รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพมูลค่าสูง โดยใช้การดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง

Development of Intermediate Moisture Rambutan as High Value Functional Food Product using Osmotic Dehydration combined with Drying

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล หัวหน้าโครงการวิจัย

ดร.อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๘

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2558A10803020
สัญญาเลขที่ 51/2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพมูลค่าสูง โดยใช้การดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง

Development of Intermediate Moisture Rambutan as High Value Functional Food Product using Osmotic Dehydration combined with Drying

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล[1] หัวหน้าโครงการวิจัย
ดร.อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ[2] ผู้ร่วมวิจัย

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีนาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 51/2558 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเกษตรกรผู้ปลูกเงาะในจังหวัดระยอง และจันทบุรี สำหรับความร่วมมือและความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นายอัคราช พาอ้อ และนางสาวอัฐภิญญา ปัทมภาสสกุล ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพโดยใช้วิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง จากการศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส (0-50%) กับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (0-50%) มีผลทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL SG และ WR รวมถึงคุณภาพของเงาะหลังการออสโมซิสด้านปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าสี และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติและความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การใช้สารละลายผสมมีผลให้ ค่า WL SG และ WR เพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 0.81-1.56% 0.68-1.93% และ0.55-0.92% ตามลำดับ จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส พบว่าอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร ปริมาณวิตามินซี ค่าความแน่นเนื้อ ความชอบด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม ($p<0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏและความชอบด้านสี ($p\geq0.05$) สิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ 100 mbar เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมและปริมาณวิตามินซีสูงและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) การหมุนกวนสารละลายออสโมติกทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสาร ปริมาณแคลเซียม และ วิตามินซีเพิ่มมากขึ้น ($p<0.05$) โดยพบว่าการใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 200 รอบ/นาที ทำให้เงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีเพิ่มขึ้นมากที่สุด การออสโมซิสเงาะช่วยลดเวลาในการทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศลงได้ 62 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับเงาะที่ไม่ผ่านการออสโมซิส โดยพบว่าเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (69.33 g/100g โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณแคลเซียม (31.15 mg/100g โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณวิตามินซี (1582.74 mg/100g โดยน้ำหนักแห้ง) มากกว่าเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส รวมถึงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า อยู่ในระดับชอบปานกลาง ($p<0.05$) มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเก็บรักษาอย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสได้รับความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนนขึ้นไป ตลอดเวลาการเก็บรักษา

Abstract

This research was developed the intermediate moisture rambutan meat product as functional food by using osmosis treatment combined with drying. The effect of the osmotic solution in a mixture of sucrose (0-50%) and oligofructose (0-50%) was investigated. It was resulted statistically significant in the mass transfer, including the WL SG and WR as well as the quality of the rambutan meat after osmosis in terms of moisture content, total sugar content, L* and liking sensory scores for flavor as well as overall liking ($p<0.05$). Using the mixture solution increased in WL SG and WR more than using oligofructose alone as 0.81-1.56% 0.68-1.93% and 0.55-0.92%, respectively. The effect of calcium lactate concentration and ascorbic acid concentration combined with osmosis under vacuum pressure were carried out. Interaction of all three factors significantly affected the mass transfer vitamin C content firmness taste liking and overall liking ($p<0.05$). There was no influence factors affected appearance liking and color liking ($p\geq0.05$). The treatment used 2% calcium lactate and 1% ascorbic acid under vacuum 100 mbar for 10 minutes enriched rambutan meat after osmosis with high calcium and vitamin C content and received the highest overall liking scores ($p<0.05$). Stirring of osmotic solution increased mass transfer, calcium and vitamin C content ($p <0.05$). It was found that using peristaltic pump speed at 200 rpm increased highest calcium and vitamin C content. Osmotic pretreatment of rambutan meat reduced the vacuum drying time up to 62 minutes compared with non-pretreatment. Intermediate moisture rambutan meat product through osmotic pretreatment had more total sugar content (69.33 g/100g dry weight) calcium content (31.15 mg/100g dry weight) and vitamin C content (1582.74 mg/100g dry weight) including received more overall liking score in moderately like level ($p <0.05$). Intermediate moisture rambutan meat product was safely to consumer at room temperature at least 4 weeks and gained more than 6 overall liking score along storage time.

สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	Abstract	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	จ
	สารบัญภาพ	ซ
บทที่		
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	4
3	วิธีดำเนินการทดลอง	25
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	35
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	80
	บรรณานุกรม	83
	ภาคผนวก	89
	ประวัตินักวิจัย	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อเงาะ 100 กรัม	5
2-2	สถิติการปลูกเงาะปี 2548 – 2553 ในประเทศไทย	6
3-1	ความเข้มข้นของสารลายออสโมติกจากการแปรความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส	26
3-2	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ	29
3-3	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว	31
4-1	ค่าการถ่ายเทมวลสารด้านปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))	40
4-2	ปริมาณความชื้น (%) ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))	41
4-3	ค่า a_w ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))	41
4-4	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/100g) ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))	43
4-5	ค่าสี L* a* และ b* ของชิ้นเงาะที่ผ่านออสโมซิส 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))	43
4-6	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส)	45
4-7	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (AA) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (VI)	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-8	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ.....	54
4-9	ผลการใช้สภาวะสุญญากาศต่อปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส.....	55
4-10	ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทต่อค่า a_w ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส.....	55
4-11	ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิกต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส.....	56
4-12	ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และสภาวะสุญญากาศต่อปริมาณแคลเซียมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส.....	57
4-13	ปริมาณวิตามินซีของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ.....	58
4-14	ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ.....	59
4-15	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ.....	62
4-16	ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัสของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส.....	61
4-17	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว.....	64
4-18	ปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว.....	66
4-19	ค่า a_w ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว.....	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-20	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว	67
4-21	ปริมาณแคลเซียมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดปั๊มดูดจ่ายของเหลว	68
4-22	ปริมาณวิตามินซีของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว	69
4-23	ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว	70
4-24	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว	70
4-25	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลาการทำแห้ง (x) เงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg	74
4-26	คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และเงาะสด	75
4-27	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส	79

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะเงาะพันธุ์สีชมพู	4
2-2	ลักษณะเงาะพันธุ์โรงเรียน	4
2-3	การจำแนกอาหารตามค่า a_w	8
2-4	การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส	13
2-5	กลไก Hydrodinamic mechanism (HDM)	17
2-6	สูตรโครงสร้างของ โอลิโกฟรุกโตส	18
2-7	สูตรโครงสร้างของวิตามินซี	19
2-8	การทำงานของปั๊มดูดจ่ายของเหลว (Peristaltic Pump)	21
3-1	ลักษณะผลเงาะและเนื้อเงาะที่ผ่านการเอาเมล็ดออก	27
3-2	การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสเนื้อเงาะก่อนการแช่ในสภาวะบรรยากาศ	30
3-3	การใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวในการออสโมซิสเนื้อเงาะเมื่อแช่ในสภาวะบรรยากาศ	32
4-1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียที่ลดลง (WL) กับเวลาในการออสโมซิสเงาะเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโต (%w/w))	36
4-2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาในการออสโมซิสเงาะเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))	36
4-3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาในการออสโมซิสเงาะเมื่อใช้สารละลายในการออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))	37
4-4	ลักษณะของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))	38
4-5	ลักษณะของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง (ก)-(ซ) เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) กรดแอสคอร์บิก (AA) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (VI)	49
4-6	ลักษณะของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสทั้ง 4 สิ่งทดลอง (ก)-(ง) เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว (รอบ/นาที)	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-7	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาทำแห้งเงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสที่อุณหภูมิ 70 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg.....	72
4-8	ลักษณะของชิ้นเงาะกึ่งแห้งที่ผ่าน (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข).....	74

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เงาะ (*Nephelium lappaceum Linn.*) เป็นผลไม้เมืองร้อน เจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีความชื้นสูง ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตเงาะที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลกโดยมีการปลูกมากในภาคตะวันออกและภาคใต้ ผลผลิตเงาะที่มีคุณภาพดีส่วนใหญ่มักส่งออกไปยังต่างประเทศโดยจำหน่ายทั้งในรูปแบบเงาะสด และนำไปแปรรูปเป็นเงาะแช่แข็ง เงาะในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง และเงาะอบแห้ง เงาะอีกส่วนหนึ่งทั้งที่คุณภาพดี และเงาะคัด (เงาะตกเกรด) ซึ่งมีผลขนาดเล็กจะจำหน่ายในประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555 ; สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, 2553) อย่างไรก็ตามพบว่าในหลายปีที่ผ่านมา มักมีข่าวเงาะราคาตกต่ำมาก ในปีพ.ศ. 2556 พบว่าเงาะราคาตกเหลือกิโลกรัมละ 8-9 บาท (วิทยุประชาชน, 2556) และอีกปัญหาหนึ่งของการจำหน่ายเงาะ คือ เงาะสดมีอายุการเก็บสั้น มักเน่าเสียง่ายในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษา (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.) ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่น่าจะสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้คือ การนำเงาะมาแปรรูปให้มีมูลค่าสูงขึ้น

งานวิจัยนี้มีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้ง ซึ่งอาหารกึ่งแห้ง หมายถึงอาหารที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 15-55% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60-0.85 โดยอาหารยังมีลักษณะคล้ายของสดแต่มีอายุการเก็บนานกว่าของสด (Jay, 1998) นอกจากนี้ยังมีแนวคิดเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพโดยเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically Active Compound : PAC) ให้กับเงาะกึ่งแห้งด้วย ได้แก่ 1) น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส เป็นสารที่ให้ความหวานและให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาล และมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก 2) ธาตุแคลเซียม เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกระดูกและฟัน ช่วยควบคุมการทำงานของระบบประสาท และกล้ามเนื้อ และ 3) วิตามินซี เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญชนิดหนึ่ง ช่วยบรรเทาอาการแพ้และรักษาอาการอักเสบ โดยการแปรรูปเงาะกึ่งแห้งอาศัยหลักการของการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง

การออสโมซิสเป็นวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งผลไม้ การออสโมซิสมีผลโดยตรงต่อการลดปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ จึงเป็นการลดความชื้นให้กับวัตถุดิบก่อนการนำไปทำแห้ง ช่วยลดเวลาในการทำแห้งลงและลดการสูญเสียกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหาร นอกจากนี้การออสโมซิสเป็นวิธีที่เอื้อต่อการเสริมสาร PAC ให้กับผักและผลไม้ ทำได้โดยการเติม PAC เพิ่มลงไปในสารละลายออสโมติก ซึ่งสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้ โดยอาศัยหลักการการถ่ายเทมวลสารผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Torreeggiani, 1993) ในกระบวนการออสโมซิสมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลายประการ มีรายงานว่าการออสโมซิสภายใต้สภาวะสุญญากาศในเวลาสั้นก่อนการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศมีผลทำให้เกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารได้ดีมากขึ้น เนื่องจากในขณะการใช้สภาวะสุญญากาศ อากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกมา และอาจเกิดการทำลายโครงสร้างเนื้อเยื่อเล็กน้อย เมื่อนำมาแช่ในสภาวะบรรยากาศสารละลายออสโมซิสจึงสามารถแพร่เข้ามาแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกไปได้ดีมากขึ้น (Fito et al., 1995 ; Jissy et al., 2012 ; Hironaka et al., 2011 ; Barrera et al., 2004 ;

Barrera et al., 2009) นอกจากนี้การหมุนกวนสารละลายออสโมติกให้เคลื่อนที่มีผลช่วยทำให้เกิดการกระจายความเข้มข้นโดยทำให้สารละลายที่เข้มข้นมากกว่าเคลื่อนที่มาแทนที่สารละลายที่เจือจางกว่า ช่วยเพิ่มโอกาสให้มีการถ่ายเทมวลสารได้ดีขึ้นด้วย (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535 ; Garrote et al., 1992 ; Mavroudis et al., 1998)

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์การอาหาร เลือกกรรมวิธีการแปรรูปที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากหรือใช้เทคโนโลยีชั้นสูง ราคาแพง และให้ความสำคัญกับการสามารถนำมาใช้งานได้จริงกับชุมชนและเป็นประโยชน์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเงาะ ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์อาจนำไปจำหน่ายในรูปของฝาก ซึ่งสนับสนุนการพัฒนาการท่องเที่ยว เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจของท้องถิ่น ทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็งมากขึ้น ได้เป็นอาหารสุขภาพที่เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค และอาจปรับใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนากรรมวิธีการผลิตเงาะกึ่งแห้งโดยใช้วิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งให้เป็นอาหารสุขภาพที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน โดยแบ่งเป็นวัตถุประสงค์ย่อยตามการทดลองดังนี้

1) ศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส

2) ศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมและวิตามินซีร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

3) ศึกษาผลของการหมุนกวนสารละลายออสโมติกโดยใช้ Peristaltic pump

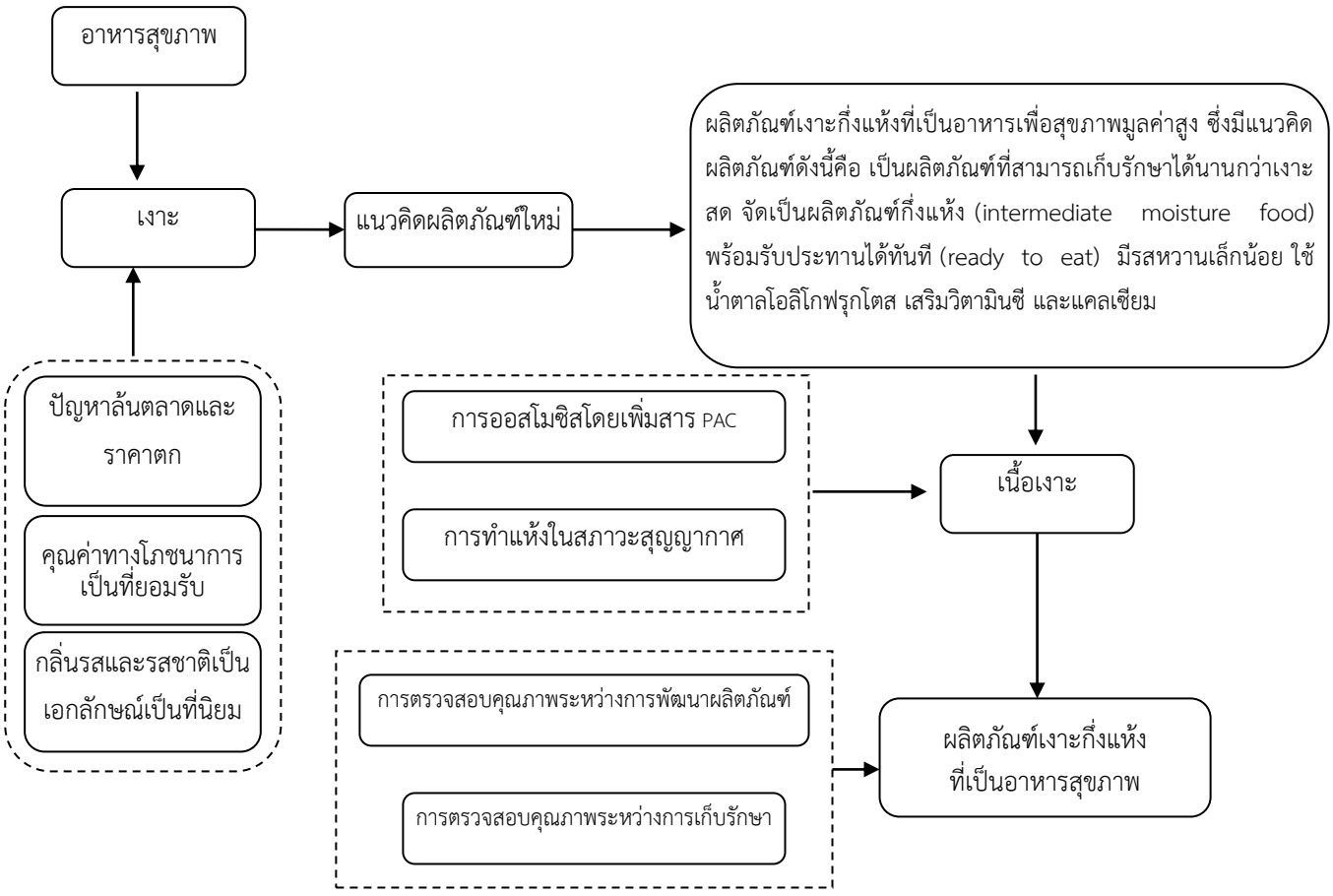
4) เปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

5) ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งให้เป็นอาหารสุขภาพมูลค่าสูง ขอบเขตโครงการวิจัยครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนากรรมวิธีการผลิต การตรวจสอบคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน โดยแบ่งงานเป็น 6 ตอน ดังนี้คือ **ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส** โดยแปรสิ่งทดลองดังนี้คือ น้ำเชื่อมที่เตรียมจาก 1) น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว 2) น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว 3) สารละลายผสมของซูโครสและโอลิโกฟรุกโตสในอัตราส่วนต่างๆ โดยเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง ปริมาณน้ำตาลต่ำ และได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด **ตอนที่ 2 การศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส** เป็นการกระตุ้นสภาวะการออสโมซิสโดยการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศในระยะเวลาสั้นๆก่อนการแช่ในสภาวะสุญญากาศ โดยเติมแร่ธาตุแคลเซียมในรูปแคลเซียมแลคเตท และเติมวิตามินซีในรูปกรดแอสคอร์บิกในสารละลายออสโมติก

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง มีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูง **ตอนที่ 3 การศึกษาผลการหมุนกวนสารละลายออสโมติกโดยใช้ Peristaltic pump** เป็นการกระตุ้นการออสโมซิสในขั้นตอนการแช่ในสภาวะบรรยากาศโดยการหมุนกวนให้สารละลายออสโมติกเคลื่อนที่ตลอดเวลาโดยใช้ Peristaltic pump ที่ระดับอัตราเร็วในการหมุนต่างๆ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงและมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูง **ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส** ในขั้นตอนนี้เป็นการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของเงาะหลังการออสโมซิสให้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง และเปรียบเทียบคุณภาพกับเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส **ตอนที่ 5 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา** เป็นการติดตามตรวจสอบคุณภาพเงาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้ซึ่งบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง **ตอนที่ 6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน** โดยการจัดทำเอกสารเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ชุมชน เกษตรกรในพื้นที่ปลูกเงาะ โดยภาพรวมงานวิจัยมีกรอบแนวความคิดแสดงดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 เงาะ

เงาะ (Rambutan) เป็นไม้ผลเมืองร้อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nephelium lappaccum Linn.* มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย โดยทั่วไปเงาะ เป็นไม้ผลที่เจริญเติบโตได้ดี ในบริเวณที่มีความชื้นค่อนข้างสูง ฉะนั้นเงาะในประเทศไทย จึงนิยมปลูกในบริเวณภาคตะวันออกและภาคใต้ โดยพันธุ์เงาะที่นิยมปลูกเป็นการค้า มี 2 พันธุ์ คือ พันธุ์สีชมพูและพันธุ์โรงเรียน ส่วนพันธุ์อื่นๆ มีการปลูกในปริมาณน้อยโดยมากมักใช้เพื่อบริโภคในครัวเรือน หรือใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาทางวิชาการ เช่น พันธุ์สีทอง พันธุ์น้ำตาลกรวด และพันธุ์เจ๊ะมง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, มปป.)

2.1.1 ลักษณะพันธุ์

เงาะที่ปลูกมากในประเทศไทย มี 2 พันธุ์คือ พันธุ์สีชมพู และพันธุ์โรงเรียน ซึ่งมีลักษณะพันธุ์ดังนี้

1) พันธุ์สีชมพู

เงาะพันธุ์สีชมพูเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกในภาคตะวันออก ปลูกง่าย และมีการเจริญเติบโตดี ใบขนาดกลางค่อนข้างยาว ผลดกและมีขนาดผลใหญ่ สีชมพู เนื้อหวานกรอบ ลักษณะเมล็ดเป็นรูปไข่ค่อนข้างกลม มีหัวโค้งมนเมล็ดหนา ในภาคตะวันออกส่วนมากจะออกดอกในระหว่างเดือน มกราคม ถึงมีนาคม และจะสามารถเก็บเกี่ยวได้ในช่วงเดือนเมษายนถึง พฤษภาคม หลังจากเปลือกเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีชมพูอ่อน 19-22 วัน หรือ 15 สัปดาห์หลังติดผล ผลเงาะพันธุ์สีชมพูมีข้อเสียคือ เก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน เนื่องจากเปลือกและขนช้ำง่ายจึงไม่เหมาะกับการขนส่งระยะทางไกล (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, มปป.) ลักษณะเงาะพันธุ์สีชมพูแสดงดังภาพที่ 2-1

2) พันธุ์โรงเรียน

เงาะพันธุ์โรงเรียน เป็นพันธุ์ที่ปลูกยาก ทรงพุ่มค่อนข้างเลื้อย ใบมีขนาดเล็ก รูปร่างค่อนข้างกลม ก้านใบสั้น ปลายใบงอนขึ้นเล็กน้อย เปลือกเมื่อขณะยังอ่อนจะมีสีเหลืองอมชมพู เมื่อแก่จัดจะมีสีแดงเข้มที่โคนขน ปลายขนมีสีเขียว เนื้อมีสีขาวขุ่นปนเหลืองและย่นเล็กน้อย รสชาติอร่อย เนื้อกรอบหวานหอม เนื้อมีลักษณะหนา แห้ง และล่อนออกจากเมล็ดได้ง่าย เมล็ดมีลักษณะค่อนข้างแบน ฤดูกาลเก็บเกี่ยวเงาะภาคตะวันออก อยู่ในช่วงปลายเดือนเมษายน – มิถุนายน จะเก็บเกี่ยวผลได้ประมาณ 20 วันหลังจากผลเริ่มเปลี่ยนสี เงาะพันธุ์โรงเรียนมีข้อเสียคือ ใบมักจะเป็นจุดสนิม ต้องปลูกในบริเวณที่มี ความอุดมสมบูรณ์สูง มีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอโดยเฉพาะต้องมีการให้น้ำอย่างเพียงพอในขณะที่ติดผล เนื่องจากถ้าขาดน้ำแล้วผลจะร่วงหล่นเสียหายมาก (ศูนย์ข้อมูลผลไม้, มปป.) ลักษณะเงาะพันธุ์โรงเรียนแสดงดังภาพที่ 2-2

รูปที่ 2-1 ลักษณะเงาะพันธุ์สีชมพู
ที่มา : ครัวบ้านพิม, ม.ป.ป

รูปที่ 2-2 ลักษณะเงาะพันธุ์โรงเรียน
ที่มา : ครัวบ้านพิม, ม.ป.ป

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการ

เงาะอุดมไปด้วยสารอาหารต่างๆ เช่น วิตามินซี วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และไนอาซีน (สารานุกรมวิตามิน, ม.ป.ป.) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อเงาะ 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ
วิตามินบี 1 (Thiamin)	0.04 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2 (Riboflavin)	0.05 มิลลิกรัม
ไนอะซิน (Niacin)	0.6 มิลลิกรัม
วิตามินซี (Vitamin C)	31 มิลลิกรัม
พลังงาน (Energy)	67 กิโลแคลอรี่
น้ำ (Water)	82.9 กรัม
โปรตีน (Protein)	0.9 กรัม
ไขมัน (Fat)	0.1 กรัม
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	15.6 กรัม
ใยอาหาร (Crude fiber)	1.1 กรัม
เถ้า (Ash)	0.5 กรัม
แคลเซียม (Calcium)	3 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส (Phosporus)	6 มิลลิกรัม
เหล็ก (Iron)	1.8 มิลลิกรัม

2.1.3 สถิติการปลูกและการตลาด

เงาะเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่นิยมปลูกกันมาก โดยผลผลิตจะใช้บริโภคภายในประเทศประมาณ 95% ในรูปผลสด ส่วนที่เหลือจะส่งออกเป็นเงาะสดและแปรรูป ส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศในรูปของเงาะกระป๋อง เงาะสอดไส้สับปะรด และเงาะอบแห้ง แหล่งปลูกเงาะที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกโดยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 55% และภาคใต้มีพื้นที่ปลูกประมาณ 45% สถิติการปลูกเงาะในปี พ.ศ. 2548 - พ.ศ. 2553 แสดงดังตารางที่ 2-2 (สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, 2553)

ตารางที่ 2-2 สถิติการปลูกเงาะปี 2548 -2553 ในประเทศไทย

ปี	พื้นที่ให้ผล (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต/ไร่ (กก.)
2548	479,611	518,377	1,081
2549	458,336	436,474	952
2550	423,804	489,296	1,151
2551	396,987	404,053	1,018
5552	362,061	370,600	1,024
2553	358,018	355,600	990

ข้อมูลด้านการตลาดมีรายงานว่าในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยส่งออกเงาะและผลิตภัณฑ์ปริมาณ 7,012 ตัน มูลค่า 140.5 ล้านบาท มูลค่าการส่งออกคิดเป็นเงาะสด 76% เงาะกระป๋อง 3% และเป็นเงาะสอดไส้สับปะรดอีก 21% เมื่อเทียบกับปี 2551 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้น 1.83% และ 10.45% ตามลำดับ ประเทศไทยส่งออกเงาะและผลิตภัณฑ์ปริมาณ 945 ตัน มูลค่า 26.1 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี 2552 ปริมาณและมูลค่า 124% และ 36.6% ตามลำดับ โดยเงาะจัดเป็นผลไม้เศรษฐกิจสำคัญของประเทศเป็นอันดับ 3 รองจากสับปะรดและลำไย เงาะส่วนใหญ่จำหน่ายในรูปแบบเงาะสำหรับบริโภคและเงาะแช่แข็ง อีกส่วนหนึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำเงาะเข้มข้น ผลิตภัณฑ์เนื้อเงาะแผ่นกรอบ ผลิตภัณฑ์เงาะแช่อิ่มอบแห้งในน้ำเสาวรส ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักและน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำเงาะ เมล็ดเงาะเคลือบปรุงรส ผลิตภัณฑ์ใยอาหารจากเปลือกเงาะ ผลิตภัณฑ์แป้งจากเมล็ดเงาะ เงาะในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง เงาะอบแห้ง และเงาะสอดไส้สับปะรด (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป. ; สุเทพ แซ่โห้ว, ม.ป.ป. ; สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, 2553)

2.2 อาหารกึ่งแห้ง

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

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

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

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

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

ไพโรจน์ วิริยะจารี (2539) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นระดับที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อราและยีสต์ ที่อาจเจริญเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี ส่วนใหญ่การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานมากที่สุด

เท่าที่สามารถจะทำได้ โดยเน้นในด้านความคงทนต่อจุลินทรีย์ คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสี การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ

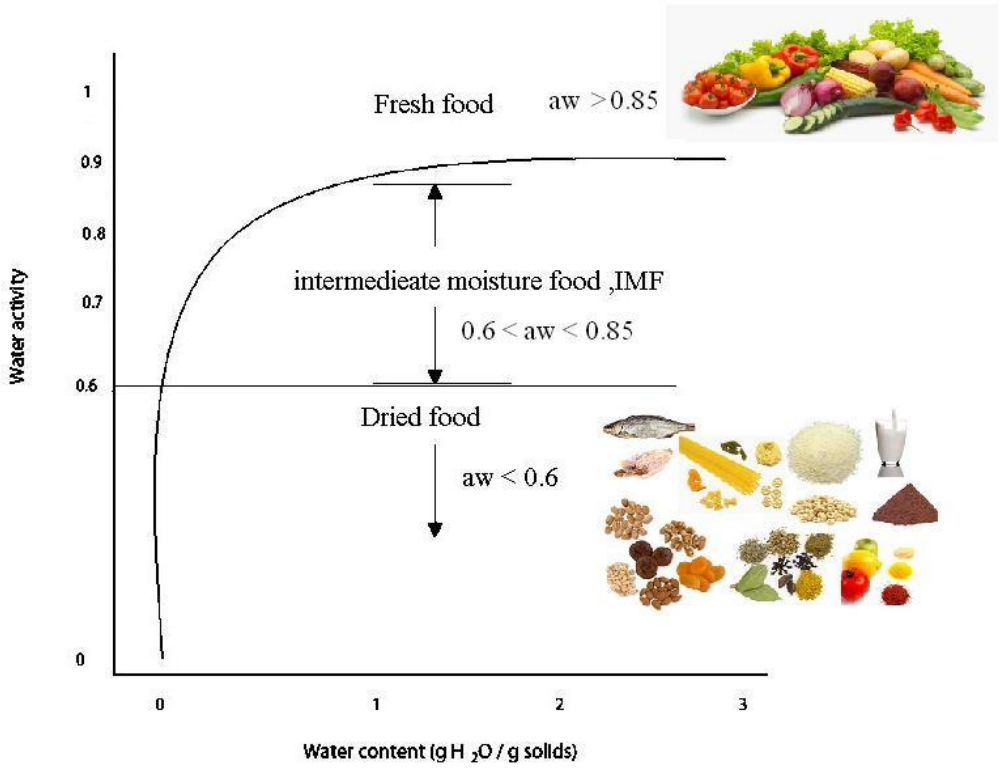
จากความหมายของอาหารกึ่งแห้งจะเห็นว่ามีความหมายเกี่ยวข้องกับค่า a_w ของอาหาร โดย ทิพาพร อยู่วิทยา (2544) กล่าวว่า จุลินทรีย์สามารถทนความร้อนได้มากขึ้นเมื่อ a_w ในอาหารลดลง องค์ประกอบในอาหารที่มีผลไปลดค่า a_w จะช่วยไปเพิ่มความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์

สุมณฑา วัฒนสินธุ์ (2549) กล่าวว่า ค่า a_w ของอาหารเป็นปัจจัยในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร โดยเฉพาะในการถนอมอาหารจะอาศัยค่า a_w เป็นปัจจัยในการควบคุมจุลินทรีย์ที่สำคัญในการทำให้อาหารเน่าเสียจึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยสามารถแบ่งอาหารตามค่า a_w เป็น 3 ประเภท (ภาพที่ 2-3) มีรายละเอียดดังนี้

1) อาหารสด (Fresh food) เป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย (Perishable food) ที่มีค่า a_w มากกว่า 0.85 เช่น เนื้อสัตว์ผัก ผลไม้

2) อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) หมายถึง อาหารที่มีค่า a_w ระหว่าง 0.6-0.85 เช่น นมข้นหวาน กุ้งปรุงรส

3) อาหารแห้ง (Dried food) หมายถึงอาหารที่มีค่า a_w น้อยกว่า 0.6 เช่น นมผง



ภาพที่ 2-3 การจำแนกอาหารตามค่า a_w
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.

