Sartorius รุ่น AC2115-00 ประเทศเยอรมนี
12) เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น CG 842 ประเทศเยอรมนี
13) โถดูดความชื้น (Desiccator)
14) ถ้วยครูซิเบิ้ล (Crucible)
15) กระดาษกรอง

2. การวิเคราะห์

1) อบแห้งตัวอย่างสดด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาสเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิ้ลเผาไหม้ตัวอย่างในเตาไฟฟ้าจนไม่มีควันดำเสียก่อน แล้วจึงนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิปรมาณ 550 องศาสเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้อง

3) เทเถ้าลงในบีกเกอร์แล้วเติมกรดไฮโรคลอริก 5 มิลลิลิตร นำไประเหยให้แห้งบน Steam bath

4) ละลายส่วนที่เหลือโดยเติมกรดไฮโดรคลอริก 2 มิลลิลิตรนำไปให้ความร้อนบน Steam bath นาน 5 นาที

5) เจือจางสารละลายที่ล้างให้ได้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองชนิด Ashless ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร โดยอาจทิ้งสารละลายที่กรองได้ในช่วงแรกไปได้ 154-20 มิลลิลิตร

6) นำสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร แล้วเจือลาง 150 มิลลิลิตร

7) เติมโบรโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ 7-8 หยด และสารละลายโซเดียมอะซิเตต 20% เพื่อปรับพีเอชเป็น 4.8-5.0 สารละลายจะมีสีฟ้า จากนั้นปิดด้วยกระจกนาฬิกาแล้วนำไปให้ความร้อนจนเดือด

8) เติมสารละลายกรดออกซาลิก 3% 1 หยด ทุกๆ 3-5 วินาที ลงในสารละลายเพื่อตกตะกอนแคลเซียม จนกระทั่ง pH เปลี่ยนเป็น 4.4-4.6 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนเป็นแคลเซียมออกซาเลต (Calcium oxalate) โดยสารละลายจะมีสีเขียว

9) นำสารละลายไปต้มนาน 1-2 นาที แล้วทิ้งให้ตกตะกอนจนกระทั่งใส จากนั้นกรองส่วนในออกผ่านกระดาษกรอง Quantitative

10) ล้างบีกเกอร์ที่มีตะกอนอยู่และตกตะกอนอีกครั้งด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ในอัตราส่วนแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 50 มิลลิลิตร) ประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายไปกรอง

11) เจาะรูกระดาษกรองแล้วล้างกระดาษกรองเพื่อชะตะกอนทั้งหมดด้วยสารละลายผสมของน้ำ 125มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริก 5 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80-90°C

12) นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายโพสแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 70-90 องศาสเซลเซียส จนกระทั่งได้สีชมพูอ่อน

การคำนวณ

ปริมาณแคลเซียม (mg/100g) = (a/b) x 100

เมื่อ a = ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม) โดยที่ 1 มิลลิกรัมของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มัลที่ใช้ในการไทเทรต = 1 มิลลิกรัม ของแคลเซียม

b = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก-4 ปริมาณวิตามินซี (AOAC,1995)

1. สารเคมีและอุปกรณ์

1) กรดเมตาฟอสฟอริก (Metaphosphoric acid) (BDH laboratory Supplies, England)
2) กรดอะซิติก (Acetic acid) (LAB SCAN, lreland)
3) กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid) (BDH laboratory Supplies, England)
4) 2,6 ไดคลอโรอินโดฟีนอล (2,6-Dichoroindophenol) (Ajax Finechem, Australia)

5) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium Hydrogen Carbonate) (AR grade, Ajax finechem, Australia)
6) น้ำกลั่น
7) เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius, AC211S, Germany)
8) ปิเปต ชนิด Mohr ขนาด 1 มิลลิลิตร
9) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
10) ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 200 250 และ 500 มิลลิลิตร
11) ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
12) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1

2. การเตรียมสารเคมี

- สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก (metaphosphoric acid – acetic acid) ชั่งกรดเมตาฟอสฟอริก (HPO_3) มา 15 กรัม ละลายในกรดอะซิติก 40 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง whatman No.1 (ถ้าเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น สามารถใช้ได้ภายใน 10 วัน)

