รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งมูลค่าสูงโดยการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศในการดึงน้ำออกร่วมกับการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้

Development of high value added semi-dried pineapple product implementing ultrasound and vacuum osmotic dehydration technique combined with edible coatings

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร.ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 256101A1080047
สัญญาเลขที่ 146/2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งมูลค่าสูงโดยการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศในการดึงน้ำออกร่วมกับการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้

Development of high value added semi-dried pineapple product implementing ultrasound and vacuum osmotic dehydration technique combined with edible coatings

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

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ธันวาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 146/2561 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวศุภิสรา แสนกล้า และนางสาวสุทธิดา คุ้มทรัพย์ ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย

คณะผู้วิจัย
ธันวาคม 2561

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าว (0-60 กรัม/100 กรัม) และน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (0-60 กรัม/100 กรัม) พบว่า ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารได้แก่ ค่า WL SG WR และปริมาณความชื้นรวมถึงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของสับปะรดที่ผ่านการอออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การใช้สารละลายน้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียวมีผลให้ค่า WL SG และ WR มากกว่าการใช้สารละลายผสมหรือสารละลายน้ำตาลโอลิโฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาผลของการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) ที่คลื่นความถี่ 38.5 kHz และ/หรือ สุญญากาศ (VAC) ความดัน 80 mbar ในการออสโมซิส 30 นาทีแรก พบว่า ทำให้ค่า WL และ WR ของสับปะรดหลังออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที รวมถึงปริมาณความชื้น ค่าสี (L* a* และ b*) ค่าความแน่นเนื้อ และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและด้านสี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการใช้เทคนิค US ร่วมด้วยเพียงอย่างเดียวทำให้สับปะรดมีค่า WL และ SG สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ผลของการหมุนกวนสารละลายด้วย Peristaltic pump ระหว่างการออสโมซิส พบว่า การใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 300 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นสับปะรดมีค่า WL และ WR สูงที่สุด แต่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมและลักษณะปรากฏต่ำกว่า 6 คะแนน งานวิจัยนี้เตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ที่มีส่วนผสมหลัก คือ แป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล และซอร์บิทอล โดยมีการเติมโพแทสเซียมซอร์เบตและเจลว่านหางจระเข้ร่วมด้วย จากการศึกษาผลของการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาพบว่า การใช้สารเคลือบสามารถคงคุณภาพด้านความชื้น ค่า a_w ค่าความแน่นเนื้อ และปริมาณกรดทั้งหมดของสับปะรดกึ่งแห้งผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่มีการใช้โพแทสเซียมซอร์เบต 0.03% ร่วมด้วยมีแนวโน้มชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการไม่ใช้ การใช้ว่านหางจระเข้ 15%-30% ร่วมด้วยไม่ได้แสดงผลการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อย่างชัดเจนนัก อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน สับปะรดกึ่งแห้งทุกสิ่งทดลองยังคงปลอดภัยสำหรับการบริโภคและยังเป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัส สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม คือ อบที่อุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที

Abstract

Effect of using osmotic mixture solutions consisted of coconut flower sugar (0-60 g/100 g) and oligofructose (0-60 g/100 g) were investigated. It resulted statistically significant in the mass transfer, including the WL SG WR and moisture content as well as liking sensory score in terms of appearance, color, odor, taste and overall liking of pineapple treated with osmotic dehydration for 360 minute ($p<0.05$). Using of osmotic solution prepared form coconut flower sugar increased more WL SG and WR than mixture solution or oligofructose solution. The effect of using ultrasound (US) at a frequency of 38.5 kHz and/or vacuum (VAC) at a pressure of 80 mbar during first 30 minute of osmotic dehydration was investigated. It was resulted statistically significant in the WL and WR of pineapple treated with osmotic dehydration for 360 minute as well as moisture content, color value (L* a* and b*) firmness and liking sensory score in terms of appearance and color ($p<0.05$). The results revealed that using US enhanced more WL and WR than other treatment. Osmotic solution circulated with peristaltic pump at 300 rpm enhanced pineapple piece achieved highest WL and WR. However, the overall and appearance liking scores were less than 6. Main ingredients of edible film used in this research were tapioca flour glycerol and sorbitol combined with potassium sorbate and aloe vera gel added. The effect of using edible film on quality of intermediate moisture pineapple during storage was studied. It was found that intermediate moisture pineapple coated with edible film could maintain quality in terms of moisture, a_w, firmness and total acidity. The results showed that the sample with 0.03% potassium sorbate trend to more inhibited microorganism growth than the sample without potassium sorbate. Using 15%-30% aloe vera gel combined with the film was not showing obviously effect of anti-microorganism trend. However, for 15 days of storage times all of intermediate moisture pineapple products were safety to consume and be accepted of sensory evaluation. The optimum drying condition was dried at 65±2°C for 360 mins.

สารบัญ

หน้า
บทคัดย่อ ..... ก
abstract ..... ข
สารบัญ ..... ค
สารบัญตาราง ..... ง
สารบัญภาพ ..... ช
บทที่
1 บทนำ 1
2 การตรวจเอกสาร 2
3 วิธีดำเนินการทดลอง 14
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 25
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 71
บรรณานุกรม 73
ประวัติผู้วิจัย 77

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3-1 ปริมาณน้ำตาลที่ใช้เตรียมสารละลายออสโมติก 100 กรัม 15

3-2 สภาวะการออสโมซิสที่แปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) 17

3-3 ส่วนผสมของสารเคลือบที่บริโภคได้สูตรพื้นฐาน 100 กรัม 21

3-4 ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม 22

3-5 สรุปการใช้ส่วนผสมของสารเคลือบของสิ่งทดลองที่ศึกษา 22

4-1 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6) 28

4-2 ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6) 29

4-3 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาล ดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6) 30

4-4 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นสับปะรดที่แปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว 34

4-5 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อ แปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว 35

4-6 ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว 36

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-7 ค่าสี L* a* และ b* ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว....38

4-8 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของชิ้นสับปะรดที่หลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว 40

4-9 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับปะรดที่หลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว 42

4-10 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิสเมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว....43

4-11 ปริมาณความชื้นและค่า a_wของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว....43

4-12 ค่าสี L* a* และ b* ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว....44

4-13 ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว....44

4-14 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว....45

4-15 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน....48

4-16 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน....49

4-17 ค่าสี L* ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน....50

4-18 ค่าสี a* ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน....51

4-19 ค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน....52

4-20 ค่า ΔE ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 53
4-21 ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 59
4-22 ปริมาณกรดทั้งหมด (%) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 61
4-23 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/กรัม) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 62
4-24 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/กรัม) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 63
4-25 คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 53
4-26 คะแนนการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 59
4-27 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 61
4-28 คะแนนการยอมรับด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 62
4-29 คะแนนการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน 63

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า
2-1 ลักษณะสับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง....3
2-2 การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสในผักผลไม้....4
2-3 คลื่นความถี่ของอัลตราซาวด์ในช่วงต่างๆ....5
2-4 การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตราซาวด์....5
2-5 การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตราซาวด์....6
2-6 การเคลื่อนที่ของสารละลายในช่องว่างระหว่างเซลล์ด้วยกลไก HDM....7
3-1 ลักษณะชิ้นสับปะรดที่ใช้ในโครงงานวิจัย.... 16
3-2 ลักษณะการจัดอุปกรณ์สำหรับการออสโมซิสด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์.... 19
3-3 ลักษณะการจัดอุปกรณ์สำหรับการออสโมซิสด้วยเทคนิคสุญญากาศ.. 19
3-4 ลักษณะการต่ออุปกรณ์ในการออสโมซิสเมื่อใช้ Peristaltic pump....21
3-5 ลักษณะการจุ่มชิ้นสับปะรดที่ผ่านการดึงน้ำด้วยวิธีออสโมซิสด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ 23
4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss) กับเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส ชิ้นสับปะรด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6).... 26
4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain) กับเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสชิ้นสับปะรด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6).... 26
4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reduction) กับเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสชิ้นสับปะรด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6).... 27
4-4 ลักษณะสีของสารละลายออสโมติกทั้ง 6 สิ่งทดลอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว: น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6).... 31
4-5 ลักษณะของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที ทั้ง 6 สิ่งทดลอง (ก-ฉ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6).... 31
4-6 ลักษณะของชิ้นสับปะรดที่หลังการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว.... 39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า
4-7 ลักษณะของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิสเมื่อไม่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว (ก) และใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลงที่ความเร็วการหมุนของลูกรีด 300 รอบ/นาที (ข).....46
4-8 ลักษณะของชิ้นสับปะรดกึ่งแห้ง ทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 วัน เมื่อแปรปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้แตกต่างกัน (แป้งมัน สำปะหลัง: พลาสติไซเซอร์: โพแทสเซียมซอร์เบต: เจลว่านหางจระเข้ : น้ำ) (กรัม/100 กรัม)..... 54
4-9 ลักษณะของชิ้นสับปะรดกึ่งแห้ง ทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 5 วัน เมื่อแปรปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้แตกต่างกัน (แป้งมัน สำปะหลัง: พลาสติไซเซอร์: โพแทสเซียมซอร์เบต: เจลว่านหางจระเข้ : น้ำ) (กรัม/100 กรัม)..... 55
4-10 ลักษณะของชิ้นสับปะรดกึ่งแห้ง ทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน เมื่อแปรปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้แตกต่างกัน (แป้งมัน สำปะหลัง: พลาสติไซเซอร์: โพแทสเซียมซอร์เบต: เจลว่านหางจระเข้ : น้ำ) (กรัม/100 กรัม)..... 56
4-11 ลักษณะของชิ้นสับปะรดกึ่งแห้ง ทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน เมื่อแปรปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้แตกต่างกัน (แป้งมัน สำปะหลัง: พลาสติไซเซอร์: โพแทสเซียมซอร์เบต: เจลว่านหางจระเข้ : น้ำ) (กรัม/100 กรัม)..... 57
4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งสับปะรดหลังการออสโมซิสที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบ ที่อุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส.....70

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

สับปะรดเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของภูมิภาคตะวันออกและของประเทศ โดยเป็นสินค้าที่จัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีศักยภาพในการส่งออกอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นสับปะรดจึงเป็นสินค้าที่มีความน่าสนใจที่จะสร้างมูลค่าเพิ่มให้สูงขึ้น งานวิจัยนี้ใช้สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองเป็นวัตถุดิบต้นแบบ สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองเป็นสับปะรดสายพันธุ์หนึ่งที่มีการปลูกในประเทศไทย มักปลูกในภาคตะวันออกโดยเฉพาะจังหวัดตราด โดยสับปะรดสายพันธุ์นี้ได้รับการรับรองเป็นสินค้าเกษตรบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indications: GI) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสินค้านั้นมีคุณภาพหรือคุณลักษณะพิเศษโดยต้องผลิตจากแหล่งผลิตเฉพาะเจาะจง โดยได้รับการรับรองจากกรมทรัพย์สินทางปัญญาในเดือนกันยายน 2560 งานวิจัยนี้มีแนวคิดผลิตภัณฑ์ (Product concept) คือ การพัฒนาผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งมูลค่าสูงพร้อมรับประทาน ที่มีเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์สับปะรดไทยซึ่งมีความแตกต่างจากคู่แข่งที่ผลิตจากประเทศอื่น โดยพยายามคงลักษณะรสชาติและกลิ่นรสของสับปะรดสดให้ได้มากที่สุด มีรสชาติไม่หวานมาก และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ใช้สารกันเสียให้น้อยที่สุดแต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บนานมากกว่าของสดและมีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา โดยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งมูลค่าสูงนี้ มีหลักการที่สำคัญ คือ การแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food product) มีความชื้นอยู่ในช่วง 10-40% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.85 ซึ่งจะมีน้ำที่เป็นประโยชน์ในการทำปฏิกิริยาทางเคมี และเพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อย แนวคิดผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถดำเนินการได้ภายใต้หลักการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (Osmotic dehydration) ร่วมกับการอบแห้ง ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งมูลค่าสูงพร้อมรับประทานโดยมีขอบเขตการศึกษาใน 3 ประเด็นหลัก ดังนี้ ประเด็นที่หนึ่ง คือ การเลือกใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (PAC) แทนการใช้น้ำตาลซูโครส ได้แก่ น้ำตาลดอกมะพร้าว และน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (Oligofructose) ประเด็นที่สอง คือ การศึกษาการใช้เทคนิคกระตุ้นการถ่ายเทมวลสารในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ได้แก่ เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศ และประเด็นที่สาม คือ การศึกษาการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ (Edible film) หลังการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสก่อนนำไปทำแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ และรักษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเป็นสารละลายออสโมติก
2) เพื่อศึกษาผลของการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อสับปะรดหลังการออสโมซิส
3) เพื่อศึกษาผลของการหมุนกวนสารละลายด้วย Peristaltic pump ระหว่างการออสโมซิส
4) เพื่อศึกษาผลของการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บ
4) เพื่อศึกษาหาเวลาทำแห้งเพื่อผลิตสับปะรดกึ่งแห้ง

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

1. สับปะรด

สับปะรดมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ananascomosus (L.) Merr.* อยู่ในวงศ์ Bromeliacea พันธุ์สับปะรดที่ใช้ปลูกเป็นการค้าโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มตามรูปร่างลักษณะของใบและผล คือ Cayenne, Queen, Pernambuco, Spanish และ Mordilona ใน 5 กลุ่มนี้ 3 กลุ่มแรกคือ Cayenne, Queen และ Pernambuco มีความแตกต่างกันในด้านรูปร่างสัณฐานค่อนข้างชัดเจน และมีพื้นฐานทางพันธุกรรมที่สม่ำเสมอกว่ากลุ่ม Spanish และ Mordilona ซึ่งยังมีความแปรปรวนภายในกลุ่มอยู่มาก สำหรับพันธุ์สับปะรดที่ปลูกอยู่ในประเทศไทยจะพบเพียง 3 กลุ่ม (สหกรณ์การเกษตรนิคมฯ ระยอง, 2560) ดังนี้

1) กลุ่ม Cayenne เป็นกลุ่มที่นิยมปลูกมากที่สุด ทั้งเพื่อใช้บริโภคผลสดและใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธุ์ Smooth Cayenne หรือปัตตาเวีย ตัวอย่างของสับปะรดกลุ่มนี้ในประเทศไทยคือ พันธุ์ปัตตาเวีย และพันธุ์นางแล

2) กลุ่ม Queen สับปะรดในกลุ่มนี้มีขนาดของลำต้นและผลเล็กกว่ากลุ่มแรกเล็กน้อย ผลมีขนาดประมาณ 1 กิโลกรัม รูปร่างทรงกระบอก ตาค่อนข้างนูน เปลือกหนา เมื่อสุกเปลือกผลจะมีสีเหลือง เนื้อข้างในมีสีเหลืองเข้ม รสหวานกรอบ มีเยื่อใยน้อย และมีกลิ่นหอม แกนผลอ่อนนุ่มกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย สร้างตะเกียงน้อยแต่สร้างหน่อได้มาก ทั้งหน่อดินและหน่ออากาศ ตัวอย่างของสับปะรดกลุ่มนี้ในประเทศไทยได้แก่ พันธุ์ภูเก็ต

3) กลุ่ม Spanish สับปะรดกลุ่มนี้มีขนาดของต้นและผลอยู่ระหว่างกลางของ Cayenne กับ Queen ใบบางกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย ผลมีรูปร่างกลมน้ำหนักเฉลี่ย 1.0-1.5กิโลกรัม ตานูน ขนาดของตาใหญ่กว่าพวก Cayenne เนื้อในมีสีเหลืองจางและมีปริมาณเยื่อใยสูง แกนผลเหนียว กลิ่นและรสแตกต่างออกไปจากสองกลุ่มแรก ตัวอย่างของพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยได้แก่พันธุ์อินทรชิต และพันธุ์ขาว

สับปะรดที่ใช้เป็นต้นแบบในงานวิจัยนี้คือ สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองนี้ จัดเป็นสับปะรดกลุ่มควีน (Queen) ลักษณะเด่นภายนอก คือ ขอบใบที่ต้นและขอบใบที่จุกผลมีหนามสั้น แหลมคม ทรงโค้งสีน้ำตาลแดง ผิวเปลือกเมื่อแก่สุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มหรือเหลืองส้ม ตาใหญ่ ร่องตาลึก เปลือกหนาตาลึก ทนทานต่อการขนย้าย ผลเป็นรูปทรงกระบอกสม่ำเสมอ ขนาดใหญ่ น้ำหนัก 0.5-2 กิโลกรัม ตาผลนูนโปนออกมาจากผลชัดเจน เนื้อสีเหลืองเข้มละเอียดไม่ฉ่ำน้ำ เยื่อใยน้อย มีช่องว่างในเนื้อแกนกลางสม่ำเสมอ แกนกรอบรับประทานได้ รสชาติหวาน มีกลิ่นหอม ความหวาน 15-20 องศาบริกซ์ (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2560) ลักษณะสับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง แสดงดังภาพที่ 2-1

สับปะรดตราดสีทองมักปลูกในภาคตะวันออกเป็นส่วนใหญ่ เป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นสัญลักษณ์ของจังหวัดตราด มีความเฉพาะเหมาะสมที่สามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ในจังหวัดตราด มีปลูกในพื้นที่ 5 อำเภอ คือ อำเภอเมืองตราด อำเภอเขาสมิง อำเภอบ่อไร่ อำเภอแหลมงอบ และอำเภอคลองใหญ่ เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ดอน ไม่ชอบที่ชื้นแฉะ สามารถปลูกเป็นพืชเดี่ยวหรือปลูกแซมใน

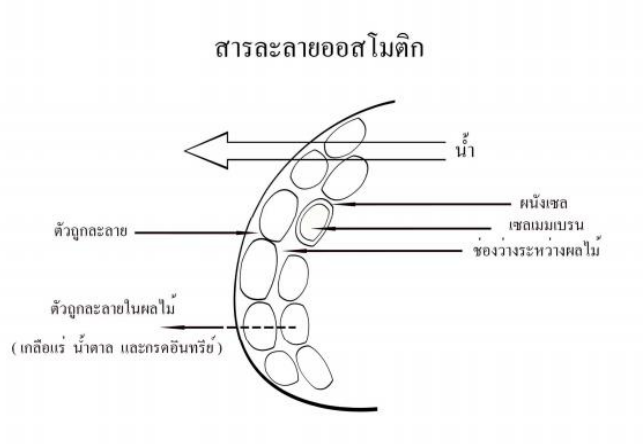
พืชยืนต้นอื่นในช่วงพืชหลักยังเล็ก เพราะสับปะรดต้องการแสงแดดในปริมาณที่เพียงพอจึงจะเจริญเติบโตได้ดี ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกรวม 10,532 ไร่ โดยมีการปลูกในเขตอำเภอเมือง จำนวน 6,099 ไร่ รองลงมาคือ อำเภอเขาสมิง 2,970 ไร่ อำเภอบ่อไร่ 752 ไร่ อำเภอแหลมงอบ 580 ไร่ และอำเภอคลองใหญ่ 131 ไร่ (แผ่นดินทอง, 2559) สับปะรดตราดสีทองได้รับการรับรองเป็นสินค้าเกษตรบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indications: GI) จากกรมทรัพย์สินทางปัญญา เมื่อเดือนกันยายน 2560 (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2560) ทั้งนี้มีรายงานว่าสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวผลผลิต คือ ผลแก่เต็มที่ มีการสุกของผลร้อยละ 20 หรือผิวเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองประมาณ 2-3 ตา (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2560)

ภาพที่ 2-1 ลักษณะสับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง
ที่มา: ณัจนันท์ แก้วศรี (2557)

2. การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (Osmotic dehydration) เป็นวิธีหนึ่งในการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผลไม้ โดยอาศัยกระบวนการออสโมซิส ทำได้โดยการแช่ผักผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง และมีค่า a_w ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายในผลไม้ ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ผลไม้กับสารละลายภายนอก เกิดเป็นแรงขับ (Driving force) ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้และสารละลายภายนอกจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า โดยผ่านเซลล์เมมเบรนของผลไม้ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Naknean, 2012) โดยการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดในทิศสวนทางกัน (Couter current flow) น้ำภายในเซลล์ผลไม้จะแพร่ออกสู่สารละลาย ในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายจะแพร่เข้าสู่เซลล์ของผลไม้ และสารบางชนิด เช่น กรดอินทรีย์ วิตามิน และเกลือแร่ในเนื้อเยื่อผลไม้จะแพร่ออกสู่สารละลายแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Raoult-Wack, 1994) การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส แสดงดังภาพที่ 2-2 โดยการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นทั้งของน้ำและตัวถูกละลายในกระบวนการออสโมซิสนั้นจะดำเนินต่อไป

จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล คือ อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าคงที่ มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผลไม้และในสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ (Barbosa-Canovas & Vega-Mercado, 1996) ผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ที่ผ่านการดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสแล้วอบแห้ง ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะยังคงรักษาสี กลิ่นรส และสารระเหยต่างๆ ไว้ตามธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และยังคงคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียคุณภาพจากการสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานาน (Lazarides, 2001 อ้างถึงใน พิสุทธิ์ หนักแน่น, 2553)