2.3 อาหารเพื่อสุขภาพ

อาหารเพื่อสุขภาพ (Functional Foods) เป็นคำเรียกที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปในวงวิชาการ อย่างไรก็ตามอาหารเพื่อสุขภาพมีคำจำกัดความในขอบเขตที่กว้าง หลายองค์กรพยายามให้คำจำกัดความของอาหารประเภทนี้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) The International Food Information Council (IFIC) ให้นิยามว่าอาหารเพื่อสุขภาพคือ “อาหารที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกเหนือจากโภชนาการพื้นฐานที่ได้จากอาหารในชีวิตประจำวัน” (Backgrounder, 1998)

2) The International Life Sciences Institute of North American (ILSI) ให้นิยามว่าอาหารเพื่อสุขภาพ คือ “ส่วนประกอบของอาหารที่มีผลต่อกระบวนการทำงานของร่างกาย ซึ่งให้ประโยชน์ต่อสุขภาพนอกเหนือจากโภชนาการพื้นฐาน” (Clydesdale, 1999)

3) American Dietetic Association (ADA) ให้นิยามว่าอาหารเพื่อสุขภาพ คือ “อาหารที่คงไว้ซึ่งส่วนประกอบเดิมจามธรรมชาติ หรืออาหารที่มีการแต่งเติมสารอาหารให้มากขึ้นเพื่อให้มีผลต่อการเสริมสุขภาพเมื่อบริโภคเป็นส่วนหนึ่งของอาหารในชีวิตประจำวัน และในปริมาณที่เพียงพอต่อสุขภาพ” (Thomas and Earl, 1994)

จากนิยามของอาหารเพื่อสุขภาพดังกล่าว องค์กรต่างๆ ได้ให้ความหมายของอาหารเพื่อสุขภาพที่ตรงกัน คือ อาหารเพื่อสุขภาพมีประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกเหนือจากโภชนาการพื้นฐาน

อาหารเพื่อสุขภาพมีพื้นฐานมาจากปรัชญา “การใช้อาหารเป็นยา”ของบิดาทางการแพทย์ของชาวกรีก คุณสมบัติการมีฤทธิ์เป็นยาของอาหารได้มีการบันทึกไว้ในยาพื้นบ้านมากกว่า 1000 ปีก่อนคริสตกาล (ศัลยา คงสมบูรณ์เวช, 2546) ความเจริญทางวิทยาศาสตร์ที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน พบว่าอาหารมีองค์ประกอบของสารอาหารที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมากมาย เช่น สารพฤกษเคมี รวมทั้งองค์ประกอบอื่นๆ อีกมากมายซึ่งโดยตัวมันเองและโดยการทำงานร่วมกันมีฤทธิ์ต่อการทำงานของร่างกาย ซึ่งสามารถสรุปประโยชน์ของอาหารเพื่อสุขภาพ (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์, 2549) ได้ดังนี้

1) ป้องกันโรคต่างๆที่อาจเกิดขึ้นจากภาวะโภชนาการผิดปกติ
2) ป้องกันและชะลอความเสื่อมของเซลล์ในอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย
3) บำบัดหรือลดอาการของโรคที่เกิดจากความผิดปกติของร่างกาย
4) ปรับปรุงภูมิคุ้มกันของร่างกาย
5) ปรับปรุงระบบและสภาพการทำงานของร่างกาย

2.4 สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Hering and Albrechtt, 2005)

เนื่องด้วยนิยามหนึ่งของอาหารเพื่อสุขภาพคือ มีการเติมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically Active Compond (PAC) หรือ Functional ingredients) ลงในอาหาร ซึ่ง PAC เป็นสารประกอบในอาหาร ทำหน้าที่ในการป้องกัน บำบัด ลดอาการการเกิดโรค รักษาโรคเรื้อรัง เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น หรือปรับปรุงภูมิคุ้มกันของร่างกาย สาร PAC พบได้ตามธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ ซึ่งความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ (Active

compounds) ขึ้นอยู่กับ ชนิด พันธุ์ นอกจากนี้สภาวะแวดล้อม เช่น การเก็บรักษา แสง กระบวนการแปรรูปมีผลต่อคุณภาพของสารออกฤทธิ์ รวมถึงคุณภาพทางเคมี กิจกรรมทางชีวภาพ (Bioactivity) ชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) ของสาร PAC ต่างๆ ในอาหาร สาร PAC ที่สำคัญซึ่งมีบทบาทสำคัญต่ออาหารเพื่อสุขภาพสามารถสรุปได้ดังนี้

2.4.1 แร่ธาตุ (Mineral)

แร่ธาตุหรือเกลือแร่เป็นสารอาหารประเภทหนึ่งที่ร่างกายต้องการและขาดไม่ได้ แร่ธาตุบางชนิดเป็นส่วนประกอบของอวัยวะและกล้ามเนื้อบางอย่าง เช่น กระดูก ฟัน เลือด เป็นต้น บางชนิดเป็นส่วนของสารต่างๆ เช่น ฮอร์โมน เฮโมโกลบิน เอนไซม์ เป็นต้น ที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตในร่างกาย นอกจากนี้แร่ธาตุยังช่วยในการควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆ ของร่างกายให้ทำหน้าที่ปกติ โดยแร่ธาตุที่สำคัญที่มักมีการเติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่

ธาตุแคลเซียม เป็นแร่ธาตุที่พบมากที่สุดในร่างกาย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกระดูก และกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ในการเมตาบอลิซึมของร่างกาย ช่วยในการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อ และควบคุมการทำงานของระบบประสาท เป็นต้น ปริมาณที่แนะนำให้คนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป บริโภคแคลเซียม 800 มิลลิกรัม/วัน

ธาตุเหล็ก เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับการผลิตเซลล์เม็ดเลือดแดง การขาดธาตุเหล็ก ทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ปริมาณที่แนะนำให้คนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป บริโภค 15 มิลลิกรัม/วัน

ธาตุสังกะสี ทำหน้าที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของร่างกายและระบบประสาท ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ปริมาณที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยกำหนดให้บริโภคธาตุสังกะสี 800 มิลลิกรัม/วัน

2.4.2 วิตามิน (Vitamin)

เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ร่างกายจำเป็นต้องได้รับในปริมาณเล็กน้อยแต่ไม่สามารถขาดได้ การขาดวิตามินตัวใดตัวหนึ่ง ทำให้ระบบต่างๆ ของร่างกายทำงานผิดปกติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวิตามินที่ขาด หน้าที่หลักของวิตามิน คือช่วยปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย วิตามินที่มักมีการขาด ได้แก่ วิตามินซี และวิตามินอี

วิตามินซีทำหน้าที่ เสริมสร้างภูมิต้านทานโรค สร้างคอลลาเจน และช่วยเพิ่มการดูดซึมของแร่ธาตุ การขาดวิตามินซีทำให้เหนื่อยง่าย อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร และเลือดออกตามไรฟัน โดยปริมาณที่แนะนำให้บริโภค 60 มิลลิกรัม/วัน

สำหรับวิตามินอีทำหน้าที่ ช่วยในการทำงานของระบบประสาท ระบบสืบพันธุ์ให้ทำงานได้ตามปกติ นอกจากนี้ยังช่วยบำรุงผิวพรรณ การขาดวิตามินอี ทำให้เกิดโรคหัวใจกำเริบและโรคเกี่ยวกับระบบประสาท โดยปริมาณที่แนะนำให้บริโภค 15 IU/วัน (Carlier, 1991)

2.4.3 สารพฤกษเคมี (Phytochemicals)

สารพฤกษเคมีเป็นสารเคมีธรรมชาติที่สามารถออกฤทธิ์แล้วให้ผลดีต่อร่างกาย ส่วนใหญ่พบได้ในพืช สารพฤกษเคมีที่ได้รับความสนใจ คือ สารพฤกษเคมีที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เบต้าแคโรทีน (Beta-carotene) ไลโคปีน (Lycopene) และ เควอซิทิน (Quercetin) เป็นต้น

2.4.4 พรีไบโอติก (Prebiotic)

พรีไบโอติก คือ สารหรือองค์ประกอบที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต และมีฤทธิ์กระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์โพรไบโอติก เช่น เชื้อ Bifidobacteria และ Lactobacilli โดยเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรีย ทำให้ลำไส้เกิดความสมดุล และยังช่วยเพิ่มการนำสารอาหารไปใช้ด้วย ซึ่งมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลแอลกอฮอล์ โอลิโกฟรุกโตส โอลิโกแซคคาไรด์ แลกตูโลส อินนูลิน เป็นต้น ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตที่พบได้ในธรรมชาติ

2.4.5 โพรไบโอติก (Probiotic)

โพรไบโอติกเป็นจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิต ในรูปที่เป็นอาหารหรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เมื่อรับประทานด้วยปริมาณที่พอเหมาะจะส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค เช่น *Lactobacillus sp., Bifidobacteria sp., Staphylococcus sp.* ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตและนมเปรี้ยว โดยโพรไบโอติกมีประโยชน์ช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ ต่อต้านมะเร็งลำไส้ใหญ่ เพิ่มภูมิคุ้มกันและลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้

2.4.6 เส้นใยอาหาร (Dietary fiber)

เส้นใยอาหาร คือส่วนที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ แต่อาจถูกย่อยโดยจุลินทรีย์บางชนิดในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ เช่น เพกติน เบต้ากลูแคน เป็นต้น โดยเส้นใยอาหารมีประโยชน์ในการเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรียในลำไส้ช่วยยับยั้งและดูดซึมสารพิษในระบบการย่อยและดูดซึมอาหาร

2.5 การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การออสโมซิสนิยมทำในผักและผลไม้ ดำเนินการโดยการแช่อาหารในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งนิยมใช้น้ำตาลหรือเกลือ ซึ่งการออสโมซิสมีประโยชน์ในด้านช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร เพื่อทำให้กระบวนการผลิตสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น การออสโมซิสก่อนการทำแห้งและแช่แข็ง เป็นต้น

2.5.1 การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส (Torreeggiani, 1993)

หลักการพื้นฐานของการออสโมซิสเกี่ยวข้องกับเซลล์ (ของพืชผักและผลไม้) ที่ถูกแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจึงทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนน้ำให้ออกจากชิ้นอาหาร เนื่องจากแรงดันออสโมติกสูง ในสารละลายออสโมติก โดยเซลล์ของอาหารทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านที่เรียกว่า

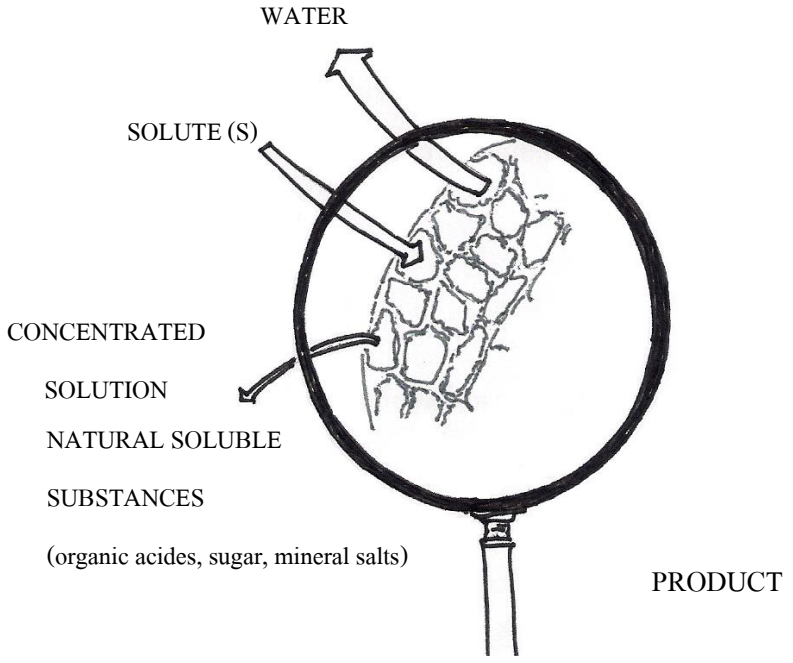
Semi-permeable membrane ซึ่งตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจะเคลื่อนเข้าไปในชิ้นอาหาร จึงให้นิยามว่าการออสโมซิสเป็นการถ่ายเทมวลสารแบบสวนทางกัน โดยน้ำที่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ชิ้นอาหารในลักษณะสวนทางกันและจะเกิดสภาวะเช่นนี้จนเข้าสู่สมดุลของสารละลายทั้งสอง นอกจากนี้ สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์โดยธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือแร่ จะแพร่ออกนอกเซลล์ด้วย เป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน (Counter-current mass tranfer) ดังนี้ คือ

1) น้ำภายในเซลล์ของผักและผลไม้ จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก

2) ขณะเดียวกันตัวถูกละลายที่อยู่ภายนอก เช่น น้ำตาลหรือเกลือจะแผ่เข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้หรือเนื้อผักผลไม้

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

เซลล์ของผักผลไม้ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านจะยอมให้น้ำแพร่มากกว่าตัวถูกละลาย เนื่องจากตัวถูกละลายมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นน้ำจะแพร่กระจายออกจากเซลล์ผลไม้ได้มากกว่า การแพร่กระจายตัวถูกละลายภายนอกเข้าไปในเนื้อผักผลไม้โดยที่ตัวถูกละลายภายนอกจะแพร่กระจายเข้าไปในผักผลไม้ได้เฉพาะบริเวณขอบ ๆ และส่วนใหญ่จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ การถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายนี้ จะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุลมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักและผลไม้ และสารละลายภายนอกที่สภาวะสมดุลนี้ อัตราการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายจะมีค่าคงที่ มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้และสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ด้วย โดยการถ่ายเทมวลสารแสดงดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส
ที่มา: Torreggiani (1993)

2.5.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการออสโมซิส (คำนวณ ตั้งพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองสิริมา, 2553)

ข้อดี

- วัตถุดิบที่อบแห้งไม่ต้องผ่านการใช้อุณหภูมิสูง
- ช่วยรักษากลิ่นรสของวัตถุดิบได้ดีกว่าการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน
- การใช้ความเข้มข้นของสารละลายสูง จะสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีสันสวยงาม
- การซึมผ่านของน้ำตาลจะทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นเหมาะสำหรับเป็นอาหารขบเคี้ยว หรืออาหารว่าง
- ช่วยลดพลังงานในการทำแห้งลง เนื่องจากมีการดึงน้ำออกจากชิ้นอาหารก่อนการทำแห้งบางส่วน

ข้อจำกัด

- ทำให้กรดที่มีอยู่ในผลไม้ลดปริมาณลง ดังนั้นควรมีการเติมกรดผสมลงไปในสารละลายที่ใช้ในการออสโมติก
- น้ำตาลทำให้เกิดปัญหาเป็นฟิล์มบางส่วนบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ สามารถแก้ไขได้โดยการล้างในน้ำอย่างรวดเร็ว ภายหลังการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส
- ผลของน้ำตาลที่ใช้อาจทำให้เกิดกลิ่นอับหรือกลิ่นหืนได้ เมื่อเก็บรักษาไว้โดยใช้สุญญากาศจะมีราคาถูกกว่าการทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง
- การจัดการสารละลายออสโมติกที่ใช้แล้วโดยนำสารละลายไปปรับความเข้มข้นแล้วนำกลับมาใช้ใหม่แต่มีข้อจำกัดคือ เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งกระบวนการสูงและการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องมีข้อจำกัดคือ ทำให้สารละลายเกิดการเจือจางและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์หรืออาจนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร เช่น สารให้สี สารให้กลิ่นรสกับอาหาร

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส

1) ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุก

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

2) ชนิดของสารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายน้ำตาล น้ำเกลือ ซอร์บิทอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส มอลโตส รวมทั้งน้ำเชื่อมข้าวโพดด้วย โดยสารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผักผลไม้ได้แก่ น้ำเชื่อมซูโครส น้ำตาลแลคโตสผสมกับน้ำตาลซูโครส สารละลาย

ออสโมติกที่ใช้อาจมีการเติมสารอื่นๆลงไปด้วยเช่น กรดซิตริก เกลือซัลไฟต์ แคลเซียมคลอไรด์ สารออสโมติกที่ใช้ต้องมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำ มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ในการใช้จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีก 3 ข้อ คือ

- ต้องไม่ทำให้ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป
- มีราคาต่อหน่วยถูก ไม่ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นมาก
- สารละลายที่ใช้ควรมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เพราะถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้มีแรงดันออสโมติกสูง (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2522) เช่น ซูโครสเป็นน้ำตาลประเภทไดแซคคาร์ไรด์ที่ประกอบไปด้วยน้ำตาล 2 โมเลกุล มีมวลโมเลกุล 342.30 กรัม/โมล ซึ่งน้อยกว่าโอลิโกฟรุกโตสที่เป็นน้ำตาลประเภทโพลีแซคคาร์ไรด์ ประกอบด้วยน้ำตาล 2-10 โมเลกุล มีมวลโมเลกุล 828 กรัม/โมล (Khan, 2012) จึงทำให้ซูโครสสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในชิ้นผลไม้ได้ง่ายและเร็วกว่า มีแรงดันออสโมติกสูงกว่า จึงทำให้เกิดค่าการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส

3) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้มีความสำคัญมาก เพราะอาจมีส่วนช่วยในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยมีผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ถ้าความเข้มข้นยิ่งมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะมาก เป็นผลทำให้อัตราการออสโมซิสเร็วขึ้นด้วย ความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อเลยค่านี้ไปแล้วจะไม่มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถเพิ่มความสามารถในการแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ได้ สารละลายชนิดเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจะทำให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น แต่ในขณะเดียวกันน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในผลไม้ได้มากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเป็นข้อดีอันหนึ่งของวิธีการออสโมซิสนี้คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่หวานจนเกินไป (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิในการออสโมซิสก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงอีกประการหนึ่ง เพราะว่ามีผลต่ออัตราการออสโมซิส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงไปจะทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป กล่าวคือทำให้เยื่อหุ้มอ่อนตัวลงจึงมีผลทำให้ความแน่นของผลไม้เปลี่ยนไปด้วยทำให้การซึมผ่านดีกว่าและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำถึงอัตราการออสโมซิสจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การใช้อุณหภูมิสูงในระหว่างการออสโมซิสจำเป็นต้องใช้เวลาในการออสโมซิสให้น้อยลงด้วย ทำให้เกิดวิธีใหม่ที่เรียกว่า High Temperature Short Osmosis (HTST osmosis)

5) อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกและผักผลไม้

การใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายออสโมติก ถ้าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่ซึมออกมาไม่ค่อยมีผลให้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดลง ในกรณีที่น้ำเชื่อมมีความเข้มข้นมาก ดังนั้น แรงขับ (Driving force) คือ ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์และภายนอกสูงอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำเชื่อมปริมาณมากจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและมีปัญหาในการขจัดน้ำตาลภายหลังการออสโมซิสด้วย (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535)

6) การคนหรือกวน

ในขณะที่เกิดการออสโมซิสความเข้มข้นบริเวณรอบๆชิ้นอาหารจะลดลงเนื่องจากน้ำภายในชิ้นอาหารซึมผ่านออกมา ทำให้ประสิทธิภาพการออสโมติกต่ำลงไปด้วย ดังนั้น การคนหรือกวนจะช่วยทำให้เกิดการกระจายความเข้มข้นโดยทำให้สารละลายที่เข้มข้นมากกว่าไหลมาแทนที่สารละลายที่เจือจางกว่าทำให้การออสโมติกสูงขึ้นด้วย (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535 ; Garrote et al., 1992 ; Mavroudis,1998)

7) รูปร่างและขนาดของผลไม้

รูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะซึมออกมาได้เร็วขึ้น เนื่องจากตัวถูกละลายสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวของผักผลไม้ได้มากขึ้น ถ้าผักผลไม้มีชิ้นใหญ่น้ำจะซึมออกได้น้อยหรือถ้ามีรูปร่างกลมน้ำจะซึมออกได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากทั้งสองกรณีมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อย (อ่อนรวี รัตนาพันธ์, 2533) นอกจากนี้ความเป็นรูพรุนของตัวอย่างยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียน้ำ ผลไม้ที่มีขนาดของรูพรุนสูงมักมีค่าการสูญเสียน้ำสูงแต่ความเป็นรูพรุนไม่สามารถอธิบายการเพิ่มของของแข็งทั้งหมดได้ เนื่องจากมีผลกระทบจากการหดตัวและขนาดโมเลกุลของสารละลายเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

2.6 การแช่ในสภาวะสุญญากาศ

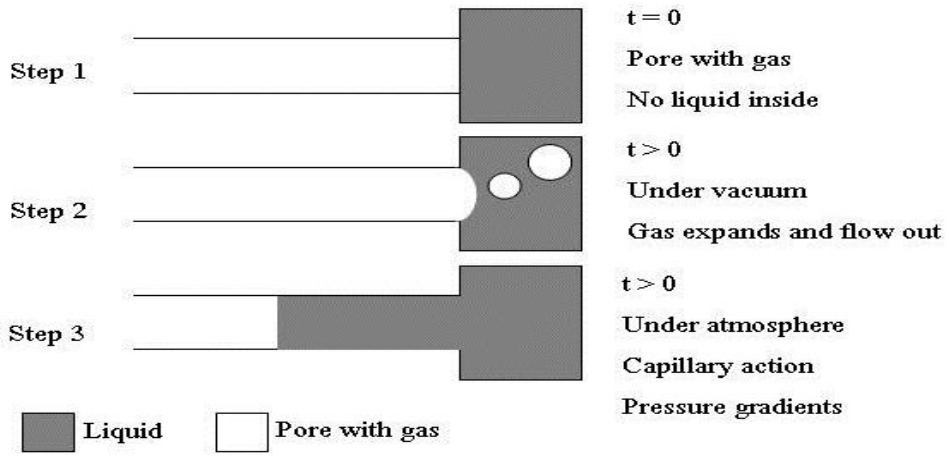
การแช่ในสภาวะสุญญากาศสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเสริมสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically active compound, PAC) เช่น วิตามินซี เหล็ก แคลเซียม และวิตามินต่างๆ ในผักผลไม้ได้ ซึ่งทำได้โดยแช่ชิ้นผักผลไม้ลงในสารละลายที่มี PAC ในสภาวะสุญญากาศในช่วงเวลาสั้นๆเพื่อกระตุ้นให้เกิดการแพร่ของ PAC เข้าไปในเนื้อผักผลไม้ได้มากและเร็วขึ้น จากนั้นจึงแช่ชิ้นผักผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศ

Fito et al. (1995) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศและอธิบายว่าในระหว่างการแช่ที่สภาวะดังกล่าวจะเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เรียกว่า Hydrodinamic machanism (HDM) ดังแสดงได้ในภาพที่ 2-5 กลไก HDM สำหรับการแช่ในสภาวะสุญญากาศ มีขั้นตอนดังนี้

1) เมื่อ t=0 เป็นขั้นตอนที่เริ่มมีการแช่ชิ้นผักผลไม้ลงในสารละลาย ยังไม่มีการเคลื่อนที่ของก๊าซออกสู่สารละลายภายนอกหรือสารละลายและยังไม่มีการเคลื่อนที่ของสารละลายกรดเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์

2) เมื่อเวลาผ่านไปในสภาวะสุญญากาศ t>0 อากาศจากช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกสู่สารละลายภายนอก อีกทั้งยังเกิดการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ด้วย

3) เมื่อสิ้นสุดการใช้สภาวะสุญญากาศ และแช่ชิ้นผักผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศ t>0 สารละลายจะแพร่ผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยจะเข้ามาแทนที่ก๊าซที่ถูกดูดออกไปเป็นผลให้ตัวถูกละลายแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้ และในขณะเดียวกันน้ำในชิ้นผักผลไม้ก็จะสามารถแพร่ออกสู่สารละลายได้เช่นกัน



ภาพที่ 2-5 กลไก Hydrodinamic machani_ (HDM)
ที่มา : ดัดแปลงจาก Fito, Andres, Pastor, & Chiralt, (1996., ıiralt & Fito (2003)

2.7 การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง

การประยุกต์ใช้การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งสามารถผลิตอาหารกึ่งแห้งได้ เนื่องจากการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสจะเป็นการดึงน้ำออกจากผักผลไม้ก่อนบางส่วนโดยอาศัยหลักการออสโมซิสซึ่งทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ลดลงได้ประมาณ 50% ของน้ำหนักเริ่มต้น จึงมักต้องมาทำการแปรรูปต่อด้วยการทำแห้งเพื่อเป็นการลดปริมาณความชื้น ค่า a_w ให้อยู่ในระดับที่ไม่เสี่ยงต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์หรือระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ และช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยอาจนำมาทำแห้งต่อได้หลายวิธี เช่น การทำแห้งด้วยลมร้อน (Hot Air Drying) การทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum Drying) และการทำแห้งแบบระเหิด (Freeze Drying)

สำหรับการทำแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ มีหลักการคือเมื่ออากาศสัมผัสกับอาหาร ความร้อนจากอากาศจะถูกถ่ายเทไปยังผิวอาหาร และทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านชั้นของอากาศรอบๆอาหารและถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน ทำให้ความดันไอของอากาศที่ผิวลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับอากาศร้อน ความแตกต่างนี้จะเป็นแรงผลักดันให้น้ำจากอาหารระเหยออกมาจากด้านในของชิ้นอาหารออกมาสู่ผิวอาหาร แสดงการเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการอบแห้ง โดยมีกลไกดังนี้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) คือ

1) น้ำที่เป็นของเหลวจะเคลื่อนด้วยแรงคะปิลลารี (Capillary force)

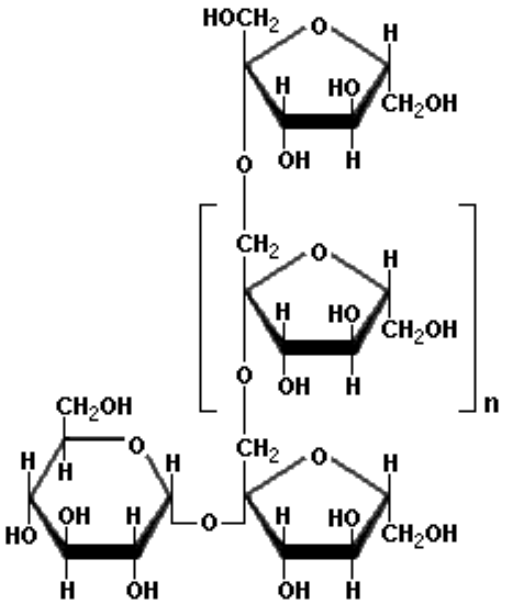
2) น้ำที่เป็นของเหลวจะเคลื่อนที่โดยการแพร่ เนื่องจากในแต่ละส่วยของชิ้นอาหารมีความเข้มข้นของตัวทำละลายต่างกัน

3) การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับที่ผิวขององค์ประกอบที่เป็นของแข็งในอาหาร
4) การแพร่ของไอน้ำในโพรงอากาศในชิ้นอาหารเนื่องจากความแตกต่างของความดัน

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งผลไม้นั้นขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด รูปร่างและปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลไม้ ในระหว่างการทำแห้งต้องพยายามควบคุมสี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากในระหว่างการทำแห้ง มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี มักปรากฏให้เห็นในรูปของการเกิดสีน้ำตาล เพราะในระหว่างการทำแห้งนั้น น้ำที่อยู่ภายในเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้าและระเหยออกไป และพาของแข็งที่ละลายน้ำได้ออกมาที่ผิวด้วย เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน ทำให้ความเข้มข้นของสารดังกล่าวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจึงเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน ที่ทำให้อาหารเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการทำแห้งผลไม้ที่อุณหภูมิสูงมักทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้ม ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องให้ความระมัดระวัง

2.8 โอลิโกฟรุกโตส

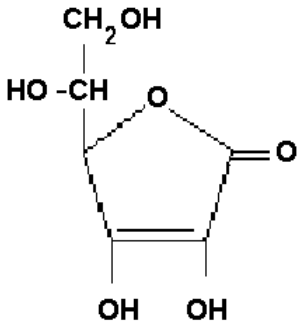
โอลิโกฟรุกโตส (Oligofructose) หรือ ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Fructo-oligosaccharide) เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) ซึ่งใช้เป็นสารให้ความหวาน (Sweetener) แทนน้ำตาล (Sugar substitute) มีรสชาติเหมือนกับน้ำตาล ใช้เป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลทราย (Relative sweetness 30-50% เมื่อเทียบกับน้ำตาล sucrose) เนื่องจากมีแคลลอรี่ต่ำกว่า (1-2 kcal/g) และละลายน้ำได้ดี ใช้ในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานหรือผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ เป็นสารที่แบคทีเรียในช่องปาก ไม่สามารถย่อยสลายให้เกิดกรดได้ จึงไม่เป็นสาเหตุให้ฟันผุ นอกจากนี้โอลิโกฟรุกโตส ยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก ซึ่งคือสารหรือองค์ประกอบที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต และมีฤทธิ์กระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์โพรไบโอติก เช่น เชื้อ Bifidobacteria และ Lactobacilli โดยเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรีย ทำให้ลำไส้เกิดความสมดุลและยังช่วยเพิ่มการนำสารอาหารไปใช้ด้วย โมเลกุลของโอลิโกฟรุกโตสเกิดจากส่วนประกอบของน้ำตาลฟรุกโตส (Fructose) น้อยกว่า 10 โมเลกุล โดยที่โมเลกุลที่ปลายสุดด้านหนึ่งเป็นน้ำตาลกลูโคส (Glucose) สูตรโครงสร้างของโอลิโกฟรุกโตสแสดงดังภาพที่ 2-6 โดยโครงสร้างโมเลกุลของโอลิโกฟรุกโตส เหมือนกับ Inulin ซึ่งเป็น Polysaccharide แต่ Inulin เป็นโพลิเมอร์ที่มีสายยาวกว่า ไม่มีรสหวาน และละลายได้น้อย ขณะที่โอลิโกฟรุกโตส มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า การนำโอลิโกฟรุกโตสไปใช้ในอาหารสามารถใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพ โดยมีสมบัติเป็นพรีไบโอติกใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเสริม นมสำหรับเด็ก เป็นสารให้ความหวานในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เครื่องดื่ม (นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป. ; Hering and Albrechtt, 2005)



ภาพที่ 2-6 สูตรโครงสร้างของ โอลิโกฟรุกโตส
ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.