- สารละลายวิตามินซีมาตราฐาน (ความเข้มข้น เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อมิลลิลิตร) ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.05 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิตริกให้ได้ปริมาตร 50มิลลิลิตร (ระวังอย่าให้โดนแสง)

- สารละลายอินโดฟีนอลมาตราฐาน (standardization of dye solution) ชั่ง 2,6 ไดคลอโรอินโดฟีนอล 0.05 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรที่มีโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) อยู่ 0.042 กรัม จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 200 มิลลิลิตรแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 (เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นใช้ได้ 2-3 สัปดาห์ ระวังอย่าให้ถูกแสง)

3. การวิเคราะห์

3.1 การปรับมาตรฐานของ Dye solution

1) ปิเปตสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตราฐาน 2.0 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งมีสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 5.0 มิลลิลิตร

2) ทำไปไทเทรตกับ Dye solution จนกระทั่งถึงยุติ (สีชมพูอ่อน) บันทึกปริมาตรที่ใช้

3) ทำแบงค์ (Blank) โดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน จากนั้นคำนวณหา Dye factor

$$\text{Dye factor} = \frac{\text{2 mg ascorbic acid}}{(\text{titre of dye solution} - \text{titre of blank})\text{ml}}$$

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม แล้วเติมสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 10 มิลลิลิตร จากนั้นกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง whatman No. 1 แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติกให้ได้ 50 มิลลิลิตร

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ 10 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร

3) ไทเทรตด้วย dye solution จนกระทั่งได้สีชมพูอ่อน (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4) ทำ blank โดยใช้สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 7 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น โดยใช้ปริมาตรเท่ากับปริมาตรของ dye solution ที่ไทเทรต

การคำนวณ

ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100กรัม) = (X-B) x (F/E) x (V/Y) x100

เมื่อ X = ปริมาตรที่ไทเทรตตัวอย่าง
B = ปริมาตรที่ไทเทรต blank
F = Dye factor
E = จำนวณมิลลิลิตรที่ใช้ในการหา Dye factor
V = ปริมาตรที่ไทเทรตได้ในการหา Dye factor
Y = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

ข-1 ค่าสี

การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (HunterLab miniscan) ต้องดำเนินการเทียบมาตรฐานของเครื่องวัดสี (Calibration) สุ่มตัวอย่าง จัดเรียงใส่ในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างให้เต็มถ้วย โดยแต่ละสิ่งทดลองวัด 3 ซ้ำ ซึ่งค่าที่วัดในระบบ CIE รายงานเป็นค่าสี L* a* และ b* ดังนี้

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

ค่าสี a* หมายถึง ค่าสีเขียว-แดง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีเขียว ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีแดง

ค่า b* หมายถึง ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีน้ำเงิน ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีเหลือง

ค่า ΔE หมายถึง ค่าความแตกต่างของสี

การคำนวณค่า ΔE

นำค่า L* a* และ b* ของตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุมและของตัวอย่างที่ต้องการเปรียบเทียบ มาคำนวณค่า ΔE สามารถคำนวณได้ตามสูตร ดังนี้

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2\,(a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

เมื่อ L_0^* a_0^* และ b_0^* คือ ค่า L^* a^* และ b^* ของตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุม

L^* a^* และ b^* คือ ค่า L^* a^* และ b^* ของตัวอย่างที่ต้องการเปรียบเทียบ

ข-2 ค่า Water activity (a_w)

วิเคราะห์ค่า Water activity ด้วยเครื่อง Novasina รุ่น AWC Water Activity Center ใช้สารละลายอิ่มตัวของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (ค่า a_w = 0.75) เป็นสารละลายมาตรฐานโดยนำตัวอย่างมาบรรจุในภาชนะสำหรับวัดค่า a_w บรรจุตัวอย่างประมาณ 2 ใน 3 ของภาชนะ นำตัวอย่างไปเข้าเครื่องวัดจนกระทั่งค่าคงที่ อ่านค่า a_w ที่ได้ โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยการใช้ เครื่อง NOVASINA

ข-3 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness)

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2) โดยเตรียมตัวอย่างวางบนแท่นกดครั้งละ 1 ชิ้น วัดโดยใช้แรงกด (Compression) โดยใช้หัววัดรูทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (P/2) กดลงตรงกลางชิ้นตัวอย่างโดยแต่ละสิ่งทดลองจะวัด 10 ครั้ง (ใช้ตัวอย่าง 10 ชิ้น/1 สิ่งทดลอง) และหาค่าเฉลี่ยจากแรงที่สูงที่สุดรายงานเป็นค่าความแน่นเนื้อ (Firmness)

ภาคผนวก ค

ค-1 แบบทดสอบความชอบวิธี 9-point-hedonic scale

หมายเลขผู้ทดสอบ : ..... วันที่ : .....