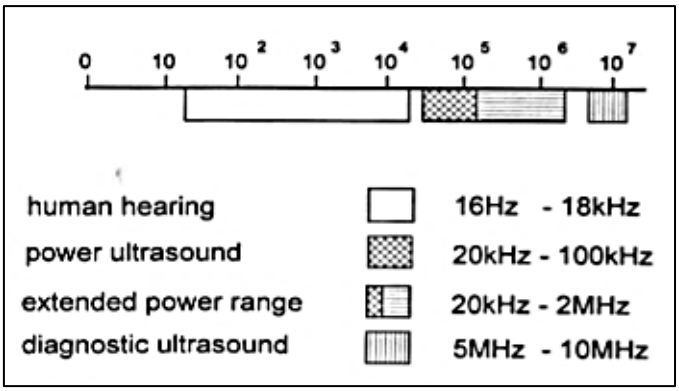
ภาพที่ 2-2 การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสในผักผลไม้

ที่มา: ดัดแปลงจาก Raoult-Wack (1994)

2.1 การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

คลื่นอัลตราซาวด์หรือคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic waves) หมายถึง พลังงานที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มีการสั่นของคลื่นประมาณ 20,000 ครั้งต่อวินาทีหรือสูงกว่าหรือหมายถึงคลื่นความดันที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นเสียงปกติ (สูงกว่า 20,000 เฮิร์ต) ส่วนคำว่าอัลตราโซนิกส์ (Ultrasonics) หรือโซนิเคชันส์ (Sonications) หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับคลื่นเสียงหรืออัลตราซาวด์ในช่วงความถี่ดังกล่าวซึ่งมนุษย์ไม่สามารถไดยิน (Amami et al., 2017)

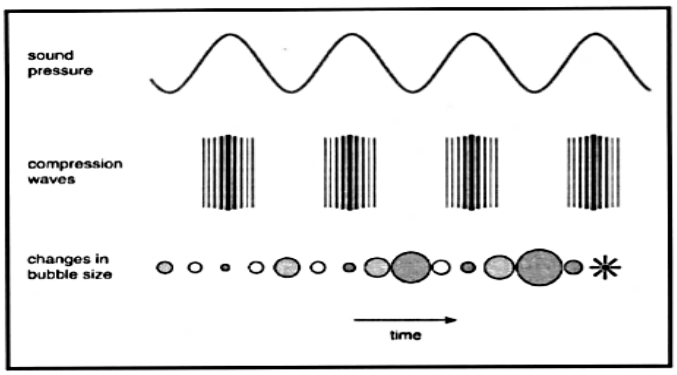
โดยทั่วไปแล้วคลื่นเสียงที่มนุษย์ไดยินนั้นเกิดจากการสั่นสะเทือนของตัวกลางที่ยืดหยุน ที่มีความถี่อยู่ในช่วง 20–20,000 เฮิร์ต คลื่นเสียงผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่ยืดหยุ่นในลักษณะที่เป็นคลื่นตามยาว แต่คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปภายในวัตถุที่เป็นของแข็งอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นคลื่นตามยาวหรือคลื่นตามขวาง ในการศึกษาการใช้ประโยชนจากอัลตราซาวด์ตั้งแต่ต้นจนถึงปัจจุบัน พบว่า มีการนำอัลตราซาวด์มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหรือในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การใช้อัลตราซาวด์กำลังต่ำและความถี่สูง ซึ่งใช้ในด้านการวิเคราะห์เป็นส่วนใหญ่ และการใช้อัลตราซาวด์กำลังสูงและความถี่ต่ำหรือที่เรียกว่า พาวเวอร์อัลตราซาวด์ มักนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร คลื่นความถี่ของอัลตราซาวด์ในช่วงต่างๆ แสดงดังภาพที่ 2-3



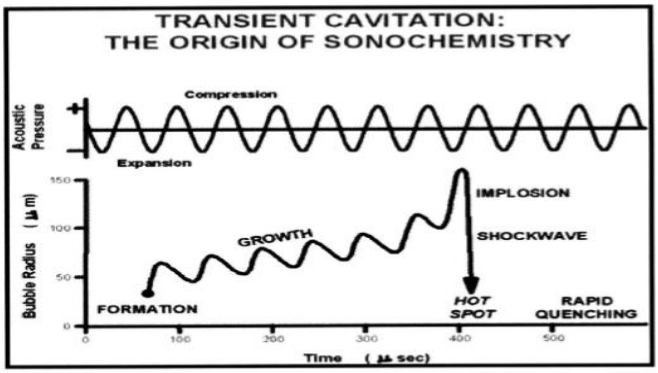
ภาพที่ 2-3 คลื่นความถี่ของอัลตราซาวด์ในช่วงต่างๆ
ที่มา: Mason (1998)

การใช้พาวเวอร์อัลตราซาวด์ในกระบวนการแปรรูปอาหาร ทำให้เกิดผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของอาหารเนื่องจากคลื่นดังกล่าวทำให้เกิดปรากฏการณ์คาวิเตชัน (Cavitation) และส่วนมากใช้คลื่นในช่วงความถี่ 20–40 กิโลเฮิร์ต ซึ่งเป็นความถี่ที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์อัลตราซาวด์ทั่วไปที่ใช้ในการทำความสะอาด การทำให้เซลล์แตกและในการขึ้นรูปพลาสติก เป็นต้น

ปรากฏการณ์คาวิเตชัน หมายถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นในตัวกลางหรือสารละลายที่ได้รับคลื่นอัลตราซาวด์ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและทางกายภาพ (จากแรงกล) เนื่องมาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้น ซึ่งการที่ฟองอากาศเกิดขึ้นได้นั้นเนื่องมาจากโครงสร้างของของเหลวที่ได้รับคลื่นอัลตราซาวด์จะถูกบีบอัด และคลายตัวซ้ำไปมาเป็นจำนวนหลายพันรอบ ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นแสดงดังภาพที่ 2-4 และฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในของเหลวนี้จะสัมผัสกับแรงสั่นที่เกิดจากคลื่นอัลตราซาวด์เป็นระยะและเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างกันเป็นผลให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแตกออกในที่สุดแสดงดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-4 การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตราซาวด์
ที่มา: Suslick (1994) อ้างถึงใน มหาวิทยาลัยนเรศวร (2555)



ภาพที่ 2-5 การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตราซาวด์
ที่มา: Suslick (1994) อ้างถึงใน มหาวิทยาลัยนเรศวร (2555)

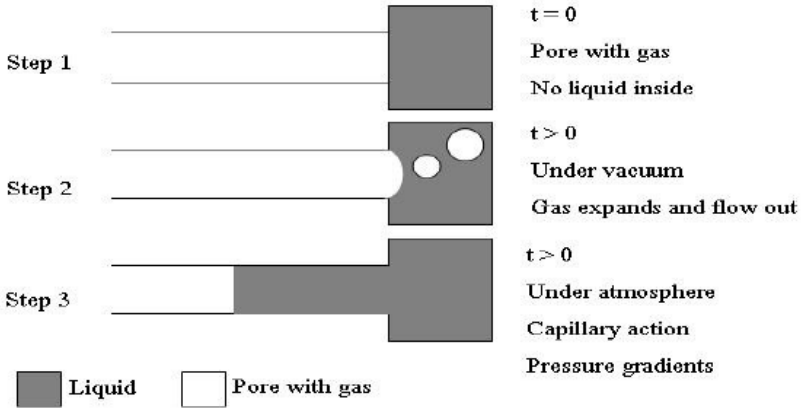
การนำเทคนิคอัลตราซาวด์มาใช้ในการดึงน้ำออกในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสผักผลไม้ จะช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ผักผลไม้ทำให้น้ำที่ยึดติดกับเนื้อเยื่อผักผลไม้สามารถแพร่ออกมาได้ง่ายขึ้น สารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อเซลล์ได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำที่สูญเสียมีมากขึ้น ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการได้ นอกจากนี้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีผลทำให้เกิดรูขนาดเล็กในชิ้นผักผลไม้ ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสให้สารละลายออสโมติกสัมผัสกับเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้มากขึ้น จึงมีโอกาสเกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้นนั่นเอง (วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, 2556)

2.2 การใช้เทคนิคสุญญากาศในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การแช่ในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum Impregenation; VI) เป็นการแช่ชิ้นอาหารหรือผักผลไม้ในสารละลายในสภาวะสุญญากาศ ทำให้เกิดการแพร่ของสารละลายเข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้ โดยการใช้สภาวะสุญญากาศสามารถทำได้ 2 แนวทาง คือ 1) การใช้สุญญากาศเป็นเวลาสั้นในช่วงแรกของการออสโมซิส (Vacuum Osmotic Dehydration; VOD) เป็นการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลาสั้นๆ ก่อนการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศ เช่น ใช้สภาวะสุญญากาศ 20 นาที แล้วออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศ และ 2) การสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ (Pulse Vacuum Osmotic Dehydration; PVOD) เป็นการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลาสั้นในช่วงแรก แล้วกลับสู่สภาวะบรรยากาศเวลาสั้น แล้วใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลาสั้นอีกครั้งก่อนออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศ เช่น ใช้สภาวะสุญญากาศ 10 นาที แล้วกลับสู่สภาวะบรรยากาศ 10 นาที และให้สภาวะสุญญากาศอีกครั้งนาน 10 นาที แล้วจึงออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศ (Welti-Chanes, Vlez-Ruiz, & Barbosa-Canovas, 2002 อ้างถึงใน สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร, 2557)

การใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ จะทำให้ก๊าซและของเหลวตามธรรมชาติที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อผักผลไม้ถูกขับออกมาในระหว่างการดูดอากาศ และหลังจากนั้นแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศ สารละลายภายนอกจะซึมผ่านเข้าไปแทนที่อากาศที่ถูกขับออกจากช่องระหว่างเซลล์นั้นด้วยแรงคาพิลลารี (Capillary action) และการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ (Pressure gradients) ซึ่งเรียกกลไกนี้ว่า Hydrodynamic Mechanism (HDM)

กลไก HDM เป็นการเคลื่อนที่ของสารละลายในช่องว่างระหว่างเซลล์ที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้เทคนิคสุญญากาศในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 2-6 การเกิดกลไก HDM เริ่มจากขั้นตอนที่ 1 เมื่อเริ่มแช่ชิ้นผักผลไม้ (t=0) ที่สภาวะบรรยากาศ สารละลายภายนอกยังไม่มีการเคลื่อนที่เข้ามาภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ ขั้นตอนที่ 2 เมื่อแช่ชิ้นผักผลไม้ที่สภาวะสุญญากาศ (t>0) ก๊าซที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกมาพร้อมกับการดูดอากาศ และขั้นตอนที่ 3 เมื่อหยุดการใช้สภาวะสุญญากาศและแช่ชิ้นผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นระยะเวลาหนึ่ง (t>0) สารละลายจะแพร่เข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยเข้ามาแทนที่ก๊าซที่ถูกดูดออกไปโดยการแพร่ผ่านรูขนาดเล็ก (Capillary action) และเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ (Pressure gradients)



ภาพที่ 2-6 การเคลื่อนที่ของสารละลายในช่องว่างระหว่างเซลล์ด้วยกลไก HDM
ที่มา: ดัดแปลงจาก Chiralt and Fito (2003)

3. สารเคลือบที่บริโภคได้

ภัทราทิพย์ รอดสำราญ (2548) กล่าวว่า ฟิล์มหรือสารเคลือบที่บริโภคได้ (Edible film) คือแผ่นฟิล์มบางๆ ที่ทำจากวัตถุดิบที่สามารถรับประทานได้ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน โดยนำมาเคลือบบนผิวของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การห่อหุ้ม การจุ่ม การทาด้วยแปรงหรือการพ่นฝอย (Kester and Fennema, 1986 อ้างถึงใน ภัทราทิพย์ รอดสำราญ, 2548) ฟิล์มนี้สามารถช่วยยืดอายุของอาหารสด ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ไขมันจากสัตว์ ผักและผลไม้ เป็นองค์ประกอบหลักของการขึ้นรูปฟิล์ม ฟิล์มที่ได้จะมีความเปราะและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงต้องมีการเติมสารที่ชื่อว่า พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) เช่น กลีเซอรอล ซอร์บิทอล โพลีเอทธิลีนไกลคอล เป็นต้น โดยชนิดของฟิล์มที่บริโภคได้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) ฟิล์มไขมัน มีคุณสมบัติในด้านการป้องกันการแพร่ผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี เมื่อใช้กับผักและผลไม้สดจะช่วยชะลอการเสื่อมเสียจากการหายใจที่จะทำให้ผักผลไม้เกิดการสุกงอม

2) ฟิล์มโปรตีน ฟิล์มบริโภคได้ที่ผลิตจากโปรตีน เช่น ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลือง ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่วลิสง เจลาติน คอลลาเจน และเวย์โปรตีน ฟิล์มจากโปรตีนเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้ดี นอกจากนี้ โปรตีนยังมีคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย

3) ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ สามารถใช้โพลีแซคคาไรด์บางชนิดผลิตเป็นฟิล์มบริโภคได้ เช่น แอลจิเนต เพคติน คาราจิแนน สตาร์ชไฮโดรไลเซต และอนุพันธุ์ของเซลลูโลส มีฟิล์มโพลีแซคคาไรด์บางตัวที่ใช้เคลือบมีลักษณะเหมือนวุ้นและมีความชื้นสูง ซึ่งจะช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในช่วงการเก็บสั้นๆ นอกจากนี้ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์บางชนิดยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในลิปิดและองค์ประกอบอื่นในอาหารซึ่งทำให้อาหารเหม็นหืน

4) ฟิล์มที่บริโภคได้ที่ทำจาก Puree ของผลไม้ มีสมบัติยอมให้ไอน้ำและก๊าซออกซิเจนแพร่ผ่านที่เหมาะสม เมื่อนำมาหุ้มผักและผลไม้จะช่วยควบคุมการแลกเปลี่ยนความชื้น ไขมัน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารให้กลิ่นและรสชาติ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์และปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น ช่วยป้องความเสียหายทางกายภาพและช่วยปรับปรุงลักษณะภายนอกของอาหารที่เคลือบด้วยฟิล์มบริโภคได้อีกด้วย

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการออสโมซิสผักผลไม้ การออสโมซิสโดยใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ การออสโมซิสโดยใช้เทคนิคสุญญากาศและการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้ รวบรวมไว้ได้ดังนี้

4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสผักผลไม้

Jimenez-Hemandez et al. (2017) ศึกษาการเปรียบเทียบผลของชนิดสารละลายออสโมติก และอุณหภูมิที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากมะม่วงด้วยวิธีออสโมซิส นำส่วนเนื้อของมะม่วงพันธุ์ Creole มาตัดเป็นชิ้นขนาด 30x25x5 มิลลิเมตร และเตรียมสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 600 g solid/kg 2 ชนิด คือ สารละลายซูโครส และสารละลายรูปแบบอิมัลชันที่เติมอินูลินและโอลีโอเรซินจาก piquin-pepper นำชิ้นมะม่วงมาแช่ในสารละลายออสโมติกทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาทีพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสที่ 50 องศาเซลเซียสทำให้ชิ้นมะม่วงมีค่า Water loss และค่า Solid gain มากที่สุด โดยการใช้สารละลายซูโครสจะทำให้ชิ้นมะม่วงมีค่า Solid gain มากกว่าการใช้สารละลายรูปแบบอิมัลชัน แต่ชนิดของสารละลายออสโมติกไม่มีผลต่อค่า Water loss

Fathi et al. (2011) ศึกษาผลกระทบจากการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสและการอบแห้งของผลกีวี่ โดยการแช่ชิ้นกีวี่ในสารละลายออสโมติกที่ความความเข้มข้น 30 40 50 และ 60% นำไปอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 6 และ 7 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกมีผลทำให้ปริมาณน้ำสูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงดันในเซลล์ผลกีวี่ ซึ่งส่งผลต่อขนาดของรูพรุนเมื่อทำการอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งจะส่งผลให้ผลกีวี่มีการหดตัวเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดน้ำกลับและความชื้นมีค่าลดลง

Matusek et al. (2008) ศึกษาการออสโมซิสผลแอปเปิ้ลโดยเปรียบเทียบชนิดของสารละลายออสโมติก ได้แก่ น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลโอลิโอฟรุกโตส โดยหั่นแอปเปิ้ลเป็นชิ้นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 มิลลิเมตร นำไปแช่ในสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 40-60% ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-40 นาที พบว่า องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างพฤติกรรมการออสโมซิสของน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกับน้ำตาลซูโครส ปัจจัยที่สำคัญในการแพร่กระจายและการออสโมซิสคือขนาดของโมเลกุลที่สูงขึ้นจะทำให้อัตราการแพร่กระจายลดลง แม้ว่าโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาในการแช่สารละลาย แต่จากการศึกษานี้ พบว่า ผลขององค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของสารละลายออสโมติกมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียจะมากกว่าค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น การแพร่ของสารละลายเข้าสู่แอปเปิ้ลจะลดลงมากในสารละลายโอลิโกฟรุกโตส รวมทั้งปริมาณน้ำที่สูญเสียยังลดลงมากในสารละลายโอลิโกฟรุกโตสและมากกว่าสารละลายซูโครส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นจะทำให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มมากขึ้น โดยโอลิโกฟรุกโตสจะมากกว่าน้ำตาลซูโครส

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2557) ศึกษาผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุกโตส (30-50 g/100 g) และซูโครส (10-20 g/100 g) ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 g/100 g ในการเตรียมสารละลายออสโมติกต่อลักษณะคุณภาพบางประการของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส ทำโดยนำกล้วยไข่ปอกเปลือก หั่นเป็นแว่นหนา 1 เซนติเมตร แช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 1 g/100 g เป็นเวลา 3 นาที วางพักบนตะแกรงเป็นเวลา 2 นาที ซับให้แห้งด้วยกระดาษ บรรจุชิ้นกล้วยไข่และสารละลายออสโมติกในโหลแก้ว กำหนดอัตราส่วนระหว่างชิ้นกล้วยไข่และสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:3 ออสโมซิสที่อุณหภูมิ 27±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของโอลิโกฟรุกโตสและซูโครสมีผลต่อค่าถ่ายเทมวลสาร ค่าสีความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส ($p<0.05$) การใช้โอลิโกฟรุกโตสและซูโครสในระดับสูงร่วมกันทำให้กล้วยไข่มีปริมาณน้ำที่สูญเสียร้อยละ 24.05 และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.35 สูงที่สุด ($p<0.05$) โดยกล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าต่างๆ สูงที่สุด ดังนี้ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) เท่ากับ 11.75 ความแน่นเนื้อ 155.69 กรัม ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 44°Brix และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 16.24 ($p<0.05$)

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์

Amami et al. (2017) ศึกษาการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ช่วยในการดึงน้ำออกจากสตรอเบอร์รี่โดยวิธีการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งด้วยการพา โดยหั่นสตรอเบอร์รี่ตามแนวตั้ง แบ่งเป็นครึ่งทรงกลมที่มีความยาว 7±2 เซนติเมตร กว้าง 3.6±2 เซนติเมตร และหนา 1.5±0.1 เซนติเมตร นำมาแช่ในสารละลายออสโมติก commercial sugar ความเข้มข้น 32.5 และ 62.5°Brix และน้ำกลั่น โดยใช้สภาวะการแช่ ได้แก่ สภาวะปกติ และสภาวะการใช้อัลตราซาวด์ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ต (นำสตรอเบอร์รี่และสารละลายออสโมติกบรรจุในขวดรูปชมพู่ ปิดปากภาชนะด้วยฟิล์มพลาสติก แล้วนำไปวางในอ่างอัลตราโซนิคที่มีน้ำบรรจุอยู่) โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียสเป็น

เวลา 10 20 และ 30 นาที พบว่า การใช้เวลาอัลตราซาวด์ 20.5 นาที ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 47.5°Brix ที่อุณหภูมิปานกลาง 31 องศาเซลเซียส มีความเป็นไปได้ที่ทำให้ชิ้นสตรอเบอร์รี่มีค่า Water loss ค่า Weight reducing มากที่สุด และมีค่า solid gain น้อยที่สุด

Nowacka et al. (2017) ศึกษาการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ร่วมกับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส โดยหั่นชิ้นกีวี่ให้มีความหนา 10±1 มิลลิเมตร แช่ชิ้นกีวี่ในน้ำกลั่นใน Ultrasonic bath ที่ความถี่ 35 กิโลเฮิร์ต เป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 61.5% ใช้อัตราส่วนกีวี่ต่อสารละลายออสโมซิส เท่ากับ 1:4 เป็นเวลา 120 นาที พบว่า เมื่อนำชิ้นกีวี่ไปออสโมซิสค่า a_w ของชิ้นกีวี่จะลดลง ชิ้นกีวี่ที่ผ่านการใช้อัลตราซาวด์เป็นเวลา 20 และ 30 นาที แล้วออสโมซิสต่อ 120 นาที จะทำให้ค่า a_w ลดต่ำที่สุด และการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ในชิ้นกีวี่จะช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการ เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ในกระบวนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ดังนั้น การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อลดเวลาในการออสโมซิสและได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าสูง

Nowacka et al. (2014) ศึกษาผลการอัลตราซาวด์ต่อสภาวะของน้ำในกีวี่ระหว่างการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ดำเนินการโดยหั่นชิ้นกีวี่หนา 10 มิลลิเมตร นำชิ้นกีวี่ไปให้คลื่นอัลตราซาวด์ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ที่ความถี่ 35 กิโลเฮิร์ต เป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที จากนั้นนำไปทำการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสต่อในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 61.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาติดต่อกัน 120 นาที พบว่า การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์นานกว่า 10 นาที ส่งผลดีต่อการถ่ายเทมวลสารจากการดึงน้ำออกด้วยวิธีอสโมซิส