2.9 วิตามินซี

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส สูตรโครงสร้างของวิตามินซีแสดงดังภาพที่ 2-7 มีสมบัติละลายน้ำได้ดี เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย สามารถกระจายตัวไปตามเนื้อเยื่อต่างๆทั่วร่างกาย วิตามินซีพบมากในผักและผลไม้สด เช่น มะขามป้อม ฝรั่ง ส้ม มะนาว มันฝรั่ง และผักต่างๆ ผลไม้ส่วนใหญ่มีวิตามินซีที่เปลือกมากกว่าในเนื้อ เช่น เปลือกแอปเปิลมีวิตามินซีมากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อถึง 2-3 เท่า วิตามินซีเป็นวิตามินที่ร่างกายไม่สามารถที่จะสร้างขึ้นเองได้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากการรับประทานเข้าไป วิตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญชนิดหนึ่ง ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันได้เป็นอย่างดี เพราะสามารถป้องกันและรักษาการอักเสบอันเนื่องมาจากแบคทีเรียและไวรัสได้ ในสภาวะปกติร่างกายต้องการวิตามินซีประมาณ 60 มิลลิกรัมต่อวัน หากร่างกายได้รับวิตามินซีน้อยกว่าที่ร่างกายควรจะได้รับอาจทำให้เกิดโรคลักปิดลักเปิด ซึ่งจะยิ่งรุนแรงมากขึ้นหากขาดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน แต่หากได้รับมากเกินไปก็ไม่ส่งผลเสียต่อร่างกาย เนื่องจากวิตามินซีสามารถละลายน้ำได้ดีหากร่างกายไม่ได้ใช้ก็จะมีการขับออกมาได้ทางปัสสาวะ และไม่เคยมีรายงานเกี่ยวกับพิษที่เกิดจากการรับประทานวิตามินซี แม้จะรับประทานในปริมาณที่สูงกว่า 6,000 - 18,000 มิลลิกรัม (ปราณี มีศิริสุข, 2553 ; นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)



L-ascorbic acid
(vitamin C)

ภาพที่ 2-7 สูตรโครงสร้างของวิตามินซี
ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ ,ม.ป.ป.

ประโยชน์ของวิตามินซี

- ช่วยป้องกันและรักษาการอักเสบอันเนื่องมาจากแบคทีเรียและไวรัสได้
- วิตามินซีเป็นตัวสร้างคอลลาเจน ซึ่งเป็นเส้นใยทำหน้าที่เชื่อมเนื้อเยื่อต่างๆ ไว้ด้วยกัน ทั้งยังเป็นตัวสร้างกระดูก ฟัน เหงือก และเส้นเลือด
- ช่วยให้แผลสดและแผลไฟไหม้หายเร็วขึ้น
- ช่วยให้การดูดซึมธาตุเหล็กดีขึ้น ซึ่งเป็นการสร้างเม็ดเลือดทางอ้อม
- ช่วยแก้โรคเลือดออกตามไรฟัน หากรับประทานวิตามินซีเป็นประจำทุกวัน มันจะช่วยให้เหงือกมีสุขภาพแข็งแรง โดยวิตามินซีจะไปช่วยรักษาเซลที่ถูกทำลายและช่วยให้แผลที่เหงือกหายเร็ว
- เพิ่มความต้านทานต่อโรคหัวใจ โดยการไปช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมระดับคลอเรสเตอรอลในร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรับประทานร่วมกับวิตามินอี โดยมันจะไปลดการเกาะตัวของไขมันที่ผนังหลอดเลือด
- การรักษาด้วยการฉีดวิตามินซีปริมาณสูงในผู้ป่วยมะเร็ง อาจช่วยหยุดยั้งโรคมะเร็งได้ เนื่องจากวิตามินจะเข้าทำปฏิกิริยาทางเคมีในเซลล์ มะเร็งให้กลายเป็นกรดขึ้น ทำให้เนื้อร้ายชะงักและน้ำหนักลดไปได้
- บรรเทาอาการแพ้ หอบหืด ไซนัส ทั้งนี้เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้ว วิตามินซีมีคุณสมบัติเป็นสารต่อต้านภูมิแพ้ต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง เกสรดอกไม้ ซึ่งอาการแพ้เหล่านี้ก็เป็นสาเหตุส่วนหนึ่งของโรคไซนัส นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่า วิตามินซีช่วยป้องกันและทำให้อาการหอบหืดดีขึ้น

2.10 แคลเซียม (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

แคลเซียม เป็นเกลือแร่ที่มีมากที่สุดในร่างกาย โดยแคลเซียมทั้งหมดที่มีในร่างกาย 99% เป็นส่วนประกอบสำคัญของกระดูกและฟัน แคลเซียมอีก 1% อยู่ในเนื้อเยื่อต่างๆ และของเหลวในร่างกาย

ประโยชน์ของแคลเซียม

- ช่วยควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ และหัวใจ โดยควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อและกระตุ้นการส่งผ่านของระบบประสาท
- เป็นธาตุที่จำเป็นในการแข็งตัวของเลือด หญิงมีครรภ์ หญิงให้นมบุตร
- ช่วยในการเจริญเติบโตของทารกไปจนถึงวัยรุ่น
- ช่วยเสริมสร้างกระดูกและฟัน
- เกลือแคลเซียม (calcium salt, Ca^{2+}) ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) โดยใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (texture properties) ของผักและผลไม้ ทำหน้าที่เป็น firming agent

ปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภคของคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป ควรได้รับแคลเซียมประมาณ 800 มิลลิกรัม/วัน การสะสมปริมาณแคลเซียมควรเริ่มตั้งแต่ในวัยเด็ก ทำได้โดยเลือกรับประทานอาหารที่มีแคลเซียมสูง เช่น น้ำนม ถั่วเมล็ดแห้ง ผัก และผลไม้

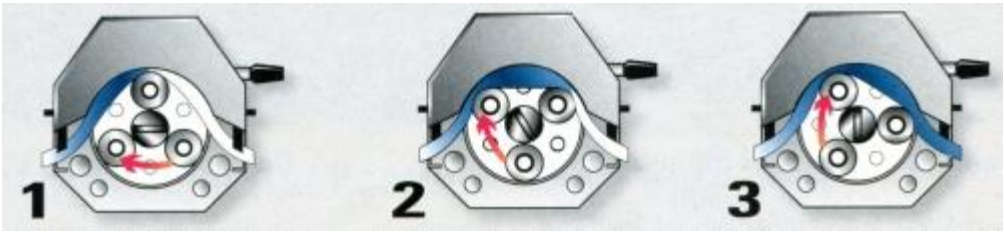
นอกจากนี้ยังมีการใช้เกลือแคลเซียมในการแปรรูปอาหารโดยมักใช้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เพื่อแปรรูปเป็นผักและผลไม้บรรจุกระป๋อง (Canning) การทำแห้ง (Dehydration) การแช่เยือกแข็ง (Freezing) การทำผักผลไม้ดอง (Pickle) ซึ่งรูปแบบการใช้ มีขั้นตอนทำได้โดย จุ่มผักผลไม้ภายหลังการปอกเปลือกในสารละลาย อาจใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum) ช่วยเพื่อให้การซึมผ่านของเกลือเป็นไปได้เร็วขึ้น, เติมลงในน้ำที่ใช้ในการลวก, เติมลงในกระป๋องโดยตรง โดยผสมลงไปในน้ำเชื่อม หรือน้ำเกลือที่ใช้บรรจุร่วมกับผักผลไม้

2.11 การใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ปั๊มดูดจ่ายของเหลว (Peristaltic Pump) เป็นปั๊มชนิดรีดท่อ (Tubing Pump) ที่สามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบและหลากหลายอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นปั๊มที่ไม่มีชิ้นส่วนใดของปั๊มที่จะสัมผัสกับของเหลวในสายยางเลย สามารถตั้งค่าปริมาตรที่ต้องการได้อย่างเที่ยงตรง สามารถตั้งค่าเวลาให้เครื่องทำงานซ้ำๆได้ เช่น ให้เติมน้ำเชื่อม 50 มิลลิลิตร ในกระป๋อง 20 ใบ โดยเว้นระยะเวลาห่างกันกระป๋องละ 10 วินาที เป็นต้น สามารถเลือกชนิดของพลาสติกที่มาทำเป็นสายยางที่จะไม่ทำปฏิกิริยากับของเหลวในสายยางนั้นได้หลายรูปแบบ เช่น สายยางทนสารเคมี สายยางทนความร้อน สายยางทนแรงดันสูง สายยางทนแสง UV เป็นต้น (คัฟเวอร์ซายน์, 2010)

หลักการในการทำงานของ ปั้มดูดจ่ายของเหลว มีดังนี้คือ ปั๊มจะหมุนตัวลูกรีด (Roller) ไปกดที่สายยางแล้วกดเอาของเหลวให้เคลื่อนที่ไปตามลูกรีดโดยสายยางจะอยู่ที่เดิม แสดงดังภาพที่ 2-8 ลำดับที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อหมุนลูกรีดไปเรื่อยๆ ของเหลวก็จะสามารถย้ายจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับสิ่งใดเลยนอกจากสายยาง ความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของของเหลวขึ้นกับ จำนวนของลูกรีดที่ใช้ในการหมุนยิ่งมากก็จะมีความแม่นยำมาก และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อสายยาง โดยข้อดีของการใช้ปั้มดูดจ่ายของเหลว มีดังนี้คือ

- สามารถใช้กับสารที่มีอนุภาค หรือมีสารแขวนลอยได้
- สามารถล้างออกได้ง่าย โดยทำความสะอาดเฉพาะส่วนสายยางใช้กับสารปลอดเชื้อได้
- ใช้กับสารที่มีความหนืดสูงได้ โดยที่สารไม่เข้าไปปนเปื้อนภายในปั๊ม สารจะผ่านเฉพาะส่วนสายยางเท่านั้น
- ใช้กับอาหารที่ปลอดเชื้อ และใช้กับงานวิจัยที่เลี้ยงเซลล์ได้โดยไม่มีผลข้างเคียงกับเซลล์
- มีความแม่นยำในการดูด-จ่ายสูง



ภาพที่ 2-8 การทำงานของปั๊มดูดจ่ายของเหลว (Peristaltic Pump)

ที่มา : คัฟเวอร์ซายน์, ม.ป.ป.

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Garrote et al. (1992) ศึกษาผลของการกวนสารละลายออสโมติกร่วมกับการออสโมซิสชิ้นแพร์ สตอเบอร์รี่ และแอปเปิ้ล ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 67.5% โดยศึกษาการกวน 2 แบบ คือ Laminar และ Turbulence โดยให้อุณหภูมิในการกวน 5 และ 25 °C พบว่าการกวนแบบ Turbulence มีผลให้ชิ้นผลไม้มีปริมาณน้ำที่สูญเสียมากกว่าการกวนแบบ Laminar โดยปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างที่ผ่านการกวนทั้ง 2 แบบไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ

Mavroudis et al. (1998) ศึกษาผลของการกวนสารละลายออสโมติกในการออสโมซิสชิ้นแอปเปิ้ลโดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 50% ที่อุณหภูมิ 20 °C อัตราส่วนของสารละลายและชิ้นแอปเปิ้ลเท่ากับ 35 : 1 โดยแปรระดับการกวนเป็น 350 1000 2500 5000 10000 13000 16000 และ18500 Re number โดยแบ่งเวลาออกเป็น 2 ระดับ ระดับที่ 1 ใช้เวลา 1 ชั่วโมงที่ 350 1000 10000 และ18500 Re number โดยวัดค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นแอปเปิ้ลทุก 10 นาที ระดับที่ 2 ใช้เวลา 3 ชั่วโมงที่ 1000 และ 18500 Re number โดยวัดค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นแอปเปิ้ลทุก 30 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการกวนทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญเสีย แต่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ

Gras et al. (2003) ศึกษาสมบัติโครงสร้างทางจุลภาคของมะเขือยาว แครอท และเห็ดนางฟ้า โดยเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายซูโครสร่วมกับการใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศความดัน 50 มิลลิบาร์ 10 นาที แล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พบว่าแคลเซียมมีผลต่อสมบัติโครงสร้างทางจุลภาคของมะเขือยาวและแครอท แต่ไม่มีผลกับเห็ดนางฟ้า อาจเนื่องจากเห็ดนางฟ้าไม่มีเพคตินเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้พบว่า มีปริมาณแคลเซียมในส่วน

ของช่องว่างระหว่างเซลล์ หรือในส่วนของ Interhyphae ของเนื้อเยื่อมะเขือยาวมากกว่าของเนื้อเยื่อแครอท กรณีเห็ดนางฟ้า พบว่า มีปริมาณแคลเซียมในส่วนของช่องว่างระหว่าง Hyphae ของเซลล์

Fito et al. (2001) ศึกษาการใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศในการเสริมแคลเซียมและธาตุเหล็กในมะเขือยาวและเปลือกส้ม โดยแช่ในสารละลายซูโครส ไอรอนกลูโคเนต และแคลเซียมกลูโคเนต โดยให้ความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ 15 นาที หลังจากนั้นออสโมซิสต่อในสภาวะบรรยากาศ 15 นาที พบว่า การเสริมแคลเซียมและเหล็กในมะเขือยาวและเปลือกส้ม เป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งในการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากการแช่ในสภาวะสุญญากาศสามารถทำให้แร่ธาตุเกิดการแพร่เข้าไปในรูพรุนของผักผลไม้ได้ และวิธีการแช่ในสภาวะสุญญากาศนี้สามารถลดค่า a_W หรือค่า pH ของผักผลไม้

Gras et al. (2003) ศึกษาการเสริมแคลเซียมเข้าไปในชิ้นมะเขือม่วง แครอทและเห็ดนางรม พบว่าการแช่ในสภาวะสุญญากาศ 50 mbar 10 นาที สามารถเสริมแคลเซียมให้กับชิ้นมะเขือม่วงได้ 51-62% ชิ้นแครอท 3-6% และเห็ดนางรม 41%

Barrera et al. (2004) ศึกษาผลการเสริมแคลเซียมและเหล็กให้กับชิ้นแอปเปิ้ล โดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum Impregnation) ต่อจลศาสตร์การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส โดยแช่ในสารละลายซูโครส 55 °Brix ที่มีการเติมแคลเซียมและเหล็กในรูปของเกลือแคลเซียมแลคเตท และเฟอรัสกลูโคเนตตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30 °C โดยใช้ความดันสุญญากาศ 50 mbar เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นแช่ต่อในสภาพบรรยากาศเป็นเวลา 10 นาที มีผลให้ชิ้นแอปเปิ้ลมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมเพิ่มขึ้น 46% และ 32% ตามลำดับ

Dermesonlouoglou et al. (2007) ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสโดยเลือกใช้สารละลายออสโมติกต่างๆ ต่อคุณภาพของมะเขือเทศแช่แข็ง โดยนำมะเขือเทศมาสไลด์ตามความยาว หนา 6 mm. นำมะเขือเทศส่วนหนึ่งไปลวกในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 80 วินาที อีกส่วนหนึ่งนำมะเขือเทศด้วยวิธีออสโมซิสโดยการแช่ในสารละลายออสโมติก ความเข้มข้น 55.6 % โดยสารละลายที่ใช้แช่ได้แก่ 1) กลูโคส 2) High Dextose Equivalent Maltodextrin (HDEM) 3) Oligofructose และ 4) Oligofructose-trehalose อัตราส่วน 2:1 โดยใช้ร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% (w/w) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.5% (w/w) ที่อุณหภูมิ 35°C นาน 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างตัวอย่างต่อสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1.5% (w/w) หลังจากนั้นนำมะเขือเทศทั้งหมดไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยบรรจุในถุง Pouchesm ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต Bio-oriented polypropylene/polyethylene และศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -12 °C และ -20 °C โดยวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ เมื่อครบ 3, 6 และ 12 เดือน พบว่าการใช้สารละลายกลูโคส และ HDEM ทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำมีค่าสูง ส่วนการใช้สารละลายกลูโคสและสารละลายผสมระหว่าง Oligofructose-trehalose ทำให้ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูง ส่งผลทำให้ตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการออสโมซิสนี้มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีเมื่อผ่านการแช่แข็งเป็นเวลา 12 เดือน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ทั้งที่ลวกและไม่ลวก โดยพบว่าตัวอย่างมะเขือเทศที่เตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสด้วยสารละลายกลูโคส, HDEM, Oligofructose, trehalose และ Oligofructose-trehalose ที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C เป็นเวลา 12 เดือน สามารถรักษาปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศได้ 81, 66, 77 และ 88%

ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิส (ลวกและไม่ลวก) มีวิตามินซี เพียง 44%

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

Matusek et al. (2008) ศึกษาการเปรียบเทียบชนิดของสารละลายออสโมติก คือ น้ำตาลซูโครสและโอลิโกฟรุกโตส สำหรับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในแอปเปิ้ลโดยนำแอปเปิ้ลมาหั่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกเต๋าขนาด (10×10×10 mm) แล้วนำไปแช่ในสารละลายซูโครสและโอลิโกฟรุกโตสความเข้มข้น 40-69% (w/v) ที่อุณหภูมิ 40-60°C เป็นเวลา 20-40 นาที พบว่า จากการที่องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของโอลิโกฟรุกโตส มีความแตกต่างกับสารละลายซูโครสจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การแพร่กระจายของตัวทำละลายและการดึงน้ำออกจากตัวอย่างแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain) จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก อุณหภูมิและเวลาในการแช่สารละลายเป็นสำคัญ แต่จากการศึกษาของผู้วิจัย พบว่า ผลขององค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของสารละลายออสโมติกมีความสำคัญอย่างมากโดยเฉพาะต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย โดยพบว่าการใช้สารละลายโอลิโกฟรุกโตสทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียและของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำกว่าการใช้สารละลายซูโครส

Barrera et al. (2009) ศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมให้กับชิ้นแอปเปิ้ลต่อจลศาสตร์การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกซูโครสความเข้มข้น 55 °Brix ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ50 °C โดยประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมในระหว่างกระบวนการออสโมซิส โดยนำแอปเปิ้ลมาแช่ในสารละลายซูโครสที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตท 1% ร่วมกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum Impregnation) ใช้ความดัน 50 mbar เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นแช่ต่อในสภาพบรรยากาศ 10 นาที ทำการควบคุมการถ่ายเทมวลสารโดยใช้วิธีการกวนที่ 280 rpm ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ50 °C พบว่ามีผลทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาณแคลเซียมมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายออสโมติกจาก 30 เป็น 50 °C สามารถทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

Hironaka et al. (2011) ศึกษาการเสริมปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะความดัน 70 cmHg เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ช่วยทำให้เพิ่มปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งเพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิกรัม/100 กรัม เป็น 130 มิลลิกรัม/100 กรัม

Jissy et al. (2012) ศึกษาผลของการเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically Active Components : PAC) ได้แก่ โอกิโกฟรุกโตส เลซิทิน โพลีฟีนอล และวิตามินซี ให้กับชิ้นมะม่วง ผลเชอร์รี่ และผลบลูเบอร์รี่ โดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศภายใต้ความดัน 35-40

mmHg 2 ชั่วโมง และแช่ที่บรรยากาศ 24 ชั่วโมง ร่วมกับการทำแห้งโดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 6-7 ชั่วโมง พบว่าสาร PAC ดังกล่าวสามารถแพร่เข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ทั้ง 3 ชนิดได้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่มีคุณภาพดีมากขึ้น โดยเฉพาะทำให้คุณค่าทางอาหารดีขึ้น

Silva et al. (2014) ศึกษาการใช้แคลเซียมแลคเตทกับไคเนติกของการออสโมซิสและคุณภาพของสับปะรดโดยการใช้สารละลายออสโมติก 40 และ 50% ร่วมกับการใช้แคลเซียมแลคเตท 2 และ 4% พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 50% และแคลเซียมแลคเตท 4% มีค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss) และ น้ำหนักที่ลดลง (Weight reduction) มากที่สุด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) เงาะพันธุ์โรงเรียน รับจากสวนในอำเภอแกลง จังหวัดระยอง
2) กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid) บริษัท BDH Laboratory supplies ประเทศอังกฤษ
3) โอลิโกฟรุกโตส (Oligofructose) บริษัท DPO จำกัด ประเทศไทย
4) แคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate) ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส ซายน์ อุปกรณ์เคมี
5) น้ำตาลซูโครส (Sucrose) เกรดทางการค้า ตรามิตรผล บริษัทมิตรผล จำกัด
6) กรดซิตริก (Citric acid) บริษัท LAB SCAN ประเทศไอร์แลนด์

อุปกรณ์และเครื่องมือ

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

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส

สารละลายออสโมติกที่ใช้ในการออสโมซิส มักเตรียมจากน้ำตาลซูโครส (น้ำตาลทราย) เนื่องจากราคาถูกและหาง่าย ในขั้นตอนนี้มีแนวความคิดที่จะเตรียมสารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสกับตาลโอลิโกฟรุกโตส เนื่องจากน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสมีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านเป็นแหล่งใยอาหาร และมีสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก นอกจากนี้ยังให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครสประมาณ 50% จึงเหมาะที่จะใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้ที่ต้องการลดความอ้วน หรือมีความเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมนี้อาจจะมีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

แปรการเตรียมสารละลายออสโมติกตามหลักการ Mixture design ซึ่งจะได้น้ำเชื่อมที่เตรียมจากน้ำตาล ดังนี้ 1) น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว 2) น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว และ 3) สารละลายผสมของซูโครสและโอลิโกฟรุกโตสในความเข้มข้นต่างๆรวม 7 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกจากการแปรความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส

สิ่งทดลอง	ซูโครส (%w/w)	โอลิโกฟรุกโตส (%w/w)
1	50	-
2	-	50
3	5	45
4	10	40
5	15	35
6	20	30
7	25	25

การเตรียมตัวอย่าง

เนื่องจากคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองมีผลโดยตรงต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิส จึงควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ตลอดการทดลองให้มีความสม่ำเสมอกัน กำหนดใช้ผลเงาะพันธุ์โรงเรียนที่มีความสุกระดับเดียวกันโดยมีเปลือกสีแดง น้ำหนักผลประมาณ 40 กรัม มีความยาวผลประมาณ 5.5 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 เซนติเมตร เอาเปลือกออก ล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C จนกว่าจะนำมาใช้งาน เตรียมตัวอย่างเงาะโดยนำเงาะแช่แข็งมาทำละลายที่อุณหภูมิห้อง 40 นาที ผ่าครึ่งตามความยาวผลแล้วเอาเมล็ดออก ผลเงาะและเนื้อเงาะที่ผ่านการเอาเมล็ดออกแสดงดังภาพที่ 3-1 นำมา

แช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.3% เป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (หนึ่งนุช กาฬภัคดี และคณะ, 2553)

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3-1 ลักษณะผลเงาะ (ก) และเนื้อเงาะที่ผ่านการเอาเมล็ดออก (ข)

การออสโมซิสและการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

เตรียมสารละลายออสโมติกโดยนำน้ำตาลซูโครสและโอลิโกฟรุกโตสมาละลายน้ำตามความเข้มข้นที่กำหนด ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75-80°C เป็นเวลา 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำชิ้นเนื้อเงาะมาแช่ในสารละลายออสโมติกที่เตรียมไว้ โดยบรรจุในโหลแก้วและปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติกต่อชิ้นเนื้อเงาะเท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) แช่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และสุ่มตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง เพื่อชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) คำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) คำนวณจากสูตรดังนี้

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss ; WL)

$$WL\ (\%) = \frac{(W_iX_i - W_fX_f)}{W_i} \times 100$$

2) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG)

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

3) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weigth reducing; WR) คำนวณได้จาก

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

เมื่อ W_i คือ น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

W_f คือ น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัม)

X_i คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัมน้ำ/100 กรัมของตัวอย่าง)

X_f คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัมน้ำ/100 กรัมของตัวอย่าง)

การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อเงาะหลังการออสโมซิส

สุ่มตัวอย่างเนื้อเงาะหลังการออสโมซิส 8 ชั่วโมง มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธีของ Lane-Eynon (AOAC, 1998)

3) ค่าสี เครื่องวัดค่าสี รางานผลเป็น L* a* และ b*

4) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

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

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely randomized design) สำหรับทุกค่า ยกเว้นการทดสอบประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized complete block design) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ด้วยโปรแกรม SPSS

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) และมีการใช้โอลิโกฟรุกโตสปริมาณมากที่สุดโดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาการเสริมแคลเซียมในรูปของแคลเซียมแลคเตทและวิตามินซีในรูปของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic) โดยเติมลงในสารลายออสโมติกและกระตุ้นการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสโดยการแช่เนื้อเงาะภายใต้สภาวะสุญญากาศในระยะเวลาสั้นๆ ก่อนการแช่ในสภาวะบรรยากาศ ปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก

แปรปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2 x 2 x 2 ได้ 8 สิ่งทดลอง (แสดงดังตารางที่ 3-2) โดยมีรายละเอียดดังนี้

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

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

ปัจจัยที่ 3 การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส คือ ใช้ และ ไม่ใช้

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

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

การออสโมซิสและการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

เตรียมตัวอย่างเงาะและสารละลายออสโมติกตามที่เลือกได้จากตอนที่ 1 โดยเติมแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิกลงในสารละลายออสโมติกที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว การใช้สภาวะสุญญากาศดำเนินการโดยบรรจุชิ้นเงาะและสารละลายออสโมติกในขวดรูปชมพู่ กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติกต่อชิ้นเนื้อเงาะเท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) ปิดขวดรูปชมพู่ด้วยจุกยางให้เป็นระบบปิดและเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศ แสดงดังภาพที่ 3-2 กำหนดใช้ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา แช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำตัวอย่างหลังการออสโมซิสมาชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) แล้วคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสารตามวิธีในตอนที่ 1

ภาพที่ 3-2 การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสเนื้อเงาะก่อนการแช่ในสภาวะบรรยากาศ

การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อเงาะหลังการออสโมซิส

นำตัวอย่างเนื้อเงาะหลังการออสโมซิสมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธีของ Lane-Eynon (AOAC, 1998)

3) ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

4) ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 2000)

5) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

6) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

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

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Completely Randomized Design) สำหรับทุกค่า ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (Randomized Complete Block Design) วิเคราะห์ผลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ด้วยโปรแกรม SPSS

เกณฑ์การคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูง รวมถึงมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้

ตอนที่ 3 การศึกษาผลการหมุนกวนสารละลายออสโมติกโดยใช้ Peristaltic pump

ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาผลการกระตุ้นการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสในขั้นตอนการแช่ในสภาวะบรรยากาศ โดยการหมุนกวนให้สารละลายออสโมติกเคลื่อนที่ตลอดเวลาโดยใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว (Peristaltic pump) ซึ่งเป็นปั๊มที่ใช้หลักการรีดท่อที่บรรจุของเหลว โดยท่อจะพันรอบลูกรีดที่หมุนรอบตัวเอง จึงทำให้ของเหลวภายในท่อถูกบีบและปล่อยเป็นจังหวะมีผลให้ของเหลวเกิดการไหลเวียนตลอดเวลา

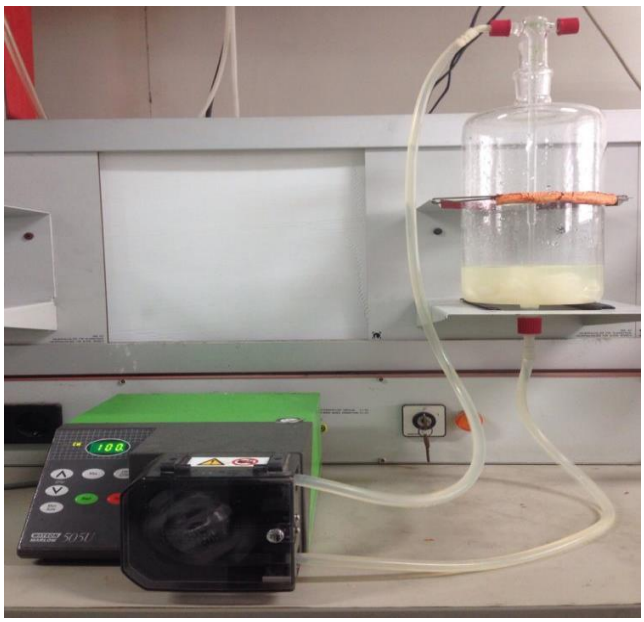
แปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดเป็น 3 ระดับ คือ 100 150 200 รอบต่อนาที โดยกำหนดให้การทดลองโดยไม่ใช้ Peristaltic pump เป็นตัวควบคุม ดังนั้นมีสิ่งทดลองรวม 4 สิ่งทดลอง แสดง ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

สิ่งทดลองที่	ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)
1	ไม่ใช้ปั๊ม
2	100
3	150
4	200

การออสโมซิสและการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

เตรียมตัวอย่างเงาะและสารละลายออสโมติกตามที่เลือกได้จากตอนที่ 2 การใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวใช้ในขั้นตอนการแช่ในสภาวะบรรยากาศ ดำเนินการโดยบรรจุชิ้นเงาะและสารละลายออสโมติกในภาชนะโหลแก้ว ซึ่งเชื่อมต่อกับสายยางที่ทำจากซิลิโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร และยาว 160 เซนติเมตร โดยสายยางพันรอบลูกรีดที่หมุนรอบตัวเองตามความเร็วที่กำหนด ปลายสายด้านหนึ่งต่ออยู่ที่ด้านบนของภาชนะ ส่วนอีกด้านหนึ่งอยู่ด้านล่างของภาชนะ แสดงดังภาพที่ 3-3 กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติกต่อชิ้นเงาะเท่ากับ 4 : 1 (โดยน้ำหนัก) โดยแช่ในสภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำตัวอย่างหลังการออสโมซิสมาชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) แล้วคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสารตามวิธีในตอนที่ 1



ภาพที่ 3-3 การใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวในการออสโมซิสเนื้อเงาะ เมื่อแช่ในสภาวะบรรยากาศ

การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อเงาะหลังการออสโมซิส

นำตัวอย่างเนื้อเงาะหลังการออสโมซิสมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Lane and Eynon, 1849)

3) ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

4) ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 2000)

5) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

6) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

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

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely randomized design) สำหรับทุกค่า ยกเว้นการทดสอบประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized complete block design) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ด้วยโปรแกรม SPSS

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูง รวมถึงมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆที่วัดได้

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ในขั้นตอนนี้เป็นการทำแห้งเพื่อลดความชื้นของเงาะหลังการออสโมซิสให้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) คือ มีความชื้นอยู่ในช่วง 15-55% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60-0.85 (Jay, 1998) นำเงาะที่ผ่านการออสโมซิสที่เลือกได้จากตอนที่ 3 และเงาะที่ไม่ผ่านการออสโมซิส มาทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60±2 °C ระดับความดัน 36 cmHg จนเหลือความชื้นเท่ากับ 15% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.90

การสร้างกราฟการทำแห้งเพื่อทำนายเวลาการทำแห้ง

ทำนายเวลาในการทำแห้งจากกราฟการทำแห้ง โดยสุ่มตัวอย่างเงาะที่ทำแห้งที่เวลาต่างๆ มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น กับระยะเวลาในการทำแห้ง พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการความสัมพันธ์ที่ได้โดยใช้เกณฑ์ในการ

พิจารณาจากค่า R^2 (Coefficient of determination) โดยหากมีค่ามากแสดงถึงสมการมีความน่าเชื่อถือสูง แล้วทำนายเวลาการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้น 15% จากสมการ นำเงาะมาทำแห้งตามเวลาที่ทำนายได้

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างเงาะกึ่งแห้งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส รวมถึงเงาะสดมาวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธีของ Lane-Eynon (AOAC, 1998)

3) ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

4) ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 1995)

5) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดค่าสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b* และรายงานค่าเป็น ΔE เทียบกับเงาะสด

6) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของเงาะกึ่งแห้งด้วยเครื่อง Texture analyzer

7) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ด้วยเครื่องวัด a_w

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

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา และเปรียบเทียบคุณภาพกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกล้วยอบ มผช.112/2546 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546) ซึ่งกำหนดไว้ว่า ต้องมีค่า a_w ไม่เกิน 0.75 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปริมาณ *E.coli* และ *S.aureus* ต้องไม่เกิน 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely randomized design) สำหรับทุกค่า ยกเว้นการทดสอบประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized complete block design) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ด้วยโปรแกรม SPSS

ตอนที่ 5 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

นำเงาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้มาบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (*Low Density Polyethylene)* เคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ *(Aluminium Foil)* ขนาด 4.5 x 8 นิ้ว บรรจุถุงละ 100 กรัม และปิดผนึกให้สนิท นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 $^{\circ}$C) ซึ่งเป็นการเลียนแบบสภาวะจริง

ของการจำหน่าย ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณความชื้น (Moisture content) (AOAC, 1990)

2) ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

3) ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 1995)

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

5) ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer

6) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ด้วยเครื่องวัด a_w

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

8) ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา (BAM, 2001)

ตอนที่ 6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้แก่ชุมชน โดยการจัดทำเอกสารโดยให้ความรู้เชิงเทคนิคในการแปรรูปเงาะกึ่งแห้งให้ได้คุณภาพมาตรฐาน โดยดำเนินการประสานงานส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล องค์การบริหารส่วนจังหวัด รวมถึงกลุ่มแม่บ้านในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี

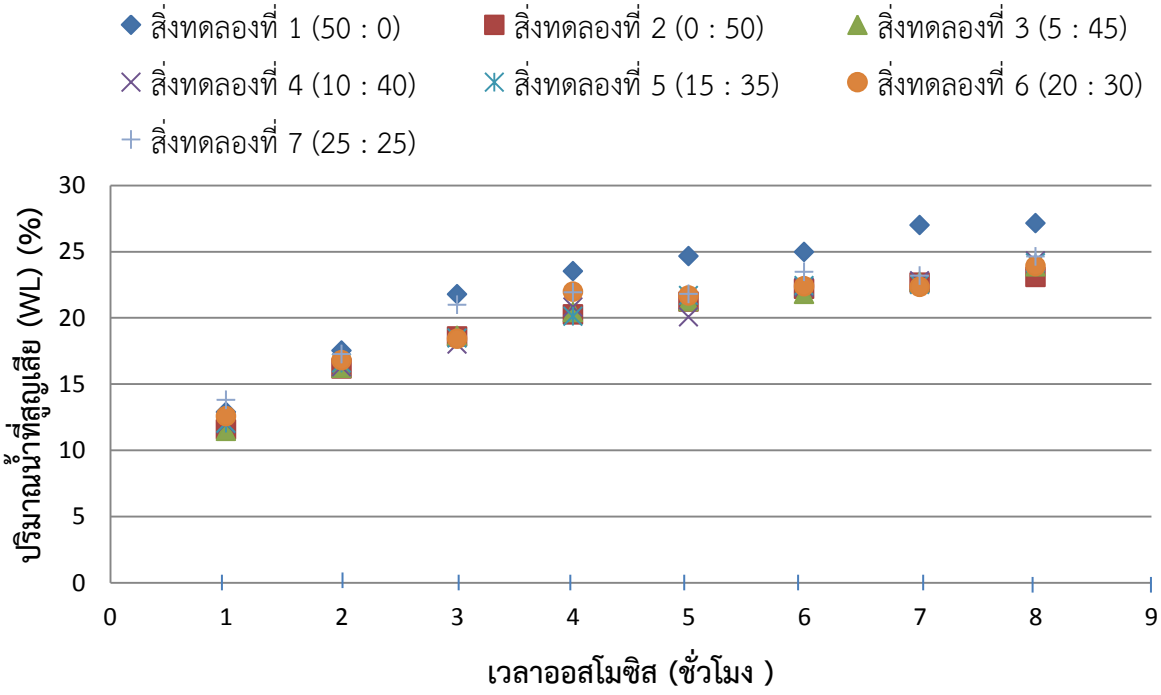
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส

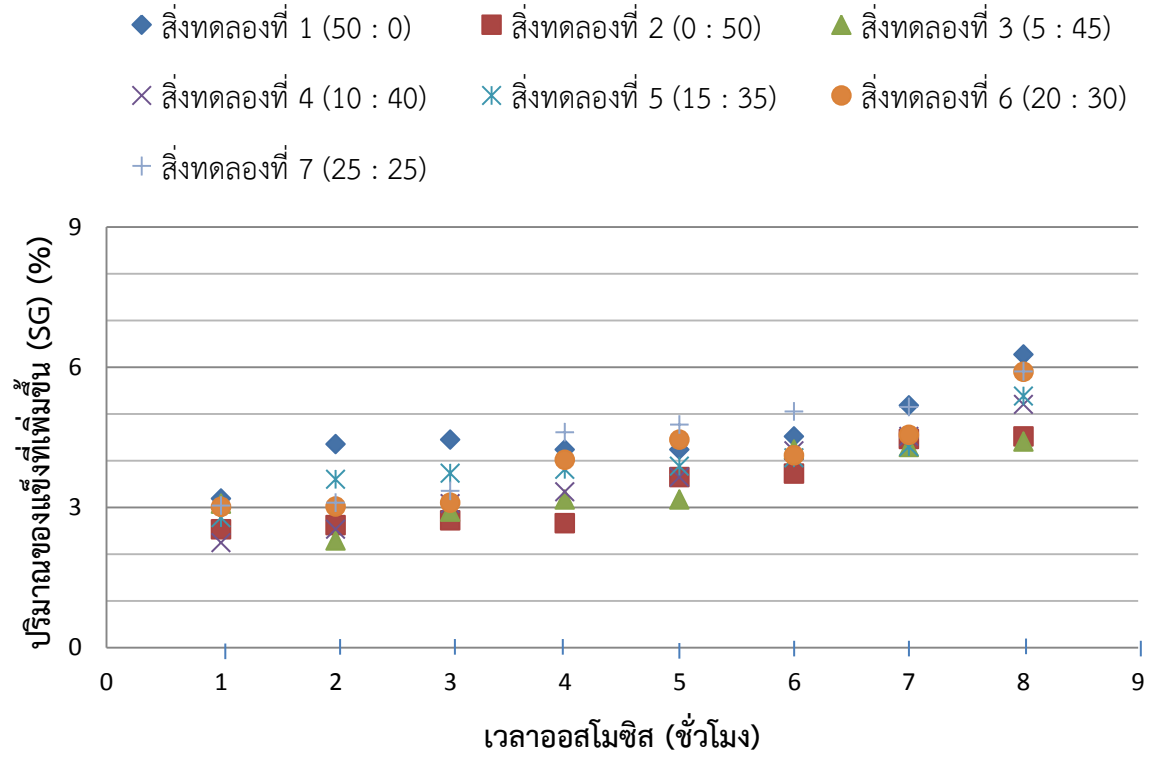
1. ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

อัตราการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิส เป็นผลตอบสนองที่สำคัญของการออสโมซิส ในการทดลองนี้ ศึกษาค่าการถ่ายเทมวลสาร 3 ค่า ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทมวลสารดังกล่าวกับเวลาในการออสโมซิสเงาะเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันดังภาพที่ 4-1 ถึง 4-3 ตามลำดับ พบว่าค่า WL SG และ WR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาในการออสโมซิส แสดงให้เห็นว่าเกิดการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายในระหว่างการออสโมซิส ค่า WL และ SG จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเป็นผลให้ชิ้นตัวอย่างมีน้ำหนักลดลงอย่างต่อเนื่อง ค่า WR จึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เป็นผลจากการเกิดแรงขับ (Driving force) จากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและความเข้มข้นภายในเซลล์ผลไม้ โดยน้ำภายในเซลล์ชิ้นผลไม้แพร่ออกสู่สารละลายออสโมติก ในขณะเดียวกันตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกแพร่สู่ภายในเซลล์ชิ้นผลไม้ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งมีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Torreggiani, 1993)

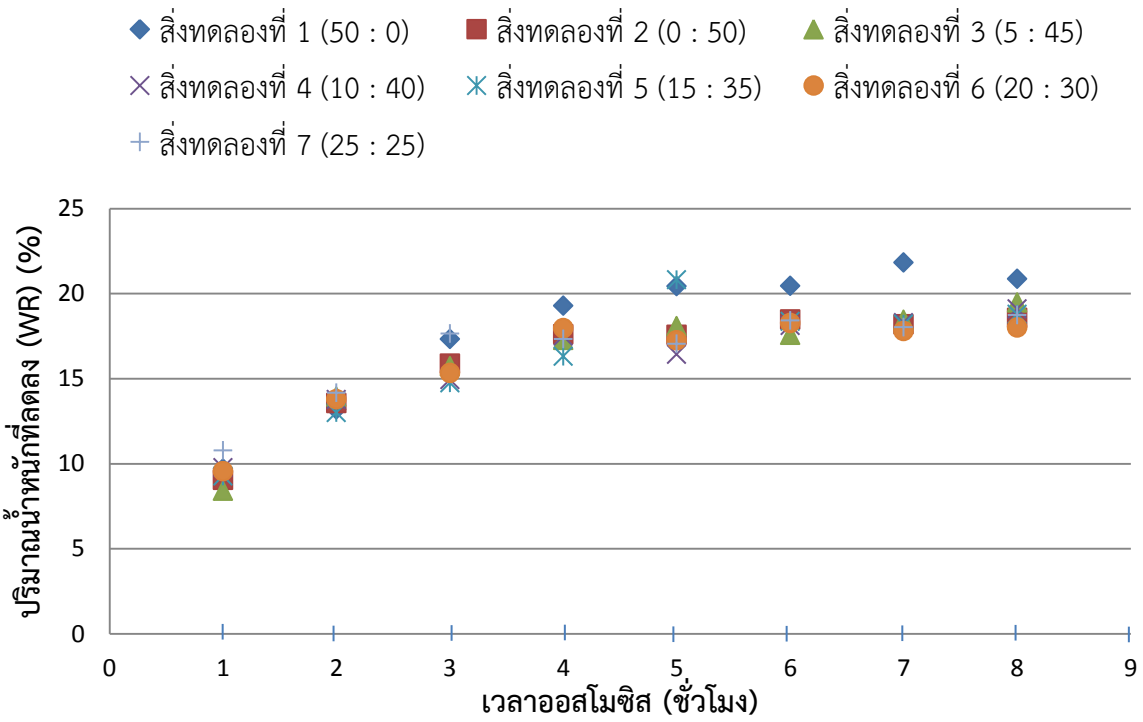
จากภาพที่ 4-1 ถึง 4-3 พบว่าค่า WL SG และ WR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงแรกของการออสโมซิส สังเกตได้จากกราฟมีความชันมาก เนื่องจากในช่วงแรกของการออสโมซิสมีความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นระหว่างภายในเซลล์ชิ้นเงาะและสารละลายออสโมติกมาก จึงเกิดแรงขับทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมาก ค่า WL SG และ WR จึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเวลาการออสโมซิสนานขึ้นจะเกิดการสะสมของน้ำที่แพร่กระจายออกมารอบๆ ชิ้นเงาะมากขึ้น ทำให้สารละลายออสโมติกมีความเข้นข้นลดลง ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกลดน้อยลง ทำให้แนวโน้มการถ่ายเทมวลสารลดลง สังเกตได้จากกราฟมีความชันลดลง และมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาในการออสโมซิสนานขึ้น โดยทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่าเริ่มคงที่ หรือเริ่มเปลี่ยนแปลงน้อยลงในช่วงเวลาการออสโมซิส 7-8 ชั่วโมง



ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียที่ลดลง (WL) กับเวลาในการออสโมซิสเงาะเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาในการออสโมซิสเงาะเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาในการออสโมซิสเจาะเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))

2. ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของชิ้นเจาะหลังการออสโมซิส

จากการนำชิ้นเจาะมาออสโมซิสโดยแช่ในสารละลายออสโมติกแบบสารละลายผสมที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายได้แก่ โอลิโกฟรุกโตส และซูโครสในระดับต่างๆ ทั้ง 7 สิ่งทดลอง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และสังเกตลักษณะปรากฏของชิ้นเจาะ พบว่าทุกสิ่งทดลองยังคงมีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างจากเจาะสดมากนัก โดยเนื้อเจาะยังมีรูปร่างเป็นชิ้นที่สมบูรณ์ไม่นิ่มเละ แต่มีการหดตัวลงจากเจาะสดเล็กน้อย ลักษณะของชิ้นเจาะหลังการออสโมซิสแสดงดังภาพที่ 4-4

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (50 : 0)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (0 :50)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (5 : 45)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (10 : 40)

(จ) สิ่งทดลองที่ 5 (15 : 35)

(ฉ) สิ่งทดลองที่ 6 (20 : 30)

(ช) สิ่งทดลองที่ 7 (25 : 25)

ภาพที่ 4-4 ลักษณะของชิ้นเจาะหลังการออสโมซิสทั้ง 7 สิ่งทดลอง (ก-ช) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-1 แสดงค่า WL SG และ WR ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 มีค่า WL SG และ WR สูงสุด ได้แก่ 27.14% 6.27% และ 20.87% ตามลำดับ ($p<0.05$) เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวเป็นการแช่ชิ้นเงาะในสารละลายซูโครสความเข้มข้นสูงจึงเกิดแรงดันออสโมติกสูง เป็นแรงขับภายในเซลล์ชิ้นเงาะมากทำให้เกิดการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นการใช้สารละลายโอลิโฟรุกโตสที่มีความเข้มข้นเท่ากับสารละลายซูโครส (50%) พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 มีค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR ต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากซูโครสเป็นน้ำตาลประเภทไดแซคคาร์ไรด์ที่ประกอบไปด้วยน้ำตาล 2 โมเลกุล มีมวลโมเลกุล 342.30 กรัม/โมล ซึ่งน้อยกว่าอิโกฟรุกโตสที่เป็นน้ำตาลประเภทโพลีแซคคาร์ไรด์ ประกอบด้วยน้ำตาล 2-10 โมเลกุล มีมวลโมเลกุล 828 กรัม/โมล (Khan, 2012) จึงทำให้ซูโครสสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในชิ้นเงาะได้ง่ายและเร็วกว่า มีแรงดันออสโมติกสูงกว่า จึงทำให้เกิดค่าการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Matusek et al. (2008) ที่รายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะโครงสร้างของน้ำตาลของสารละลายออสโมติกมีผลต่อการถ่ายเทมวลสารโดยจากการศึกษาการเปรียบเทียบชนิดของสารละลายออสโมติก ได้แก่ น้ำตาลซูโครสและโอลิโกฟรุกโตสในการออสโมซิสชิ้นแอปเปิ้ล พบว่าการใช้สารละลายโอลิโกฟรุกโตสทำให้แอปเปิ้ลมีปริมาณน้ำที่สูญเสียและของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำกว่าการใช้สารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นเดียวกัน

ผลการทดลองการทดแทนโอลิโกฟรุกโตสด้วยซูโครสในปริมาณ 5 10 15 20 และ 25% ในสิ่งทดลองที่ 3 4 5 6 และ 7 ตามลำดับ ต่อค่าการถ่ายเทมวลสารได้ผลการทดลองดังนี้ สำหรับค่า WL พบว่าการทดแทนโอลิโกฟรุกโตสด้วยซูโครสในปริมาณ 5-25% ทำให้ชิ้นเงาะมีค่า WLไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 23.89-24.64% สำหรับค่า SG พบว่าการทดแทนโอลิโกฟรุกโตสด้วยซูโครสในปริมาณ 5% ทำให้ชิ้นเงาะมีค่า SG ไม่แตกต่างกับการใช้โอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว ($p\geq0.05$) การแทนที่ด้วยโอลิโกฟรุกโตสด้วยซูโครสในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ชิ้นเงาะมีค่า SG เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) โดยการใช้ซูโครสในปริมาณ 10-25% ชิ้นเงาะที่ค่า SG อยู่ในช่วง 5.20-5.91% และค่า WR มีแนวโน้มคล้าย WL พบว่าการทดแทนโอลิโกฟรุกโตสด้วยซูโครสในปริมาณ 5-25% ทำให้ชิ้นเงาะมีค่า WR ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18.01-19.48% การที่ค่า WL และ WR ของชิ้นเงาะเมื่อทดแทนโอลิโกฟรุกโตสด้วยซูโครสที่ 5-25% ในการเตรียมสารละลายออสโมติกไม่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากการทดแทนโอลิโกฟรุกโตสด้วยซูโครสในปริมาณน้อยทำให้เกิดแรงดันออสโมติกที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แรงดันออสโมติกจึงเป็นผลจากโอลิโกฟรุกโตสเป็นสำคัญ ค่าการถ่ายเทมวลน้ำที่เกิดขึ้นจึงไม่แตกต่างกันมาก ในขณะที่ค่า SG ของชิ้นเงาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ซูโครสในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากซูโครสมีมวลโมเลกุลที่น้อยกว่าโอลิโกฟรุกโตสจึงสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในชิ้นเงาะได้ง่ายกว่าโอลิโกฟรุกโตส เมื่อทดแทนโอลิโกฟรุกโตสด้วยน้ำตาลซูโครสมากขึ้น จึงทำให้ซูโครสสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในชิ้นเงาะได้มากขึ้น ค่า SG จึงมากขึ้นตามปริมาณซูโครสที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาภาพโดยรวม พบว่าการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างโอลิโกฟรุกโตส (25-45%) ร่วมกับน้ำตาลซูโครส (5-25%) ทำให้ชิ้นเงาะหลัง

การออสโมซิสมีค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นจากการใช้สารละลายน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว (50%) เล็กน้อยเท่านั้น โดยมีค่า WL SG และ WR เพิ่มขึ้น 0.81-1.56% 0.68-1.39% และ 0.55-0.92% ตามลำดับเท่านั้น

ตารางที่ 4-1 ค่าการถ่ายเทมวลสารด้านปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))

สิ่งทดลองที่	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	WL	SG	WR
1 (50 : 0)	27.14± 0.25^{a}	6.27 ± 0.01^{a}	20.87 ± 0.82^{a}
2 (0 : 50)	23.08 ± 0.10^{c}	4.52 ± 0.01^{d}	18.56 ±0.21^{bc}
3 (5 : 45)	23.89 ± 1.32^{bc}	4.41 ± 0.01^{d}	19.48 ± 0.06^{b}
4 (10 : 40)	24.29 ± 0.03^{bc}	5.20 ± 0.02^{c}	19.09 ± 0.08^{b}
5 (15 : 35)	24.16 ± 1.08^{bc}	5.38 ± 0.36^{bc}	18.78 ± 0.11^{bc}
6 (20 : 30)	23.91 ± 0.14^{bc}	5.90 ± 0.01^{ab}	18.01 ± 0.93^{b}
7 (25 : 25)	24.64 ± 0.21^{b}	5.91 ± 0.01^{ab}	18.73 ± 0.05^{bc}

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

2) ความชื้นและ a_w

จากตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด (59.58%) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (61.63%) ($p<0.05$) โดยไม่แตกต่างกับปริมาณความชื้นของสิ่งทดลองที่ 3 (61.56%) ($p\geq0.05$) หากพิจารณาร่วมกับค่า WL ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากชิ้นเงาะพบว่าผลการทดลองมีความสอดคล้องกัน กล่าวคือสิ่งทดลองที่ 1 เป็นการใช้สาระลายซูโครสอย่างเดียวมีค่า WL สูงที่สุด จึงทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นคงเหลือต่ำที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 เป็นการใช้โอลิโกฟรุกโตสอย่างเดียวมีค่า WL ต่ำที่สุด จึงมีปริมาณความชื้นคงเหลือในชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมากที่สุด

จากตารางที่ 4-3 พบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ซึ่งอยู่ในช่วง 0.980-0.987 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า a_w ของเงาะสดพบว่าเงาะสดหลังการออสโมซิสมีค่า a_w ต่ำกว่าเงาะสด (0.988) การออสโมซิสทำให้ค่า a_w ของชิ้นเงาะต่ำลงได้เนื่องจากในการออสโมซิสเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสาร เกิดการแพร่ของน้ำภายในเซลล์สู่สารละลายภายนอก ในขณะเดียวกันตัวถูกละลายในที่นี่คือน้ำตาลแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ได้จึงเป็นการลดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และเพิ่มของแข็งให้กับอาหารเป็นผลให้ค่า a_w ของตัวอย่างลดลง (Lerici et al.,1985)

ตารางที่ 4-2 ปริมาณความชื้น (%) ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))

สิ่งทดลอง	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
1 (50 : 0)	59.58 ± 0.48 [c]
2 (0 : 50)	61.93 ± 0.69[a]
3 (5 : 45)	61.56 ± 0.48 [ab]
4 (10 : 40)	60.70 ± 1.24 [bc]
5 (15 : 35)	60.50 ± 0.31 [bc]
6 (20 : 30)	60.35 ± 0.28 [c]
7 (25 : 25)	60.01 ± 0.11 [c]

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

ตารางที่ 4-3 ค่า a_w ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมงเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส)

สิ่งทดลอง	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD [ns]
1 (50 : 0)	0.980 ± 0.005
2 (0 : 50)	0.987 ± 0.002
3 (5 : 45)	0.987 ± 0.005
4 (10 : 40)	0.985 ± 0.004
5 (15 : 35)	0.985 ± 0.003
6 (20 : 30)	0.984 ± 0.003
7 (25 : 25)	0.984 ± 0.004

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

3) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จากตารางที่ 4-4 แสดงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด (36.15 กรัม/100กรัม) ($p<0.05$) เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีมวลโมเลกุลน้อยกว่าโอลิโกฟรุกโตสจึงสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์เงาะได้ง่ายและรวดเร็วกว่า เกิดการสะสมอยู่ในชิ้นเงาะได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ จึงส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด และพบแนวโน้มว่าการใช้ซูโครสเพิ่มขึ้นจาก 0% 5% และ 10% ในสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 19.51 กรัม/100กรัม 27.11 กรัม/100กรัม และ 28.04 กรัม/100กรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มน้ำตาลซูโครสในสารละลายออสโมติก ทำให้เกิดการแพร่ของน้ำตาลเข้าไปในชิ้นเงาะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในชิ้นเงาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการใช้ซูโครสเพิ่มขึ้นจาก 10% 15% 20% และ 25% ในสิ่งทดลองที่ 4 5 6 และ 7 พบว่าชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่