<u>คำแนะนำ</u> กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ กรุณาบ้วนปากก่อนชิมทุกครั้ง

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

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

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ง-1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

1. วัสดุและสารเคมี

1) อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Compact Dry TC, Nissui Pharmaceutical, Japan)

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

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meducai Limited, England)

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

3) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

3. การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1) ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม Peptone Water 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมนาน 1 นาที จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1}

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1. มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดที่บรรจุสารละลาย Peptone Water 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2}

3) เจือจางสารละลายตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2 จนได้ความเจือจาง 10^{-3}

4) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1} มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป แล้วรีบปิดฝาถาดอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป

5) ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4 จนครบสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2} และ 10^{-3}

6) นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

7) การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีแดงทั้งหมด แล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจาง และรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด (Yousef & Carlstrom, 2003) ได้ตามสูตร ดังนี้

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

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีเฉลี่ยที่ความเจือจางต่ำที่สุด

df คือ Dilution Factor หรือส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะเชื้อในถาดที่หาค่า n ได้

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

7.2) หากไม่ตรวจพบจำนวนโคโลนีเลยในจำนวน 2 ซ้ำ ให้รายงานว่า <1.0 x (dilution ที่ความเจือจางต่ำที่สุด)

7.3) หากจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีไม่มากนัก ให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

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

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

ง-2 ปริมาณยีสต์และรา โดยวิธีการนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

1. วัสดุและสารเคมี

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

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

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meducai Limited, England)

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

3) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

3. การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1) ทำวิธีเดียวกันกับภาคผนวกที่ ง-1 ในข้อที่ 1-5

2) นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน

3) การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีฟ้าเขียวอ่อน (Light Bluish Green) ทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจางและรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด เช่นเดียวกันกับภาคผนวก ง-1

ยกเว้นกรณี หากจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีไม่มากนัก ให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

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

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนี มากจนไม่สามารถนับได้ ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ จ-1 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นลูกตาลอ่อนระหว่างการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w)) ระหว่างการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลาออสโมซิส (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย WL ±SD (%)				
	สิ่งทดลองที่ 1 (0:60)	สิ่งทดลองที่ 2 (60:0)	สิ่งทดลองที่ 3 (10:50)	สิ่งทดลองที่ 4 (20:40)	สิ่งทดลองที่ 5 (30:30)
1	32.63 ± 1.48^{ab,D}	35.34 ± 4.77^{a,C}	30.50 ± 3.71^{b,D}	31.96 ± 2.55^{ab,F}	34.79 ± 5.09^{ab,E}
2	33.93 ± 1.99^{c,D}	44.55 ± 5.79^{a,B}	37.49 ± 2.30^{b,C}	46.31 ± 1.68^{a,E}	37.12 ± 0.18^{b,DE}
3	39.94 ± 1.05^{bc,C}	47.30 ± 1.56^{a,B}	36.78 ± 0.10^{b,C}	46.22 ± 2.42^{a,E}	44.34 ± 1.12^{bc,C}
4	44.03 ± 1.67^{b,B}	50.85 ± 3.72^{a,AB}	43.26 ± 0.52^{c,B}	48.87 ± 0.99^{a,D}	40.86 ± 3.^{68ab,CD}
5	43.48 ± 1.67^{b,B}	53.82 ± 5.24^{a,A}	45.14 ± 0.47^{b,B}	51.36 ± 1.80^{a,C}	51.91 ± 3.48^{a,B}
6	44.31 ± 0.83^{b,B}	54.86 ± 4.11^{a,A}	44.98 ± 0.44^{b,B}	54.76 ± 2.27^{a,B}	52.18 ± 5.7a^{b,B}
7	50.28 ± 1.14^{c,A}	59.17 ± 0.07^{b,A}	51.40 ± 2.36^{c,A}	60.64 ± 5.80^{ab,A}	61.26 ± 2.18^{a,A}
8	49.12 ± 0.75^{b,A}	61.92 ± 0.78^{a,A}	50.41 ± 7.51^{b,A}	60.42 ± 1.60^{a,A}	61.69 ± 0.24^{a,A}