Goula et al. (2017) ศึกษาการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสร่วมกับการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์เพื่อลดเวลาการออสโมซิสของมันฝรั่ง ชิ้นมันฝรั่งหั่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกเต๋า แช่ในสภาวะต่างๆ คือ 1) การออสโมซิสในสภาวะที่สารละลายอยู่นิ่ง 2) การออสโมซิสในสภาวะที่มีการกวนสารละลาย 3) การออสโมซิสในสภาวะที่มีการใช้อัลตราซาวด์ และ 4) การออสโมซิสโดยใช้อัลตราซาวด์ในขั้นต้นก่อนการออสโมซิส โดยใช้โซเดียมคลอไรด์และมอลโทเดกซ์ทริน (12 DE) เป็นสารละลายออสโมติก พบว่าการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ส่งผลให้ความชื้นและการถ่ายเทมวลสารสูงขึ้น เนื่องจากการทำลายโครงสร้างของเซลล์ที่ได้จากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค การใช้สารละลายที่ความเข้มข้น 30% ออสโมซิสร่วมกับการใช้อัลตราซาวด์จะช่วยเพิ่มการแพร่ของน้ำเพิ่มขึ้น 5.5-260% ในขณะที่การใช้อัลตราซาวด์ในขั้นต้นจะช่วยเพิ่มการแพร่ในระหว่างการออสโมซิสที่สารละลายเข้มข้น 70-130% อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในสภาวะที่ใช้อัลตราซาวด์ในขั้นต้นจะต่ำกว่าการออสโมซิสในสภาวะอัลตราซาวด์ปกติ

Carcel et al. (2007) ศึกษาอิทธิพลของความเข้มของเทคนิคอัลตราซาวด์ในน้ำและการถ่ายโอนน้ำหนักแห้งในระบบที่ใช้ตัวอย่างแอปเปิ้ลและสารละลายซูโครส โดยนำแอปเปิ้ลมาสไลด์เป็นแผ่นขนาด 3×3×0.5 เซนติเมตร จุ่มในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 30 °Brix อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยศึกษา 3 สภาวะ ดังนี้ 1) แช่ในสภาวะปกติ 2) แช่ในสภาวะที่มีการกวนสารละลาย 3) แช่ในสภาวะที่มีการใช้อัลตราซาวด์ ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต (ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน 5 ระดับ คือ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100%) พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มในตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป 45 นาที ในสภาวะที่มีการใช้อัลตราซาวด์สูงกว่าสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อความเข้มอัลตราโซนิคสูงกว่า 10.8 W/cm^2 ที่ระดับความเข้ม 11.5 W/cm^2 การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งมีค่าสูงกว่าในตัวอย่างในสภาวะที่มีการกวน การใช้อัลตราซาวด์ 11.5 W/cm^2 จะช่วยเพิ่มการแพร่ของน้ำ 117% และการแพร่ของน้ำหนักแห้ง 137% เมื่อเทียบกับในสภาวะปกติ

4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสด้วยเทคนิคสุญญากาศ

Correa et al. (2010) ศึกษาผลของการใช้สภาวะสุญญากาศและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสของฝรั่งแดง ดำเนินการโดยหั่นฝรั่งเป็นชิ้นขนาด 5x2.5x0.5 เซนติเมตร นำชิ้นฝรั่งมาเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสด้วยสภาวะสุญญากาศที่ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 และ 15 นาที จากนั้นแช่ต่อในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 40 50 และ 60 °Brix จนครบเวลา 300 นาที นำชิ้นตัวอย่างไปผ่านน้ำ และซับให้แห้งด้วยกระดาษ ผลการวิจัยพบว่า การใช้สารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นสูงขึ้นและการเตรียมขั้นต้นด้วยสภาวะสุญญากาศก่อนการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศจะมีผลทำให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้น และค่า a_w ต่ำลง โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ใช้สุญญากาศเป็นเวลา 15 นาที และใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 °Brix การเตรียมขั้นต้นโดยใช้สุญญากาศเป็นเวลา 15 นาที จะทำให้มีค่าปริมาณของแข็งและค่าการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และมีค่า a_w ลดลงมากกว่าการใช้สภาวะสุญญากาศ 10 นาที และการใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้น 60 °Brix มีผลทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารดีที่สุด

Jacob et al. (2012) ศึกษาการเสริมสารที่มีประโยชน์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและให้ผลดีต่อสุขภาพ ได้แก่ โอลิโกฟรุกโตส เลซิติน โพลีฟีนอล และวิตามินซี ลงในเชอรี่ มะม่วง และ บลูเบอรี่ โดยใช้เทคนิคการแช่ในสุญญากาศที่ความดัน 35-40 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่ในสภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิห้องต่ออีก 24 ชั่วโมง และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-7 ชั่วโมง พบว่าสารที่มีประโยชน์ที่เติมลงไปนั้นสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ทั้ง 3 ชนิดได้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ

Lombard et al. (2008) ศึกษาการดึงน้ำออกจากสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสโดยนำสับปะรดมาตัดเป็นชิ้นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรหนา 1 เซนติเมตร ทำการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 45 55 และ 65°Brix เป็นเวลา 240 นาที โดยใช้สภาวะการแช่ ได้แก่ สภาวะความดันบรรยากาศปกติ (OD) และสภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ (PVOD) ที่มีการใช้ความดันสุญญากาศ 200 มิลลิบาร์ ในช่วง 10 นาทีแรก พบว่า ที่อุณหภูมิคงที่การใช้สภาวะสุญญากาศแบบเป็นจังหวะในสารละลายเข้มข้น 65°Brix ทำให้ชิ้นสับปะรดมีค่า Solid gain สูงที่สุด และที่สภาวะและความเข้มข้นของสารละลายเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีผลให้ชิ้นสับปะรดมีค่า Water loss และค่า Solid gain สูงที่สุดด้วย และการใช้เทคนิค PVOD ทำให้น้ำสูญเสียมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกสูงที่สุด อีกทั้งยังทำให้การสูญเสียน้ำหนักลดลงอีกด้วย

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2557) ศึกษาผลของการออสโมซิสโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโอลิโกฟรุกโตส 30-50 g/100 g และซูโครส 10-20 g/100 g ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 g/100 g โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Central composite design พบว่า เมื่อความ

เข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) เพิ่มขึ้น โดยการใช้โอลิโกฟรุกโตส 47 g/100 g และซูโครส 19 g/100 g ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 g/100 g มีความเหมาะสมมากที่สุด จากการศึกษาการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้น โดยแปรความดันสุญญากาศ 50 และ 100 มิลลิบาร์ และเวลาการสุญญากาศ 5 และ 10 นาที พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นมีผลทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) โดยการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีค่า WL SG และ WR ร้อยละ 27.17, 2.52 และ 24.65 ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อนำกล้วยไข่ที่ผ่านและไม่ผ่านออสโมซิสมาทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 480 มิลลิบาร์ กำหนดให้มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 15±1 พบว่า การออสโมซิสกล้วยไข่ก่อนการทำแห้งช่วยลดเวลาการทำแห้งได้ประมาณ 170 นาที กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะปรากฏที่ดี มีสีเหลืองอมน้ำตาล

พิมพ์ใจ มณีพันธ์ (2553) ศึกษาการเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสใช้สารละลายซูโครส 60% เป็นสารละลายออสโมติก แช่นาน 8 ชั่วโมง ทำได้โดยแปรวิธีการเตรียมขั้นต้น ดังนี้คือ 1) การต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 15 นาที และ 1 3 ชั่วโมง 2) การใช้สภาวะสุญญากาศที่ระดับความดัน 50 และ 65 มิลลิบาร์ โดยการแช่และไม่แช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายซูโครส 60% การใช้สุญญากาศเป็นแบบต่อเนื่องนาน 20 นาที และแบบเป็นจังหวะโดยใช้ความดันสุญญากาศเป็นเวลา 10 นาที ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 10 นาที ความดันสุญญากาศเป็นเวลา 10 นาที แล้วดำเนินการต่อที่ความดันบรรยากาศ พบว่า การแช่ชิ้นมะพร้าวในสารละลายออสโมติกที่ใช้สภาวะสุญญากาศระดับความดัน 50 มิลลิบาร์ แบบเป็นจังหวะ มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุดและชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสมีคุณภาพดี เมื่อศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก ได้แก่ ซูโครส (30-50 g/100 g) กลูโคส (0-10 g/100 g) และซอร์บิทอล (0-10 g/100 g) พบว่า สารละลายออสโมติกที่เหมาะสม คือ สารละลายผสมของซูโครส 50 g/100 g กลูโคส 10 g/100 g และซอร์บิทอล 2.61 g/100 g เมื่อศึกษาการอบแห้งโดยนำชิ้นมะพร้าวหลังการออสโมซิสมาอบแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส กำหนดความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 12±1% พบว่า ผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้

Ortega-Toro et al. (2017) ศึกษาผลของฟิล์มที่ผสมเจลว่านหางจระเข้ในการต้านเชื้อราที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคในพืช ทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ *Fusarium oxysporum*, *Alternaria alternate, Colletrotrichum gloesporoides, Bipolaris spicifera, Curvularia hawaiiensis* และ *Botryotinia fuckeliana* ทำฟิล์มจากการเจลาติไนซ์แป้งข้าวโพดในน้ำโดยมีกลีเซอรอลเป็น plasticizer ในอัตราส่วน 0.15 และ 0.25 เมื่อเปรียบเทียบกับแป้ง และผสมกับเจลว่านหางจระเข้ที่อัตราส่วนของ Dry solid เจลว่านหางจระเข้ต่อแป้งข้าวโพด เท่ากับ 1:3 1:2 และ 1:1 พบว่า เจลว่านหางจระเข้มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา *Fusarium oxysporum* ได้ดีที่สุด การผลิตฟิล์มโดยใช้อัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อแป้ง เท่ากับ 0.15 และ อัตราส่วนว่านหางจระเข้ต่อแป้งข้าวโพด เท่ากับ

1:1 จะทำให้ฟิล์มดูดซับน้ำน้อยที่สุด การใช้อัตราส่วนของกลีเซอรอลน้อยลงจะทำให้ฟิล์มมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ฟิล์มที่มีการเติมเจลว่านหางจระเข้ปริมาณสูงสุด (อัตราส่วน 1:1) จะมีสมบัติการต้านเชื้อราที่ดี สามารถใช้ในการเคลือบผักผลไม้ได้

Genevois et al. (2016) ศึกษาการเคลือบผิวฟักทองด้วยสารเคลือบที่แตกต่างกัน คือ k-carrageenan และแป้งมันสำปะหลังเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ เหล็กและกรดแอสคอร์บิกในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา โดยนำฟักทองล้างน้ำสะอาด ตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 มิลลิเมตร หนา 15 มิลลิเมตร นำมาจุ่มลงในสารเคลือบโดยใช้แป้งมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ 6% w/w และ k-carrageenan 2% w/w ละลายในน้ำกลั่น เติมกลีเซอรอล 1.5% w/w เพื่อเป็นพลาสติไซเซอร์ เติมโพแทสเซียมซอร์เบท 0.025% w/w เป็นตัวต้านเชื้อจุลินทรีย์ และเติม $FeSO_4.7H_2O$ (0.5% w/w) จากนั้นกวนโดยใช้เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 20 นาที จนเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับการเคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลังทำโดยแช่ชิ้นฟักทองในสารเคลือบเป็นเวลา 5 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และการเคลือบด้วย k-carrageenan ทำโดยให้ความร้อนสารเคลือบบนเครื่องให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 67 องศาเซลเซียส จากนั้นเคลือบผิวฟักทองด้วยเจลของ k-carrageenan และปล่อยให้เย็น ผลการวิจัยพบว่า ชนิดของสารเคลือบที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณน้ำและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ ฟักทองที่เคลือบผิวด้วยแป้งมันสำปะหลังจะมีการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกลดลง การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เสริมด้วยเหล็กและกรดแอสคอร์บิกมีคุณภาพดีทั้งด้านสีและมีจุลินทรีย์อยู่ภายใต้ข้อกำหนด รวมถึงส่งผลต่อปริมาณน้ำและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ และช่วยรักษาความคงตัวของสารมีประโยชน์ต่อร่างกายที่เสริมเข้าไป

Flores et al. (2007) ศึกษาวิธีการเจลาติไนซ์และการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มที่บริโภคได้จากแป้งมันสำปะหลังที่ผสมซอร์เบต โดยการทำฟิล์มที่บริโภคได้จะใช้อัตราส่วนของส่วนผสม คือ แป้งมันสำปะหลัง : กลีเซอรอล : น้ำ เท่ากับ 5.0 : 2.5 : 92.5 หรือ แป้งมันสำปะหลัง:กลีเซอรอล : โพแทสเซียมซอร์เบต : น้ำ เท่ากับ 5.0 : 2.5 : 0.3 : 92.2 นำมาผสมกัน จากนั้นนำสารละลายทั้ง 2 ที่เตรียมได้ มาผ่านวิธีการขึ้นรูปฟิล์มและทำแห้ง พบว่า การเติมโพแทสเซียมซอร์เบตมีผลต่อค่าการละลาย ค่าสี และสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

Fama et al. (2005) ศึกษาผลของซอร์เบตที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มบริโภคได้ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล โดยเตรียมฟิล์มเป็น 2 ชนิด คือ ฟิล์มที่ไม่มีการเติมซอร์เบต และฟิล์มที่มีการเติมซอร์เบต ส่วนผสมของฟิล์มเตรียมโดย ผสมแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล และน้ำในอัตราส่วน 5, 2.5, 92.5 กรัม ตามลำดับ และผสมแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล น้ำ และมีการเติมซอร์เบต อัตราส่วน 5, 2.5, 92.2, 0.3 กรัม จากนั้นทำให้เกิดเจลาติไนซ์เซชันโดยให้ความร้อนตัวอย่างที่อัตรา 2.0 องศาเซลเซียส/นาที เป็นเวลา 18 นาที หลังจากเกิดเจลาติไนซ์เซชันแล้วเทส่วนที่เป็นสารละลายฟิล์มลงบนแผ่นกระจก และอบแห้งฟิล์มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า ฟิล์มทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกัน การมีส่วนผสมของซอร์เบตจะมีผลช่วยในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ มีผลต่อประสิทธิภาพของฟิล์มตลอดทั้งการเก็บรักษา และมีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม โดยทำให้ความยืดหยุ่นของฟิล์มลดลง เพิ่มความสามารถในการยืดตัว นอกจากนี้ยังมีผลช่วยลดการแตกหักของฟิล์มในระหว่างการเก็บรักษา

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1. สับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง รับจากอำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี
2. ว่านหางจระเข้พันธุ์บาร์บาร์เดนซิส รับจากจังหวัดสมุทรปราการ
3. น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (Beneo^{TM} P95,ORAFTI, Belgium) บริษัท DPO จำกัด ประเทศไทย
4. น้ำตาลดอกมะพร้าว ตรา Cobie brown จาก Cobie group ประเทศไทย
5. น้ำตาลซูโครส (น้ำตาลทราย) ตรามิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด
6. แป้งมันสำปะหลัง ตรา ดวงดี ผลิตโดย บริษัท ดวงดี จำกัด
7. กรดซิตริก
8. โพแทสเซียมซอร์เบท
9. กลีเซอรอล
10. เกลือโซเดียมคลอไรด์

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) KNF LAB LABOPORT รุ่น N820.3FTP.18 ประเทศเม็กซิโก
2. อ่างอัลตราโซนิค (Sonicator bath) CREST รุ่น 950D ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ประเทศไทย
4. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง
5. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
7. เครื่องปั่นผสมโฮโมจิไนเซอร์ (Homoginizer high mixer dispenser) Polyron รุ่น ET 2000 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
8. เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) Hunter Lab รุ่น Miniscans XP plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) Novasinaรุ่น AG Labmaster-aw ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
10. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro System รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ
11. อุปกรณ์และเครื่องแก้ว เช่น โถแก้วสุญญากาศ อุปกรณ์ตัดชิ้นสับปะรดเป็นแว่น อุปกรณ์เจาะแกนสับปะรด
12. อุปกรณ์สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ถ้วยใส่ตัวอย่าง ช้อน แก้ว

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การศึกษาผลของการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเป็นสารละลายออสโมติก

การทดลองขั้นตอนนี้ศึกษาการแปรสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลดอกมะพร้าวต่อน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 60:0, 45:15, 30:30, 15:45 และ 0:60 (กรัม/100 กรัม) และเปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุม) รวมเป็น 6 สิ่งทดลอง โดยควบคุมความเข้มข้นเท่ากับ 60 กรัม/100 กรัม แสดงรายละเอียดสิ่งทดลองดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ปริมาณน้ำตาลที่ใช้เตรียมสารละลายออสโมติก 100 กรัม

สิ่งทดลอง	น้ำตาลดอกมะพร้าว (กรัม)	น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (กรัม)	น้ำตาลซูโครส (กรัม)
1	60	0	0
2	45	15	0
3	30	30	0
4	15	45	0
5	0	60	0
6 (ตัวควบคุม)	0	0	60

การเตรียมสารละลายออสโมติก

ดำเนินการโดยชั่งน้ำตาลตามสัดส่วนปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 3-1 ผสมน้ำแล้วคนให้น้ำตาลละลาย นำสารละลายไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อฆ่าเชื้อสารละลาย โดยใช้เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) แล้วตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาใช้งาน (นันทิยา ชัยชาติสุตานนท์ และคณะ, 2553) โดยบันทึกค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix) ของสารละลายออสโมติกทุกสิ่งทดลอง

การเตรียมตัวอย่างสับปะรด

ใช้สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลแก่เต็มที่ โดยเนื้อสับปะรดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 15-18°Brix คัดเลือกผลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่มีตำหนิและรอยช้ำ นำสับปะรดมาปอกเปลือกและหั่นเนื้อสับปะรดแบบเต็มแว่นหรือวงแหวน โดยใช้อุปกรณ์หั่นชิ้นสับปะรด เตรียมสับปะรดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร และมีความหนา 1.5 เซนติเมตร แล้วเจาะแกนออกโดยใช้อุปกรณ์เจาะแกนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร นำชิ้นสับปะรดมาแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 10 นาที เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ลักษณะชิ้นสับปะรดที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 3-1

ภาพที่ 3-1 ลักษณะชิ้นสับปะรดที่ใช้ในงานวิจัย

การออสโมซิสและการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

นำชิ้นสับปะรดที่เตรียมไว้มาใส่ในตะกร้าสแตนเลสแบบโปร่ง รูปทรงกระบอกแบบมีฝาปิด ซึ่งมีขนาดรูตะแกรง 2x2 เซนติเมตร แล้วนำมาแช่ให้จมในสารละลายออสโมติกที่บรรจุในโหลแก้วปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติกต่อชิ้นสับปะรด เท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) แช่เป็นเวลา 360 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (ดัดแปลงจาก Silva et al., 2014) สุ่มตัวอย่างทุก 60 นาที นำตัวอย่างมาซับให้แห้งด้วยกระดาษซับ (ดัดแปลงจาก สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร, 2557) ชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) แล้วคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reduction; WR) เพื่ออธิบายการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิส โดยคำนวนจากสูตรดังนี้ (Shi et al., 1995; Correa et al., 2010)

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL)

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

2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG)

$$SG\ (\%) = \frac{[w_t - (1-M_t) - w_0(1-M_0)]}{W_0} \times 100$$

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reduction; WR)

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

เมื่อ W_0 = น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้น (กรัม)

W_t = น้ำหนักตัวอย่างหลังการออสโมซิส (กรัม)

M_0 = ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้น (กรัมน้ำ/100 กรัมตัวอย่าง)

M_1 = ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของตัวอย่างหลังการออสโมซิส (กรัมน้ำ/100 กรัมตัวอย่าง)

การวิเคราะห์คุณภาพสับปะรดหลังการออสโมซิส

สุ่มตัวอย่างเนื้อสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

3) ความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab version 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลอง (เฉพาะที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวและ/หรือน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส) ที่ทำให้มีค่า WL และ WR สูง เพราะเป็นค่าการถ่ายเทมวลสารที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลน้ำและน้ำหนักของตัวอย่าง โดยมีปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ รวมถึงได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยได้คะแนนความชอบโดยรวมอย่างน้อย 6 คะแนนขึ้นไป

3.2 การศึกษาผลของการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของสับปะรดหลังการออสโมซิส

การทดลองขั้นตอนนี้ศึกษาการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศเป็นเวลา 30 นาที ก่อนการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศต่อให้ครบเวลา 360 นาที ตามที่กำหนดไว้โดยแปรวิธีการใช้เทคนิคดังกล่าวเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้ 1) การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์เพียงอย่างเดียว 2) การใช้เทคนิคสุญญากาศเพียงอย่างเดียว 3) การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศร่วมกันโดยใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ก่อนสุญญากาศ 4) การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศร่วมกันโดยใช้เทคนิคสุญญากาศก่อนอัลตราซาวด์ และเปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุม) รวมเป็น 5 สิ่งทดลอง โดยเวลาการออสโมซิสรวมเป็น 360 นาที สิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สภาวะการออสโมซิสที่แปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC)

สิ่งทดลอง	เทคนิคที่ใช้	การใช้อัลตราซาวด์ (นาที)	การใช้สุญญากาศ (นาที)	การออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศ (นาที)
1	US	30	0	345
2	VAC	0	30	345
3	US-VAC	15	15	345
4	VAC-US	15	5	345
5 (ตัวควบคุม)	-	0	0	360