แตกต่างกัน (28.04-28.80 กรัม/100กรัม) ($p \geq 0.05$) เนื่องจากการใช้สารละลายออสโมติกในระดับความเข้มข้นสูงมีโอกาสให้เกิดการแพร่ของน้ำออกมาจากชิ้นเงาะมาก เมื่อเวลาในการออสโมซิสผ่านไป น้ำที่อยู่ในชิ้นเงาะจะแพร่ออกมาอยู่ในสารละลายออสโมติกที่อยู่รอบๆ ชิ้นเงาะในปริมาณมาก ทำให้สารละลายมีโอกาสเจือจางลงมาก อาจส่งผลให้ความสามารถในการถ่ายเทมวลของของแข็งจากสารละลายออสโมติกน้อยลงหรือคงที่ และในกระบวนการออสโมซิสไม่มีการคนหรือกวนสารละลายออสโมติกซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยในเรื่องของการกระจายความเข้มข้นของสารลลายออสโมติกที่เข้มข้นมากกว่าไหลมาแทนที่สารละลายเจือจางกว่าที่จะช่วยทำให้การถ่ายเทมวลของของแข็งจากสารละลายออสโมติกสูงขึ้น (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535 ; Garrote et al., 1992 ; Mavroudis,1998)

ตารางที่ 4-4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส) (%w/w)

สิ่งทดลอง	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย ± SD (g/100g)
1 (50 : 0)	36.15 ± 0.54^{a}
2 (0 : 50)	19.51 ± 0.26^{d}
3 (5 : 45)	27.11 ± 0.31^{c}
4 (10 : 40)	28.04 ± 0.36^{bc}
5 (15 : 35)	28.34 ± 0.13^{b}
6 (20 : 30)	28.80 ± 0.38^{b}
7 (25 : 25)	28.60 ± 0.15^{b}

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

4) ค่าสี

จากการพิจารณาชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสด้วยสายตาแล้วพบว่าทุกสิ่งทดลองมีสีคล้ายกันมากจนไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ แต่เมื่อนำชิ้นเงาะมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี รายงานเป็นค่าสี L* a* และ b* และวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าการใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน มีผลต่อค่าสี L* และ b* ($p<0.05$) ของชิ้นเงาะแสดงผลค่าสีดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าสี L* a* และ b* ของชิ้นเงาะที่ผ่านออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))

สิ่งทดลอง	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	L*	a* [ns]	b*
1 (50 : 0)	53.07 ± 0.14[c]	-1.64 ± 0.07	8.40 ± 0.69[abc]
2 (0 : 50)	53.98 ± 0.35[a]	-1.77 ± 0.10	8.02 ± 0.34[c]
3 (5 : 45)	53.94 ± 0.17[b]	-1.75 ± 0.14	8.89 ± 0.55[ab]
4 (10 : 40)	53.94 ± 0.37[b]	-1.76 ± 0.04	8.97 ± 0.03[a]
5 (15 : 35)	53.62 ± 0.34[bc]	-1.67 ± 0.01	8.53 ± 0.15[abc]
6 (20 : 30)	53.44 ± 0.61[bc]	-1.67 ± 0.01	8.44 ± 0.16[abc]
7 (25 : 25)	53.39 ± 0.14[bc]	-1.71 ± 0.12	8.18 ± 0.01[bc]

[ns] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

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

โดยธรรมชาติชิ้นเงาะสดมีสีขาวขุ่น จากการทดลองเมื่อนำมาวัดค่าสี โดยใช้เครื่องมือวัดค่าสี พบว่ามีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 54.6 -2.15 และ 4.82 ตามลำดับ การออสโมซิสมีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารโดยน้ำในชิ้นเงาะลดลงในขณะที่มีตัวถูกละลายที่เป็นของแข็งเพิ่มขึ้น จึงมีผลให้เนื้อเยื่อของเงาะเรียงชิดตัวกันมากขึ้น และมีลักษณะทึบแสงมากขึ้น มีผลให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส มีค่า L* a* และ b* อยู่ในช่วง 54.07 - 53.94 (-1.64) - (-1.76) และ 8.02 - 8.97 ตามลำดับ จากตารางที่ 4-5 ด้านค่า L* (ค่าความสว่าง) พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 มีค่าความสว่างต่ำที่สุด (53.07) เนื่องจากมีการใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 % ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูง จึงเกิดแรงขับมาก น้ำจึงถูกดึงออกมาจากเซลล์ได้มาก รวมทั้งตัวถูกละลายที่เป็นของแข็งก็สามารถแพร่ไปในเซลล์เข้าได้มาก จึงมีโอกาสให้เนื้อเยื่อเรียงชิดกันมากขึ้นและมีลักษณะทึบแสงมากขึ้นจึงมีค่าความสว่างต่ำที่สุด และพบว่าเมื่อทดแทนโอลิโกฟรุกโตสด้วยซูโครสเพิ่มมากขึ้นในสิ่งทดลองที่ 2 3 4 5 6 และ7 ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีค่าความสว่างลดลงตามลำดับ ซึ่งโดยภาพรวมพบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่าความสว่างต่ำลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างเงาะสด สำหรับค่า a* พบว่ามีค่าเป็นลบ (-) แสดงถึงค่าความเป็นสีเขียว โดยค่า a* ของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยภาพรวมพบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่าความเป็นสีเขียวต่ำลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างสด สำหรับค่า b* มีค่าเป็นบวก (+) ซึ่งแสดงถึงค่าความเป็นสีเหลือง มีค่าอยู่ในช่วง 8.02-8.97 ซึ่งโดยภาพรวมพบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่า b* เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างเงาะสด ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Coralia Osorio et al. (2007) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรส ในระหว่างการออสโมซิสราสเบอร์รี่และมะเขือเทศในสารละลายออสโมติก 3 ชนิด ได้แก่ 1) ซูโครส 70% 2) สารละลายผสมระหว่างซูโครส 70% และกลีเซอรอล 65% ในอัตร่าส่วน 1 : 1 และ 3) เอทานอล พบว่าหลังการออสโมซิสทำให้ค่าสีของราสเบอร์รี่และมะเขือเทศมีความแตกต่างกันกับผลไม้สด ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มค่า L* a* มีค่าลดลง ส่วนค่า b* มีค่าเพิ่มขึ้น

5) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-6 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัส ของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบแต่ละด้านอยู่ในช่วง 6.20-6.87 6.23-6.70 และ 6.03-6.43 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงความชอบระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมและรสชาติ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม (5.33) และคะแนนความชอบด้านรสชาติ (5.50) น้อยที่สุด อยู่ในระดับเฉยๆ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีการใช้น้ำตาลซูโครส 50% อาจทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีรสชาติหวานมาก ส่งผลให้ผู้ทดสอบยอมรับรสชาติและผลิตภัณฑ์โดยรวมน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น สิ่งทดลองที่มีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสร่วมกับน้ำตาลซูโครส ส่งผลให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีความหวานน้อยกว่าการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว เนื่องจากน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสให้ความหวานประมาณ 30-50% ของน้ำตาลซูโครส (นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป. : Hering and Albrechtt, 2005) การใช้ผสมร่วมกันจึงทำให้สารละลายออสโมติกมีความหวานน้อยลง ส่งผลให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสไม่หวานมากจนเกินไป ผู้ทดสอบจึงยอมรับรสชาติและยอมรับผลิตภัณฑ์โดยรวมได้มากกว่าการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว โดยพบว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียวในสิ่งทดลองที่ 2 ทำให้ได้รับคะแนนความชอบรสชาติและความชอบโดยรวมมากกว่าการใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้สิ่งทดลองที่มีการใช้ซูโครสทดแทนโอลิโกฟรุกโตสในปริมาณ 5-25% ยังคงได้รับคะแนนความชอบรสชาติและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่มีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว โดยได้รับคะแนนความชอบรสชาติอยู่ในช่วง 6.03-6.38 และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.17-6.53 ซึ่งหมายถึงความชอบระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ตารางที่ 4-6 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส)

สิ่งทดลอง	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส^{ns}	คะแนนความชอบโดยรวม
1 (50 : 0)	6.73 ± 1.26	6.70 ± 1.12	5.50 ± 1.17^{b}	6.27 ± 1.11	5.33 ± 0.91^{b}
2 (0 : 50)	6.87 ± 1.20	6.52 ± 0.68	6.19 ± 0.94^{ab}	6.13 ± 1.36	6.23 ± 1.22^{a}
3 (5 : 45)	6.37 ± 1.50	6.67 ±1.06	6.38 ± 1.36^{a}	6.03 ± 1.63	6.30 ± 1.49^{a}
4 (10 : 40)	6.73 ± 1.26	6.65 ± 0.78	6.18 ± 1.08^{ab}	6.17 ± 1.02	6.17 ± 1.23^{a}
5 (15 : 35)	6.20 ± 1.24	6.23 ± 1.38	6.03 ± 1.16^{ab}	6.43 ± 1.33	6.33 ± 1.18^{a}
6 (20 : 30)	6.47 ± 1.01	6.37 ± 1.10	6.03 ± 1.22^{ab}	6.30 ± 0.99	6.53 ± 0.90^{a}
7 (25 : 25)	6.40 ± 1.43	6.37 ± 1.40	6.17 ± 1.56^{ab}	6.53 ± 0.94	6.53 ± 1.25^{a}

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

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

สำหรับคะแนนความชอบด้านรสชาติหากพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในตารางที่ 4-4 พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติน้อยที่สุด (5.50) โดยมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 36.16 g/100g ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 3 4 5 6 และ 7 ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (6.03-6.38) โดยมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วง 19.51-28.60 กรัม/100กรัม แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียวทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมาก จึงมีรสหวานมาก ส่งผลให้ผู้ทดสอบยอมรับรสชาติน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น ที่มีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสร่วมด้วย ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยกว่าจึงมีรสหวานน้อยจึงทำให้ผู้ทดสอบยอมรับรสชาติมากกว่า

3. ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดคือ เลือกสิ่งทดลองที่มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) และมีการใช้โอลิโกฟรุกโตสปริมาณมากที่สุด จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้สารละลายโอลิโกฟรุกโตส 50% มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง คือค่า WL SG และ WR เมื่อสิ้นสุดการออสโมซิสมีค่าเท่ากับ 23.08% 4.52% และ18.56% ตามลำดับ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเท่ากับ 6.23 และมีการใช้โอลิโกฟรุกโตสมากที่สุด ซึ่งใช้ปริมาณโอลิโกฟรุกโตสเท่ากับ 50% โดยไม่มีการใช้ซูโครส

ตอนที่ 2 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

จากการแปรปัจจัยที่ศึกษาในการออสโมซิสเงาะ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (1 และ 2%) ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (1 และ 2%) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (ใช้และไม่ใช้) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) จากการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ปริมาณความชื้น ค่า a_w ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่าความแน่นเนื้อ และแบบ Factorial in RCRD สำหรับความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม สรุปได้ตังตารางที่ 4-7

จากตารางที่ 4-7 พบว่าอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ปริมาณวิตามินซี ค่าความแน่นเนื้อ ความชอบด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม ($p<0.05$) อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทกับกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ($p<0.05$) อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณแคลเซียม ($p<0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทมีผลต่อค่า a_w ($p<0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อความชอบด้านรสชาติ ($p<0.05$) และอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านการใช้

สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณความชื้น ($p<0.05$) และ พบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏและความชอบด้านสี ($p\geq0.05$) ทั้งนี้รายละเอียดผลการทดลองแต่ละสิ่งทดลองแสดงดังภาคผนวก ลักษณะของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง (ก)-(ซ) เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ แสดงดังภาพที่ 4-5 พบว่าทุกสิ่งทดลองมีการหดตัวลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับชิ้นเงาะสด โดนยังคงมีรูปร่างเป็นชิ้นสมบูรณ์ไม่นิ่มเละ

ตารางที่ 4-7 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (AA) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (VI)

ค่าคุณภาพ	CL	AA	VI	CL × AA	CL × VI	AA × VI	CL × AA × VI
ค่า WL	*	ns	*	ns	ns	ns	*
ค่า SG	*	*	*	ns	ns	ns	*
ค่า WR	*	*	ns	ns	ns	ns	*
ปริมาณความชื้น	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	*	*	*	*	ns	ns	ns
ปริมาณแคลเซียม	*	*	*	ns	*	ns	ns
ปริมาณวิตามินซี	*	*	*	*	*	*	*
ค่า a_w	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ค่าความแน่นเนื้อ	*	ns	*	ns	ns	ns	*
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านสี	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านรสชาติ	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบโดยรวม	ns	*	ns	*	ns	ns	*

หมายเหตุ * หมายถึง มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

(ก) สิ่งทดลองที่ 1
(CL1 : AA1 : VI)

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

(ค) สิ่งทดลองที่ 3
(CL1 : AA2 : VI)

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

(จ) สิ่งทดลองที่ 5
(CL2 : AA1 : VI)

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

(ช) สิ่งทดลองที่ 7
(CL2 : AA2 : VI)

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

ภาพที่ 4-5 ลักษณะของชิ้นเจาะหลังการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง (ก)-(ซ) เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) กรดแอสคอร์บิก (AA) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (VI)

1. ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-8 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ จากตารางพบว่าสิ่งทดลองที่ 5 และ 7 ซึ่งการใช้แคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้มีค่า WL มากที่สุดเท่ากับ 23.90% และ 24.96% ตามลำดับ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้นสูงเป็นการเพิ่มความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก กับสารละลายภายในตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดแรงขับมากขึ้น จึงทำให้ถ่ายเทมวลน้ำออกจากตัวอย่างได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Silva et al. (2014) พบว่าจากการออสโมซิสสับปะรดโดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 40 และ 50% ร่วมกับการใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2 และ 4% พบว่าการใช้สารละลายซูโครส 50% ร่วมกับแคลเซียมแลคเตท 4% มีผลให้สับปะรดมีค่าการถ่ายเทมวลสารคือ WL มากที่สุด เนื่องจากเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นมากที่สุดจึงทำให้เกิดแรงดันออสโมติกสูงสุด สามารถกระตุ้นให้มวลน้ำถูกขับออกมามาก และทำให้ของแข็งสามารถแพร่เข้าไปได้มากเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการเติมเกลือแคลเซียมลงไปในสารละลายออสโมติกมีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร เนื่องจากแคลเซียมไอออนสามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลขององค์ประกอบที่บริเวณผนังเซลล์ของผักผลไม้ได้โดยเฉพาะโมเลกุลของเพคตินเกิดเป็นแคลเซียมแพคเตทที่มีผลต่อสมบัติทางกลของเนื้อเยื่อผักผลไม้ ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้ (Brett & Waldron, 1990) จากการตรวจเอกสารพบว่าการเติมแคลเซียมแลคเตทมีผลทั้งด้านลดและเพิ่มค่าการถ่ายเทมวลสารในการออสโมซิส สำหรับผลของการเติมเกลือแคลเซียมในสารละลายออสโมติกต่อการเพิ่มค่าการถ่ายเทมวลสารตัวอย่างเช่น Gras et al. (2003) พบว่าการเสริมแคลเซียมให้กับมะเขือม่วง (Eggplant) โดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศมีผลให้เกิดพันธะของแคลเซียมกับองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Cell wall) และมิดเดิลลาเมลลา (Middle lamellae) ที่จะทำให้เพิ่มพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของของเหลวได้จากการที่ผนังเซลล์มีลักษณะคม และแตกเปราะง่ายขึ้น และ Lewicki et al. (2001) พบว่าการออสโมซิสโดยการแช่มะเขือเทศในสารละลายผสมระหว่างซูโครส 61.5% และแคลเซียมคอลไรด์ 2% เป็นเวลา 180 นาที สามารถช่วยลดปริมาณน้ำลงได้ 20% และมีผลทำให้น้ำตาลซูโครสสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นมะเขือเทศได้ง่ายขึ้น เนื่องจากแคลเซียมสามารถสร้างพันธะกับเพคตินทำให้เกิดผลึกของแคลเซียมเพคเตทที่สามารถเกิดการทิ่มแทงเซลล์เนื้อเยื่อผลไม้ จึงเกิดโครงสร้างแบบเปิดทำให้สามารถเกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดีมากขึ้น

สำหรับผลการเติมเกลือแคลเซียมในสารละลายออสโมติกต่อการลดค่าการถ่ายเทมวลสาร ตัวอย่างเช่น Barrera et al. (2004) รายงานว่าการเติมแคลเซียมในสารละลายออสโมติกในการออสโมซิสชิ้นแอปเปิ้ลมีผลให้ค่าการถ่ายเทมวลสารลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาของแคลเซียมไอออนกับเนื้อเยื่อผลไม้ทำให้ผนังเซลล์มีความยืดหยุ่นตัวลดลง เกิดเป็นโครงร่างแข็งที่ขัดขวางการแพร่ออกของน้ำจากเซลล์

ส่วนการใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสช่วยทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารดีขึ้น เนื่องจากการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลง ทำให้ผนังเซลล์มีลักษณะมีความเป็นรู (Porosity) มากขึ้น อาจกล่าวได้ว่าการลดลงของความดันในสภาวะสุญญากาศ

ทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัดยุบตัวลงและอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย เมื่อนำมาแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศทำให้เนื้อเยื่อเกิดการคลายตัว สารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปสัมผัสกับเซลล์ผลไม้ได้มากขึ้น เป็นผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้นโดยน้ำหรือสารต่างๆที่อยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างเซลล์จะแพร่ออกมาได้ง่ายจากผนังเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีความเป็นรูมากขึ้น (Fito et al., 1995; Chafer et al., 2003)

สำหรับค่า SG พบว่าสิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งมีการใช้แคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกในระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้มีค่า SG มากที่สุดเท่ากับ 11.96% ($p<0.05$) เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีการใช้แคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกในปริมาณมากที่สุด ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณตัวถูกละลายให้กับสารละลายออสโมติก ส่งผลให้เกิดแรงขับมากขึ้นและเป็นสิ่งทดลองที่ใช้สภาวะสุญญากาศกระตุ้นให้เกิดการแพร่มากขึ้นด้วย จึงทำให้ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจึงมีโอกาสแพร่เข้าสู่ตัวอย่างได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 ซึ่งมีการใช้แคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกในระดับต่ำ (1%) ทำให้มีค่า SG ต่ำที่สุดเท่ากับ 5.24% และ 4.90% ตามลำดับ ($p<0.05$) เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีปริมาณตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น จึงทำให้มีโอกาสเกิดการแพร่เข้าสู่ตัวอย่างได้น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นนั่นเอง แม้จะใช้หรือไม่ใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วยก็ตาม การออสโมซิสในสภาวะที่เป็นกรดอาจมีผลให้เนื้อเยื่อถูกทำลายได้ง่ายขึ้นและเอื้อต่อการแพร่ของมวลสารในระหว่างการออสโมซิส ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วนิดา สระทองคำ และปราณี อ่านเปรื่อง. (2543) พบว่าการออสโมซิสฟักทองโดยใช้กรดซิตริกร่วมกับซูโครสไซรัป ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ WL และ SG มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดซิตริกที่ใช้ ($p<0.05$)

สำหรับค่า WR เป็นน้ำหนักสุทธิที่ลดลงหลังการออสโมซิส หากมีการถ่ายเทมวลน้ำออกจากตัวอย่างมากและมีการถ่ายเทมวลของแข็งเข้าสู่ตัวอย่างน้อย เป็นผลให้ค่า WR มีค่ามากโดยมักแปรตามปริมาณน้ำที่สูญเสียเป็นสำคัญ ซึ่งโดยปกติในกลไกการออสโมซิสจะเกิดการถ่ายเทมวลน้ำออกจากตัวอย่างมากกว่าการถ่ายเทมวลของแข็งเข้าสู่ตัวอย่าง เนื่องจากในกลไกการถายเทมวลสารจะเกิดการแพร่ของน้ำจากเซลล์และการแพร่ของของแข็งจากตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกโดยเคลื่อนที่แบบสวนทางกันโดยมีผนังเซลล ทำหน่าที่เปนเยื่อเลือกผาน ซึ่งจะยอมให้น้ำสามารถแพรผานมากกวาตัวถูกละลายซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญกวาโมเลกุลของน้ำ จึงทำให้การแพรของของแข็งเกิดขึ้นได้น่อยกวาการแพร่ของน้ำ (Torregiani, D., 1993) ดังนั้นจากผลการทดลองในตารางที่ 4-8 พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 และ 2 มีค่า WR มากที่สุดเท่ากับ 16.31% และ 15.37% ตามลำดับ ($p<0.05$) เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มค่า WL สูง (23.90- 24.96%) ในขณะที่ค่า SG ต่ำ (5.24 - 4.90%)

2. ปริมาณความชื้นและค่า a_w

เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส จึงแสดงผลดังตารางที่ 4-9 พบว่าสิ่งทดลองที่ใช้สภาวะสุญญากาศมีผลทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้น 60.68% ซึ่งลดลงมากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ใช้สุญญากาศ ที่มีปริมาณความชื้น 62.41% ($p<0.05$) ความชื้นหลังการออสโมซิสเป็นผลโดยตรงที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์

กับค่าการถ่ายเทมวลสาร หากมีการถ่ายเทมวลสารมากโดย มีค่า WL SG และ WR มาก เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ลดลง ซึ่งผลการทดลองด้านค่า WL SG และ WR (ตารางที่ 4-8) พบแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะที่พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้สภาวะสุญญากาศมีแนวโน้มค่าการถ่ายเทมวลสารมาก ดังนั้นสิ่งทดลองที่มีการใช้สภาวะสุญญากาศจึงมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้สภาวะสุญญากาศ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jissy et al. (2012) ศึกษาผลของการออสโมซิส ชิ้นมะม่วง ผลเชอร์รี่ และผลบลูเบอร์รี่ โดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศภายใต้ความดัน 35-40 mmHg 2 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการใช้สภาวะสุญญากาศมีความชื้นต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้สภาวะสุญญากาศ

เนื่องจากอิทธิพลจากปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทมีผลต่อค่า a_w ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส จึงแสดงผลดังตารางที่ 4-10 พบว่าสิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) มีผลทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีค่า a_w เท่ากับ 0.901 ซึ่งลดลงมากกว่าสิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับต่ำ (1%) ที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.912 ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับสูง (2%) ทำให้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นสูงมากขึ้น เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกกับสารละลายในตัวอย่างส่งผลให้เกิดแรงขับมาก จึงทำให้มีการถ่ายเทมวลสารมาก โดยน้ำสามารถแพร่ออกจากชิ้นเงาะได้มากและตัวถูกละลายซึ่งหมายถึงน้ำตาล กรดแอสคอร์บิก และแคลเซียมแลคเตทแพร่เข้ามาในชิ้นเงาะมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาณน้ำอิสระในชิ้นเงาะจึงมีโอกาสลดลงมาก Torreeggiani (1993) กล่าวว่าการออสโมซิสเป็นกระบวนการที่สามารถช่วยลดค่า a_w ของอาหารได้โดยการเคลื่อนย้ายของน้ำภายในเซลล์ของผักผลไม้ที่เกิดสวนทางกับการเคลื่อนย้ายของตัวถูกละลายของสารละลายออสโมติกจะทำให้ปริมาณน้ำในผักผลไม้ลดลง ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น และทำให้น้ำหนักสุทธิลดลงได้ รวมถึงทำให้ค่า a_w ของผักผลไม้ลดลงด้วย นอกจากนี้พบรายงานว่าแคลเซียมแลคเตทมีผลโดยตรงต่อการลดค่า a_w พบว่าการใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลและแคลเซียม ทำให้ค่า a_w ของมะเขือเทศลดลงจาก 0.995 เมื่อใช้สารละลายน้ำตาลอย่างเดียว เหลือ 0.974-0.978 เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลและแคลเซียม (Lewicki et al., 2001)

ตารางที่ 4-8 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
				WL	SG	WR
1	1	1	ใช้	21.55 ± 1.18^{b}	5.24 ± 0.86^{d}	16.31 ± 1.11^{a}
2	1	1	ไม่ใช้	20.27 ± 1.18^{b}	4.90 ± 1.14^{d}	15.37 ± 1.12^{ab}
3	1	2	ใช้	21.74 ± 0.66^{b}	7.86 ± 1.42^{bc}	13.88 ± 1.86^{bc}
4	1	2	ไม่ใช้	20.48 ± 1.12^{b}	6.82 ± 0.91^{cd}	13.66 ± 0.85^{bc}
5	2	1	ใช้	23.90 ± 0.81^{a}	9.61 ± 1.22^{b}	14.29 ± 0.67^{bc}
6	2	1	ไม่ใช้	21.85 ± 0.67^{b}	8.38 ± 1.20^{bc}	13.47 ± 0.72^{bc}
7	2	2	ใช้	24.96 ± 0.97^{a}	11.96 ± 1.44^{a}	13.00 ± 0.59^{c}
8	2	2	ไม่ใช้	22.01 ± 0.83^{b}	9.34 ± 0.74^{b}	12.67 ± 0.94^{c}

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

ตารางที่ 4-9 ผลของการใช้สภาวะสุญญากาศต่อปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะเหลังการออสโมซิส

การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
ใช้	60.68 ± 1.15^{b}
ไม่ใช้	62.41 ± 1.01^{a}

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

ตารางที่ 4-10 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทต่อค่า a_w ของชิ้นเงาะเหลังการออสโมซิส

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	ค่า a_wเฉลี่ย ± SD
1	0.912 ± 0.005^{a}
2	0.901 ± 0.012^{b}

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

3. ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทกับกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-11 พบว่าสิ่งทดลองที่มีการใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิกทั้งสองระดับ (1% และ 2%) ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงกว่าสิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกในระดับต่ำ (1%) ร่วมกัน หากพิจารณาผลรวมความเข้มข้นของการใช้แคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิก พบว่า หากมีความเข้มข้นรวมกันเท่ากับ 3%-4% มีผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในชิ้นเงาะสูงกว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นรวมกันเท่ากับ 2% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง ส่งผลให้เพิ่มแรงขับในการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น น้ำตาลซึ่งเป็นตัวถูกละลายปริมาณมากในสารละลายออสโมติกจึงสามารถแพร่เข้าสู่ชิ้นเงาะได้มากขึ้น นอกจากนี้การเติมสารละลายแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติกมีผลช่วยให้การถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากขึ้นโดยตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นผลไม้ได้มากขึ้นเนื่องจากแคลเซียมไอออนจะเข้าไปสร้างพันธะกับเพคตินที่ผนังเซลล์ทำให้เกิดโครงสร้างที่ทิ่มแทงเซลล์เนื้อเยื่อของชิ้นผลไม้ จึงเกิดโครงสร้างแบบเปิดจึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้น (Lewicki et al., 2001) น้ำตาลที่อยู่ในสารละลายออสโมติก จึงมีโอกาสแพร่เข้าไปในชิ้นเงาะได้มากขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4-11 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิกต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย ± SD (g/100g)
1	1	24.16 ± 0.96[b]
	2	25.87 ± 0.32[a]
2	1	25.86 ± 1.18[a]
	2	25.86 ± 0.74[a]

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

4. ปริมาณแคลเซียม

เนื่องจากอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณแคลเซียมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส จึงแสดงผลดังตารางที่ 4-15 ผลการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 3.41 มิลลิกรัม/100 กรัม ($p<0.05$) เนื่องจากเมื่อใช้สภาวะสุญญากาศทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัด ยุบตัวลง และอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย อาจกล่าวได้ว่าเป็นสภาวะที่สามารถกระตุ้นให้ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกแพร่เข้าไปในเซลล์ของชิ้นเงาะได้มาก แคลเซียมแลคเตทสามารถละลายน้ำได้และแตกตัวเป็นแคลเซียมไอออนอยู่ในสารละลายออสโมติก การใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับสูงจึงเป็นการเพิ่มปริมาณแคลเซียมไอออนที่แตกตัวในสารละลายออสโมติก จึงเพิ่มโอกาสให้โดยการแพร่ของแคลเซียมไอออนเข้าไปในเซลล์ของชิ้นเงาะได้มากกว่าการใช้แคลเซียมแลคเตทระดับต่ำ (1%) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Barrera et al. (2004) ที่กล่าวว่าการเติมแคลเซียมความเข้มข้น 2% ในสารละลายออสโมติกทำให้ชิ้นแอปเปิ้ลหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว และการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศสามารถทำให้แคลเซียมแพร่เข้าสู่ชิ้นแอปเปิ้ลได้มากกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้ Gras et al. (2003) ศึกษาการเสริมแคลเซียมเข้าไปในชิ้นมะเขือม่วง เห็ดนางรม และแครอท พบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศ 50 mbar 10 นาที สามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมในชิ้นอาหารได้ โดยใช้ในรูปของสารละลายผสมของซูโครสกับแคลเซียมแลคเตท (33g Sucrose/20g Cacium Latate) โดยพบว่าการแช่ชิ้นมะเขือม่วง เห็ดนางรม และแครอทในสารละลายผสมดังกล่าวทำให้มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 1.80 กรัม/100 กรัม 1.39 กรัม/100 และ 2.70 กรัม/100 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-12 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และสภาวะสุญญากาศต่อปริมาณแคลเซียมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ± SD (mg/100g)
1	ใช้	1.04 ± 0.35^{c}
	ไม่ใช้	0.67 ± 0.13^{c}
2	ใช้	3.41 ± 0.24^{a}
	ไม่ใช้	2.36 ± 0.53^{b}