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

$^{A,B,C,D...}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) สูงที่สุด และคงที่โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-2 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของชิ้นลูกตาลอ่อนระหว่างการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้
โอลิโกฟรุกโตส (%w/w)) ระหว่างการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลาออสโมซิส (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย SG ±SD (%)				
	สิ่งทดลองที่ 1 (0:60)	สิ่งทดลองที่ 2 (60:0)	สิ่งทดลองที่ 3 (10:50)	สิ่งทดลองที่ 4 (20:40)	สิ่งทดลองที่ 5 (30:30)
1	$17.02 \pm 0.76^{a,E}$	$15.47 \pm 2.29^{b,D}$	$17.59 \pm 0.05^{a,D}$	$14.84 \pm 0.30^{bc,G}$	$14.36 \pm 1.31^{c,C}$
2	$18.59 \pm 1.21^{b,D}$	$18.59 \pm 0.73^{b,C}$	$20.43 \pm 0.16^{a,C}$	$16.20 \pm 3.05^{c,FG}$	$21.30 \pm 1.10^{ab,B}$
3	$20.29 \pm 0.07^{b,C}$	$20.75 \pm 5.39^{a,B}$	$22.67 \pm 0.31^{a,BC}$	$17.19 \pm 0.11^{b,EF}$	$21.43 \pm 1.36^{a,B}$
4	$21.79 \pm 3.46^{a,B}$	$22.67 \pm 1.26^{a,B}$	$22.84 \pm 0.08^{a,ABC}$	$18.85 \pm 4.14^{b,DE}$	$22.12 \pm 2.92^{a,B}$
5	$20.04 \pm 0.06^{ns,C}$	23.96 ± 5.78^{A}	23.56 ± 4.73^{B}	20.27 ± 0.45^{CD}	23.01 ± 3.13^{B}
6	$23.98 \pm 1.71^{ns,A}$	24.17 ± 1.19^{A}	22.71 ± 3.00^{BC}	21.27 ± 0.88^{BC}	23.15 ± 1.36^{B}
7	$23.43 \pm 3.82^{bc,A}$	$27.87 \pm 0.82^{a,A}$	$24.44 \pm 1.52^{b,AB}$	$23.83 \pm 2.91^{bc,A}$	$24.49 \pm 1.63^{c,A}$
8	$23.33 \pm 0.32^{b,A}$	$27.50 \pm 1.34^{a,A}$	$25.42 \pm 4.38^{ab,A}$	$25.49 \pm 2.70^{ab,AB}$	$25.97 \pm 1.65^{ab,A}$

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

$^{A,B,C,D...}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) สูงที่สุด และคงที่โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-3 ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (%WR) ของชิ้นลูกตาลอ่อนระหว่างการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (น้ำตาลมะพร้าว : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w)) ระหว่างการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลาออสโมซิส (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย WR ±SD (%)				
	สิ่งทดลองที่ 1 (0:60)	สิ่งทดลองที่ 2 (60:0)	สิ่งทดลองที่ 3 (10:50)	สิ่งทดลองที่ 4 (20:40)	สิ่งทดลองที่ 5 (30:30)
1	$15.62 \pm 0.71^{bc,F}$	$19.87 \pm 0.54^{a,C}$	$12.91 \pm 4.19^{c,E}$	$17.12 \pm 2.21^{ab,D}$	$19.43 \pm 3.81^{a,E}$
2	$15.34 \pm 3.20^{d,F}$	$17.06 \pm 3.15^{b,B}$	$17.06 \pm 1.98^{cd,D}$	$29.11 \pm 2.02^{a,C}$	$18.84 \pm 1.27^{c,E}$
3	$19.65 \pm 0.99^{dc,E}$	$16.11 \pm 1.32^{ab,B}$	$16.11 \pm 0.36^{d,D}$	$29.03 \pm 3.02^{a,C}$	$22.91 \pm 1.50^{bc,D}$
4	$22.24 \pm 1.63^{b,D}$	$20.42 \pm 4.99^{a,AB}$	$20.42 \pm 0.40^{c,B}$	$30.02 \pm 5.13^{a,BC}$	$21.76 \pm 1.30^{bc,D}$
5	$23.45 \pm 0.13^{b,CD}$	$21.58 \pm 1.50^{a,A}$	$21.58 \pm 2.19^{b,B}$	$31.09 \pm 3.05^{a,BC}$	$27.92 \pm 1.30^{a,C}$
6	$24.33 \pm 0.88^{c,BC}$	$22.27 \pm 4.12^{b,A}$	$22.27 \pm 2.21^{d,B}$	$33.05 \pm 1.36^{a,ABC}$	$30.13 \pm 0.52^{b,B}$
7	$26.85 \pm 1.97^{c,A}$	$25.97 \pm 1.93^{b,A}$	$25.97 \pm 3.90^{c,A}$	$36.81 \pm 2.90^{a,A}$	$36.43 \pm 3.80^{a,A}$
8	$25.79 \pm 1.07^{c,AB}$	$24.99 \pm 2.11^{b,A}$	$24.99 \pm 2.30^{c,A}$	$34.45 \pm 4.33^{b,AB}$	$36.45 \pm 1.9^{a,A}$