การออสโมซิส

เตรียมตัวอย่างสับปะรดและสารละลายออสโมติกตามที่เลือกได้จากข้อที่ 3.1 นำชิ้นสับปะรดมาแช่ในสารละลายออสโมติก กำหนดใช้อัตราส่วนสารละลายออสโมติกต่อสับปะรด เท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) การแช่โดยการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์เพียงอย่างเดียว การใช้เทคนิคสุญญากาศเพียงอย่างเดียว และการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศร่วมกัน ดำเนินการดังนี้

1) การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์เพียงอย่างเดียว ทำได้โดยบรรจุชิ้นสับปะรดและสารละลายออสโมติกลงในโหลแก้วแล้วปิดปากโหลด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ นำไปใส่ในอ่างอัลตราโซนิค (Sonicator bath) ขนาด 11.5x9.5x6 นิ้ว ที่บรรจุน้ำเป็นตัวกลาง ปริมาตร 6,000 มิลลิลิตร กำหนดใช้ที่ความถี่อัลตราซาวด์เท่ากับ 38.5 กิโลเฮิร์ต เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศจนครบเวลา 360 นาที

2) การใช้เทคนิคสุญญากาศเพียงอย่างเดียว ทำได้โดยบรรจุชิ้นสับปะรดและสารละลายออสโมติกในชุดอุปกรณ์โถแก้ว ปิดฝาให้เป็นระบบปิดและเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศ กำหนดใช้ความดัน 80 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศจนครบเวลา 360 นาที

3) การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศร่วมกันโดยใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ก่อนสุญญากาศ ทำได้โดยนำชิ้นสับปะรดมาแช่โดยใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ก่อนเป็นเวลา 15 นาที ตามรายละเอียดในข้อ 1) เมื่อครบเวลานำมาแช่ต่อโดยใช้เทคนิคสุญญากาศเป็นเวลา 15 นาที ตามรายละเอียดในข้อ 2) แล้วนำมาแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศจนครบเวลา 360 นาที

4) การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศร่วมกันโดยใช้เทคนิคสุญญากาศก่อนอัลตราซาวด์ ทำได้โดยนำชิ้นสับปะรดมาแช่โดยใช้เทคนิคสุญญากาศก่อนเป็นเวลา 15 นาที ตามรายละเอียดในข้อ 2) เมื่อครบเวลานำมาแช่ต่อโดยใช้เทคนิคอัลตราซาวด์เป็นเวลา 15 นาที ตามรายละเอียดในข้อ 1) แล้วนำมาแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศจนครบเวลา 360 นาที สำหรับการแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศนั้น ดำเนินการตามรายละเอียดในข้อที่ 3.1 โดยแช่ที่อุณหภูมิห้อง โดยบรรจุชิ้นสับปะรดและสารละลายออสโมติก (ใช้สารละลายเดิม ไม่เปลี่ยนสารละลายใหม่) ในโหลแก้วและปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์

การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

สุ่มตัวอย่างหลังการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และ/หรือสุญญากาศเป็นเวลา 30 นาที รวมทั้งหลังการออสโมซิสเสร็จสิ้นเป็นเวลา 360 นาที นำตัวอย่างมาซับให้แห้งด้วยกระดาษซับ นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) แล้วคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reduction; WR) ตามรายละเอียดในข้อที่ 3.1

การวิเคราะห์คุณภาพสับปะรดหลังการออสโมซิส

สุ่มตัวอย่างสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

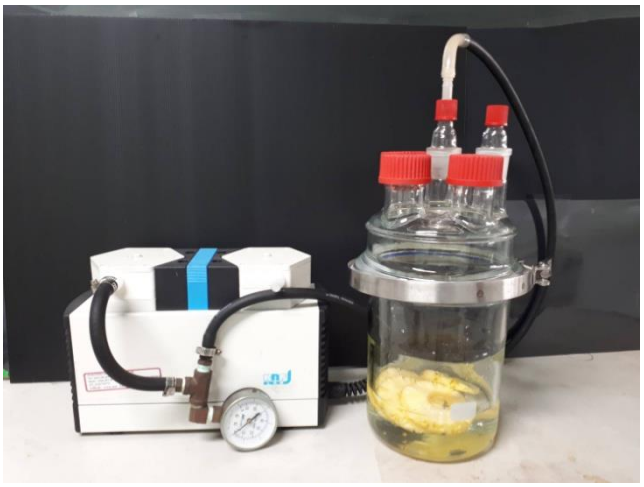
2) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

3) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

4) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

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

ภาพที่ 3-2 ลักษณะการจัดอุปกรณ์สำหรับการออสโมซิสด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์



ภาพที่ 3-3 ลักษณะการจัดอุปกรณ์สำหรับการออสโมซิสด้วยเทคนิคสุญญากาศ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab version 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่า WL และ WR สูง เพราะเป็นค่าการถ่ายเทมวลสารที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลน้ำและน้ำหนักของตัวอย่าง โดยมีปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ รวมถึงได้รับการ

ยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยได้คะแนนความชอบโดยรวมอย่างน้อย 6 คะแนนขึ้นไป และพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆ ที่วัดได้

3.3 การศึกษาผลของการหมุนกวนสารละลายด้วย Peristaltic pump ระหว่างการออสโมซิส

ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาผลของการหมุนกวนสารละลายร่วมด้วย ซึ่งเป็นการช่วยกระตุ้นการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสในขั้นตอนการแช่ในสภาวะบรรยากาศ โดยการหมุนกวนให้สารละลายออสโมติกเคลื่อนที่ตลอดเวลาโดยใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว (Peristaltic pump) ซึ่งเป็นปั๊มที่ใช้หลักการรีดท่อที่บรรจุของเหลว โดยท่อจะพันรอบลูกรีดที่หมุนรอบตัวเอง จึงทำให้ของเหลวภายในท่อถูกบีบและปล่อยเป็นจังหวะมีผลให้ของเหลวเกิดการไหลเวียนตลอดเวลา แปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีด 4 ระดับ ได้แก่ 0 100 200 และ 300 รอบต่อนาที

การออสโมซิสและการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

ดำเนินการออสโมซิสตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 3.2 ในการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวตามความเร็วการหมุนของลูกรีดที่กำหนด สำหรับการใช้ Peristaltic pump ดำเนินการโดยบรรจุชิ้นสับปะรดและสารละลายออสโมติกในภาชนะโหลแก้ว ซึ่งเชื่อมต่อกับสายยางโดยสายยางพันรอบลูกรีดที่หมุนรอบตัวเองตามความเร็วที่กำหนด ปลายสายด้านหนึ่งต่ออยู่ที่ด้านบนของภาชนะ ส่วนอีกด้านหนึ่งอยู่ด้านล่างของภาชนะ แช่ในสภาวะบรรยากาศจนครบเวลา 360 นาที

สุ่มตัวอย่างหลังการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศ รวมทั้งหลังการออสโมซิสเสร็จสิ้นมาชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) คำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) ตามในข้อ 3.1 และสุ่มตัวอย่างสับปะรดหลังออสโมซิสมาวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพสับปะรดหลังการออสโมซิส

สุ่มตัวอย่างสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)
2) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*
3) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w
4) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer
5) ความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab version 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง ปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ รวมถึงได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้

ภาพที่ 3-4 ลักษณะการจัดอุปกรณ์สำหรับการออสโมซิสเมื่อใช้ Peristaltic pump

3.4 การศึกษาผลของการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

การทดลองขั้นตอนนี้เป็นการนำสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสที่เลือกได้จากข้อ 3.3 มาศึกษาผลของการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้ก่อนนำสับปะรดไปทำแห้งให้เป็นอาหารกึ่งแห้ง สารเคลือบเตรียมได้โดยนำแป้งมันสำปะหลังมาละลายในน้ำกลั่น นำไปให้ความร้อนบนเครื่องให้ความร้อน (Hot plate) ที่อุณหภูมิในช่วง 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (ได้สารละลายลักษณะเหนียวและข้นหนืด) จากนั้นเติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลลงไปเพื่อเป็นพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) และกวนผสมต่อเป็นเวลา 10 นาที คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน รายละเอียดส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ส่วนผสมของสารเคลือบที่บริโภคได้สูตรพื้นฐาน 100 กรัม

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
แป้งมันสำปะหลัง	4.6
กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	1.4
น้ำกลั่น	94

ศึกษาการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้เมื่อมีการใช้และไม่ใช้โพแทสเซียมซอร์เบตซึ่งเป็นสารกันเสีย ที่ยับยั้งการเจริญของราและยีสต์ในอาหารกึ่งแห้ง และปริมาณการใช้เจลว่านหางจระเข้ต่อคุณภาพของสับปะรดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้คือ

ปัจจัยที่1 ปริมาณโพแทสเซียมซอร์เบต แปรเป็น 2 ระดับ คือ 0% และ 0.03% w/w

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณเจลว่านหางจระเข้ แปรเป็น 3 ระดับ คือ 0% 15% และ 30% w/w

สร้างสิ่งทดลองได้เป็น 6 สิ่งทดลอง ร่วมกับสิ่งทดลองที่ไม่เคลือบสารเคลือบ (ตัวควบคุม) รวมทั้งหมดเป็น 7 สิ่งทดลอง สำหรับวิธีการเตรียมสารเคลือบกรณีที่มีการเติมโพแทสเซียมซอร์เบตหรือเจล ว่านหางจระเข้ร่วมด้วยจะเติมลงไปพร้อมกับกลีเซอรอลและซอร์บิทอล โดยใช้น้ำเป็นตัวปรับ

ส่วนผสม แสดงรายละเอียดปริมาณส่วนผสมดังตารางที่ 3-4 และสรุปการใช้ส่วนผสมของสารเคลือบของสิ่งทดลองที่ศึกษาดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-4 ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม

สิ่งทดลอง	แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล (กรัม)	โพแทสเซียมซอร์เบต (กรัม)	เจลว่านหางจระเข้ (กรัม)	น้ำ (กรัม)
1	4.6	1.4	0	0	94
2	4.6	1.4	0	15	79
3	4.6	1.4	0	30	64
4	4.6	1.4	0.03	0	93.97
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97
7 (ตัวควบคุม)	0	0	0	0	0

ตารางที่ 3-5 สรุปการใช้ส่วนผสมของสารเคลือบของสิ่งทดลองที่ศึกษา

สิ่งทดลอง	ส่วนผสมของสารเคลือบ
1	แป้งมันสำปะหลัง + กลีเซอรอล + ซอร์บิทอล + น้ำ
2	แป้งมันสำปะหลัง + กลีเซอรอล + ซอร์บิทอล + เจลว่านหางจระเข้ 15% + น้ำ
3	แป้งมันสำปะหลัง + กลีเซอรอล + ซอร์บิทอล + เจลว่านหางจระเข้ 30% + น้ำ
4	แป้งมันสำปะหลัง + กลีเซอรอล + ซอร์บิทอล + โพแทสเซียมซอร์เบต + น้ำ
5	แป้งมันสำปะหลัง + กลีเซอรอล + ซอร์บิทอล + เจลว่านหางจระเข้ 15% + โพแทสเซียมซอร์เบต + น้ำ
6	แป้งมันสำปะหลัง + กลีเซอรอล + ซอร์บิทอล + เจลว่านหางจระเข้ 30% + โพแทสเซียมซอร์เบต + น้ำ
7 (ตัวควบคุม)	ไม่ใช้สารเคลือบ

การเตรียมเจลว่านหางจระเข้

ล้างใบว่านหางจระเข้ให้สะอาดด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง แล้วแช่ในสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 0.002% เป็นเวลา 5 นาที ตัดส่วนปลายแหลม และบริเวณขอบของว่านหางจระเข้ออก และหั่นเป็นชิ้น เพื่อแยกส่วนเปลือกออกจากส่วนเจล นำเนื้อเจลมาล้างน้ำสะอาด 2 ครั้ง และแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3% เป็นเวลา 4 นาที กำหนดอัตราส่วนของสารละลายที่แช่ต่อน้ำหนักเจล เท่ากับ 60:40 (โดยน้ำหนัก) แล้วสะเด็ดน้ำ นำไปบดต่อด้วยเครื่องปั่นผสมโฮโมจิไน

เซอร์ (Polyron รุ่น ET 2000) เพื่อให้ได้เจลที่ละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น แยกเอาส่วนกากที่มีลักษณะเป็นเส้นออกด้วยการกรองผ่านตะแกรงสแตนเลส

การเคลือบชิ้นสับปะรดด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้

ทำโดยนำสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสที่คัดเลือกจากข้อที่ 3.2 มาเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมไว้ โดยบรรจุสารเคลือบที่เตรียมไว้ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วจุ่มสับปะรดทั้งชิ้นลงในสารเคลือบเป็นเวลา 5 วินาที ให้สารเคลือบเคลือบที่บริเวณผิวของชิ้นสับปะรดทั้งชิ้น เมื่อครบเวลานำขึ้นมาวางเรียงบนตะแกรงเป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้สารเคลือบแห้งก่อนนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ต่อไป

ภาพที่ 3-5 ลักษณะการจุ่มชิ้นสับปะรดที่ผ่านการดึงน้ำด้วยวิธีออสโมซิสด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้

การทำแห้ง บรรจุและเก็บรักษา

นำสับปะรดหลังการออสโมซิสและผ่าน/ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ที่เตรียมได้มาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นและค่า a_w ตามที่กำหนด นำตัวอย่างสับปะรดกึ่งแห้งที่ผลิตได้ บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene) เคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ (aluminium foil) ขนาด 9x12.5 เซนติเมตร และปิดผนึกให้สนิท โดยบรรจุสับปะรดถุงละ 1 ชิ้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส)

การวิเคราะห์คุณภาพสับปะรดกึ่งแห้ง

สุ่มตัวอย่างระหว่างการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน นำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

3) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b* และคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) เมื่อเปรียบเทียบกับสับปะรดกึ่งแห้งที่เก็บรักษา 0 สัปดาห์

4) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

5) ปริมาณกรดทั้งหมด (AOAC, 2000)

6) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001)

7) ปริมาณยีสต์และรา (BAM, 2001)

8) การยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยการประเมินการยอมรับของตัวอย่างสับปะรดกึ่งแห้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม ใช้วิธีการให้คะแนนการยอมรับจาก 0-10 คะแนน โดยคะแนน 0 หมายถึง ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ 5 หมายถึง ตัวอย่างยังเป็นที่ยอมรับ และ 10 หมายถึง ตัวอย่างเป็นที่ยอมรับมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน (ดัดแปลงจาก Martinez-Roero et al., 2013)

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา และเปรียบเทียบคุณภาพกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักผลไม้แช่อิ่ม มผช. 161/2558 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558) โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาคือ ต้องมี a_w ไม่เกิน 0.85 จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1 x 10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และราต้องน้อยกว่า 1 x 10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และพิจารณาร่วมกับการยอมรับทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ สำหรับการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยด้านส่วนผสมของสารเคลือบและเวลาการเก็บรักษา วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab version 17

3.5 การศึกษาหาเวลาทำแห้งเพื่อผลิตสับปะรดกึ่งแห้ง

ในขั้นตอนนี้เป็นการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของสับปะรดหลังการออสโมซิสและผ่าน/ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ให้เป็นอาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) ในโครงงานวิจัยนี้กำหนดให้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 14±1% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60-0.75 ดำเนินการโดยนำสับปะรดหลังการออสโมซิสและผ่าน/ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ที่เตรียมได้มาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นและค่า a_w ตามที่กำหนด

3.6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดส่งแผ่นพับที่มีเนื้อหาถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยส่งให้ชุมชน และตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเป็นสารละลายออสโมติก

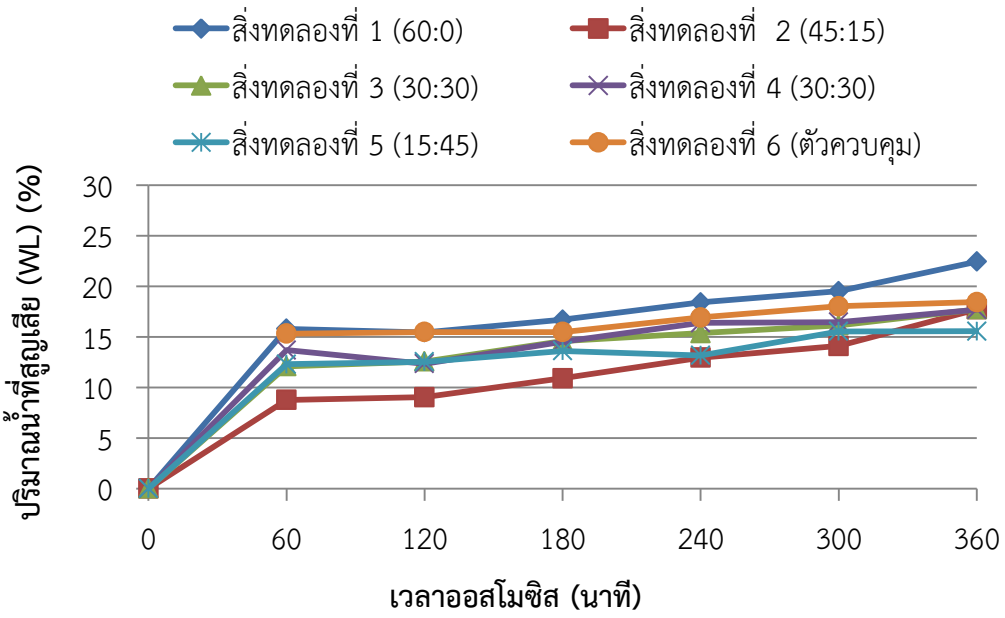
4.1.1 ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

ในการทดลองนี้ศึกษาค่าการถ่ายเทมวลสาร 3 ค่า ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ซึ่งเป็นผลตอบสนองที่สำคัญของการออสโมซิส ผลการทดลองค่าการถ่ายเทมวลสารแสดงสำหรับค่า WL SG และ WR แสดงดังภาพที่ 4-1 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ

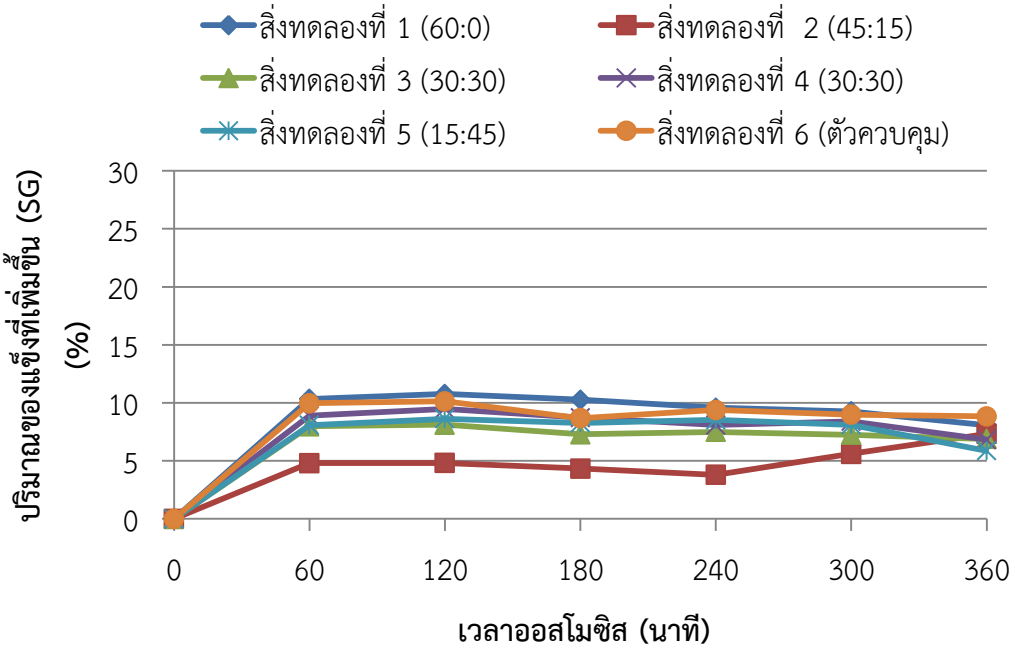
4.1.2 ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