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

5. ปริมาณวิตามินซี

จากตารางที่ 4-13 แสดงปริมาณวิตามินซีของเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ จากตารางพบว่าสิ่งทดลองที่ใช้แอสคอร์บิกระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุดเท่ากับ 1615.37 มิลลิกรัม/100 กรัม ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมกับการออสโมซิสสามารถกระตุ้นการแพร่ของตัวถูกละลายได้ และการใช้ความเข้มข้นของแอสคอร์บิกความเข้มข้นสูง ช่วยเพิ่มโอกาสให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นเงาะมากกว่าการใช้แอสคอร์บิกความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hironaka et al. (2011) ศึกษาการเสริมปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ พบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะความดัน 70 cmHg เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ช่วยทำให้เพิ่มปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งเพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิกรัม/100 กรัม เป็น 130 มิลลิกรัม/100 กรัม

จากผลการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ซึ่งมีการใช้แคลเซียมแลคเตทระดับต่ำ (1%) ร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิกระดับสูง (2%) มีแนวโน้มทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าสิ่งทดลองที่ 7 และ 8 ซึ่งมีการใช้แคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิกระดับสูง (2%) ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมแคลเซียมแลคเตทมากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณวิตามินซีในชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสต่ำลง อาจเนื่องจากแคลเซียมไอออนจะเข้าไปสร้างพันธะกับเพคตินที่ผนังเซลล์ทำให้เกิดโครงสร้างที่ทิ่มแทงเซลล์เนื้อเยื่อของชิ้นผลไม้ จึงเกิดโครงสร้างแบบเปิดจึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้น (Lewicki et al., 2001) จึงทำให้น้ำตาลที่อยู่ในสารละลายออสโมติกซึ่งเป็นสารโมเลกุลใหญ่มีโอกาสแพร่เข้าไปได้มาก และเมื่อมีการแพร่เข้าของน้ำตาลมากจึงมีโอกาสให้เกิดฟิล์มบางๆ เคลือบที่ชิ้นอาหารระหว่างการออสโมซิสทำให้ขัดขวางการแพร่ของตัวถูกละลายอื่นในสารละลายออสโมติกได้ (Fagli and Ahani, 2010) จึงอาจทำให้ขัดขวางการแพร่เข้าของแอสคอร์บิกบางส่วนได้ จากผลการทดลองยังพบว่าสิ่งทดลองที่ 5 และ 6 ซึ่งมีการใช้แคลเซียมแลคเตท (2%) ร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิกระดับต่ำ (1%) มีแนวโน้มทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีต่ำที่สุด เนื่องจากใช้แคลเซียมแลคเตทมาก และใช้กรดแอสคอร์บิกน้อย แต่อย่างไรก็ตามการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วยในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสก็มีผลช่วยให้ชิ้นเงาะมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าการไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ โดยสิ่งทดลองที่

5 (ใช้สภาวะสุญญากาศ) มีปริมาณวิตามินซีมากกว่าสิ่งทดลองที่ 6 (ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ) ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-13 ปริมาณวิตามินซีของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย ± SD (mg/100g)
1	1	1	ใช้	739.20 ± 1.64[e]
2	1	1	ไม่ใช้	735.12 ± 5.09[e]
3	1	2	ใช้	1615.37 ± 4.69[a]
4	1	2	ไม่ใช้	1517.64 ± 9.67[b]
5	2	1	ใช้	558.78 ± 3.48[f]
6	2	1	ไม่ใช้	531.36 ± 8.47[g]
7	2	2	ใช้	1035.82 ± 3.07[c]
8	2	2	ไม่ใช้	1006.47 ± 8.48[d]

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

6. ค่าความแน่นเนื้อ

ค่าความแน่นเนื้อสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ซึ่งหมายถึงแรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหารตามระยะทางที่กำหนด ซึ่งแสดงถึงความแข็งหรือความนุ่มของผลิตภัณฑ์อาหาร ถ้าอาหารที่มีความแข็งมาก แรงที่ใช้ฟันกัดอาหารในครั้งแรกก็จะมีค่ามาก (Alvarez, 1995) เนื่องจากอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จึงแสดงผลดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย ± SD (N)
1	1	1	ใช้	17.78 ± 0.74^{c}
2	1	1	ไม่ใช้	17.08 ± 0.27^{c}
3	1	2	ใช้	18.07 ± 0.24^{c}
4	1	2	ไม่ใช้	17.55 ± 0.39^{c}
5	2	1	ใช้	20.96 ± 0.78^{a}
6	2	1	ไม่ใช้	19.61 ± 0.69^{b}
7	2	2	ใช้	21.04 ± 0.66^{a}
8	2	2	ไม่ใช้	20.96 ± 0.72^{ab}

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

จากตารางที่ 4-14 พบว่าสิ่งทดลองที่ 5 และ 7 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุดเท่ากับ 20.96 และ21.04 N ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของการเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติก โดยแคลเซียมจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวและทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น จึงส่งผลให้เนื้อเยื่อผักผลไม้มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2546) โดยเกลือแคลเซียมจะแตกตัวให้แคลเซียมไอออน และทำปฏิกิริยากับเพคตินในชิ้นผลไม้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (Cross link) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล โดยแคลเซียมไอออนทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิล บนสายของเพคตินสายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสายเพคตินอีกสายหนึ่ง เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตท ซึ่งไม่ละลายน้ำทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง และแน่นเนื้อมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2556) Pereira et al. (2010) รายงานว่าในการออสโมซิสฝรั่งโดยแช่ในสารละลายซูโครสหรือมอลโตสที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1.5% ทำให้ชิ้นฝรั่งมีความแน่นเนื้อมากกว่าการออสโมซิสโดยไม่เติมแคลเซียมแลคเตท จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคพบว่าผนังเซลล์ของฝรั่งมีลักษณะเป็นผลึกหนาขึ้น เมื่อแช่ฝรั่งในสารละลายออสโมติกที่เติมแคลเซียมแลคเตท แต่อย่างไรก็ตามเซลล์ยังเกิดปรากฏการณ์พลาสโมไลซิส (Plasmolysis) ได้ โดยของเหลวภายในเซลล์สามารถแพร่ออกจากเซลล์ได้ ดังนั้นการใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตทในระดับสูงจึงเป็นการเพิ่มโอกาสที่แคลเซียมไอออนสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ของชิ้นเงาะได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนการใช้สภาวะสุญญากาศสามารถช่วยให้เกิดการกระตุ้นการแพร่ของแคลเซียมไอออนในสารละลายออสโมติกให้เข้าไปในเนื้อเยื่อชิ้นเงาะได้มากขึ้นจึงช่วยทำให้โครงสร้างแน่นแข็งขึ้นนั่นเอง ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gras et al. (2003) ศึกษาการเสริมแคลเซียมเข้าไปในชิ้นมะเขือม่วง แครอทและเห็ดนางรม พบว่าการแช่ในสภาวะสุญญากาศ 50 mbar 10 นาที พบว่าสามารถเสริมแคลเซียมให้กับชิ้นมะเขือม่วงได้ 51%-62% ชิ้นแครอท 3%-6% และเห็ดนางรม 41% โดยการเสริม

แคลเซียมทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงขึ้น ในกรณีของแครอทพบว่าผลการพิจารณาโครงสร้างทางจุลภาคแสดงให้เห็นว่า แคลเซียมจะสร้างพันธะกับส่วนประกอบที่ผนังเซลล์บริเวณพาเลนไคมา (Parenchyma) ทำให้เป็นผลึกแข็ง จึงมีผลให้แครอทมีความแน่นเนื้อและแข็ง

7. ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการนำชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าทั้ง 8 สิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.47-7.28 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง แต่มีความแตกต่างกันด้านความชอบรสชาติและความชอบโดยรวม ($p<0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4-15 พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 2 5 และ 6 มีการใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับต่ำ (1%) ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ และคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนด้านความชอบรสชาติอยู่ในช่วง 6.27-7.08 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.17-6.87 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการใช้แอสคอร์บิกในระดับต่ำ 1% ทำให้สารละลายออสโมติกมีรสเปรี้ยวน้อยกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับ 2% ส่งผลให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีรสชาติไม่เปรี้ยวมากจนเกินไป ผู้ทดสอบจึงยอมรับรสชาติและยอมรับผลิตภัณฑ์โดยรวมได้มากกว่า โดยหากพิจารณาร่วมกับปริมาณวิตามินซีในชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสในตารางที่ 4-13 พบว่าสิ่งทดลองที่ใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับต่ำ (1%) ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 531.36-739.20 mg/100g ในขณะที่สิ่งทดลองที่ใช้แอสคอร์บิกระดับสูง (2%) ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 1006.47-1615.37 mg/100g ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าแม้ชิ้นเงาะมีปริมาณวิตามินซีปริมาณมาก แต่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับในรสชาติเปรี้ยวนั่นเอง อย่างไรก็ตามปริมาณวิตามินซีที่แนะนำให้บริโภคของคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไปควรได้รับวิตามินซี 60 มิลลิกรัม/วัน (ปราณี มีศิริสุข, 2553) ซึ่งปริมาณวิตามินซีในสิ่งทดลองที่ใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับต่ำ (1%) มีแนวโน้มให้วิตามินซีปริมาณมากเพียงพอกับการบริโภคแล้ว

หากพิจารณาผล ANOVA ในตารางที่ 4-7 พบว่าปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทมีผลต่อคะแนนความชอบเนื้อสัมผัส จากตารางที่ 4-16 พบว่าเมื่อใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับสูง (2%) ทำให้ได้รับคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสมากกว่าการใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับต่ำ (1%) ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมแคลเซียมแลคเตทลงในสารละลายออสโมติกมาก ทำให้เนื้อสัมผัสของชิ้นเงาะแน่นเนื้อมากขึ้น เนื่องจากแคลเซียมแลคเตทสามารถจับกับเพคตินที่มีอยู่ในชิ้นเงาะ ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง และเกิดความแน่นเนื้อมากขึ้น ผู้ทดสอบจึงยอมรับเนื้อสัมผัสมากกว่า โดยหากพิจารณาร่วมกับค่าความแน่นเนื้อในตารางที่ 4-14 ซึ่งเป็นผลจากปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทเช่นเดียวกัน พบว่าสิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 19.61-21.04 N ในขณะที่สิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับต่ำ (1%) ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 17.08 - 18.07 N แสดง

ให้เห็นว่าค่าความแน่นเนื้อของชิ้นเงาะมีผลต่อความชอบเนื้อสัมผัสของผู้ทดสอบโดยมีแนวโน้มให้คะแนนความชอบมากขึ้นเมื่อเนื้อสัมผัสแน่นแข็งจากค่าความแน่นเนื้อที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-16 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัสของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	ความชอบด้านเนื้อเนื้อสัมผัส
1	6.81 ± 0.92^{b}
2	7.09 ± 0.85^{a}

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

ตารางที่ 4-15 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลอง	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
				ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส ^{ns}	คะแนนความชอบโดยรวม
1	1	1	ใช้	6.47 ± 0.93	7.03 ± 1.24	6.33 ± 0.80^{a}	6.83 ± 1.23	6.17 ± 0.65 ^{b}
2	1	1	ไม่ใช้	7.00 ± 1.26	6.97 ± 1.19	6.27 ± 1.04 ^{a}	6.84 ± 0.55	6.17 ± 0.95 ^{b}
3	1	2	ใช้	6.80 ± 1.30	6.73 ± 1.17	4.37 ± 1.68 ^{b}	6.82 ± 0.88	5.47 ± 0.68 ^{c}
4	1	2	ไม่ใช้	7.07 ± 1.46	6.80 ± 1.35	4.87 ± 1.77 ^{b}	6.72 ± 0.83	5.80 ± 0.80 ^{bc}
5	2	1	ใช้	6.90 ± 1.12	7.15 ± 0.82	7.08 ± 0.93 ^{a}	7.28 ± 0.79	6.87 ± 0.94 ^{a}
6	2	1	ไม่ใช้	7.08 ± 1.16	6.67 ± 1.27	6.50 ± 1.02 ^{a}	6.90 ± 0.99	6.68 ± 0.75 ^{a}
7	2	2	ใช้	6.90 ± 1.27	6.87 ± 1.20	4.53 ± 1.38 ^{b}	7.10 ± 0.77	5.40 ± 0.89 ^{c}
8	2	2	ไม่ใช้	6.70 ± 1.37	6.83 ± 1.32	4.60 ± 1.69 ^{b}	7.11 ± 0.80	5.33 ± 0.99 ^{c}

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

8. ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดคือ เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) ปริมาณแคลเซียมและปริมาณวิตามินซีสูง รวมถึงมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอย่างน้อย 6 คะแนน ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 1 2 5 และ6 เมื่อพิจารณาสิ่งทดลองดังกล่าวพบว่า สิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตท 2% ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก 1% เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 6.87 และมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 3.23 มิลลิกรัม/100 กรัม และมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 558.78 มิลลิกรัม/100 กรัม โดยมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง คือค่า WL SG และ WR มีค่าเท่ากับ 23.90% 9.61% และ 14.29% ตามลำดับ

ตอนที่ 3 ผลการหมุนกวนสารละลายออสโมติกโดยใช้ Peristaltic pump

1. ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-17 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส พบว่าระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดปั้มดูดจ่ายของเหลว มีผลต่อค่า WL และ WR ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่า SG ($p\geq0.05$) โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 200 รอบ/นาที ทำให้เงาะหลังการออสโมซิสมีค่า WL และ WR สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 25.98% และ16.19% ตามลำดับ ($p<0.05$) ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับการไม่ใช้ปั้มดูดจ่ายของเหลวทำให้เงาะหลังการออสโมซิสมีค่า WL และ WR เท่ากับ 23.01% และ 13.42% คิดเป็นการทำให้ค่า WL และWR เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.97% และ 2.77% ตามลำดับ เนื่องจากในระหว่างการออสโมซิสเกิดแรงขับจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและความเข้มข้นภายในเซลล์ผลไม้ โดยน้ำภายในเซลล์ชิ้นผลไม้แพร่ออกสู่สารละลายออสโมติกทำให้สารละลายออสโมติกรอบชิ้นผลไม้มีความเจือจางลง เมื่อมีการใช้สภาวะการคนหรือการกวน ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเกิดการเคลื่อนที่และกระจายตัวมากขึ้น ส่งผลให้เพิ่มโอกาสการสัมผัสระหว่างสารละลายออสโมติกกับชิ้นผลไม้มากขึ้น จึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น (วันวิสาข์ กระแสคุปส์, 2535 ; Garrote et al., 1992 ; Mavroudis, 1998) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garrote et al. (1992) ศึกษาผลของการกวนสารละลายออสโมติกร่วมกับการออสโมซิสชิ้นแพร์ สตอเบอร์รี่ และแอปเปิ้ล ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 67.5% โดยศึกษาการกวน 2 แบบ คือ Laminar และ Turbulence พบว่าการกวนแบบ Turbulence มีผลให้ชิ้นผลไม้มีปริมาณน้ำที่สูญเสียมากกว่าการกวนแบบ Laminar เนื่องจากเป็นการกวนสารละลายที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่มากกว่า แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารละลายมากช่วยกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสมากขึ้น

ลักษณะของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสทั้ง 4 สิ่งทดลอง (ก)-(ง) เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั้มดูดจ่ายของเหลว แสดงดังภาพที่ 4-6 พบว่าทุกสิ่งทดลองมีการหดตัวลงเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นเงาะสด โดยยังคงมีรูปร่างเป็นชิ้นสมบูรณ์ไม่นิ่มเละ

ตารางที่ 4-17 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	WL	SG [ns]	WR
ไม่ใช้ปั๊ม	23.01 ± 0.98 [b]	9.59 ± 0.76	13.42 ± 0.31 [b]
100	23.12 ± 0.71 [b]	9.62 ± 0.62	13.50 ± 0.38 [b]
150	23.54 ± 0.89 [b]	9.67 ± 0.38	13.87 ± 0.85 [b]
200	25.98 ± 0.98 [a]	9.79 ± 0.34	16.19 ± 0.72 [a]

[ns] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

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

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (ไม่ใช้ปั๊ม)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (100 รอบ/นาที)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (150 รอบ/นาที)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (200 รอบ/นาที)

ภาพที่ 4-6 ลักษณะของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสทั้ง 4 สิ่งทดลอง (ก)-(ง) เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว (รอบ/นาที)

2. ปริมาณความชื้นและค่า a_w

จากตารางที่ 4-18 แสดงปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว พบว่าระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อ

ปริมาณความชื้น ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 200 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด เท่ากับ 58.04% ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการถ่ายเทมวลสารที่พบว่าสิ่งทดลองดังกล่าวมีค่า WL มากที่สุด จึงทำให้มีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับการไม่ใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวซึ่งทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 61.16% คิดเป็นการทำให้ปริมาณความชื้นลดลง 3.12%

จากตารางที่ 4-19 แสดงค่า a_w ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว พบว่าระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อค่า a_w ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 200 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีค่า a_w ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.793 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำที่สูญเสีย

ตารางที่ 4-18 ปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
ไม่ใช้ปั๊ม	61.16 ± 0.88 [a]
100	60.80 ± 0.65 [a]
150	59.71 ± 1.14 [a]
200	58.04 ± 0.72 [b]

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

ตารางที่ 4-19 ค่า a_w ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD
ไม่ใช้ปั๊ม	0.904 ± 0.025 [a]
100	0.900 ± 0.087 [ab]
150	0.859 ± 0.063 [ab]
200	0.793 ± 0.006 [b]

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

3. ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จากตารางที่ 4-20 แสดงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว พบว่า ระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 200 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด 28.94 กรัม/100 กรัม เนื่องจากเมื่อมีการใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวที่มีความเร็วการหมุนของลูกรีดมากขึ้น มีผลให้ปั๊มหมุนตัวลูกรีดไปกดที่สายยางที่มีความถี่มากขึ้น สารละลายออสโมติกจึงมีการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งได้มากขึ้น ช่วย

ให้สารละลายออสโมติกเกิดการกระจายตัวมากขึ้น จึงช่วยเพิ่มความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นภายในชิ้นเงาะกับสารละลายออสโมติกรอบๆชิ้นเงาะ ทำให้การถ่ายเทมวลสารดีขึ้น น้ำตาลจากสารละลายออสโมติกจึงสามารถมีโอกาสแพร่เข้าไปในชิ้นเงาะได้มากกว่าสภาวะที่มีการเคลื่อนที่ของสารละลายออสโมติกน้อยกว่า และพบข้อสังเกตว่าการใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีดในระดับต่ำ 100 รอบ/นาที ทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสไม่แตกต่างกับการไม่ใช้ปั๊ม ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าแม้ใช้การหมุนของลูกรีดร่วมด้วยแต่หากใช้ความเร็วไม่มากพออาจไม่ช่วยเพิ่มการแพร่ของของแข็งจากสารละลายออสโมติกให้เข้าสู่ชิ้นเงาะได้

ตารางที่ 4-20 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย ± SD (g/100g)
ไม่ใช้ปั๊ม	26.27 ± 0.55 ^{c}
100	27.10 ± 0.54 ^{bc}
150	27.51 ± 0.49 ^{b}
200	28.94 ± 0.83 ^{a}

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

4. ปริมาณแคลเซียม

จากตารางที่ 4-21 แสดงปริมาณแคลเซียมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลวพบว่า ระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อปริมาณแคลเซียม ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 200 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมมากที่สุดเท่ากับ 6.13 มิลลิกรัม/100 กรัม เนื่องจากเมื่อมีการใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวด้วยความเร็วสูงในการหมุนของลูกรีด ช่วยให้สารละลายออสโมติกเกิดการกระจายตัวมากขึ้น แคลเซียมไอออนที่แตกตัวในสารละลายออสโมติกจึงมีโอกาสสัมผัสกับชิ้นเงาะมากและมีโอกาสเกิดการถ่ายเทมวลสารมากกว่าการไม่ใช้ปั๊มหรือใช้ความเร็วต่ำในการหมุนลูกรีด จากผลการทดลองพบว่ามีแนวโน้มคล้ายกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยแสดงให้เห็นว่าการใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีดในระดับต่ำ 100 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มในชิ้นเงาะไม่แตกต่างกับการไม่ใช้ปั๊ม ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามพบข้อสังเกตว่า แม้ผลการทดลองด้านค่า SG ซึ่งหมายถึงปริมาณของแข็งที่ได้รับ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ระหว่างสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4-17) แต่พบว่าแต่ละสิ่งทดลองมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณแคลเซียมซึ่งจัดเป็นของแข็งที่แพร่เข้าระหว่างการออสโมซิสมีแนวโน้มแตกต่างกัน ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากการวิเคราะห์ค่า SG วิเคราะห์จากการหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการออสโมซิส แต่การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณแคลเซียมได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีในเชิงปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการออสโมซิสซึ่งอาจวิเคราะห์ได้ค่าที่ละเอียดมากกว่า

ตารางที่ 4-21 ปริมาณแคลเซียมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ± SD (mg/100g)
ไม่ใช้ปั๊ม	3.16 ± 0.55 [c]
100	3.28 ± 0.23 [c]
150	4.94 ± 0.73 [b]
200	6.13 ± 0.44 [a]

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

5. ปริมาณวิตามินซี

จากตารางที่ 4-22 แสดงปริมาณวิตามินซีของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว พบว่าระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อปริมาณวิตามินซี ($p<0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 200 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุดเท่ากับ 846.93 มิลลิกรัม/100 กรัม ทั้งนี้ผลการทดลองแสดงแนวโน้มคล้ายกับกรณีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณแคลเซียม ที่แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลให้สารละลายออสโมติกมีการเคลื่อนที่มากขึ้น ช่วยให้สารละลายออสโมติกมีการกระจายตัวมากขึ้น จึงช่วยเพิ่มความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นภายในชิ้นเงาะกับสารละลายออสโมติกรอบๆชิ้นเงาะ จึงทำให้ตัวถูกละลายที่เป็นส่วนประกอบของสารละลายออสโมติก ได้แก่ น้ำตาล แคลเซียมแลคเตท และวิตามินซี จึงมีโอกาสแพร่เข้าสู่ชิ้นเงาะได้มาก

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อการเพิ่มปริมาณวิตามินซีให้กับชิ้นเงาะมากกว่าแคลเซียม โดยการใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีดในระดับต่ำที่สุด 100 รอบ/นาที สามารถเพิ่มปริมาณวิตามินซีให้ชิ้นเงาะเพิ่มขึ้น 108.13 mg/100g เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใช้ปั๊มในการดูดจ่ายของเหลว ในขณะที่ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณแคลเซียมให้ชิ้นเงาะได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการหมุนกวนสารละลายเป็นการกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากขึ้น ซึ่งวิตามินซีมีมวลโมเลกุล (176.14 กรัม/โมล) เล็กกว่าแคลเซียมแลคเตท (218.22 กรัม/โมล) (ปราณี มีศิริสุข, 2553) จึงทำให้มีความสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นเงาะได้ง่ายกว่า

ตารางที่ 4-22 ปริมาณวิตามินซีของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย ± SD (mg/100g)
ไม่ใช้ปั๊ม	550.36 ± 7.63 [d]
100	658.49 ± 5.94 [c]
150	778.69 ± 7.30 [b]
200	846.93 ± 8.17 [a]

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

6. ค่าความแน่นเนื้อ

จากตารางที่ 4-23 แสดงค่าความแน่นเนื้อของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว พบว่าระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ ($p<0.05$) ผลการทดลองพบว่าสิ่งทดลองที่ไม่มีการใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุด เท่ากับ 20.36 N แตกต่างกับสิ่งทดลองที่มีการใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีดสูงที่สุด 200 รอบ/นาที ทำให้ชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด เท่ากับ 21.89 N แสดงให้เห็นว่าการใช้ความเร็วในการหมุนของลูกรีดในระดับสูงทำให้ชิ้นเงาะมีความแน่นเนื้อสูงมากขึ้น เนื่องจากเมื่อมีการใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวความเร็วรอบสูง จะช่วยให้สารละลายออสโมติกเกิดการกระจายตัวมากขึ้น ทำให้เกิดค่าการถ่ายเทมวลสารมาก ทั้งนี้สามารถอธิบายผลค่าความแน่นเนื้อได้ว่าสอดคล้องกับค่าการถ่ายเทมวลสาร (ค่า WL และ WR) ปริมาณความชื้น และปริมาณแคลเซียม โดยเมื่อสิ่งทดลองมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและน้ำหนักที่ลดลงมาก ชิ้นเงาะจึงมีปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่น้อย ปริมาณความชื้นจึงต่ำ รวมถึงเมื่อสิ่งทดลองมีปริมาณแคลเซียมแพร่เข้ามามาก จึงมีโอกาสเกิดพันธะระหว่างแคลเซียมกับเพคตินที่ผนังเซลล์เกิดเป็นโครงสร้างของแคลเซียมเพคเตทที่ทำให้ผลไม้มีความแน่นเข็งขึ้น (Brett & Waldron, 1990) จึงเป็นผลให้ค่าความแน่นเนื้อมีค่าสูงนั่นเอง

ตารางที่ 4-23 ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย ± SD (N)
ไม่ใช้ปั๊ม	20.36 ± 0.64 [b]
100	21.04 ± 0.28 [ab]
150	21.15 ± 0.73 [ab]
200	21.89 ± 0.68 [a]

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

7. ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-24 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว พบว่าทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ในทุกด้านคือ ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.10-7.00) จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่าแม้ทั้ง 4 สิ่งทดลองมีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกันอยู่ในช่วง 550.36-846.93 mg/100g (ตารางที่ 4-22) แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวม และแม้ทั้ง 4 สิ่งทดลองมีค่าความแน่นเนื้อแตกต่างกันอยู่ในช่วง 20.36 – 21.89 N แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมเช่นกัน

ตารางที่ 4-24 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส เมื่อแปรระดับความเร็วการหมุนของลูกรีดของปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ความเร็วการหมุนของลูกรีด (รอบ/นาที)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
ไม่ใช้ปั๊ม	7.00 ± 1.20	7.00 ± 1.02	6.35 ± 1.11	6.13 ± 1.50	6.37 ± 1.30
100	7.00 ± 1.26	7.00 ± 0.98	6.28 ± 1.01	6.23 ± 0.97	6.37 ± 1.03
150	6.93 ± 1.23	7.00 ± 1.14	6.13 ± 1.22	6.10 ± 1.18	6.10 ± 1.16
200	6.87 ± 1.14	6.83 ± 0.91	6.43 ± 1.03	6.47 ± 1.20	6.30 ± 1.49

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

8. ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

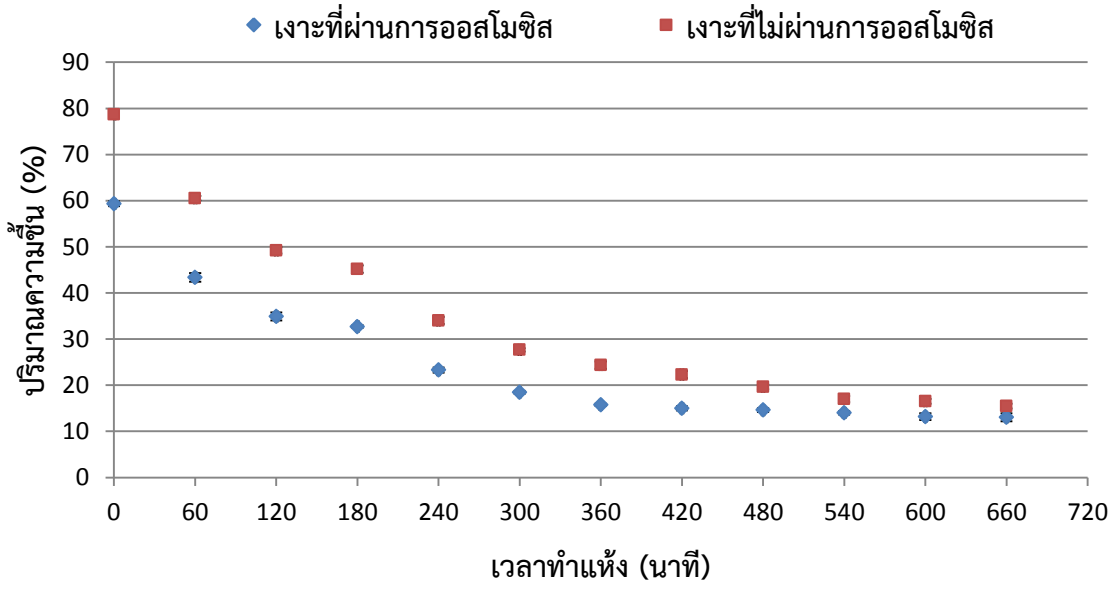
จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดคือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูง รวมถึงมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ใช้ความเร็วการหมุนของลูกรีด 200 รอบ/นาที มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากทำให้เงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 6.13 และ 846.93 mg/100g ตามลำดับ มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง คือค่า WL SG และ WR เมื่อสิ้นสุดการออสโมซิสมีค่าเท่ากับ 25.98 9.79 และ 16.19% ตามลำดับ รวมถึงได้รับคะแนนความชอบโดยรวม 6.30 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ตอนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