$^{a,b,c,d...}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

$^{A,B,C,D...}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) สูงที่สุด และคงที่โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	16.851	16.851	5.879	.029[sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	58.813	58.813	20.520	.000[sig]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	242.888	242.888	84.746	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	.119	.119	.042	.841[ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	49.795	49.795	17.374	.001[sig]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	3.118	3.118	1.088	.315[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.605	.605	.211	.653[ns]
Error	14	40.125	2.866		
Total	24	65565.448			

[Sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	8.412	8.412	3.859	.070[ns]
กรดแอสคอร์บิก	1	1.660	1.660	.761	.398[ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	44.960	44.960	20.624	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	.022	.022	.010	.921[ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.476	1.476	.677	.424[ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	6.397	6.397	2.935	.109[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	3.322	3.322	1.524	.237[ns]
Error	14	30.520	2.180		
Total	24	13542.223			

[Sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำที่ลดลง (WR) ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	46.037	46.037	4.811	.046[sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	37.951	37.951	3.966	.066[ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	506.553	506.553	52.941	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	50.518	50.518	5.280	.038[sig]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.421	.421	.044	.837[ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	16.534	16.534	1.728	.210[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.375	.375	10.771	.042 [sig]
Error	14	133.957			
Total	24	20282.452			

[Sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	.421	.421	.044	.837[ns]
กรดแอสคอร์บิก	1	.704	.704	1.051	.307[ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	60.024	60.024	245.712	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	.022	.022	.620	.444[ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.046	.046	.187	.672[ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.064	1.064	4.354	.056[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.514	1.514	2.275	.139[ns]
Error	14	3.420	.244		
Total	24	78955.168			

[Sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	2.496	2.496	71.694	.000 [sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	.022	.022	.620	.444 [ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.848	1.848	53.082	.000 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	.265	.265	7.600	.015 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.109	.109	3.141	.098 [ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	6.667E-5	6.667E-5	.002	.966 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.375	.375	10.771	.004 [sig]
Error	14		.035		
Total	24				

[Sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ-9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคลเซียมของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	137649.877	137649.877	448193.661	.000 [sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	.126	.126	.556	.798 [ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.089	2	.045	.461 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	2.007	2.007	6.534	.023 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.101	.101	1.045	.324 [ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	26.209	26.209	85.336	.000 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.037	.037	.048	.826 [ns]
Error	14	4.300	.307		
Total	24	2073570.250			

[Sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณวิตามินซีของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	337051.921	337051.921	29790.245	.000[sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	1407821.408	1407821.408	124429.923	.000[sig]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	182115.650	182115.650	16096.244	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	107337.050	107337.050	9486.957	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	30383.897	30383.897	2685.473	.000[sig]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	52593.844	52593.844	4648.493	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2889.059	2889.059	255.349	.000[sig]
Error	14	158.398	11.314		
Total	24	9895557.689			

[Sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	.355	.355	2.870	.112[ns]
กรดแอสคอร์บิก	1	23.960	23.960	193.561	.000[sig]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	10.613	10.613	85.741	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	.217	.217	1.750	.207[ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.279	1.279	10.331	.006[sig]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.035	.035	.285	.602[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	8.809	8.809	71.162	.000[sig]
Error	14	1.733	.124		
Total	24	52682.092			

[Sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ-12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี a* ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	.018	.018	.187	.672[ns]
กรดแอสคอร์บิก	1	.005	.005	.056	.817[ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.476	.476	4.906	.044[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	.089	2	.045	.461[ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.101	.101	1.045	.324[ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.244	.244	2.515	.135[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.392	1.392	14.345	.002[sig]
Error	14	1.359	.097		
Total	24	104.705			

[Sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี b* ของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	.026	.026	.156	.698^{ns}
กรดแอสคอร์บิก	1	3.737	3.737	22.486	.000^{sig}
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.535	1.535	9.238	.009^{sig}
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	2.059	2.059	12.391	.003^{sig}
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	4.550	4.550	27.380	.000^{sig}
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	8.992	8.992	54.106	.000^{sig}
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2.749	1.375	8.272	.004^{sig}
Error	14	2.327	.166		
Total	24	3662.723			

^{Sig} คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ จ-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแน่นเนื้อของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	11365.683	11365.683	2616.023	.000[sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	311.616	311.616	71.724	.000[sig]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2794.610	2794.610	643.231	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	3517.713	3517.713	809.667	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	211.820	211.820	48.754	.000[sig]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2219.142	2219.142	510.777	.000[sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	293.021	293.021	67.444	.000[sig]
Error	16	69.514	4.345		
Total	24	1.212E7			

[sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบด้านลักษณะปรากฏของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	d	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	4.538	4.538	6.772	.061^{ns}
กรดแอสคอร์บิก	1	.204	.204	.305	.582^{ns}
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.704	.704	1.051	.307^{ns}
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	1.504	1.504	2.245	.136^{ns}
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.504	.504	.752	.387^{ns}
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.704	.704	1.051	.307^{ns}
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.204	.204	.305	.582^{ns}
Error	203	136.013	.670		
Total	240	11169.000			

^{sig} คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางที่ จ-16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบด้านสีของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังกาออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	.150	.150	.286	.594[ns]
กรดแอสคอร์บิก	1	.017	.017	.032	.859[ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.004	.004	.004	.948[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	.817	.817	1.556	.214[ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.267	.267	.508	.477[ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.600	.600	1.143	.286[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.067	.067	.127	.722[ns]
Error	203	106.567	.525		
Total	240	11196.000			

[sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบด้านรสชาติของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	50.417	50.417	46.335	.000[sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	4.267	4.267	3.921	.049[sig]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.150	.150	.138	.711[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	5.400	5.400	4.963	.027[sig]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2.817	2.817	2.589	.109[ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.067	.067	.061	.805[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.000	.000	.000	1.000[ns]
Error	203	220.883	1.088		
Total	240	8004.000			

[sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของด้านเนื้อสัมผัสของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	4.538	4.538	4.601	.033[sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	.504	.504	.511	.475[ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.004	.004	.004	.948[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	.104	.104	.106	.746[ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.204	1.204	1.221	.270[ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.204	1.204	1.221	.270[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.104	.104	.106	.746[ns]
Error	200.213	203	.986		
Total	9591.000	240			

[sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบโดยรวมของชิ้นลูกตาลอ่อนหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
แคลเซียมแลคเตท	1	19.838	19.838	25.566	.000[sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	.937	.937	1.208	.273[ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.204	.204	.263	.609[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	.037	.037	.048	.826[ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2.204	2.204	2.841	.093[ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	.938	.938	1.208	.273[ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.204	1.204	1.552	.214[ns]
Error	203	157.513	.766		
Total	240	9633.000			

[sig] คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Wichamanee Yuenyongputtakal

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
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

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย นายสันทัด วิเชียรโชติ
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Santad Wichienchot

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

สถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112
e-mail santad.w@psu.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วท.ด. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วท.บ. (อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

เทคโนโลยีชีวภาพอาหาร อาหารเพื่อสุขภาพ

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Teerarat Itthisoponkul

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110

e-mail teerarat@g.swu.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

Ph.D. (Food Science) The University of Nottingham, UK

วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วท.บ. (วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยบูรพา

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

Food chemistry, Food Ingredients and Additives, Starch Technology, Physico-chemical properties of food