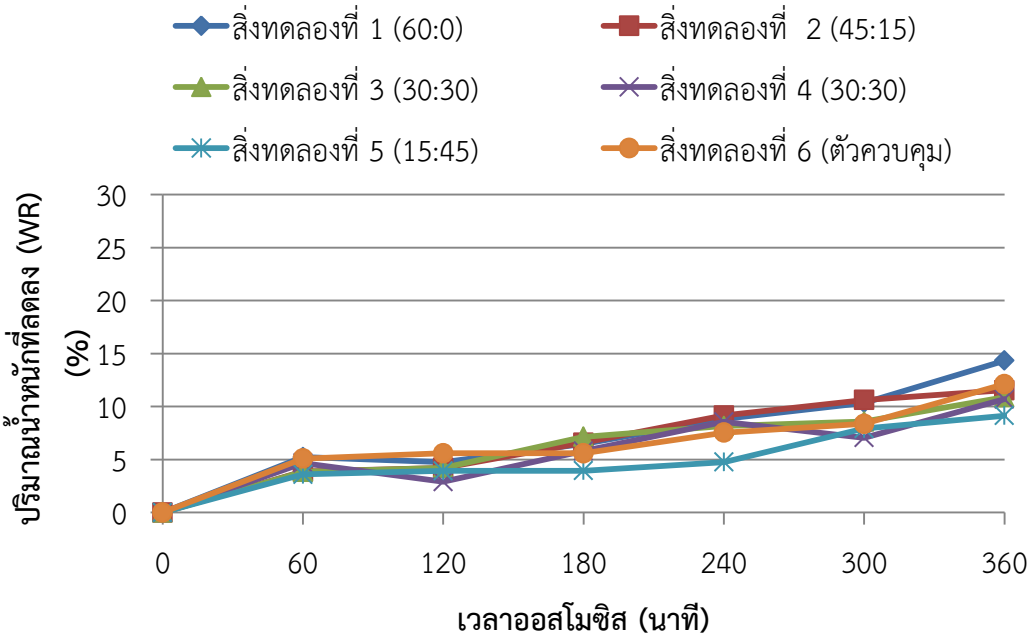
ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL ค่า SG และ ค่า WR ของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่า เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกันมีผลทำให้ชิ้นสับปะรดมีค่า WL SG และ WR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) หากพิจารณาเฉพาะสิ่งทดลองที่ใช้น้ำตาลเพียงชนิดเดียว (สิ่งทดลองที่ 1 5 และ 6) พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียว 60 กรัม/100 กรัม มีค่า WL และ WR สูงที่สุด เท่ากับ 22.43% และ 14.34% ตามลำดับ และมีค่า SG สูง เท่ากับ 8.08% รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว 60 กรัม/100กรัม มีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 18.44% 8.83% และ 12.11% ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว 60 กรัม/100กรัม มีแนวโน้มค่า WL SG และ WR ต่ำที่สุด เท่ากับ 15.55% 5.86% และ 9.14% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลดอกมะพร้าวช่วยกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากที่สุด รองลงมาคือ การใช้น้ำตาลซูโครส และการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า WL และ ค่า WR พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด จึงส่งผลให้มีค่า WL เท่ากับ 22.43% และค่า WR เท่ากับ 14.34% ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด รองลงมา คือ สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว มีค่า WL เท่ากับ 18.44% และค่า WR เท่ากับ 12.11% และ สิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว มีค่า WL เท่ากับ 15.55% และค่า WR เท่ากับ 9.14% ตามลำดับ โดยเรียงลำดับตามน้ำหนักโมเลกุลจากต่ำไปสูง เมื่อพิจารณาค่า SG พบแนวโน้มว่า สิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว มีค่า SG สูงที่สุด เท่ากับ 8.83% ซึ่งสูงกว่าสิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียว ที่มีค่า SG เท่ากับ 8.08%



ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss) กับเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสชิ้นสับปะรด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6)



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain) กับเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสชิ้นสับปะรด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6)



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reduction) กับเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสชิ้นสับปะรด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6)

2) ความชื้น และ a_w

จากตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณความชื้นและค่า a_w ของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน พบว่า สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส มีผลต่อปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียวมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด (72.86%) แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 6 ที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียวมีปริมาณความชื้น (73.45%) ($p\geq0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ที่มีการใช้น้ำตาลโอลิโก ฟรุกโตสเพียงอย่างเดียวมีค่าปริมาณความชื้นสูงที่สุด (75.80%) แต่ไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 ที่มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 74.78% - 74.91% ($p\geq0.05$) จากผลการทดลองพบกว่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่า WL ซึ่งค่า WL หมายถึง ปริมาณน้ำที่สูญเสีย นั่นคือเมื่อค่า WL เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ชิ้นสับปะรดมีปริมาณความชื้นลดลง เมื่อพิจารณาค่า a_w พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.980-0.988

ตารางที่ 4-1 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6)

สิ่งทดลอง	สัดส่วนปริมาณน้ำตาลที่ใช้เตรียมสารละลายออสโมติก 100 กรัม			ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	น้ำตาลดอกมะพร้าว	น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส	น้ำตาลซูโครส	WL	SG	WR
1	60	0	0	$22.43^{a} \pm 0.44$	$8.08^{ab} \pm 0.16$	$14.34^{a} \pm 0.61$
2	45	15	0	$17.73^{b} \pm 0.87$	$7.33^{abc} \pm 0.10$	$11.54^{b} \pm 0.71$
3	30	30	0	$17.72^{b} \pm 0.95$	$6.88^{bc} \pm 0.60$	$10.88^{b} \pm 0.66$
4	15	45	0	$17.69^{b} \pm 0.43$	$6.82^{bc} \pm 0.84$	$10.70^{b} \pm 0.28$
5	0	60	0	$15.55^{c} \pm 0.77$	$5.86^{c} \pm 1.11$	$9.14^{c} \pm 0.42$
6	0	0	60	$18.44^{b} \pm 0.64$	$8.83^{a} \pm 0.23$	$12.11^{b} \pm 0.35$

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

ตารางที่ 4-2 ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6)

สิ่งทดลอง	สัดส่วนปริมาณน้ำตาลที่ใช้เตรียมสารละลายออสโมติก 100 กรัม			ค่าเฉลี่ย ± SD	
	น้ำตาลดอกมะพร้าว	น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส	น้ำตาลซูโครส	ความชื้น (%)	a_w ns
1	60	0	0	72.86^{c} ± 0.42	0.980 ± 0.004
2	45	15	0	74.78^{ab} ± 0.90	0.985 ± 0.007
3	30	30	0	74.90^{ab} ± 0.52	0.986 ± 0.004
4	15	45	0	74.91^{ab} ± 0.05	0.986 ± 0.008
5	0	60	0	75.80^{a} ± 0.85	0.988 ± 0.002
6	0	0	60	73.45^{bc} ± 0.71	0.984 ± 0.005

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

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

3) ความชอบทางประสาทสัมผัส

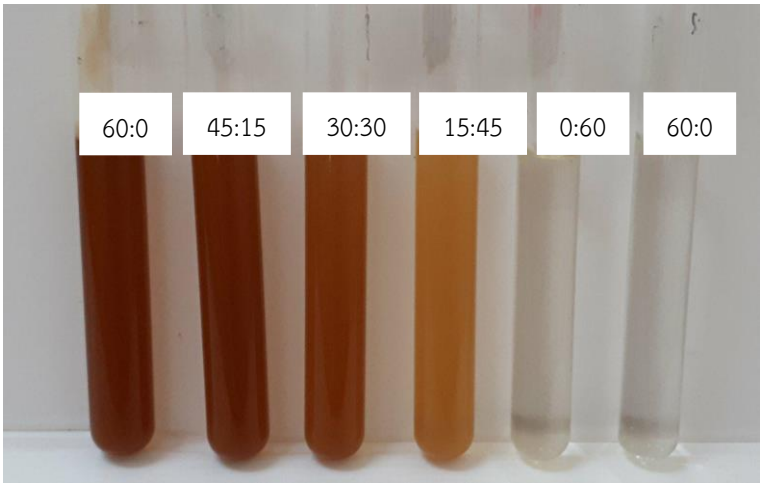
จากตารางที่ 4-3 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสแตกต่างกัน พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของทุกสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบแต่ละด้านอยู่ในช่วง 6.00-7.30 6.00-7.03 5.87-6.83 5.77-7.77 และ 6.10-7.87 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงความชอบระดับเฉยๆ ถึงชอบปานกลาง

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด (7.30 คะแนน) อยู่ในระดับชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านสี พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 และ 5 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด (7.03 คะแนน) อยู่ในระดับชอบปานกลาง จากภาพที่ 4-5 (ก-ฉ) พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียวทำให้ชิ้นสับปะรดมีสีออกน้ำตาลหรือมีสีคล้ำขึ้นมากกว่าสิ่งทดลองอื่น จากผลการประเมินความชอบพบแนวโน้มว่าสิ่งทดลองที่ 1 2 และ 3 ได้รับคะแนนความชอบรสชาตินอ้ยกว่าสิ่งทดลองที่ 4 5 และ 6 เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับคะแนนความชอบรสชาติ กล่าวคือ สิ่งทดลองที่ 4 5 และ 6 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.03-7.87) อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

ตารางที่ 4-3 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6)

สิ่งทดลอง	สัดส่วนปริมาณน้ำตาลที่ใช้เตรียมสารละลายออสโมติก100 กรัม			คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
	น้ำตาลดอกมะพร้าว	น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส	น้ำตาลซูโครส	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1	60	0	0	$6.00^{c} \pm 1.60$	$6.00^{b} \pm 1.64$	$6.23^{ab} \pm 1.53$	$5.83^{b} \pm 1.86$	$6.10^{b} \pm 1.71$
2	45	15	0	$6.23^{bc} \pm 1.45$	$6.17^{ab} \pm 1.64$	$5.87^{b} \pm 1.46$	$5.77^{b} \pm 1.91$	$6.17^{b} \pm 1.60$
3	30	30	0	$6.03^{c} \pm 1.52$	$6.17^{ab} \pm 1.66$	$5.87^{b} \pm 1.38$	$5.83^{b} \pm 1.88$	$6.10^{b} \pm 1.56$
4	15	45	0	$7.00^{ab} \pm 1.41$	$7.03^{a} \pm 1.13$	$6.17^{ab} \pm 1.17$	$6.87^{a} \pm 0.94$	$7.03^{a} \pm 0.93$
5	0	60	0	$7.30^{a} \pm 1.37$	$7.03^{a} \pm 1.43$	$6.83^{a} \pm 1.56$	$7.57^{a} \pm 1.45$	$7.67^{a} \pm 1.42$
6	0	0	60	$6.93^{ab} \pm 1.34$	$7.00^{a} \pm 1.23$	$6.77^{a} \pm 1.45$	$7.77^{a} \pm 0.97$	$7.87^{a} \pm 1.01$

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



ภาพที่ 4-4 ลักษณะสีของสารละลายออสโมติกทั้ง 6 สิ่งทดลอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6)

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (60:0) (ข) สิ่งทดลองที่ 2 (45:15) (ค) สิ่งทดลองที่ 3 (30:30)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (15:45) (จ) สิ่งทดลองที่ 5 (0:60) (ฉ) สิ่งทดลองที่ 6 (ตัวควบคุม)

ภาพที่ 4-5 ลักษณะของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที ทั้ง 6 สิ่งทดลอง (ก-ฉ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนของน้ำตาลดอกมะพร้าว : น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส สิ่งทดลองที่ 1-5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว (สิ่งทดลองที่ 6)

4.1.3 การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

เกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้คือ เลือกสิ่งทดลอง (เฉพาะที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวและ/หรือน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส) ที่ทำให้มีค่า WL และ WR สูง มีปริมาณความความชื้นและค่า a_w ต่ำ รวมถึงได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอย่างน้อย 6 คะแนนขึ้นไป จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในอัตราส่วน 15:45 (กรัม/100 กรัม) มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่า WL และค่า WR สูง (17.69% และ 10.70% ตามลำดับ) มีปริมาณความชื้นและค่า a_w เท่ากับ 74.91% และ 0.986 ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูง (7.03 คะแนน) ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกกลาง

จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่า แม้สิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้น้ำตาลดอกมะพร้าวเพียงอย่างเดียวมีค่า WL และค่า WR สูงที่สุด (22.43% และ 14.34% ตามลำดับ) แต่เมื่อพิจารณาความชอบทางประสาทสัมผัสร่วมด้วย พบว่า ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 6.10 คะแนน ซึ่งน้อยกว่าสิ่งทลองที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นสับปะรดที่ได้มีรสชาติค่อนข้างหวานมาก อีกทั้งกลิ่นของน้ำตาลดอกมะพร้าวไปผสมกับกลิ่นหอมเฉพาะตัวของสับปะรด แต่ไปทำให้เกิดกลิ่นโดยรวมที่ไม่เหมือนกับกลิ่นน้ำตาลดอกมะพร้าวหรือสับปะรดที่ชัดเจนซึ่งผู้ทดสอบคุ้นเคย จึงส่งผลทำให้ผู้ทดสอบชอบกลิ่นลดลง ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ที่มีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว ได้ชิ้นสับปะรดที่มีรสชาติหวานน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น และกลิ่นของน้ำตาลไม่รบกวนกลิ่นหอมของสับปะรด ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบสูงที่สุด (7.67 คะแนน) แต่พบว่า มีค่า WL และค่า WR อยู่ในระดับต่ำที่สุด (15.55% และ 9.14% ตามลำดับ) จึงไม่ใช่สิ่งทดลองที่เหมาะสม

4.2 ผลของการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของสับปะรดหลังการออสโมซิส

4.2.1 ค่าการถ่ายเทมวลสาร

1) ค่าการถ่ายเทมวลสารเมื่อใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC เป็นเวลา 30 นาที

ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL ค่า SG และ ค่า WR ของชิ้นสับปะรดเมื่อใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังตารางที่ 4-4 พบว่า เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศในรูปแบบต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที มีผลทำให้ชิ้นสับปะรดมีค่า WL SG และ WR ของแต่ละสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า WL พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 2 ที่มีการใช้เทคนิค US และ VAC เพียงอย่างเดียว มีค่า WL สูงที่สุด (10.96% และ 10.92% ตามลำดับ) โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ใช้เทคนิค US-VAC และ VAC-US ตามลำดับ (10.77% และ 10.29% ตามลำดับ) ($p\geq0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว มีค่า WL ต่ำที่สุด (10.04%) แสดงให้เห็นว่า การใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC สามารถเพิ่มการถ่ายเทมวลสารของชิ้นสับปะรดได้ ช่วยเพิ่มค่า WL ได้ในช่วง 0.25 - 0.92%

เมื่อพิจารณาค่า SG พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้เทคนิค US เพียงอย่างเดียว มีค่า SG สูงที่สุด (4.94%) โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 ที่ใช้เทคนิค VAC US-VAC และ VAC-US ตามลำดับ (4.90% 4.83% และ 4.86% ตามลำดับ) ($p\geq0.05$)

ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว มีค่า SG ต่ำที่สุด (4.37%) แสดงให้เห็นว่า การใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC สามารถเพิ่มการถ่ายเทมวลสารของชิ้นสับปะรดได้ ช่วยเพิ่มค่า SG ได้ในช่วง 0.46-0.57%

เมื่อพิจารณาค่า WR พบว่ามีแนวโน้มเหมือนกับค่า WL พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 2 ที่มีการใช้เทคนิค US และ VAC เพียงอย่างเดียว มีค่า WR สูงที่สุด (6.03% และ 6.01% ตามลำดับ) โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ใช้เทคนิค US-VAC และ VAC-US ตามลำดับ (5.96% และ 5.82% ตามลำดับ) ($p \geq 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว มีค่า WR ต่ำที่สุด (5.36%) แสดงให้เห็นว่า การใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC สามารถเพิ่มการถ่ายเทมวลสารของชิ้นสับปะรดได้ ช่วยเพิ่มค่า WR ได้ในช่วง 0.46-0.67%

2) ค่าการถ่ายเทมวลสารเมื่อออสโมซิสครบเวลา 360 นาที

ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL ค่า SG และ ค่า WR ของชิ้นสับปะรดเมื่อใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC เป็นเวลา 30 นาที และแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศจนครบเวลา 360 นาที แสดงดังตารางที่ 4-5 พบว่า เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศในรูปแบบต่างๆ มีผลทำให้ชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส มีค่า WL SG และ WR ของแต่ละสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า WL พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่มีการใช้เทคนิค US และเทคนิค VAC เพียงอย่างเดียว มีค่า WL สูงที่สุด (26.39% และ 26.33% ตามลำดับ) รองลงมา คือ สิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่มีการใช้เทคนิค US-VAC และ VAC-US (23.46% และ 22.94% ตามลำดับ) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว มีค่า WL ต่ำที่สุด (17.75%) แสดงให้เห็นว่า การใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC สามารถเพิ่มการถ่ายเทมวลสารของชิ้นสับปะรดได้ ช่วยเพิ่มค่า WL ได้ในช่วง 0.25-0.92%

เมื่อพิจารณาค่า SG พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 2 3 และ 4 ที่ใช้เทคนิค US VAC US-VAC และ VAC-US มีค่า SG สูงที่สุด (12.10% 12.26% 13.03% และ 12.93% ตามลำดับ) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว มีค่า SG ต่ำที่สุด (8.44%) แสดงให้เห็นว่า การใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC สามารถเพิ่มการถ่ายเทมวลสารของชิ้นสับปะรดได้ ช่วยเพิ่มค่า SG ได้ในช่วง 0.46-0.57%

เมื่อพิจารณาค่า WR พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้เทคนิค US เพียงอย่างเดียว มีผลให้ค่า WR สูงที่สุด (16.23%) รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ (13.60% 12.68 และ 10.59% ตามลำดับ) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว มีค่า WR ต่ำที่สุด (9.32%) แสดงให้เห็นว่า การใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC สามารถเพิ่มการถ่ายเทมวลสารของชิ้นสับปะรดได้ ช่วยเพิ่มค่า WR ได้ในช่วง 0.46-0.67%

ตารางที่ 4-4 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นสับปะรดที่แปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

สิ่งทดลอง	สภาวะการออสโมซิส				ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	เทคนิคที่ใช้	การใช้อัลตรซาวด์ (นาที)	การใช้สุญญากาศ (นาที)	สภาวะบรรยากาศ (นาที)	WL	SG	WR
1	US	30	0	0	$10.96^{a} \pm 0.25$	$4.94^{a} \pm 0.15$	$6.03^{a} \pm 0.25$
2	VAC	0	30	0	$10.92^{a} \pm 0.22$	$4.90^{ab} \pm 0.23$	$6.01^{a} \pm 0.28$
3	US-VAC	15	15	0	$10.77^{ab} \pm 0.30$	$4.83^{ab} \pm 0.24$	$5.96^{a} \pm 0.21$
4	VAC-US	15	15	0	$10.29^{ab} \pm 0.33$	$4.86^{ab} \pm 0.24$	$5.82^{ab} \pm 0.23$
5	-	0	0	30	$10.04^{b} \pm 0.45$	$4.37^{b} \pm 0.12$	$5.36^{b} \pm 0.09$

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

ตารางที่ 4-5 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

สิ่งทดลอง	สภาวะการออสโมซิส				ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	เทคนิคที่ใช้	การใช้อัลตราซาวด์ (นาที)	การใช้สุญญากาศ (นาที)	สภาวบรรยากาศ (นาที)	WL	SG	WR
1	US	30	0	345	$26.39^{a} \pm 1.04$	$12.10^{a} \pm 0.75$	$16.23^{a} \pm 1.15$
2	VAC	0	30	345	$26.33^{a} \pm 1.01$	$12.26^{a} \pm 0.33$	$13.60^{ab} \pm 1.01$
3	US-VAC	15	15	345	$23.46^{b} \pm 1.07$	$13.03^{a} \pm 0.72$	$12.68^{bc} \pm 1.08$
4	VAC-US	15	15	345	$22.94^{b} \pm 1.10$	$12.93^{a} \pm 0.63$	$10.59^{cd} \pm 1.11$
5	-	0	0	360	$17.75^{c} \pm 1.04$	$8.44^{b} \pm 0.49$	$9.32^{d} \pm 1.12$

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.0$)

4.2.2 คุณภาพของสับปะรดหลังการออสโมซิส

1) ปริมาณความชื้น และ ค่า a_w

ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเมื่อใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC เป็นเวลา 30 นาที และแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศจนครบเวลา 360 นาที แสดงดังตารางที่ 4-6 พบว่า เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศในรูปแบบต่างๆ มีผลทำให้ชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ของแต่ละสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น พบว่า มีแนวโน้มผลการทดลองคล้ายกับค่า WL โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่มีการใช้เทคนิค US และเทคนิค VAC เพียงอย่างเดียว มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด (67.07% และ 67.44% ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาค่า a_w พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 2 3 และ 4 ซึ่งใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และสุญญากาศในรูปแบบต่างๆ ทำให้สับปะรดมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.963-0.969 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีแนวโน้มค่า a_w ต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียวที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.984 ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-6 ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

สิ่งทดลอง	สภาวะการออสโมซิส				ค่าเฉลี่ย ± SD	
	เทคนิคที่ใช้	การใช้อัลตราซาวด์ (นาที)	การใช้สุญญากาศ (นาที)	สภาวะบรรยากาศ (นาที)	ความชื้น (%)	a_w
1	US	30	0	345	67.07^{c} ± 0.10	0.963^{b} ± 0.005
2	VAC	0	30	345	67.44^{c} ± 0.10	0.966^{b} ± 0.006
3	US-VAC	15	15	345	68.90^{b} ± 0.24	0.969^{b} ± 0.003
4	VAC-US	15	15	345	68.45^{b} ± 0.14	0.965^{b} ± 0.002
5	-	0	0	360	74.45^{a} ± 0.49	0.984^{a} ± 0.005

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

2) ค่าสี

จากตารางที่ 4-7 พบว่า เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC มีผลทำให้ชิ้นสับปะรดมีค่าสี (L* a* และ b*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการใช้เทคนิค US หรือ VAC เพียงอย่างเดียว มีแนวโน้มให้ค่า L* a* และ b* สูงกว่าสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ที่ใช้ทั้ง 2 เทคนิคร่วมกัน โดยสิ่งทดลองที่ 1 2 3 และ 4 ซึ่งผ่านการใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC มีแนวโน้มค่า L* a* และ b* ต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

3) ค่าความแน่นเนื้อ

ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเมื่อใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC เป็นเวลา 30 นาที และแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศจนครบเวลา 360 นาที แสดงดังตารางที่ 4-8 พบว่า เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC มีผลทำให้ชิ้นสับปะรดมีค่าความแน่นเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าความแน่นเนื้อสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ซึ่งหมายถึง แรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหารตามระยะทางที่กำหนด ซึ่งแสดงถึงความแข็งหรือนุ่มของผลิตภัณฑ์อาหาร สามารถเทียบเคียงได้ว่าถ้าอาหารที่มีความแข็งมาก แรงที่ใช้ฟันกัดอาหารจะมีค่ามาก (Alvarez et al., 2002)