จากการทำการทดลองเบื้องต้นโดยการนำเงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาทำแห้งเพื่อลดความชื้นลง พบว่า ปริมาณความชื้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถลดลงได้ โดยผลิตภัณฑ์ยังมีลักษณะดี โดยไม่แห้งแข็งมากเกินไปคือ มีความชื้นประมาณ 15% และมีค่า a_w ประมาณ 0.6 ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง (intermediate moisture food) ที่กำหนดไว้ว่าต้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-55% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60-0.85 (Jay, 1998) นำชิ้นเงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาอบแห้งในตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg เพื่อลดความชื้นและค่า a_w ดำเนินการโดยการสุ่มเงาะที่อบแห้งทุก 1 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์หาความชื้นแล้วสร้างกราฟการทำแห้งซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทำแห้ง ทำนายเวลาการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้าย 15% แล้วทำแห้งตามเวลาที่ทำนายไว้จนได้เงาะกึ่งแห้ง นำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการสร้างกราฟการทำแห้งและการทำนายเวลาในการทำแห้ง

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการอบแห้งอุณหภูมิ 60 °C โดยใช้ตู้อบสุญญากาศ ภายใต้ความดัน 36 cmHg แสดงดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาทำแห้งเงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสที่อุณหภูมิ 60 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg

การทำแห้งแบบสุญญากาศสามารถทำให้ความชื้นในอาหารลดลงได้ที่อุณหภูมิและความดันต่ำ โดยสภาวะสุญญากาศทำให้น้ำกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำกว่าสภาวะบรรยากาศ น้ำในอาหารจึง

ระเหยได้โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูง การทำแห้งในสภาวะสุญญากาศจึงช่วยลดระยะเวลาที่อาหารต้องสัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานได้ มีผลให้ลดการเกิดการเปลี่ยนแปลงในอาหาร ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหาร สามารถรักษาสีและปริมาณสารอาหารไว้ได้ดี (Rahman et al., 1999) จากภาพที่ 4-7 หากพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นตามเวลาในการทำแห้ง พบว่าชิ้นเงาะมีความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่อง การที่ปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาการทำแห้งนานขึ้น เนื่องจากอากาศที่อยู่ในห้องอบแบบสุญญากาศนั้นจะอยู่ในสภาวะสุญญากาศที่ทำให้อากาศมีความดันของน้ำต่ำและความเข้มข้นของความชื้นในอากาศต่ำเมื่อวัสดุอยู่ในห้องอบแห้งแบบสุญญากาศจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลเกิดขึ้น โดยไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะแพร่ออกสู่อากาศเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้นและความดันไอ และของเหลวที่อยู่ในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวด้วยแรงคาปีลารี (Capilary) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว อีกทั้งยังเกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับความร้อนในห้องอบแห้งซึ่งจะเป็นแรงผลักทำให้น้ำระเหยออกมาจากอาหาร (ฤทธิไกร งามชุ่ม, 2547; นิธิยา รัตนปนนท์, 2549)

จากผลการทดลอง ภาพที่ 4-7 พบว่าเงาะที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นคงอยู่ในชิ้นเงาะต่ำกว่าเงาะที่ไม่ผ่านการออสโมซิสตลอดเวลาการทำแห้ง เนื่องจากกระบวนการออสโมซิสเป็นกระบวนการที่ช่วยดึงน้ำออกจากชิ้นอาหารได้ ทำให้เงาะที่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าเงาะที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เมื่อนำมาทำแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ น้ำที่ยังคงมีอยู่ในชิ้นเงาะสามารถลดลงได้อย่างต่อเนื่องและมีความชื้นที่ต่ำกว่าเงาะที่ไม่ผ่านการออสโมซิสตลอดการทำแห้ง

เมื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาทำแห้งโดยใช้รูปสมการเส้นตรง ได้ผลดังตารางที่ 4-25 ซึ่งพบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการทำแห้งของเงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มีค่า R^2 เท่ากับ 0.79 และ 0.86 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือ โดยทั่วไปสมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 แสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือมาก (Haland; 1998 Hu, 1999) ซึ่งจากสมการสามารถทำนายเวลาในการทำแห้งเงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส เพื่อให้ได้ความชื้น 15% เท่ากับ 491.15 และ 552.63 นาที ตามลำดับ หากปรับเวลาเพื่อสะดวกต่อการจับเวลาทำแห้งจริงเท่ากับ 491 และ 553 นาที ตามลำดับ นำเงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาทำแห้งตามเวลาที่กำหนดดังกล่าว พบว่าทำให้ผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีความชื้นสุดท้าย เท่ากับ 15.14% และ 15.43% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าการออสโมซิสก่อนการทำแห้งมีผลช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้งได้ 62 นาที

2. คุณภาพของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้ง

1) คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

จากการสังเกตลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส แสดงดังภาพที่ 4-8 พบว่า ชิ้นเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะหดตัวลงและผิวด้านนอกมีลักษณะค่อนข้างแห้งแข็งมากกว่าเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส โดยเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีสีเหลืองอ่อน ส่วนเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีสีน้ำตาลอ่อน เมื่อนำผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส รวมถึงเงาะสดมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพด้าน

ต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อ และค่า a_w ได้ผลดังตารางที่ 4-26

ตารางที่ 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (y) กับระยะเวลาการทำแห้ง (x) เงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg

สิ่งทดลอง	สมการ	R^2	เวลาการทำแห้งตามการทำนาย (นาที)	เวลาการทำแห้งจริง (นาที)	ความชื้นสุดท้ายที่ได้ (%) ± SD
เงาะที่ผ่านการออสโมซิส	y = -0.061x + 44.911	0.79	491.15	491	15.14 ± 0.52
เงาะที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	y = -0.086x + 62.747	0.86	552.63	553	15.43 ± 0.22

(ก) เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส (ข) เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส

ภาพที่ 4-8 ลักษณะของชิ้นเงาะกึ่งแห้งที่ผ่าน (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข)

ตารางที่ 4-26 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และเงาะสด

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส	เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	เงาะสด
ปริมาณความชื้น (%)	15.14 ± 0.52 [b]	15.43 ± 0.22 [b]	78.72 ± 0.94 [a]
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/100g)[#]	69.33 ± 0.54 [a]	53.72 ± 0.59 [b]	52.51 ± 0.37 [c]
ปริมาณแคลเซียม (mg/100g)[#]	31.15 ± 0.63 [a]	6.10 ± 0.53 [b]	6.62 ± 0.62 [b]
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g)[#]	1582.74 ± 1.08 [a]	44.80 ± 0.47 [c]	204.98 ± 0.35 [b]
ค่า L*	27.01 ± 0.28 [b]	18.54 ± 0.14 [c]	54.66 ± 0.16 [a]
ค่า a*	5.38 ± 0.27 [b]	6.57 ± 0.05 [a]	- 2.15 ± 09 [c]
ค่า b*	15.32 ± 0.70 [a]	6.36 ± 0.80 [b]	4.26 ± 0.44 [c]
ค่า ΔE [+]	30.72 ± 0.84 [b]	37.22 ± 0.22 [a]	-
ค่าความแน่นเนื้อ (N)	36.30 ± 3.08 [a]	32.06 ± 2.05 [a]	10.49 ± 0.30 [b]
ค่า a_w	0.610 ± 0.010 [c]	0.678 ± 0.012 [b]	0.984 ± 0.001 [a]

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

[#] คือ คิดจากฐานน้ำหนักแห้ง

[+] คือ คิดเทียบกับค่าสีของเงาะสด

จากตารางที่ 4-26 พบว่าผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน (15.14-15.43%) รวมถึงมีค่า a_w ใกล้เคียงกัน (0.610-0.678) โดยจัดเป็นอาหารกึ่งแห้งตามที่กำหนดว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งต้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 15%-55% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60-0.85 (Jay, 1998) แต่พบว่าค่า a_w ของเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีแนวโน้มค่า a_w ต่ำกว่าเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) เนื่องจากในขั้นตอนของการออสโมซิส น้ำอิสระในผลไม้ สามารถรวมตัวกับตัวถูกละลาย เช่น น้ำตาล และเกลือในสารละลายออสโมติก และยึดต่อกับโครงสร้างของอาหาร น้ำอิสระดังกล่าวจึงแยกออกจากอาหารได้ยาก ไม่สามารถเป็นตัวทำละลายกับสารอื่น จึงไม่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) จึงมีผลให้เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่า a_w ต่ำ สำหรับเงาะสดพบว่ามีปริมาณความชื้น (78.72%) และค่า a_w (0.984) สูง การนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งจึงช่วยลดปริมาณความชื้นและค่า a_w ลงได้จึงเป็นแนวทางในการยืดอายุการเก็บเงาะให้ได้นานขึ้น

ผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (69.33 g/100g) มากกว่าผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (53.72 g/100g) และเงาะสด (52.51 g/100g) เนื่องจากการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้นเงาะในสารละลายออสโมติกที่มีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส 50% (w/w) ซึ่งเกิดการแพร่ของน้ำตาลเข้าไปในชิ้นเงาะได้ จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดได้มากกว่าเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส และเงาะสด

ผลของการวิเคราะห์ด้านปริมาณแคลเซียมและวิตามินซี แสดงให้เห็นว่าการเติมแคลเซียมในรูปแคลเซียมแลคเตท และวิตามินซีในรูปกรดแอสคอร์บิกในสารละลายออสโมติกสามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีในผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น โดยเงาะสดมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 6.26 มิลลิกรัม/100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 204.98 มิลลิกรัม/100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 31.15 มิลลิกรัม/100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 1582.74 มิลลิกรัม/100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ในขณะที่เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 6.10 มิลลิกรัม/100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 44.80 mg/100g (โดยน้ำหนักแห้ง) ดังนั้นเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีเพิ่มขึ้นประมาณ 5 และ 8 เท่าของเงาะสด ตามลำดับ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fito et al. (2001) ที่แสดงให้เห็นว่าสามารถเติมสารพวก PAC (Physiologically active compounds) ซึ่งหมายถึงสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายลงในสารละลายออสโมติกได้ เช่น เติมแคลเซียมและเหล็กในสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่มะเขือยาว และเปลือกส้มแล้วสามารถเพิ่มธาตุแคลเซียมและเหล็กได้มากกว่าในของสด

หากพิจารณากับปริมาณที่แนะนำให้บริโภคแคลเซียมและวิตามินซีสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไปที่ควรได้รับแคลเซียม 800 มิลลิกรัม/วัน และวิตามินซี 60 มิลลิกรัม/วัน (ปราณี มีศิริสุข, 2553) เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียม 26.25 มิลลิกรัม/100 กรัม (โดยน้ำหนักเปียก) มีปริมาณวิตามินซี 1343.11 มิลลิกรัม/100 กรัม (โดยน้ำหนักเปียก) แสดงถึงต้องบริโภคเงาะกึ่งแห้งที่พัฒนาได้นี้เท่ากับ 3047 กรัม และ 4.5 กรัม เพื่อให้ร่างกายได้รับแคลเซียมและวิตามินซีในปริมาณที่เพียงพอ

สำหรับค่าสี L* a* และ b* พบว่าผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่าสีมีค่า L* (ความสว่าง) และ b* (สีเหลือง) มากกว่าผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) แต่มีค่า a* (สีแดง) น้อยกว่าผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีความสว่างและสีออกเหลืองมากกว่า ในขณะที่เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีสีออกน้ำตาลแดงมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับสีที่สังเกตเห็นด้วยตาเปล่าทั้งนี้อาจเนื่องจากเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีโอกาสสัมผัสกับความร้อนในการทำแห้งเป็นเวลานานกว่าจึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นได้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนหรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลผลิตที่ได้คือสารเมลานอยดิน (Melanodin) ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล (รัชนี ตัณฑะพานิช, 2535) อีกทั้งสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการออสโมซิสจะไม่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริก ซึ่งเป็นการลดโอกาสของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้อีกหนทางหนึ่งด้วย เมื่อพิจารณาค่า ΔE แสดงถึงความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับสีของเงาะสดพบว่าเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่า ΔE น้อยกว่าเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีสีคล้ำลงมากกว่าโดยมีค่า L* น้อยลง ค่า a* และ b* เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเงาะสด เนื่องมาจากการทำแห้งทำให้ลักษณะผิวหน้าอาหารเปลี่ยนแปลงไป ค่าสีซึ่งวัดการสะท้อนของแสงจึงมีค่าเปลี่ยนไปจากของสดด้วย โดยในการทำแห้งน้ำในอาหารเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้า และระเหยออกไป และพาส่วนของแข็งที่ละลายได้ออกมาที่ผิวด้วย จึงมีโอกาสทำให้

ผิวอาหารมีสีเข้มขึ้น หรือคล้ำขึ้นได้ ทำให้อาหารมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากของสดได้มาก (ชมพู่ ยิ้มโต, 2550) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการออสโมซิสสามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารได้ เนื่องจากการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้นผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง โดยชิ้นผลไม้จมอยู่ในสารละลายตลอดเวลา ซึ่งสามารถลดการสัมผัสกับออกซิเจนป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและช่วยรักษาความคงตัวของสีในผลิตภัณฑ์ได้ (Ponting et al., 1996)

จากการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหาร พบว่าค่าความแน่นเนื้อของเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีแนวโน้มค่ามากกว่า (36.30 N) เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (32.06 N) เนื่องจากการเติมแคลเซียมแลคเตทอาจมีส่วนช่วยให้ผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสยังคงมีโครงสร้างแข็ง ไม่นิ่มเละมาก โดยเกลือแคลเซียมจะแตกตัวให้แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และทำปฏิกิริยากับเพคตินในชิ้นผลไม้ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (Crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) โดย Ca^{2+} เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตท (Calcium pactate) ที่ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง และแน่นเนื้อมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2556)

2) คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการนำผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้ผลดังตารางที่ 4-27

จากตารางที่ 4-27 พบว่าคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส พบว่าได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 6.93-7.47 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลางซึ่งมีคะแนนมากกว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสที่ได้รับคะแนนความชอบในทุกด้านในช่วง 3.56-5.10 อยู่ในระดับไม่ชอบปานกลางถึงเฉยๆ ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าโดยมีสีเหลืองอ่อน รสชาติหวานอมเปรี้ยว และเนื้อสัมผัสคงรูปดีและแน่นเนื้อมากกว่า ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะสีน้ำตาลอ่อน รสชาติหวานน้อยกว่า ไม่มีรสเปรี้ยว และเนื้อสัมผัสที่นิ่มกว่าเล็กน้อย จึงทำให้ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์น้อยกว่า

ตารางที่ 4-27 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของชิ้นเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

สิ่งทดลอง	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	คะแนนความชอบโดยรวม
เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส	7.37 ± 1.16 [a]	7.43 ± 0.90 [a]	6.93 ± 1.28 [a]	6.93 ± 1.01 [a]	7.47 ± 0.78 [a]
เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านกรออสโมซิส	4.17 ± 1.18 [b]	3.56 ± 1.28 [b]	4.27 ± 1.91 [b]	5.10 ± 1.67 [b]	4.67 ± 1.42 [b]

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

ตอนที่ 5 ผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เจาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้ระหว่างการเก็บรักษา

จากการนำเจาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่ผลิตได้มาบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ ปิดผนึกสนิท นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27±2 $^{\circ}$C) และตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1. คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

จากตารางที่ 4-28 เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นและค่า a_w พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีผลทำให้เจาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้ มีปริมาณความชื้นและค่า a_w เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) โดยตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ เจาะกึ่งแห้งมีปริมาณความชื้น อยู่ในช่วงร้อยละ 15.13-16.89 และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.610-0.625 การที่ปริมาณความชื้นและค่า a_w เพิ่มขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษาอาจเนื่องมาจากมีอากาศและความชื้นอยู่ในช่องว่างของบรรจุภัณฑ์ก่อนการปิดผนึก ในระหว่างการเก็บตัวอย่างจึงมีการดูดซับความชื้นได้ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก อาจเป็นผลจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุง LDPE เคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการซึมผ่านของอากาศและความชื้นจากภายนอกได้ดี (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) และตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ยังคงมีปริมาณความชื้นและ ค่า a_w อยู่ในช่วงของอาหารกึ่งแห้ง ที่กำหนดว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งต้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 15%-55% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60-0.85 (Jay, 1998) สำหรับปริมาณแคลเซียม พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ($p\geq0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 31.08-31.15 มิลลิกรัม/100 กรัม ในขณะที่ปริมาณวิตามินซีมีลดลงตามเวลาการเก็บรักษา เมื่อสิ้นสุดเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ เหลือวิตามินซีเท่ากับ 1004.84 มิลลิกรัม/100 กรัม คิดเป็นการลดลง 36.51% ทั้งนี้เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารที่ไม่เสถียร เมื่ออยู่ในสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิห้องอาจมีโอกาสูญเสียโครงสร้างไปได้ง่าย (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2535)

ลักษณะของเจาะกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ พบว่า มีแนวโน้มสีเข้มขึ้น โดยมีลักษณะสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น จากผลการวิเคราะห์ค่าสีที่รายงานเป็นค่า L* a* และ b* พบว่า ค่า L* และ b* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าสี a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เจาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้มีสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น อาจเกิดจากในระหว่างการเก็บรักษาเจาะกึ่งแห้งเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอนิล ทำให้เกิดโพลีเมอร์ของสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำของเมลานอยดิน (Melanoidin) มีผลทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ไม่พึงประสงค์ โดยมีสภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษาเป็นตัวเร่งที่ทำให้อาหารกึ่งแห้งเกิดสีน้ำตาลเร็วขึ้น เช่น การสัมผัสกับออกซิเจนในภาชนะบรรจุ เป็นต้น (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2535; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ในการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้นเจาะในสารละลายน้ำตาล รวมถึงเนื้อเจาะเองก็มีน้ำตาลตามธรรมชาติด้วย ซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำตาลประเภทรีดิวส์ซิง คือ กลูโคส และ ฟรุคโตส จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้สูง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสเกิดสีน้ำตาลได้ สำหรับค่าความแน่นเนื้อ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีผลทำให้เจาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้มีค่าความแน่นเนื้อลดลง ($p<0.05$) เมื่อเก็บ

รักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ค่าความแน่นเนื้อลดลงจาก 36.30 N เหลือ 31.14 N ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอากาศและความชื้นที่มีอยู่ในภาชนะบรรจุสามารถสัมผัสกับตัวอย่างได้ ทำให้เงาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้ซึ่งมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบมีโอกาสละลายให้ความชุ่มชื้น จนทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะนุ่มลงได้

2. คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการนำผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งมาเก็บรักษาและสุ่มตัวอย่างมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้ผลดังตารางที่ 4-29 พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์เงาะแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เงาะกึ่งแห้งหลังการผลิต พบว่า มีคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 6.91-7.53 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นมีแนวโน้มให้ความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลง โดยมีคะแนนความชอบในทุกด้านอยู่ในช่วง 6.08-7.30 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการเก็บรักษา มีสีคล้ำลง และเนื้อสัมผัสนิ่มลง รวมถึงมีรสชาติเปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์น้อยลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่คะแนนความชอบโดยรวมก็ยังพบว่าได้รับคะแนนในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.61) แสดงว่าผู้ทดสอบยังยอมรับผลิตภัณฑ์

3. คุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา ของเงาะกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 4-30 พบว่า ที่เวลาการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา น้อยกว่า 1.0×10^1 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษา 4 สัปดาห์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 8.0×10^2 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม สำหรับปริมาณยีสต์และรา พบว่า เมื่อเก็บรักษา 4 สัปดาห์ มีปริมาณยีสต์และรา 1.0×10^1 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ด้านจุลินทรีย์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนในกลุ่มอาหารกึ่งแห้ง กำหนดไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภคปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546) ดังนั้นจากผลการทดลองจึงยืนยันได้ว่า เงาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้และหลังการเก็บเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ยังมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์รา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด จึงยังคงมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เงาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้ผ่านการแปรรูปที่ควบคุมให้ปริมาณความชื้นและ ค่า a_w ต่ำ ซึ่งจัดเป็นอาหารประเภทกึ่งแห้ง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์น้อย อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสอาจมีผลเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์บางประเภท โดยเฉพาะยีสต์ในกลุ่ม Osmophilic Yeast ซึ่งสามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง และทนต่อแรงดันออสโมติกสูงได้ดี (Shukla and Singh, 2007)

ตารางที่ 4-28 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ค่าคุณภาพ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
	0	1	2	3	4
ปริมาณความชื้น (%)	15.13 ± 0.50 [b]	15.13 ± 0.50 [b]	15.18 ± 0.54 [b]	16.11 ± 0.14 [a]	16.89 ± 0.32 [a]
ปริมาณแคลเซียม (mg/100g)[ns,#]	31.15 ± 0.63	31.09 ± 0.53	31.10 ± 0.11	31.08 ± 0.24	31.11 ± 0.65
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g)[#]	1582.74 ± 1.08 [a]	1510.07 ± 1.71 [a]	1444.42 ± 1.27 [b]	1204.18 ± 0.87 [c]	1004.84 ± 1.78 [d]
ค่า L*	27.41 ± 0.11 [a]	26.58 ± 0.41 [a]	25.54 ± 0.14 [b]	25.66 ± 0.16 [b]	20.01 ± 0.28 [c]
ค่า a*	5.37 ± 0.21 [c]	5.30 ± 0.14 [c]	5.58 ± 0.09 [b]	5.97 ± 19 [b]	6.87 ± 0.47 [a]
ค่า b*	15.30 ± 0.70 [a]	15.41 ± 0.47 [a]	14.32 ± 0.25 [b]	14.20 ± 0.78 [b]	12.14 ± 0.57 [c]
ค่าความแน่นเนื้อ (N)	36.30 ± 3.08 [a]	35.47 ± 1.14 [a]	32.06 ± 2.05 [b]	32.19 ± 0.35 [b]	31.14 ± 1.18 [c]
ค่า a_w	0.610 ± 0.010 [b]	0.611 ± 0.001 [b]	0.612 ± 0.010 [b]	0.624 ± 0.001 [a]	0.625 ± 0.010 [a]

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

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

[#] คือ คิดจากฐานน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4-29 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD				
	ลักษณะปรากฏ[ns]	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	คะแนนความชอบโดยรวม
0	7.34 ± 1.15	7.53 ± 0.97[a]	6.91 ± 1.81[a]	6.98 ± 1.41[a]	7.40 ± 0.78[a]
1	7.32 ± 1.07	7.48 ± 1.01[a]	6.89 ± 1.04[a]	6.78 ± 1.05[a]	7.31 ± 0.87[a]
2	7.30 ± 1.01	7.13 ± 1.10[a]	6.87 ± 1.01[a]	6.45 ± 1.41[b]	6.98 ± 1.10[b]
3	7.25 ± 1.58	7.20 ± 1.24[a]	6.53 ± 1.45[a]	6.40 ± 1.47[b]	7.10 ± 1.18[b]
4	7.28 ± 1.08	6.57 ± 1.14[b]	6.24 ± 1.12[b]	6.08 ± 1.62[c]	6.61 ± 0.24[c]

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

ตารางที่ 4-30 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) ของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณจุลินทรีย์ (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม)	
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	ยีสต์และรา
0	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$
1	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$
2	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$
3	4.5×10^1 est.	$<1.0 \times 10^1$
4	8.0×10^2 est.	1.0×10^1 est.

ตอนที่ 6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ที่ได้โดยมีรายละเอียดบทสรุปโดยย่อจากการวิจัย และขั้นตอนการผลิตเงาะกึ่งแห้ง จำนวน 100 ชุด โดยมุ่งหมายเพื่อเผยแพร่ความรู้ส่งมอบให้กับชุมชน ประสานงานกับส่งมอบให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล องค์การบริหารส่วนจังหวัด รวมถึงกลุ่มแม่บ้านในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนแสดงดังภาพที่ 4-9

ภาพที่ 4-9 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย การใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลและการปรับปรุงกระบวนการออสโมซิสโดยใช้สภาวะสุญญากาศและปั๊มดูดจ่ายของเหลวในการออสโมซิสเนื้อเงาะร่วมกับการทำแห้ง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่มีคุณภาพดีมากขึ้น ทั้งนี้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ผลของการใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส (0-50%) และน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (0-50%) ต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อเงาะหลังการออสโมซิส พบว่าการใช้สารละลายผสมที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน มีผลทำให้ค่า WL SG และ WR รวมถึงปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าสี และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีแนวโน้มว่าการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียวความเข้มข้น 50% ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสาร และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด แต่พบว่าได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด การใช้สารละลายผสมโดยใช้ซูโครส 5-25% ร่วมกับการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส 25-45% มีแนวโน้มให้ค่าการถ่ายเทมวลสารไม่แตกต่างกันมากนัก และมีค่า WL SG และ WR เพิ่มมากขึ้นจากการใช้สารละลายน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสเพียงอย่างเดียวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.81%-1.56% 0.68%-1.39% และ0.55-0.92% ตามลำดับ ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้สารละลายออสโมติกที่ใช้โอลิโกฟรุกโตส 50% โดยเงาะหลังการออสโมซิสมีค่าการถ่ายเทมวลสารได้แก่ ค่า WL SG และ WR เท่ากับ 23.08% 4.52% และ 18.56% ตามลำดับ มีปริมาณความชื้น เท่ากับ 61.93% ค่า a_w เท่ากับ 0.913 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 19.51 กรัม/100 กรัม ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 53.98-1.77 และ 8.02 ตามลำดับ คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.23

5.1.2 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (1%-2%) และกรดแอสคอร์บิก (1%-2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ (ใช้และไม่ใช้) ต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อเงาะหลังการออสโมซิส พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยมีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร ปริมาณวิตามินซี ค่าความแน่นเนื้อ คะแนนความชอบทางด้านรสชาติ และคะแนนความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ($p<0.05$) และอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียม

แลคเตทกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณแคลเซียม ($p<0.05$) และพบว่าอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทมีผลต่อค่า a_w ($p<0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อความชอบด้านรสชาติ ($p<0.05$) และอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณความชื้น ($p<0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบด้านสี ($p\geq0.05$) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม คือการเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1% ในสารละลาย ออสโมติกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะ 100 mbar เป็นเวลา 10 นาที โดยเงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด 3.23 มิลลิกรัม/100 กรัม และปริมาณวิตามินซี 558.78 มิลลิกรัม/100 กรัม รวมถึงมีค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL SG และ WR เท่ากับ 23.90% 9.61% และ 14.29% ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.87 คะแนน

5.1.3 ผลของการหมุนกวนสารละลายออสโมติกต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อเงาะหลังการออสโมซิสพบว่าการหมุนกวนสารละลายมีผลทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสาร ปริมาณแคลเซียม และ วิตามินซีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่หมุนกวนสารละลาย ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมคือการใช้สภาวะหมุนกวนที่ความเร็วการหมุนของลูกรีด 200 รอบ/นาที ทำให้เงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซี สูงที่สุดเท่ากับ 6.13 มิลลิกรัม/100 กรัม และ 846.93 มิลลิกรัม/100 กรัมตามลำดับ มีค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ค่า WL SG และ WR สูงที่สุดเท่ากับ 25.98% 9.79% และ 16.19% ตามลำดับ มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำที่สุดเท่ากับ 58.04% และ 0.793 ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.30 คะแนน

5.1.4 การออสโมซิสชิ้นเงาะก่อนการทำแห้งสามารถช่วยลดเวลาในการทำแห้งเมื่อใช้ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg ลงได้ โดยพบว่าเงาะที่ผ่านการออสโมซิสใช้เวลา 491 นาที ในขณะที่การทำแห้งเงาะที่ไม่ผ่านการออสโมซิสใช้เวลา 553 นาที โดยมีความชื้นเท่ากับ 15.14% และ 15.43% ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบคุณภาพเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส พบว่ามีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แคลเซียม วิตามินซี ค่าสี L* และ b* รวมถึงค่าความแน่นเนื้อมากกว่าเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณค่าสี a* และค่า a_w มากกว่าเงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส ($p<0.05$) ส่วนค่า ΔE ของผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสเมื่อเปรียบเทียบกับเงาะสดพบว่า เงาะที่ผ่านการออสโมซิสมีค่า ΔE น้อยกว่าผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์เงาะกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.47 คะแนนมากกว่าเงาะกึ่งแห้งที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิสที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 4.67 คะแนน

5.1.5 เนื้อเงาะกึ่งแห้งที่ผลิตได้เมื่อบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยยังคงมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค เมื่อเก็บไว้ 4 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.61 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) อาจมีการใช้สารอื่นเพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลสารให้มากขึ้นในการออสโมซิส เช่น เติมโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณเล็กน้อยร่วมด้วย

2) อาจมีการทดลองเติมแคลเซียมแลคเตทลงไปในสารละลายออสโมติกให้มากขึ้น เนื่องจากปริมาณแคลเซียมที่เสริมในเงาะยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย

3) อาจเติมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายชนิดอื่นลงไปในสารละลายออสโมติก เช่น เหล็ก และวิตามินต่างๆ

4) ควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ผลิตได้หรือประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาในภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. (มปป.). *เก็บรักษาเงาะผลสดอย่างไร ให้ยาวนาน.* วันที่สืบค้นข้อมูล 14 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://it.doa.go.th/pibai/pibai/n11/v_11-june/korkui.html

คัฟเวอร์ซายน์. (2010). *Peristaltic pump*. วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.coverscience.biz/index.php?lay=show&ac=article&Id=538805010&Ntype=4

ครัวบ้านพิม. (มปป.). *เงาะ*. วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.pim.in.th/my-home/460--3--sp-1085512260

คำนวณ ตั้งพันธุ์ และวัชรพงษ์ ทองสิริมา. (2533). *การอบแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส*. วิศวกรรมอาหาร มก. 10, หน้า 85-106.