จากตารางที่ 4-8 เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองที่มีการใช้เทคนิค US หรือ VAC เพียงอย่างเดียว พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้เทคนิค US เพียงอย่างเดียวมีค่าความแน่นเนื้อ (100.91 นิวตัน) น้อยกว่าสิ่งทดลอง 2 ที่มีการใช้เทคนิค VAC เพียงอย่างเดียว (129.76 นิวตัน) โดยค่าความแน่นเนื้อของสิ่งทดลองที่ 2 นี้ ไม่แตกต่างจากสิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว (127.78 นิวตัน) ($p\geq0.05$) และจากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลอง 2 ที่มีการใช้เทคนิค VAC เพียงอย่างเดียว มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างจากสิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว ($p\geq0.05$) เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองที่มีการใช้เทคนิค US และ VAC ร่วมกัน พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ที่มีการใช้เทคนิค US-VAC มีค่าความแน่นเนื้อ (120.23 นิวตัน) มากกว่าสิ่งทดลองที่ 4 ที่มีการใช้เทคนิค VAC-US (113.20 นิวตัน) ($p<0.05$) แสดงว่าลำดับในการใช้เทคนิค US หรือ VAC มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ

ตารางที่ 4-7 ค่าสี L* a* และ b* ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

สิ่งทดลอง	สภาวะการออสโมซิส				ค่าสีเฉลี่ย ± SD		
	เทคนิคที่ใช้	การใช้อัลตราซาวด์ (นาที)	การใช้สุญญากาศ (นาที)	สภาวะบรรยากาศ (นาที)	L*	a*	b*
1	US	30	0	345	61.21^{a} ± 0.19	5.89^{a} ± 0.02	49.54^{b} ± 0.12
2	VAC	0	30	345	56.48^{b} ± 0.04	5.50^{b} ± 0.01	51.32^{a} ± 0.11
3	US-VAC	15	15	345	45.23^{d} ± 0.14	4.04^{c} ± 0.03	35.83^{e} ± 0.15
4	VAC-US	15	15	345	48.08^{c} ± 0.07	2.77^{d} ± 0.04	39.47^{d} ± 0.28
5	-	0	0	360	61.43^{a} ± 0.31	5.52^{b} ± 0.05	47.01^{c} ± 0.23

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

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (US) (ข) สิ่งทดลองที่ 2 (VAC) (ค) สิ่งทดลองที่ 3 (US-VAC) (ง) สิ่งทดลองที่ 4 (VAC-US) (จ) สิ่งทดลองที่ 5 (ตัวควบคุม)

ภาพที่ 4-6 ลักษณะของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 4-8 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

สิ่งทดลอง	สภาวะการออสโมซิส				ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย ± SD (นิวตัน)
	เทคนิคที่ใช้	การใช้อัลตราซาวด์ (นาที)	การใช้สุญญากาศ (นาที)	สภาวะบรรยากาศ (นาที)	
1	US	30	0	345	$100.91^{c} \pm 3.70$
2	VAC	0	30	345	$129.76^{a} \pm 4.81$
3	US-VAC	15	15	345	$120.23^{ab} \pm 4.09$
4	VAC-US	15	15	345	$113.20^{b} \pm 3.60$
5	-	0	0	360	$127.78^{a} \pm 4.26$

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

4) ความชอบทางประสาทสัมผัส

คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสเมื่อใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC เป็นเวลา 30 นาที และแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศจนครบเวลา 360 นาที แสดงดังตารางที่ 4-9 พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.32-6.89 คะแนน อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง แต่มีความแตกต่างกันในความชอบด้านลักษณะปรากฏ และด้านสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ได้รับคะแนนความชอบแต่ละด้านอยู่ในช่วง 6.21-7.14 และ 6.25-7.28 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด (7.14 คะแนน) อยู่ในระดับชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านสี พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด (7.28 คะแนน) อยู่ในระดับชอบปานกลางเช่นกัน การที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและด้านสีต่างกัน อาจเนื่องมาจากการใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC ขั้นต้นในการออสโมซิสชิ้นสับปะรด มีผลทำให้ชิ้นสับปะรดมีสีน้ำตาลหรือสีคล้ำขึ้น ผู้ทดสอบอาจไม่ชอบลักษณะสีน้ำตาลหรือสีคล้ำที่เกิดขึ้นนี้ จึงให้คะแนน

ความชอบด้านลักษณะปรากฏ และด้านสี ต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับลักษณะปรากฏและสีเมื่อมองจากตาเปล่า (ภาพที่ 4-6) พบว่า สิ่งทดลองที่มีการใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC มีสีน้ำตาลหรือสีคล้ำกว่าสิ่งทดลองที่ 5 ที่ไม่ใช้เทคนิคใด เป็นการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว ยกเว้นสิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้เทคนิค US เพียงอย่างเดียว มีแนวโน้มลักษณะปรากฏและสีใกล้เคียงสิ่งทดลองที่ 5 มากว่าสิ่งทดลองอื่น ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และด้านสีสูง และใกล้เคียงกับสิ่งทดลองที่ 5 มากที่สุดด้วย (7.03 และ 7.07 คะแนน ตามลำดับ) ซึ่งมีความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC แม้ส่งผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ และด้านสี แต่ไม่ส่งผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสชาติ และความชอบโดยรวม

4.2.3 การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

เกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่า WL และ WR สูง มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำ รวมถึงได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอย่างน้อย 6 คะแนนขึ้นไป จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่มีการใช้เทคนิค US เพียงอย่างเดียว มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้ชิ้นสับปะรดมีค่า WL และ WR เมื่อสิ้นสุดการออสโมซิสสูงที่สุด เท่ากับ 26.39% และ 16.23% ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 6.82 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

ตารางที่ 4-9 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส 360 นาที เมื่อแปรวิธีการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (US) และสุญญากาศ (VAC) เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

สิ่งทดลอง	สภาวะการออสโมซิส				คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
	เทคนิคที่ใช้	การใช้อัลตราซาวด์ (นาที)	การใช้สุญญากาศ (นาที)	สภาวะบรรยากาศ	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
1	US	30	0	345	7.03^{ab} ± 0.96	7.07^{ab} ± 1.05	6.61 ± 1.29	6.32 ± 1.54	6.82 ± 1.33
2	VAC	0	30	345	6.21^{b} ± 1.47	6.25^{b} ± 1.73	6.39 ± 1.07	6.36 ± 1.59	6.39 ± 1.03
3	US-VAC	15	15	345	6.32^{ab} ± 1.33	6.64^{ab} ± 1.45	6.50 ± 1.17	6.43 ± 1.37	6.71 ± 1.05
4	VAC-US	15	15	345	6.50^{ab} ± 1.48	6.64^{ab} ± 1.31	6.43 ± 1.22	6.64 ± 1.22	6.68 ± 1.12
5	-	0	0	360	7.14^{a} ± 1.24	7.28^{a} ± 1.15	6.54 ± 0.92	6.78 ± 1.37	6.89 ± 0.92

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

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

4.3 ผลของการหมุนกวนสารละลายด้วย Peristaltic pump ระหว่างการออสโมซิส

4.3.1 ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของสับปะรดหลังการออสโมซิส

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-10 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส พบว่า ระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดปั๊มดูดจ่ายของเหลว มีผลต่อค่า WL และ WR ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า SG ($p\geq0.05$) โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 300 รอบ/นาที ทำให้มีค่า WL และ WR สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 28.51% และ16.33% ตามลำดับ ($p<0.05$)

2) ปริมาณความชื้นและค่า a_w

จากตารางที่ 4-11 แสดงปริมาณความชื้นและค่า a_w ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว พบว่า ระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อปริมาณความชื้น ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า a_w ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส ($p\geq0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 300 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นสับปะรดะหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด เท่ากับ 64.11% ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการถ่ายเทมวลสารที่พบว่าสิ่งทดลองดังกล่าวมีค่า WL มากที่สุด สำหรับค่า a_w อยู่ในช่วง 0.960-0.963

ตารางที่ 4-10 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิสเมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	WL	SG ^{ns}	WR
0	26.3^{b} ± 1.07	12.11 ± 0.47	14.23^{c} ± 1.01
100	27.40^{b} ± 1.11	12.18 ± 0.70	15.23^{b} ± 1.09
200	27.11^{b} ± 1.27	12.04 ± 0.95	15.17^{b} ± 1.07
300	28.51^{a} ± 1.07	12.18 ± 0.97	16.33^{a} ± 0.98

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

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

ตารางที่ 4-11 ปริมาณความชื้นและค่าa_wของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ความชื้น (%)	a_w ^{ns}
0	67.07^{b} ± 0.10	0.963 ± 0.005
100	67.00^{b} ± 0.11	0.960 ± 0.004
200	66.57^{b} ± 0.13	0.962 ± 0.005
300	64.11^{a} ± 0.10	0.963 ± 0.003

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

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

3) ค่าสี

จากค่าสี L* (ความสว่าง) a* (ความเป็นสีแดง) และ b* (ความเป็นสีเหลือง) ดังตารางที่ 4-12 พบว่า ระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ($p<0.05$) โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 300 รอบ/นาที ทำให้สับปะรดหลังการออสโมซิสมีค่า L* ต่ำที่สุด ในขณะที่ a* สูงที่สุด ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าสับปะรดมีสีคล้ำและมีสีออกทางแดงมากขึ้น

ตารางที่ 4-12 ค่าสี L* a* และ b* ของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	L*	a*	b*
0	$61.21^{a} \pm 0.19$	$5.89^{c} \pm 0.02$	$49.54^{a} \pm 0.17$
100	$60.28^{b} \pm 0.11$	$5.97^{c} \pm 0.42$	$49.50^{a} \pm 0.10$
200	$58.20^{c} \pm 0.22$	$6.80^{b} \pm 0.55$	$47.14^{b} \pm 0.52$
300	$57.04^{d} \pm 0.54$	$7.19^{a} \pm 0.34$	$48.50^{b} \pm 0.11$

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

4) ค่าความแน่นเนื้อ

จากตารางที่ 4-13 แสดงค่าความแน่นเนื้อของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว พบว่า ระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ ($p<0.05$) ผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวทำให้ชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าการไม่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อมีการใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวมีโอกาสให้สารละลายออสโมติกเกิดการเคลื่อนตัวมากขึ้น ทำให้ชิ้นสับปะรดเคลื่อนตัวกระทบกันแล้วทำให้เกิดลักษณะนิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-13 ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย ± SD (N)
0	$100.01^{a} \pm 5.98$
100	$97.91^{b} \pm 3.78$
150	$98.04^{b} \pm 5.98$
200	$94.91^{b} \pm 3.78$

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

5) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-14 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิสเมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น และรสชาติ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.27-6.64) แต่พบว่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการไม่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวได้สับปะรดหลังการออสโมซิสที่ได้รับความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวมมากว่าการใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ตารางที่ 4-14 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความชอบโดยรวม
0	7.03 ± 0.96^{a}	7.07± 1.05^{a}	6.61 ± 1.11	6.30 ± 1.50	6.82 ± 1.33^{a}
100	7.00 ± 1.16^{b}	7.17 ± 0.90^{b}	6.64 ± 1.20	6.38 ± 0.59	6.30 ± 1.09^{b}
200	6.90 ± 1.14^{b}	6.87± 1.10^{c}	6.47 ± 1.01	6.39 ± 1.14	5.90 ± 1.06^{c}
300	5.57 ± 1.00^{c}	6.01 ± 0.19^{d}	6.40 ± 1.07	6.27 ± 1.04	5.38 ± 1.40^{d}

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

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

4.3.2 การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

เกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง ปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ รวมถึงได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า แม้สิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 300 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นสับปะรดมีค่า WL และ WR เมื่อสิ้นสุดการออสโมซิสสูงที่สุด รวมทั้งมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด แต่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมและลักษณะปรากฏต่ำกว่า 6 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับเฉยๆ ดังนั้นการไม่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวจึงมีความเหมาะสมที่สุด โดยลักษณะชิ้นสับปะรดที่ไม่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว (ตัวควบคุม) และที่ผ่านการใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวที่ความเร็วการหมุนของลูกรีด 300 รอบ/นาที แสดงดังภาพที่ 4-7

(ก) ไม่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว (ข) ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว (ความเร็ว 300 รอบ/นาที)

ภาพที่ 4-7 ลักษณะของชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิสเมื่อไม่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว (ก) และใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลงที่ความเร็วการหมุนของลูกรีด 300 รอบ/นาที (ข)

4.4 ผลของการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

1) ปริมาณความชื้น และค่า a_w

ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน แสดงดังตารางที่ 4-15 และตารางที่ 4-16 ตามลำดับ พบว่า ส่วนผสมของสารเคลือบมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า a_w ($p\geq0.05$) และเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) สำหรับปัจจัยด้านส่วนผสมของสารเคลือบที่พบว่ามีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการทดลองพบว่า ตลอดเวลาการเก็บรักษา สิ่งทดลองที่ 1-6 ที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 14.63%-14.88% ซึ่งมากกว่าปริมาณความชื้นของสิ่งทดลองที่ 7 (13.73%-13.91%) ที่เป็นตัวควบคุม ไม่มีการใช้สารเคลือบ สำหรับปัจจัยด้านส่วนผสมของสารเคลือบที่พบว่าไม่มีผลต่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) สำหรับปัจจัยด้านเวลาการเก็บรักษาที่พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เป็นการยืนยันให้เห็นว่ากระบวนการแปรรูปสับปะรดกึ่งแห้งทุกสิ่งทดลองซึ่งผ่านการออสโมซิสและการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเหมือนกันและมีการควบคุมความชื้นและค่า a_w ไว้ในระดับค่อนข้างต่ำ ตลอดการเก็บรักษา 15 วัน ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของทุกสิ่งทดลองจึงค่อนข้างคงที่และเสถียร จากผลการทดลอง พบว่า สับปะรดกึ่งแห้งทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 13.91%-14.88% และมีค่า a_w เริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.679-0.704 ซึ่งการมีปริมาณความชื้นและค่า a_w เริ่มต้นที่ต่ำนี้จึงมีความเสถียรและไม่เอื้อต่อการเปลี่ยนแปลง

2) ค่าสี L* a* b* และ ΔE

ค่าสี L* a*b* และ ΔE ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน แสดงดังตารางที่ 4-17 4-18 4-19 และ 4-20 ตามลำดับ พบว่า ส่วนผสมของสารเคลือบและเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับปัจจัยด้านส่วนผสมของสารเคลือบที่พบว่ามีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สับปะรดกึ่งแห้งที่มีการใช้สารเคลือบทุกสิ่งทดลอง พบว่า มีแนวโน้มค่าความสว่าง (L*) มากกว่าสับปะรดกึ่งแห้งที่ไม่มีการใช้สารเคลือบ สำหรับปัจจัยด้านเวลาการเก็บรักษาที่พบว่ามีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า ΔE ที่พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ทุกสิ่งทดลองมีค่า ΔE เพิ่มขึ้น โดยมีค่า ΔE อยู่ในช่วง 1.67–5.65 แสดงว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ชิ้นสับปะรดมีสีเปลี่ยนแปลงหรือแตกต่างไปจากสับปะรดกึ่งแห้งที่เก็บ 0 วัน โดยภาพรวมค่าสี a* และ b* เป็นบวก แสดงถึง มีสีออกทางสีแดงและสีเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับสีของสับปะรดกึ่งแห้งที่มองเห็นด้วยตาเปล่าตลอดการเก็บรักษา 15 วัน แสดงดังภาพที่ 4-8 4-9 4-10 และ 4-11 เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นานขึ้น จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น และมีค่าสีเหลืองและค่าความสว่างลดลง

ตารางที่ 4-15 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10, และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					ปริมาณความชื้นเฉลี่ย (%) ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1^{NS}	4.6	1.4	0	0	94	$14.70^{a} \pm 0.28$	$14.71^{a} \pm 0.49$	$14.62^{a} \pm 0.21$	$14.46^{a} \pm 0.10$
2^{NS}	4.6	1.4	0	15	79	$14.83^{a} \pm 0.22$	$14.79^{a} \pm 0.18$	$14.80^{a} \pm 0.39$	$14.77^{a} \pm 0.21$
3^{NS}	4.6	1.4	0	30	64	$14.88^{a} \pm 0.10$	$14.88^{a} \pm 0.10$	$14.77^{a} \pm 0.33$	$14.73^{a} \pm 0.33$
4^{NS}	4.6	1.4	0.03	0	93.97	$14.75^{a} \pm 0.08$	$14.72^{a} \pm 0.15$	$14.70^{a} \pm 0.39$	$14.71^{a} \pm 0.25$
5^{NS}	4.6	1.4	0.03	15	78.97	$14.63^{a} \pm 0.45$	$14.71^{a} \pm 0.31$	$14.66^{a} \pm 0.22$	$14.62^{a} \pm 0.26$
6^{NS}	4.6	1.4	0.03	30	63.97	$14.69^{a} \pm 0.22$	$14.62^{a} \pm 0.35$	$14.65^{a} \pm 0.23$	$14.60^{a} \pm 0.34$
7^{NS}	0	0	0	0	0	$13.91^{b} \pm 0.23$	$13.80^{b} \pm 0.20$	$13.81^{b} \pm 0.10$	$13.73^{b} \pm 0.13$

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

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

ตารางที่ 4-16 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10, และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					ค่า a_w เฉลี่ย ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน ^{ns}	5 วัน ^{ns}	10 วัน ^{ns}	15 วัน ^{ns}
1 ^{NS}	4.6	1.4	0	0	94	0.692 ± 0.020	0.690 ± 0.020	0.706 ± 0.010	0.696 ± 0.010
2 ^{NS}	4.6	1.4	0	15	79	0.695 ± 0.010	0.684 ± 0.010	0.685 ± 0.020	0.679 ± 0.030
3 ^{NS}	4.6	1.4	0	30	64	0.704 ± 0.050	0.706 ± 0.040	0.687 ± 0.010	0.686 ± 0.010
4 ^{NS}	4.6	1.4	0.03	0	93.97	0.695 ± 0.010	0.684 ± 0.030	0.685 ± 0.020	0.683 ± 0.020
5 ^{NS}	4.6	1.4	0.03	15	78.97	0.686 ±0.030	0.689 ± 0.020	0.688 ± 0.010	0.684 ± 0.020
6 ^{NS}	4.6	1.4	0.03	30	63.97	0.692 ± 0.050	0.680 ± 0.020	0.682 ± 0.010	0.680 ± 0.010
7 ^{NS}	0	0	0	0	0	0.679 ± 0.020	0.674 ± 0.010	0.674 ± 0.010	0.671 ± 0.020

^{ns} คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^{NS} คือค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-17 ค่าสี L* ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					ค่าสี L* เฉลี่ย ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1	4.6	1.4	0	0	94	$51.61^{Af} \pm 0.11$	$51.60^{Ad} \pm 0.15$	$50.82^{Bc} \pm 0.15$	$48.57^{Cd} \pm 0.22$
2	4.6	1.4	0	15	79	$56.41^{Ae} \pm 0.21$	$54.62^{Bb} \pm 024$	$55.67^{ABa} \pm 0.24$	$47.91^{Cd} \pm 1.09$
3	4.6	1.4	0	30	64	$52.59^{Abc} \pm 0.11$	$51.30^{Bd} \pm 0.13$	$51.53^{Bc} \pm 0.53$	$51.27^{Bbc} \pm 0.46$
4	4.6	1.4	0.03	0	93.97	$54.17^{Acd} \pm 0.54$	$53.42^{Ac} \pm 0.17$	$49.32^{Be} \pm 0.20$	$50.02^{Bc} \pm 0.95$
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97	$55.49^{Ab} \pm 0.22$	$54.52^{Bb} \pm 0.25$	$54.59^{Cb} \pm 0.13$	$52.33^{Db} \pm 0.76$
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97	$57.24^{Aa} \pm 0.66$	$55.51^{Ba} \pm 0.38$	$55.64^{Ba} \pm 0.49$	$55.03^{Ba} \pm 0.65$
7	0	0	0	0	0	$48.14^{Ae} \pm 0.12$	$47.50^{Be} \pm 0.05$	$46.82^{Cf} \pm 0.25$	$47.32^{BCd} \pm 0.52$

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

^{A,B,C} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-18 ค่าสี a* ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					ค่าสี a* เฉลี่ย ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1	4.6	1.4	0	0	94	$12.84^{Bb} \pm 0.09$	$12.96^{ABa} \pm 0.05$	$13.03^{ABbc} \pm 0.40$	$13.33^{Ad} \pm 0.28$
2	4.6	1.4	0	15	79	$10.82^{Bd} \pm 0.13$	$11.47^{Ad} \pm 0.02$	$11.70^{Ad} \pm 0.02$	$12.08^{Ae} \pm 0.70$
3	4.6	1.4	0	30	64	$11.49^{Db} \pm 0.09$	$12.16^{Cc} \pm 0.16$	$13.07^{Bbc} \pm 0.07$	$15.32^{Aa} \pm 0.08$
4	4.6	1.4	0.03	0	93.97	$11.37^{Ca} \pm 0.06$	$12.56^{Ba} \pm 0.06$	$14.11^{Ab} \pm 0.09$	$14.35^{Ab} \pm 0.31$
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97	$12.75^{bB} \pm 0.07$	$12.59^{bB} \pm 0.20$	$13.47^{bA} \pm 0.35$	$13.60^{cdA} \pm 0.15$
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97	$11.38^{Ad} \pm 0.07$	$11.64^{Ad} \pm 0.16$	$11.60^{Ad} \pm 0.55$	$11.89^{Ae} \pm 0.06$
7	0	0	0	0	0	$11.78^{Dc} \pm 0.07$	$11.39^{Cd} \pm 0.28$	$12.50^{Bc} \pm 0.06$	$14.17^{Abc} \pm 0.11$

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

^{A,B,C} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-19 ค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					ค่าสี b* เฉลี่ย ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1	4.6	1.4	0	0	94	40.05^{aA} ± 0.48	38.16^{cdB} ± 0.43	36.90^{cC} ± 0.85	36.94^{dC} ± 0.28
2	4.6	1.4	0	15	79	41.20^{cdA} ± 0.26	40.36^{bB} ± 0.18	37.50^{cC} ± 0.21	37.48^{cC} ± 0.13
3	4.6	1.4	0	30	64	41.95^{bA} ± 0.18	38.58^{cB} ± 0.27	37.48^{cC} ± 0.13	37.45^{cC} ± 0.20
4	4.6	1.4	0.03	0	93.97	38.38^{Ae} ± 0.26	37.70^{Bd} ± 0.23	37.74^{Bc} ± 0.42	37.35^{Bcd} ± 0.21
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97	41.80^{Aa} ± 0.64	40.32^{Bb} ± 0.16	40.82^{Bab} ±0.11	39.57^{Cb} ± 0.32
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97	40.48^{Abc} ± 0.17	40.36^{ABb} ± 0.08	40.39^{ABb} ±0.18	40.15^{Ba} ± 0.17
7	0	0	0	0	0	41.58^{Ad} ± 0.27	41.32^{Aa} ± 0.33	41.48^{Aa} ± 0.56	39.56^{Bb} ± 0.15

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

^{A,B,C} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-20 ค่า ΔE ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					ค่า ΔE[#] เฉลี่ย ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1	4.6	1.4	0	0	94	-	1.91^{B} ± 0.87	3.28^{A} ± 0.84	4.40^{A} ± 0.42
2	4.6	1.4	0	15	79	-	2.11^{C} ± 0.31	3.89^{B} ± 0.37	9.40^{A} ± 0.92
3	4.6	1.4	0	30	64	-	3.68^{C} ± 0.29	4.89^{B} ± 0.26	6.08^{A} ± 0.30
4	4.6	1.4	0.03	0	93.97	-	1.67^{B} ± 0.28	5.65^{A} ± 0.44	5.27^{A} ± 1.22
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97	-	1.84^{B} ± 0.59	2.35^{B} ± 0.38	4.02^{A} ± 0.82
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97	-	1.78^{A} ± 0.77	1.70^{A} ± 1.03	2.31^{A} ± 0.88
7	0	0	0	0	0	-	0.98^{C} ± 0.24	1.67^{B} ± 0.19	3.27^{A} ± 0.21

^{A,B,C} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[#] คำนวณค่า ΔE โดยเปรียบเทียบกับค่าสีของสับปะรดกึ่งแห้งที่เก็บรักษา 0 วัน

(ก) สิ่งทดลองที่ 1
(4.6:1.4:0:0:94)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2
(4.6:1.4:0:15:79)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3
(4.6:1.4:0:30:64)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4
(4.6:1.4:0.03:0:94.97)

(จ) สิ่งทดลองที่ 5
(4.6:1.4:0.03:15:78.97)

(ฉ) สิ่งทดลองที่ 6
(4.6:1.4:0.03:30:63.97)

(ช) สิ่งทดลองที่ 7 (ตัวควบคุม)
(0:0:0:0:0)

ภาพที่ 4-8 ลักษณะของชิ้นสับปะรดกึ่งแห้ง ทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 วัน เมื่อแปรปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้แตกต่างกัน (แป้งมันสำปะหลัง : พลาสติไซเซอร์ : โพแทสเซียมซอร์เบต : เจลว่านหางจระเข้ : น้ำ) (กรัม/100 กรัม)

(ก) สิ่งทดลองที่ 1
(4.6:1.4:0:0:94)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2
(4.6:1.4:0:15:79)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3
(4.6:1.4:0:30:64)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4
(4.6:1.4:0.03:0:94.97)

(จ) สิ่งทดลองที่ 5
(4.6:1.4:0.03:15:78.97)

(ฉ) สิ่งทดลองที่ 6
(4.6:1.4:0.03:30:63.97)

(ช) สิ่งทดลองที่ 7 (ตัวควบคุม)
(0:0:0:0:0)

ภาพที่ 4-9 ลักษณะของชิ้นสับปะรดกึ่งแห้ง ทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 5 วัน เมื่อแปรปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้แตกต่างกัน (แป้งมันสำปะหลัง : พลาสติไซเซอร์ : โพแทสเซียมซอร์เบต : เจลว่านหางจระเข้ : น้ำ) (กรัม/100 กรัม)

(ก) สิ่งทดลองที่ 1
(4.6:1.4:0:0:94)

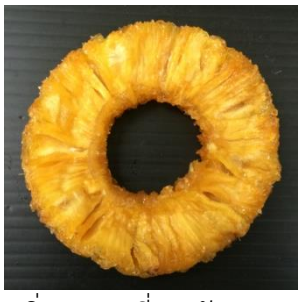
(ข) สิ่งทดลองที่ 2
(4.6:1.4:0:15:79)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3
(4.6:1.4:0:30:64)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4
(4.6:1.4:0.03:0:94.97)

(จ) สิ่งทดลองที่ 5
(4.6:1.4:0.03:15:78.97)

(ฉ) สิ่งทดลองที่ 6
(4.6:1.4:0.03:30:63.97)



(ช) สิ่งทดลองที่ 7 (ตัวควบคุม)
(0:0:0:0:0)

ภาพที่ 4-10 ลักษณะของชิ้นสับปะรดกึ่งแห้ง ทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน เมื่อแปรปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้แตกต่างกัน (แป้งมันสำปะหลัง : พลาสติไซเซอร์ : โพแทสเซียมซอร์เบต : เจลว่านหางจระเข้ : น้ำ) (กรัม/100 กรัม)

(ก) สิ่งทดลองที่ 1
(4.6:1.4:0:0:94)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2
(4.6:1.4:0:15:79)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3
(4.6:1.4:0:30:64)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4
(4.6:1.4:0.03:0:94.97)

(จ) สิ่งทดลองที่ 5
(4.6:1.4:0.03:15:78.97)

(ฉ) สิ่งทดลองที่ 6
(4.6:1.4:0.03:30:63.97)

(ช) สิ่งทดลองที่ 7 (ตัวควบคุม)
(0:0:0:0:0)

ภาพที่ 4-11 ลักษณะของชิ้นสับปะรดกึ่งแห้ง ทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) ที่ระยะเวลาการรักษา 15 วัน เมื่อแปรปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้แตกต่างกัน (แป้งมันสำปะหลัง : พลาสติไซเซอร์ : โพแทสเซียมซอร์เบต : เจลว่านหางจระเข้ : น้ำ) (กรัม/100 กรัม)

3) ค่าความแน่นเนื้อ

ค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน แสดงดังตารางที่ 4-21 พบว่าส่วนผสมของสารเคลือบมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ซึ่งค่าความแน่นเนื้อสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ซึ่งหมายถึง แรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหารตามระยะที่กำหนด ซึ่งแสดงถึงความแข็งหรือนุ่มของผลิตภัณฑ์อาหาร สามารถเทียบเคียงได้ว่าถ้าอาหารที่มีความแน่นเนื้อมาก แรงที่ใช้ฟันกัดอาหารก็จะมีค่ามาก (Alvarez et al., 2002)

สำหรับปัจจัยด้านส่วนผสมของสารเคลือบที่พบว่ามีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการทดลอง พบว่า ตลอดเวลาการเก็บรักษา สิ่งทดลองที่ 1-6 ที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้มีค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 112.90-116.96 นิวตัน ซึ่งน้อยกว่าค่าความแน่นเนื้อของสิ่งทดลองที่ 7 (125.15-126.67 นิวตัน) ที่เป็นตัวควบคุม ไม่มีการใช้สารเคลือบ สำหรับปัจจัยด้านเวลาการเก็บรักษาที่พบว่าเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำในชิ้นสับปะรดกึ่งแห้งมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัส ดังนั้นหากเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) จึงมีแนวโน้มสอดคล้องไปกับค่าความแน่นเนื้อของสับปะรดกึ่งแห้งด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองจึงเป็นการยืนยันให้เห็นว่ากระบวนการแปรรูปสับปะรดกึ่งแห้งทุกสิ่งทดลองซึ่งผ่านการออสโมซิสและการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ และบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์สามารถรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าความแน่นเนื้อไว้ได้ตลอดการเก็บรักษา 15 วัน

ตารางที่ 4-21 ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย ± SD (นิวตัน)			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1^{NS}	4.6	1.4	0	0	94	112.95^{b} ± 3.37	115.59^{b} ± 1.45	114.43^{b} ± 3.92	115.72^{b} ± 1.37
2^{NS}	4.6	1.4	0	15	79	114.37^{b} ± 1.96	113.50^{b} ± 4.21	116.73^{b} ± 3.10	113.56^{b} ± 3.42
3^{NS}	4.6	1.4	0	30	64	115.92^{b} ± 1.56	113.49^{b} ± 4.31	115.45^{b} ± 1.91	117.53^{b} ± 3.33
4^{NS}	4.6	1.4	0.03	0	93.97	116.93^{b} ± 1.24	112.93^{b} ± 2.77	114.58^{b} ± 1.86	116.96^{b} ± 2.80
5^{NS}	4.6	1.4	0.03	15	78.97	112.90^{b} ± 6.79	115.91^{b} ± 2.78	115.82^{b} ± 2.20	114.27^{b} ± 2.88
6^{NS}	4.6	1.4	0.03	30	63.97	116.93^{b} ± 1.24	113.38^{b} ± 3.62	114.84^{b} ± 3.71	116.16^{b} ± 1.67
7^{NS}	0	0	0	0	0	126.18^{a} ± 1.51	125.15^{a} ± 2.61	125.56^{a} ± 3.37	126.67^{a} ± 3.13

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

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

4) ปริมาณกรดทั้งหมด

ปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน แสดงดังตารางที่ 4-22 พบว่าส่วนผสมของสารเคลือบและเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับปัจจัยด้านส่วนผสมของสารเคลือบและเวลาในการเก็บรักษาที่พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณกรดของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยพบว่าทุกสิ่งทดลองมีปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.44%-0.50%

5) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน แสดงดังตารางที่ 4-23 และตารางที่ 4-24 ตามลำดับ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์รา เป็นดัชนีวัดการกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ โดยมีเกณฑ์กำหนดด้านความปลอดภัยสำหรับการบริโภคผักและผลไม้แช่อิ่มที่กำหนดไว้ว่าจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^6 CFU/กรัม ปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 1×10^3 CFU/กรัม (ตามเกณฑ์มาตรฐานผักและผลไม้แช่อิ่มมผช. 161/2558) เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง 27±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราอยู่ในช่วง 2.0×10^1 - 25.0×10^1 CFU/กรัม และ $<1.0 \times 10^1$-14.0×10^1 CFU/กรัม ตามลำดับ ซึ่งยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ แสดงถึงผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยสำหรับการนำมาบริโภค

สำหรับปัจจัยด้านส่วนผสมของสารเคลือบ พบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกันสิ่งทดลองที่ 1-6 ที่มีการใช้สารเคลือบมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ราน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 7 ที่ไม่ใช้สารเคลือบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารเคลือบที่เคลือบผิวชิ้นสับปะรดทำหน้าที่เป็นชั้นกั้นระหว่างชิ้นสับปะรดกึ่งแห้งกับอากาศที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ทำให้อากาศในบรรจุภัณฑ์มีโอกาสที่จะแพร่ผ่านเข้าไปในชิ้นสับปะรดได้น้อยมาก เป็นผลให้ชิ้นสับปะรดไม่ได้สัมผัสกับอากาศภายในบรรจุภัณฑ์หรือมีโอกาสสัมผัสได้น้อยมาก ทำให้แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโตรวมทั้งยีสต์และรามีโอกาสเจริญได้น้อยหรือไม่สามารถเจริญได้ เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองที่ 4 5 และ 6 ที่มีการเติมสารกันเสียหรือโพแทสเซียมซอร์เบตลงไปในสารเคลือบด้วย พบว่า สับปะรดกึ่งแห้งมีแนวโน้มปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ราต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น สำหรับปัจจัยด้านเวลาการเก็บรักษา พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์ราเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.0×10^1 - 25.0×10^1 CFU/กรัม และมีปริมาณยีสต์ราเฉลี่ยอยู่ในช่วง $<1.0 \times 10^1$ - 14.0×10^1 CFU/กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเป็นสภาวะที่เอื้อต่อการเจริญของแบคทีเรียกลุ่ม Xerophilic molds (ราที่เจริญในสภาวะแห้ง) และ Osmophilic yeast (ยีสต์ที่ทนแรงดันออสโมติกสูง) ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.75 และ 0.60-0.65 ตามลำดับ (Rahman & Labuza, 2007) อย่างไรก็ตามปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด จึงยังปลอดภัยสำหรับการบริโภค

ตารางที่ 4-22 ปริมาณกรดทั้งหมด (%) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบ ที่บริโภคได้ 100 กรัม					ปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ย ± SD (%)			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน ^{ns}	5 วัน ^{ns}	10 วัน ^{ns}	15 วัน ^{ns}
1^{NS}	4.6	1.4	0	0	94	0.44 ± 0.02	0.46 ± 0.01	0.46 ± 0.01	0.47 ± 0.02
2^{NS}	4.6	1.4	0	15	79	0.46 ± 0.03	0.44 ± 0.01	0.43 ± 0.04	0.46 ± 0.02
3^{NS}	4.6	1.4	0	30	64	0.48 ± 0.04	0.44 ± 0.05	0.46 ± 0.01	0.49 ± 0.01
4^{NS}	4.6	1.4	0.03	0	93.97	0.45 ± 0.02	0.45 ± 0.02	0.47 ± 0.01	0.47 ± 0.01
5^{NS}	4.6	1.4	0.03	15	78.97	0.49 ± 0.01	0.48 ± 0.00	0.46 ± 0.03	0.48 ± 0.02
6^{NS}	4.6	1.4	0.03	30	63.97	0.47 ± 0.02	0.46 ± 0.03	0.43 ± 0.05	0.47 ± 0.02
7^{NS}	0	0	0	0	0	0.50 ± 0.02	0.48 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.50 ± 0.02

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

^{NS} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-23 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/กรัม) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ย (CFU/กรัม)			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1	4.6	1.4	0	0	94	5.5×10^{1}	8.0×10^{1}	1.4×10^{2}	1.8×10^{2}
2	4.6	1.4	0	15	79	4.5×10^{1}	9.0×10^{1}	1.3×10^{2}	1.8×10^{2}
3	4.6	1.4	0	30	64	4.0×10^{1}	7.0×10^{1}	1.5×10^{2}	1.9×10^{2}
4	4.6	1.4	0.03	0	93.97	2.0×10^{1}	5.5×10^{1}	8.0×10^{1}	1.0×10^{2}
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97	2.5×10^{1}	5.5×10^{1}	7.5×10^{1}	1.1×10^{2}
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97	2.5×10^{1}	6.0×10^{1}	7.0×10^{1}	1.1×10^{2}
7	0	0	0	0	0	5.5×10^{1}	1.4×10^{2}	2.0×10^{2}	2.5×10^{2}

ตารางที่ 4-24 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/กรัม) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					ปริมาณยีสต์และราเฉลี่ย (CFU/กรัม)			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1	4.6	1.4	0	0	94	1.0×10^{1}	3.5×10^{1}	6.0×10^{1}	1.0×10^{2}
2	4.6	1.4	0	15	79	1.5×10^{1}	3.0×10^{1}	7.0×10^{1}	9.5×10^{1}
3	4.6	1.4	0	30	64	1.0×10^{1}	3.0×10^{1}	8.5×10^{1}	1.0×10^{2}
4	4.6	1.4	0.03	0	93.97	$<1.0 \times 10^{1}$ est.	1.5×10^{1}	3.5×10^{1}	5.5×10^{1}
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97	$<1.0 \times 10^{1}$ est.	2.0×10^{1}	3.5×10^{1}	6.5×10^{1}
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97	$<1.0 \times 10^{1}$ est.	2.0×10^{1}	3.0×10^{1}	5.0×10^{1}
7	0	0	0	0	0	2.0×10^{1}	6.5×10^{1}	1.1×10^{2}	1.4×10^{2}

6) คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ในการศึกษาขั้นตอนนี้เป็นการประเมินการยอมรับของตัวอย่างสับปะรดกึ่งแห้ง ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม ใช้วิธีการให้คะแนนการยอมรับจาก 0-10 คะแนน โดยคะแนน 0 หมายถึง ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ 5 หมายถึง ตัวอย่างยังเป็นที่ยอมรับ และ 10 หมายถึง ตัวอย่างเป็นที่ยอมรับมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน แสดงดังตารางที่ 4-25 ถึง 4-29 สำหรับปัจจัยด้านส่วนผสมของสารเคลือบ เมื่อพิจารณาแนวโน้มคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ พบว่า สิ่งทดลองที่ 1-6 ที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับมากกว่าสิ่งทดลองที่ 7 ที่เป็นตัวควบคุม ไม่มีการใช้สารเคลือบ ทั้งนี้เนื่องมาจากสิ่งทดลองที่การใช้สารเคลือบจะมีลักษณะมันเงาจากสารเคลือบที่แห้งติดผิวสับปะรดกึ่งแห้ง ต่างจากสิ่งทดลองที่ไม่มีการใช้สารเคลือบที่ผิวมีลักษณะแห้งและด้านกว่า เมื่อพิจารณาแนวโน้มคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นและรสชาติ พบว่า สิ่งทดลองที่ 1-6 ที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับมากกว่าสิ่งทดลองที่ 7 ที่เป็นตัวควบคุม ไม่มีการใช้สารเคลือบ เมื่อพิจารณาแนวโน้มคะแนนการยอมรับโดยรวม พบว่า สิ่งทดลองที่ 1-6 ที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับมากกว่าสิ่งทดลองที่ 7 ที่เป็นตัวควบคุม ไม่มีการใช้สารเคลือบ

สำหรับปัจจัยด้านเวลาการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นผู้ทดสอบมีแนวโน้มให้คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏและสีลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น สับปะรดกึ่งแห้งมีสีคล้ำขึ้นเนื่องจากมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid oxidation) ในชิ้นสับปะรดในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอาจมีผลให้ผู้ทดสอบไม่ชอบลักษณะปรากฏและสีที่เกิดขึ้นนี้ ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการทดลองด้านค่าสี L* a* b* และ ΔE อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการยอมรับด้านกลิ่นและรสชาติ พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บ 15 วัน ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นและรสชาติของสิ่งทดลองที่ 1-6 ที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ ($p \geq 0.05$) สำหรับสิ่งทดลองที่ 7 ที่เป็นตัวควบคุม ไม่มีการใช้สารเคลือบ พบว่า เวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านรสชาติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าตลอดการเก็บรักษา 15 วัน ได้รับคะแนนการยอมรับลดลงจาก 6.03 เหลือ 5.08 ถึงแม้จะยังอยู่ในระดับการยอมรับผลิตภัณฑ์ได้ แต่แสดงให้เห็นว่าการไม่ใช้สารเคลือบร่วมด้วยมีโอกาสทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียสารให้กลิ่นรสได้ และเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆที่ส่งผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ได้

จากการพิจารณาคะแนนการยอมรับโดยรวม พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏและสีลดลง จึงมีผลให้คะแนนการยอมรับโดยรวมลดลง อย่างไรก็ตามสิ่งทดลองที่ 1-6 ที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ยังคงได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมอยู่ในช่วง 5.38-5.81 ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างยังเป็นที่ยอมรับ โดยได้คะแนนมากกว่าสิ่งทดลองที่ 7 ที่เป็นตัวควบคุม ไม่มีการใช้สารเคลือบที่ได้คะแนนการยอมรับเท่ากับ 4.92

ตารางที่ 4-25 คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					คะแนนการยอมรับ[#]ด้านลักษณะปรากฏเฉลี่ย ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1	4.6	1.4	0	0	94	$6.47^{Aa} \pm 0.30$	$6.49^{Aa} \pm 0.43$	$6.09^{Aa} \pm 0.18$	$5.46^{Babc} \pm 0.36$
2	4.6	1.4	0	15	79	$6.67^{Aa} \pm 0.56$	$6.33^{Aab} \pm 0.54$	$6.32^{Aa} \pm 0.41$	$5.30^{Babc} \pm 0.44$
3	4.6	1.4	0	30	64	$6.61^{Aa} \pm 0.26$	$6.39^{Aa} \pm 0.46$	$6.26^{ABa} \pm 0.34$	$5.94^{Ba} \pm 0.32$
4	4.6	1.4	0.03	0	93.97	$6.60^{Aa} \pm 0.30$	$6.52^{Aa} \pm 0.55$	$5.82^{Ba} \pm 0.77$	$5.57^{Babc} \pm 0.44$
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97	$6.66^{Aa} \pm 0.59$	$6.18^{ABab} \pm 0.36$	$5.99^{Ba} \pm 0.41$	$5.33^{Cabc} \pm 0.59$
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97	$6.74^{Aa} \pm 0.56$	$6.26^{ABab} \pm 0.80$	$5.76^{BCab} \pm 0.85$	$5.88^{Cab} \pm 0.59$
7	0	0	0	0	0	$5.60^{Ab} \pm 0.37$	$5.60^{Ab} \pm 0.57$	$5.07^{ABb} \pm 0.53$	$5.07^{Bc} \pm 0.37$

[#]คะแนนการยอมรับจาก 0-10 คะแนน 0 หมายถึง ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ 5 หมายถึง ตัวอย่างยังเป็นที่ยอมรับ และ 10 หมายถึง ตัวอย่างเป็นที่ยอมรับมากที่สุด

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

^{A,B,C} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-26 คะแนนการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					คะแนนการยอมรับ[#] ด้านสีเฉลี่ย ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน [ns]	5 วัน [ns]	10 วัน [ns]	15 วัน [ns]
1[NS]	4.6	1.4	0	0	94	6.41 ± 0.61	6.32 ± 0.37	6.28 ± 0.63	6.08 ± 0.52
2[NS]	4.6	1.4	0	15	79	6.25 ± 0.88	6.19 ± 0.68	6.20 ± 0.34	5.79 ± 0.85
3[NS]	4.6	1.4	0	30	64	6.28 ± 0.87	6.29 ± 0.92	6.16 ± 0.54	6.12 ± 1.87
4[NS]	4.6	1.4	0.03	0	93.97	6.21 ± 0.68	6.05 ± 0.64	6.12 ± 0.53	5.62 ± 0.68
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97	6.35[A] ± 0.47	6.20[A] ± 0.80	5.70[AB] ± 0.66	5.40[B] ± 0.52
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97	6.37[A] ± 0.67	6.06[AB] ± 0.63	5.89[AB] ± 0.66	5.43[B] ± 0.54
7	0	0	0	0	0	6.06[A] ± 0.47	5.64[AB] ± 0.54	5.58[AB] ± 0.43	5.20[B] ± 0.35

[#]คะแนนการยอมรับจาก 0-10 คะแนน 0 หมายถึง ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ 5 หมายถึง ตัวอย่างยังเป็นที่ยอมรับ และ 10 หมายถึง ตัวอย่างเป็นที่ยอมรับมากที่สุด

[A,B,C] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

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

[NS] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-27 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					คะแนนการยอมรับ[#]ด้านกลิ่นเฉลี่ย ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1[NS]	4.6	1.4	0	0	94	6.52[a] ± 0.51	6.51[a] ± 0.68	6.54[ab] ± 0.83	6.57[ab] ± 0.44
2[NS]	4.6	1.4	0	15	79	6.26[ab] ± 0.74	6.26[ab] ± 0.68	6.26[ab] ± 0.59	6.22[bc] ± 0.38
3[NS]	4.6	1.4	0	30	64	6.20[ab] ± 0.60	6.11[ab] ± 0.69	5.57[ab] ± 0.97	6.88[a] ± 0.54
4[NS]	4.6	1.4	0.03	0	93.97	6.23[ab] ± 0.64	6.05[ab] ± 0.67	6.88[b] ± 0.69	6.25[bc] ± 0.42
5[NS]	4.6	1.4	0.03	15	78.97	6.11[ab] ± 0.72	6.22[ab] ± 0.95	6.06[ab] ± 0.81	6.03[bc] ± 0.26
6[NS]	4.6	1.4	0.03	30	63.97	6.33[ab] ± 0.74	6.05[ab] ± 0.44	6.03[ab] ± 0.13	6.23[bc] ± 0.48
7[NS]	0	0	0	0	0	5.52[b] ± 0.50	5.50[b] ± 0.47	5.70[ab] ± 1.44	5.94[c] ± 0.52

[#]คะแนนการยอมรับจาก 0-10 คะแนน 0 หมายถึง ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ 5 หมายถึง ตัวอย่างยังเป็นที่ยอมรับ และ 10 หมายถึง ตัวอย่างเป็นที่ยอมรับมากที่สุด

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

[NS] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-28 คะแนนการยอมรับด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					คะแนนการยอมรับ[#] ด้านรสชาติเฉลี่ย ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1[NS]	4.6	1.4	0	0	94	$6.53^{ab} \pm 0.66$	$6.55^{a} \pm 0.75$	$6.55^{a} \pm 0.82$	$6.47^{a} \pm 0.58$
2[NS]	4.6	1.4	0	15	79	$6.48^{ab} \pm 0.45$	$6.12^{ab} \pm 0.81$	$6.52^{a} \pm 0.95$	$6.43^{a} \pm 0.64$
3[NS]	4.6	1.4	0	30	64	$6.75^{a} \pm 0.48$	$6.40^{ab} \pm 0.51$	$6.07^{ab} \pm 0.54$	$6.01^{ab} \pm 0.46$
4[NS]	4.6	1.4	0.03	0	93.97	$6.35^{ab} \pm 0.36$	$6.29^{b} \pm 0.61$	$6.22^{ab} \pm 0.92$	$5.51^{ab} \pm 1.79$
5[NS]	4.6	1.4	0.03	15	78.97	$6.24^{ab} \pm 0.38$	$5.66^{ab} \pm 0.66$	$5.52^{ab} \pm 0.69$	$6.24^{ab} \pm 0.51$
6[NS]	4.6	1.4	0.03	30	63.97	$6.25^{ab} \pm 0.65$	$6.41^{ab} \pm 0.47$	$6.06^{ab} \pm 0.74$	$6.01^{ab} \pm 0.79$
7	0	0	0	0	0	$6.03^{Ab} \pm 0.29$	$6.06^{Aab} \pm 0.52$	$5.30^{ABb} \pm 0.80$	$5.08^{Bb} \pm 0.89$

[#]คะแนนการยอมรับจาก 0-10 คะแนน 0 หมายถึง ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ 5 หมายถึง ตัวอย่างยังเป็นที่ยอมรับ และ 10 หมายถึง ตัวอย่างเป็นที่ยอมรับมากที่สุด

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

[A,B,C] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[NS] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-29 คะแนนการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 5, 10 และ 15 วัน

สิ่งทดลอง	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้ 100 กรัม					คะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ย[#] ± SD			
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอล+ซอร์บิทอล	โพแทสเซียมซอร์เบต	เจลว่านหางจระเข้	น้ำ	0 วัน	5 วัน	10 วัน	15 วัน
1	4.6	1.4	0	0	94	$6.30^{Aab} \pm 0.60$	$6.34^{Aa} \pm 0.36$	$6.23^{Aa} \pm 0.77$	$5.48^{Ba} \pm 0.34$
2	4.6	1.4	0	15	79	$6.40^{Aa} \pm 0.23$	$6.21^{ABab} \pm 0.75$	$5.63^{BCab} \pm 0.68$	$5.42^{Ca} \pm 0.27$
3	4.6	1.4	0	30	64	$6.23^{Aab} \pm 0.41$	$6.17^{ABab} \pm 0.67$	$5.55^{BCab} \pm 0.60$	$5.41^{Ca} \pm 0.26$
4	4.6	1.4	0.03	0	93.97	$6.16^{Aab} \pm 0.47$	$6.01^{Aab} \pm 0.79$	$6.03^{Aab} \pm 0.77$	$5.81^{Aa} \pm 0.40$
5	4.6	1.4	0.03	15	78.97	$6.30^{Aab} \pm 0.49$	$6.28^{ABa} \pm 0.65$	$5.65^{ABab} \pm 0.64$	$5.65^{Ba} \pm 0.45$
6	4.6	1.4	0.03	30	63.97	$6.25^{Aab} \pm 0.42$	$6.10^{ABab} \pm 0.48$	$5.46^{BCab} \pm 0.84$	$5.38^{Ca} \pm 0.38$
7	0	0	0	0	0	$5.70^{Ab} \pm 0.49$	$5.33^{ABb} \pm 0.79$	$5.15^{ABb} \pm 0.47$	$4.92^{Bb} \pm 0.18$

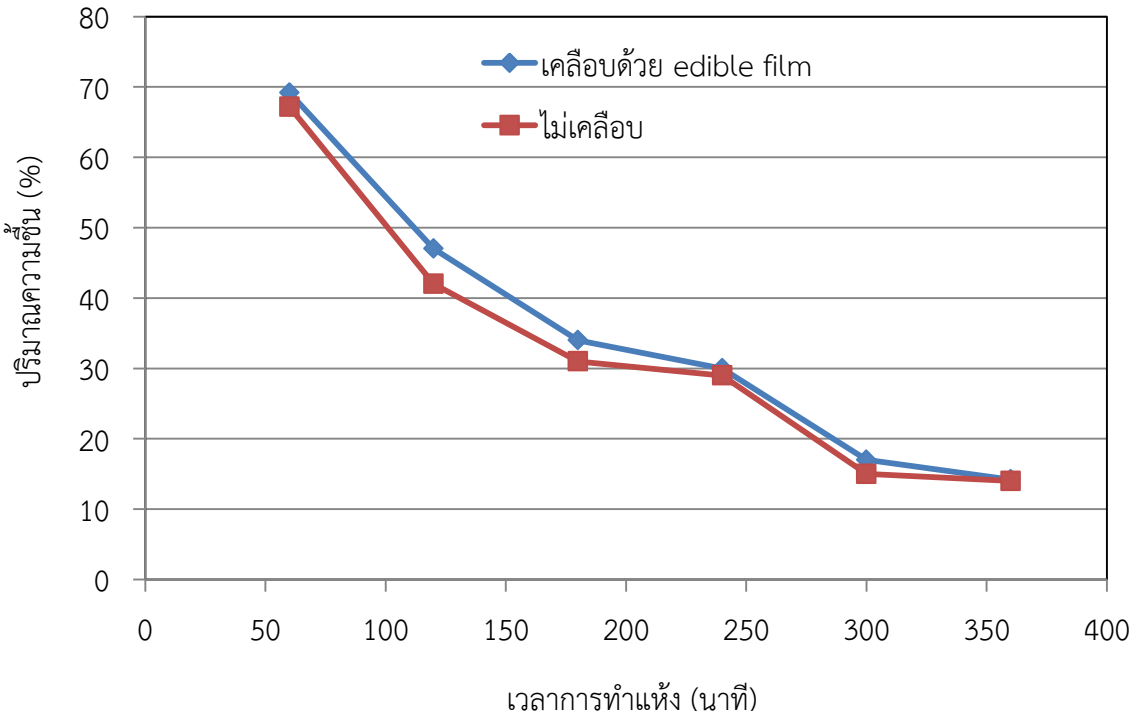
[#]คะแนนการยอมรับจาก 0-10 คะแนน 0 หมายถึง ตัวอย่างไม่เป็นที่ยอมรับ 5 หมายถึง ตัวอย่างยังเป็นที่ยอมรับ และ 10 หมายถึง ตัวอย่างเป็นที่ยอมรับมากที่สุด

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

^{A,B,C} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.5 ผลของการหาเวลาทำแห้งเพื่อผลิตสับปะรดกึ่งแห้ง

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของชิ้นสับปะรดกับเวลาในการอบแห้งอุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) แสดงดังภาพที่ 4-12 พบว่า หากต้องการให้ชิ้นสับปะรดหลังการออสโมซิสและผ่าน/ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ มีความชื้น 14±1% (13.91-14.70%) และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60-0.75 (0.679-0.692) ต้องใช้เวลาในการทำแห้งเท่ากับ 360 นาที



ภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งสับปะรดหลังการออสโมซิสที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบ ที่อุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส

4.6 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดส่งแผ่นพับที่มีเนื้อหาถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยส่งให้ชุมชน และตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ รวมทั้งเข้าร่วมในการจัดนิทรรศการทางวิชาการ ตัวอย่างเช่น เข้าร่วมถ่ายทอดเทคโนโลยีผลงานวิจัยในโครงการ Science Project Exhibition ครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2561 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1) ผลของการใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าว (0-60 กรัม/100 กรัม) และน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (0-60 กรัม/100 กรัม) เป็นสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของสับปะรดหลังการออสโมซิส พบว่า การใช้สารละลายผสมที่มีสัดส่วนของน้ำตาลต่างกัน มีผลทำให้ค่า WL SG และ WR รวมถึงปริมาณความชื้น และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลดอกมะพร้าวและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในสัดส่วน 15:45 กรัม/100 กรัม

2) ผลของการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์และ/หรือสุญญากาศ (US VAC US-VAC และ VAC-US) ต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของสับปะรดหลังการออสโมซิส พบว่า การแปรวิธีการใช้เทคนิคต่างกัน มีผลทำให้ค่า WL SG และ WR ของสับปะรดหลังใช้เทคนิค US คลื่นความถี่ 38.5 กิโลเฮิร์ต และ/หรือ VAC ความดัน 80 มิลลิบาร์ ในช่วง 30 นาทีแรก ค่า WL และ WR ของสับปะรดหลังออสโมซิสเป็นเวลา 360 นาที รวมถึงคุณภาพของสับปะรดหลังการออสโมซิสด้านปริมาณความชื้น ค่าสี ได้แก่ L* a* และ b* ความแน่นเนื้อ และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและด้านสี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า a_wและคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในการใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC ช่วง 30 นาทีแรกและหลังจากการออสโมซิสครบ 360 นาที มีแนวโน้มว่าการใช้เทคนิค US และ/หรือ VAC ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL SG และ WR สูงกว่าการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศ ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้เทคนิค US เพียงอย่างเดียวในการออสโมซิส 30 นาทีแรก

3) ผลของการหมุนกวนสารละลายด้วย Peristaltic pump ระหว่างการออสโมซิส พบว่า การใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 300 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นสับปะรดมีค่า WL และ WR เมื่อสิ้นสุดการออสโมซิสสูงที่สุด รวมทั้งมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด แต่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมและลักษณะปรากฏต่ำกว่า 6 คะแนน ดังนั้นการไม่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวจึงมีความเหมาะสมที่สุด

4) ผลของการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษาโดยเก็บผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลา 0, 5, 10 และ 15 วัน พบว่า ปัจจัยด้านส่วนผสมของสารเคลือบทำให้ปริมาณความชื้น ค่าสี ได้แก่ L* a* และ b* ค่าความแน่นเนื้อ และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ด้านกลิ่น ด้านรสชาติ และการยอมรับโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปัจจัยด้านเวลาการเก็บรักษาทำให้ค่าสี ได้แก่ L* a* b* ค่า ΔE รวมทั้งคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านรสชาติ และการยอมรับโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่มีการใช้สารเคลือบส่งผลให้สับปะรดกึ่งแห้งมีการคงคุณภาพและมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด

5) เวลาทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตสับปะรดกึ่งแห้ง คือ อบแห้งอุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดเป็นเวลา 360 นาที ทำให้ได้สับปะรดกึ่งแห้งที่มีความชื้น 13.91-14.70%และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.679-0.692

ข้อเสนอแนะ

1) ปรับปรุงส่วนผสมของสารเคลือบที่ใช้ให้มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น อาจใช้ส่วนผสมจากธรรมชาติที่มีสมบัติต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น ไคโตซาน สารสกัดสมุนไพร

2) ใช้ผลการศึกษานี้เป็นแนวทางศึกษาการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์หรือสุญญากาศเพื่อกระตุ้นการถ่ายเทมวลสารในการออสโมซิสกับผักผลไม้ชนิดอื่น

3) ปรับปรุงรสชาติสับปะรดกึ่งแห้งให้คล้ายสับปะรดสดมากขึ้น โดยในขั้นตอนการออสโมซิสอาจมีการเติมกรดซิตริกร่วมด้วย

บรรณานุกรม

กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2560). *การขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ สับปะรดตราดสีทอง*. เข้าถึงได้จาก https://www.ipthailand.go.th/images/2284/GI60100094.pdf

ณัจนันท์ แก้วศรี. (2557). *วิธีการปลูกสับปะรด.* เข้าถึงได้จาก http://nutcnan.blogspot.com /2014/10/?m=0

เทคโนโลยีชาวบ้าน. (2560). *สับปะรดตราดสีทอง ได้ GI บุกตลาดพรีเมี่ยม-ต่างประเทศ*. เข้าถึงได้จาก https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_38893

พิมพ์ใจ มณีพันธ์. (2553*). การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งด้วยวิธีการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ความร้อน*. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยบูรพา.

พิสุทธิ หนักแน่น. (2553). *ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง.* มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ภัทราทิพย์ รอดสำราญ. (2548). *ฟิล์มบริโภคได้จากเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เพื่อใช้เคลือบผิวผลมะม่วงสดเพื่อตลาดส่งออก และมะม่วงตัดแต่งที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปรบรรยากาศ*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2555). *การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในกระบวนการแปรรูปอาหาร.* เข้าถึงได้จาก http://conf.agi.nu.ac.th/agmis/download/publication/79_file.pdf

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2558). *ผักและผลไม้แช่อิ่ม.* เข้าถึงได้จาก http://tcps.tisi.go.th/pub /tcps0161_58 (ผักและผลไม้แช่อิ่ม).pdf

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2556). *การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส:ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของผักและผลไม้*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2557). *การพัฒนาฝรั่งกึ่งแห้งที่เสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายโดยการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สหกรณ์การเกษตรนิคมอุตสาหกรรมระยอง. *สับปะรด*. เข้าถึงได้จากwww.coopthai.com/ knikomry/download/สับปะรด.doc

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร. (2557). *การประยุกต์ใช้กระบวนการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งแบบสุญญากาศในการพัฒนาคุณภาพกล้วยไข่กึ่งแห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย.* ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2557). *ผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสต่อลักษณะคุณภาพของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Alvarez, M. D., Canet, W., & Lopez, M. E. (2002). Influence of deformation rate and degree of compression on textural parameters of potato and apple tissues in texture. *Eur Food Res Technol, 215,* 13-20.

Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S.., Bejar, A. K., Perez, C. T., & Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrasonics Sonochemistry*, *36*, 286-300.

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

BAM. (2001). Bacteriological Analytical Manual Online Edition 2001(US-FDA), *Total Plate Count or Aerobic Chapter 3.*

BAM. (2001). *Bacteriological Analytical Manual Online Edition 2001(US-FDA), Yeast, Mold and Mycotoxins Chapter18.*

Carcel, J. A., Benedito, J., & Rossello, C. A. (2007). Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering, 78*(2)*,* 472-479.

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

Correa, J. L. G., Pereira, L. M., Vieira, G. V., & Hubinger, M. D. (2010). Mass transfer kinetics of pulse vacuum osmotic dehydration of guavas*. Journal of Food Engineering, 96,* 498-504.

Fathi, M., Mohebbi, M., & Razavi, S. M. A. (2011). Effect of Osmotic Dehydration and Air Drying on Physicochemical Properties of Dried Kiwifruit and Modeling of Dehydration Process Using Neural Network and GeneticAlgorithm. *Food and Bioprocess Technology, 4*(8), 1519-1526.

Fama, L., Rojas, A. M., Goyanes, S., & Gerschenson, L. (2005). Mechanical properties of tapioca-starch edible films containing sorbates. *LWT–Food Science and Technology, 38*(6), 631-639.

Flores, S., Fama, L., Rojas, A. M., Goyanes, S., & Gerschenson, L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible film: Influence of filmmaking and potassium sorbate*. Food Research International, 40*, 257-265.

Genevois,C.E., de Escalada Pla, M.F. & Flores, S.K. (2016). Application of edible coatings to improve global quality of fortified pumpkin. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 506-514.

Goula, A. M., Kokolaki, M. & Daftsiou, E. (2017). Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and Bioproducts Processing, 105*, 157-170.

Jimenez-Hernandez, J., Estrada-Bahena, E. B., Maldonado-Astudillo, Y. I., Talavera-Mendoza, O., Arambula-Villa, G., Azuara, E., Alvarez-Fitz, P., Ramírez, M. & Salazar, R. (2017). Osmotic dehydration of mango with impregnation of inulin and piquin-pepper oleoresin. *LWT-Food Science and Technology*, *79*, 609-615.

Lombard, G. E., Oliveira, J. C., Fito, P., & Andres, A. (2008). Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering, 85,* 277-284.

Mason, T. J. (1998). Power ultrasound in food processing - the way forward. pp. 105-126. *In* "Ultrasound in Food Processing". Povey, M. J. W. & Mason, T. J. (eds.). Blackie Academic & Professional, London.

Martinez-Romero, D., Castillo, S., Guillen, F., Diaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Valero, D., & Serrano, M. (2013). *Aloe vera* gel coating maintains quality and safety of ready-to-eat pomegranate arils. *Postharvest Biology and Technology, 86,* 107-112.

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

Naknean, P. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal, 19,* 7-18.

Nowacka, M., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, M. D., & Witrowa-Rajchert, D. (2014). Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration. *Food chemistry, 144,* 18-25.

Nowacka, M., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, M. D., & Witrowa-Rajchert, D. (2017). Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the main quality parameters of kiwifruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 71-78.

Ortega-Toro, R., Collazo-Bigliardi, S., Rosello J., Santamarina, P. & Chiralt, A. (2017). Antifungal starch-based edible films containing *Aloe vera*. *Food Hydrocolloids*, *72*, 1-10.

Rahman, M. S., & Labuza, T. P. (2007). *Water Activity and Food Preserva*tion. Taylor & Francis Group, LLC

Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology, 5,* 255-260

Shi, X. Q., Fito, P., & Chiralt, A. (1995). Influence of Vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Research International, 28*(5), 445-454.

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.

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

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Teerarat Itthisoponkul

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อาคารอำนวยการ ชั้น 5 63 หมู่ 7 ถนนรังสิต - นครนายก คลอง 16

ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

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