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

ณัฏฐิกา โรจนเกียรถาวร และนันทมน ใหม่ยศ. (2555). *ผลของการเสริมธาตุเหล็กและแคลเซียมร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝรั่งกึ่งแห้ง*.

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

นิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *Fructo-oligosaccharide (oligofructose).* วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1213/fructo-oligosaccharide-oligofructose

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

ปราณี มีสิริสุข. (2553). *เคมีอาหาร.* สาขาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

ปรียา วิบูลยเศรษฐ. 2528. *a_w กับอาหารและอาหาร IMF*. ภาควิชาวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร, กรุงเทพฯ.

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. (2541). *บรรจุภัณฑ์.* กรุงเทพฯ: แพคเมทส์.

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

ไพโรจน์ วิริยะจารี. (2539). *อาหารกึ่งแห้ง.* มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์. (2549). *ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ.* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.

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

ฤทธิไกร งามชุ่ม. (2547). การอบแห้งกล้วยหอมหั่นบางด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสี

อินฟราเรดไกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วนิดา สระทองคำ และปราณี อ่านเปรื่อง. (2543). *การทำแห้งฟักทองด้วยวิธีออสโมซิส.* วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

วิทยุประชาชน. (2556). วันที่สืบค้นข้อมูล 14 พฤษจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://tnewsnetwork.com/BrowseArticle.php?cat_id=1&article_id=786

ศัลยา คงสมบูรณ์เวช. (2546). *อาหารฟังก์ชั่นและการส่งเสริมสุขภาพ.* วารสารโภชนบำบัด. 22-31

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

ศูนย์ข้อมูลผลไม้. (มปป.). *เทคโนโลยีการผลิตเงาะและการจัดการ*. วันที่สืบค้นข้อมูล 15 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.oae.go.th/fruits/index.php/technology/103-production/2011-08-26-02-40-53/136-2013-01-24-08-31-57?showall=&start=1

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร. (มปป.). *ผลไม้กระป๋อง*. วันที่สืบค้น 16 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.tistr-foodprocess.net/fruit_can.html#menu1

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (มปป.). *สัมมนาโชว์ผลิตภัณฑ์แปรรูปเงาะครบวงจร แก้ปัญหาผลผลิตการเกษตรตกต่ำ.* วันที่สืบค้นข้อมูล 16 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.tistr.or.th/tistr/newsboard/shownews.php?Category=newsboard&No=330

สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, กลุ่มสินค้าเกษตร. (2553). *สถานการณ์ค้าเงาะและผลิตภัณฑ์*. วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.dft.go.th/Default.aspx?tabid=101

สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, กลุ่มสินค้าเกษตร. (2553). *สถานการณ์ค้าเงาะและผลิตภัณฑ์*. วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.dft.go.th/เงาะ%20ปี%2053ไตรมาตส%201@25541128-14505218

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2555). *สถิติผลผลิตทางการเกษตรปี 2555*. วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2556 เข้าถึงได้จาก http://www.oag.go.th/main.php?filename=index

สุเทพ แซ่โห้ว. (มปป.). *เงาะอบแห้ง.*วันที่สืบค้นข้อมูล 16 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.otop5star.com/pop_up01-th.php?id=454

สุมณฑา วัฒนสินธุ์. (2549). *ตำราจุลชีววิทยาทางอาหาร* (FOOD MICROBIOLOGY) (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สารานุกรมวิตามิน. (มปป.). วันที่สืบค้นข้อมูล 15 พฤศจิกายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.vitamin.co.th/VitaminEncyclopediaDetail.asp?id=377&foodname=%E0%A7%D2%D0&foodnameeng=

หนึ่งนุช กาฬภัคดี และคณะ. (2553). *ผลของการทำพรีทรีทเมนต์ต่อการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในเงาะแช่อิ่มอบแห้ง*.

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

อิทธิฤทธิ อึ้งวิเชียร. (มปป.). สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=65&i2=18

Alvarez, C. A., Aguerre, R., Gomez, R., Vidales, S., Alzamora, S. M., & Gerschenson, L. N. (1995). Air Dehydration of Strawberriesz: Effect of Blanching and Osmotic Preteatment on the Kinetic of Moisture Transpot. *Journal of Food Engineering*, 25, 167-178.

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

AOAC. (1995). *Official Method of Analysis (16th ed)*. Washington, D.C. The Association of Official Analysis Chemists.

AOAC (1998). *Official method of analysis (16th ed)*. Maryland, USA: The Association of Official Analysis Chemists.

AOAC. (2000). *Official Method of Analysis (17th ed)*. Gaithersburg: The Association of Official Analysis Chemists.

Backgrouder, C. (1998). Functional Foods. Washington D.C.: *International Food Information Council Foundation*.

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

Barrera, C., Betoret, N., Corell, P., & Fito, P. (2009). Effect of osmotic dehydration on the stabilization of calcium-fortified apple slices (var. Granny Smith): Influence of operating variables on process kinetics and compositional changes. *Journal of Food Engineering*, 92, 416–424.

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

Carlier, C. (1991). Prevalence of malnutrition and vitamin A deficiency in the Diourbel, Fatick and Kaolack regions of Senegal: epidimological study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 53, 70-73.

Chafer, M., Gonzalez-Martinez, C., Fernandez, B., Perez, L., & Chiralt, A. (2003). Effect of blanching and vacuum pulse application on osmotic dehydration of pear. *Food Science and technology international*, 9(5), 321-328.

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

Clydesdale, F.M. (1999). ILSI North America Food Component Reports. *Critical Review in Food Science and Nutrient*, 39(3), 203-316.

Osorio, C., Sofía Franco, M., Paola Castaño, M., Lourdes Gonza´lez-Miret, M., Francisco J.H., & Morales, A. (2007). Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 353–359.

Crittenden, R.G., & Playne, M.J. (2009). Prebiotics. In Y.K. Lee & S. Salminen (Eds.) Handbook of probiotics and prebiotics, 531-581.

Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M. C. & Taoukis, P. S. (2007). Kinetic modelling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage*, Food Chemistry*, 103 ,985–993.

Fagli, F.A., & Ahani, M. (2010). Minimally processed food : A case study on orange and Kiwi fruit. *International Journal of Enrironmontal Science and Derelopemt*, 1(1), 53-56.

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

Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M. L., Ch_afer, M., Mart_ınez-Monz_o, J., Andr_es, A., & Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering. Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49, 175–183.

Fuller, R. (1991). Probiotic in human medicine, *Gut*, 32, 439-442

Garrote, R. L., Silva, E. R. & Bertone, R. A. (1992). Osmotic concentration at 5°C and 25°C of pear and apple cubes and strawberry halves, *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 25, 133-138.

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

Haaland, P. D. (1998). *Experimental Design in Biotechnology*. Marcel Dekker, lnc. NewYork. U.S.A.

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

Hironaka, K., Kikuchi, M., Koaze, H., Sato, T., Kojima, M., Yamamoto, K., Yasuda, K., Mori, M., & Tsuda, S. (2011). Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation, *Food chemistry*, 127, 1114-1118.

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

Jay, M. (1998). *Modern food microbiology. Aspen Publishers. อาหารกึ่งแห้ง*. วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0908/intermediate-moisture-food-อาหารกึ่งแห้ง

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

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

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

Lewicki, P. P., Le, H. V., & Pomaranska-Lazuka, W. (2001). Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes, *Journal of Food Engineering*, 54, 141-146.

Keila S., Silvaa, b., Fernandesb, Maria, A., & Maurob, (2014). Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple, *Journal of Food Engineering*, 6, 1150-1154

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

Mavrovdis, E., Gekas, V., & Sj Gholm, I. (1998). Osmotic Dehydration of Apples-Effects of Agition and Raw Material Charactics, *Journol of Food Engineering*, 35, 191-209.

Pereira, L. M., Carmello-Guerreiro, S. M., Junqueira, V. C. A., Ferrari, C. C., & Hubinger, M. D. (2010). Calcium lactate effect on the shelf life of osmotically dehydrated guavas, *Journal of Food Science*, 75(9), E612-E619.

Ponting, J. D., Walters, G. G., Forrey, R. R., Jackson, R., & Stanley, W. L. (1996). Osmotic dehydration of fruit, *Food Technology*, 20, 125-128.

Rahman, M. S., & Perera, C. O. (1999). Drying and food preservation. In: *Hanbook of Food Preservation*. Rahman, M. S., Ed, Marcel Dekker, New York, 173-126.

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.

Smith, R.E. & Norvell, M.A., (1975), Nutrition Over View of the Pet Food Industry, *Cereal Food World*, 20, 8 -11.

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

Thomas, P.R., & Earl, R. (1994). *Opportunities in the Nutrition and Food Science: Research Challengers and the next Generation of Investigators*. Washington DC: National Academy Press.

Torregiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing, *Food Research International*, 26, 59-69.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ก-1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

1. อุปกรณ์

1) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น 560 ประเทศเยอรมนี

2) เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (Checkweigher) Sartorius รุ่น AC2115-00 ประเทศเยอรมนี

3) โถดูดความชื้น (Desiccator)

4) ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)

2. การวิเคราะห์

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

2) นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างไม่เกิน 0.05 กรัม)

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

การคำนวณ

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

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

ก-2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Lane-Eynon, 1849)

1. สารเคมีและอุปกรณ์

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

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

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

สารละลายทั้งสองนี้ต้องเตรียมแยกกันและเก็บใส่ขวดสีน้ำตาล เมื่อต้องการใช้ให้ผสมสารละลายทั้งสองนี้ด้วยปริมาตรเท่ากันทันทีก่อนใช้

2) สารละลาย 1% Methylene blue ในน้ำกลั่น

3) สารละลาย Zinc ferrocyanide ประกอบด้วยสารละลาย Carrez I & II

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

สารละลาย Carrez II เตรียมโดยละลายโปแตสเฟอร์โรไซยาไนด์ 10.6 กรัมในกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

4) บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
5) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
6) ปิเปต ขนาด 5 10 และ 50 มิลลิลิตร
7) ขวดวัดปริมาตร 100 250 และ 1000 มิลลิลิตร
8) เตาไฟฟ้า (Hot plate) รุ่น ECM6 ประเทศอังกฤษ

2. การวิเคราะห์

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

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

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนการอินเวอร์ชั่น (D_1)

- **Preliminary titration**

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

- **Accurate titration**

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

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

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งหลังการอินเวอร์ชั่น (D_2)

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

ก-3 ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)

1. สารเคมีและอุปกรณ์

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

2. การวิเคราะห์

1) อบแห้งตัวอย่างสดด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิ้ลเผาไหม้ตัวอย่างในเตาไฟฟ้าจนไม่มีควันดำเสียก่อน แล้วจึงนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 °C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้อง

3) เทเถ้าลงในบีกเกอร์แล้วเติมกรดไฮโรคลอริก 5 มิลลิลิตร นำไประเหยให้แห้งบน Steam bath

4) ละลายส่วนที่เหลือโดยเติมกรดไฮโดรคลอริก 2 มิลลิลิตรนำไปให้ความร้อนบน Steam bath นาน 5 นาที

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

6) นำสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร แล้วเจือจาง 150 มิลลิลิตร

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

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

9) นำสารละลายไปต้มนาน 1-2 นาที แล้วทิ้งให้ตกตะกอนจนกระทั่งใส จากนั้นกรองส่วนในออกผ่านกระดาษกรอง Quantitative

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

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

12) นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายโพสแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 70-90 °C จนกระทั่งได้สีชมพูอ่อน

การคำนวณ

ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม) = (a/b) x 100

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

b = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก-4 ปริมาณวิตามินซี (AOAC,1990)

1. สารเคมีและอุปกรณ์

1) กรดเมตาฟอสฟอริก (Metaphosphoric acid) (BDH laboratory Supplies, England)

2) กรดอะซิติก (Acetic acid) (LAB SCAN, lreland)

3) กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid) (BDH laboratory Supplies, England)

4) 2,6 ไดคลอโรอินโดฟีนอล (2,6-Dichoroindophenol) (Ajax Finechem, Australia)

5) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium Hydrogen Carbonate) (AR grade, Ajax finechem, Australia)

6) น้ำกลั่น

7) เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius, AC211S, Germany)

8) ปิเปต ชนิด Mohr ขนาด 1 มิลลิลิตร

9) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

10) ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 200 250 และ 500 มิลลิลิตร

11) ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

12) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1

2. การเตรียมสารเคมี

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

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

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

3. การวิเคราะห์

3.1 การปรับมาตรฐานของ Dye solution

1. ปิเปตสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน 2.0 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งมีสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก-กรดอะซิติก 5.0 มิลลิลิตร

2. ทำไปไทเทรตกับ Dye solution จนกระทั่งถึงยุติ (สีชมพูอ่อน) บันทึกปริมาตรที่ใช้

3. ทำแบงค์ (Blank) โดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน จากนั้นคำนวณหา Dye factor

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

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

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

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร

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

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

การคำนวณ

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

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

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

ข-1 ค่าสี

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

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

ค่าสี a* หมายถึง ค่าสีเขียว-แดง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีเขียว ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีแดง

ค่า b* หมายถึง ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีน้ำเงิน ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีเหลือง

และ ΔE^*_{ab} ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดสีมีดังนี้

1. การ Standardize

1) เข้าโปรแกรม Universal
2) เข้า Manu Standardize (CAL)
3) เลือก Port Size เป็น 1.25 นิ้ว กด OK
4) เครื่องจะถามหาแผ่น Black Glass ให้วาง Black Glass ที่ Sample Port กด OK
5) เครื่องจะถามหาแผ่น White Glass ให้วาง White Glass ที่ Sample Port กด OK
6) กด OK อีกครั้ง
7) ทำการวัดค่าเทียบกับแผ่นขาว โดยใช้ Scale X Y Z วัดเทียบค่า Scale ด้านหลังแผ่น ความแตกต่าง Delta X Y Z ต้องมีค่าไม่เกิน ± 0.3 Units ถ้าเกินให้ทำความสะอาดแผ่น Black Glass และ White Glass แล้วทำการ Standardize ใหม่อีกครั้ง

2. การวัดค่า

1) สามารถทำการวัดค่าได้เลย โดยเลือกเข้าหน้าจอ Master Color Data
2) ต้องการวัดค่า Standard กด Read Sam ที่ Manu Bar เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่า Standard

3) ถ้าต้องการวัดค่า Sample กด Read Sam ที่ Manu Bar เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่า Sample

ข-2 ค่า Water activity (a_w)

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

ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดค่า Water activity (aw) มีดังนี้

1. การ Set-up calibration

1) นำตลับ Salt Standard SAL – 98 (98% ERH)

2) ปิดฝาครอบให้เรียบร้อย

3) ให้หมุนปุ่มสีเหลืองตรงด้านซ้ายมือของเครื่องไปยังหมายเลข 2

4) รอจนอุณหภูมิใกล้เคียงกับที่วัดค่า a_w ใกล้เคียงกับที่จะ calibration แล้วจึงค่อยกดปุ่มสีฟ้า Enter แช่จน 98 CAL กระพริบแล้วค่อยปล่อย

5) กดปุ่มสีฟ้า Enter อีกครั้ง จนกระทั่งข้อความบนจอหยุดกระพริบ

6) เครื่องจะทำการ calibration จนเสร็จสิ้นกระบวนการ

7) หลังจากเสร็จสิ้นระบวนการ calibration แล้วเครื่องจะคืนกลับสู่สภาพปกติ คือพร้อมที่จะวัดและแสดงค่าอุณหภูมิ และ % ERH (a_w =ERH/100) ของตัวอย่าง

8) สำหรับค่าอื่นๆ ที่ต้องการ calibration ในทำนองเดียวกันกับค่า 98 ดังกล่าว

2. การวัดค่า

1) หมุนปุ่มสีเหลืองของเครื่อง AWC ในตำแหน่งที่ 2

2) นำตลับพลาสติกมาใส่สารตัวอย่างให้ได้ปริมาตรประมาณ 80-90%

3) นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน Measuring Chamber

4) ปิดฝาให้เรียบร้อย

5) ตั้งอุณหภูมิที่ได้ตามต้องการ เช่น ถ้าต้องการควบคุมตัวอย่างให้ได้ 25 องศาเซลเซียสก็ตั้งปุ่มสีดำตรงขวามือให้ได้หมายเลข 190 เป็นต้น

6) รอจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้ และ Relative Humidity ของอากาศที่วัดได้อยู่ในสภาวะที่สมดุลกับสารตัวอย่าง สภาวะนี้เรียกว่า Equllibrium Relative Humidity (REH) เมื่อหารด้วย 100 ก็จะได้ค่า Water activity (a_w) ตามที่ต้องการ

ข-3 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness)

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2) โดยเตรียมตัวอย่างวางบนแท่นกดครั้งละ 1 ชิ้น วัดโดยใช้แรงตัด โดยใช้หัววัดรูปใบมีด และฐานรองรับแรงตัด (HDP/BS และ HDP90) กดลงตรงกลางชิ้นตัวอย่างโดยแต่ละสิ่งทดลองจะวัด 10 ครั้ง (ใช้ตัวอย่าง 10 ชิ้น/1 สิ่งทดลอง) และหาค่าเฉลี่ยจากแรงที่สูงที่สุดรายงานเป็นค่าความแน่นเนื้อ (Firmness)

ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสมีดังนี้

1. การใช้งาน

1) เปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2
2) คลิกที่ Start → Program → Texture expert → จะปรากฏหน้าต่าง User selection คลิกที่ OK
3) จากนั้นไปที่ File → New project → จะปรากฏหน้าต่างของ Open แล้วเมื่อเรียกชื่อไฟล์ตามต้องการโดยเปลี่ยนชนิดของไฟล์ที่ได้ List first of type เมื่อ

*.ARC	คือ ไฟล์ที่เป็นกราฟ
*.RES	คือ ไฟล์ที่เป็นตารางข้อมูล
*.RPJ	คือ ไฟล์ที่เป็น Project
Document MAC	คือ ไฟล์ที่เป็น Macro
*.LIS	คือ ไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ

2. การทำ Calibration

1) จะต้องทำการ Calibration force ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ โดยไปที่ T.A. บน menu bar calibrate force จะปรากฏหน้าต่างของ Force calibration ให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน Calibration Platform แล้วคลิก OK

2) เมื่อหน้าจอปรากฏข้อความ “Calibration successful” ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก OK

3. การทำ T.A. setting

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

Option	:	Measure Force in com
Pre-Test Speed	:	1.5 mm/s
Test Speed	:	1.5 mm/s
Post-Test Speed	:	10.0 mm/s
Distance	:	4 mm
Trigger Type	:	Auto-5g
Data-Acquisiting Rate	:	200 pps

2) ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลให้คลิก Save กรณีจะเรียกข้อมูลให้คลิก Lond

3) เมื่อจะทำขั้นตอนต่อไปให้คลิก Update

4. การทำ Run Test

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

Auto save : บันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติตาม Dive หรือ Path ที่ตั้งไว้

File ID : ตั้งชื่อไฟล์สำหรับกราฟแสดงผล

Note : บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

Probe and Product Data : เลือกชนิดของ Probe ให้ตรงกับที่นำมาใช้

Configure : ใส่ Production dimension

Delay Start : เมื่อต้องการเลื่อนเวลาในการเริ่มการวัดออกไป

Clear Previous Graph : เมื่อต้องการให้การทดสอบแต่ละครั้งปรากฏกราฟเพียงเส้นเดียว (เป็นการลบ ARC file เดิมออกเพื่อให้ ARC file ใหม่เข้ามาแทน)

Run Macro : เมื่อต้องการให้วิเคราะห์ผลโดยอัตโนมัติ

PPS : อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปใช้ 200 pps

2) เมื่อตั้งค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว ให้คลิก OK เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมกับการปรากฏเส้นกราฟ ส่วนการทดสอบขั้นตอนต่อไปให้เลือก T.A. บน menu bar → Quick Test Run (หรือ Ctrt+Q)

3) การอ่านค่าที่ได้จากกราฟ เลือก Go to บน menu bar → max force → OK

ภาคผนวก ค

ค-1 แบบทดสอบความชอบวิธี 9-point-hedonic scale

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

<u>คำแนะนำ</u> กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาตามลำดับ แล้วให้คะแนนความชอบที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ กรุณาบ้วนปากก่อนชิมทุกครั้ง

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

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

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง
วิธีวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ง-1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

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

เครื่องมือและอุปกรณ์

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

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

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

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

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีเฉลี่ยที่ความเจือจางต่ำที่สุด

df คือ Dilution Factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะเชื้อในถาดที่หาค่า n ได้

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

7.2 หากไม่ตรวจพบจำนวนโคโลนีเลยในจำนวน 3 ซ้ำ ให้รายงานว่า <1.0 x (dilution ที่ความเจือจางต่ำที่สุด)

7.3 หากจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีไม่มากนัก ให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

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

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

ง-2 ปริมาณยีสต์และรา โดยวิธีการนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

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

เครื่องมือและอุปกรณ์

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

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ทำวิธีเดียวกันกับภาคผนวกที่ ง-1 ในข้อที่ 1-5
2. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน
3. การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีฟ้าเขียวอ่อน (Light Bluish Green) ทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจางและรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด เช่นเดียวกันกับภาคผนวก ง-1

ยกเว้นกรณี หากจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีไม่มากนัก ให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 150 โคโลนี เกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นับจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตร แล้วนับจำนวน

โคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่อง แบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

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

ภาคผนวก จ
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ จ-1 ผลการวิเคราะห์สถิติของปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นเจาะระหว่างการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w)) ระหว่างการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลาออสโมซิส (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่สูญเสีย ± SD (%)						
	สิ่งทดลองที่ 1 (50: 0)	สิ่งทดลองที่ 2 (0:50)	สิ่งทดลองที่ 3 (5: 45)	สิ่งทดลองที่ 4 (10:40)	สิ่งทดลองที่ 5 (15: 35)	สิ่งทดลองที่ 6 (20:30)	สิ่งทดลองที่ 7 (25:25)
1	$12.89 \pm 0.30^{ab,F}$	$11.58 \pm 0.15^{cd,F}$	$11.48 \pm 0.89^{d,F}$	$12.00 \pm 0.17^{bcd,F}$	$12.06 \pm 0.09^{bcd,F}$	$12.57 \pm 0.44^{bc,E}$	$13.82 \pm 0.36^{a,F}$
2	$17.54 \pm 0.23^{a,E}$	$16.19 \pm 0.06^{d,E}$	$16.23 \pm 0.16^{cd,E}$	$16.30 \pm 0.35^{cd,E}$	$16.60 \pm 0.23^{cd,E}$	$16.80 \pm 0.12^{bc,D}$	$17.27 \pm 0.34^{ab,E}$
3	$21.78 \pm 0.20^{a,D}$	$18.59 \pm 0.54^{b,D}$	$18.64 \pm 0.76^{b,D}$	$18.01 \pm 0.49^{b,D}$	$18.47 \pm 0.36^{b,D}$	$18.43 \pm 0.20^{b,C}$	$21.00 \pm 0.52^{a,D}$
4	$23.52 \pm 0.54^{a,C}$	$20.26 \pm 0.35^{c,C}$	$20.44 \pm 0.63^{c,C}$	$20.82 \pm 0.24^{bc,C}$	$20.12 \pm 0.70^{c,C}$	$21.98 \pm 0.86^{bc,B}$	$21.94 \pm 0.05^{ab,C}$
5	$24.67 \pm 0.37^{a,B}$	$21.23 \pm 0.31^{b,BC}$	$21.25 \pm 0.79^{b,BC}$	$20.08 \pm 0.90^{b,C}$	$21.69 \pm 1.07^{b,B}$	$21.70 \pm 0.27^{b,B}$	$21.82 \pm 0.22^{b,C}$
6	$24.97 \pm 0.85^{a,B}$	$22.20 \pm 0.42^{c,AB}$	$21.82 \pm 0.28^{c,BC}$	$22.32 \pm 0.27^{c,B}$	$22.43 \pm 0.42^{bc,B}$	$22.38 \pm 0.70^{bc,B}$	$23.47 \pm 0.27^{b,B}$
7	$27.01 \pm 0.04^{a,A}$	$22.65 \pm 1.05^{b,A}$	$22.74 \pm 0.19^{b,AB}$	$22.80 \pm 0.12^{b,B}$	$22.50 \pm 0.26^{b,B}$	$22.34 \pm 0.16^{b,B}$	$23.18 \pm 0.69^{b,B}$
8	$27.14 \pm 0.25^{a,A}$	$23.08 \pm 0.10^{c,A}$	$23.89 \pm 1.32^{bc,A}$	$24.29 \pm 0.03^{bc,A}$	$24.16 \pm 1.08^{bc,A}$	$23.91 \pm 0.14^{bc,A}$	$24.64 \pm 0.21^{b,A}$

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

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

ตารางที่ จ-2 ผลการวิเคราะห์สถิติของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (%SG) ของชิ้นเงาะระหว่างการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความ เข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w)) ระหว่างการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลาออสโมซิส (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ± SD (%)						
	สิ่งทดลองที่ 1 (50: 0)	สิ่งทดลองที่ 2 (0:50)	สิ่งทดลองที่ 3 (5:45)	สิ่งทดลองที่ 4 (10:40)	สิ่งทดลองที่ 5 (15: 35)	สิ่งทดลองที่ 6 (20:30)	สิ่งทดลองที่ 7 (25:25)
1	$3.19\pm 0.01^{a,D}$	$2.53 \pm 0.05^{d,C}$	$3.08 \pm 0.14^{b,D}$	$2.24 \pm 0.01^{e,E}$	$2.78 \pm 0.01^{cd,E}$	$3.01 \pm 1.00^{bc,C}$	$3.04 \pm 0.01^{bc,C}$
2	$4.35 \pm 0.01^{a,C}$	$2.62 \pm 0.03^{de,C}$	$2.29 \pm 0.16^{e,C}$	$2.53 \pm 0.01^{e,E}$	$3.60 \pm 0.01^{b,D}$	$3.02 \pm 0.01^{cd,C}$	$3.10 \pm 0.01^{c,C}$
3	$4.45 \pm 0.01^{a,C}$	$2.72 \pm 0.12^{d,C}$	$2.91 \pm 0.27^{cd,C}$	$3.08 \pm 0.01^{cd,D}$	$3.73 \pm 0.01^{b,CD}$	$3.10 \pm 0.01^{cd,C}$	$3.35 \pm 0.01^{bc,C}$
4	$4.24 \pm 0.01^{ab,C}$	$2.66 \pm 0.01^{d,C}$	$3.17 \pm 0.01^{cd,C}$	$3.33 \pm 0.01^{c,D}$	$3.81 \pm 0.01^{bc,CD}$	$4.02 \pm 0.01^{ab,B}$	$4.61 \pm 0.01^{a,B}$
5	$4.24 \pm 0.01^{bc,C}$	$3.65 \pm 0.01^{d,B}$	$3.17 \pm 0.01^{e,C}$	$3.65 \pm 0.01^{cd,C}$	$3.88 \pm 0.01^{cd,CD}$	$4.45 \pm 0.01^{ab,B}$	$4.77 \pm 0.01^{a,B}$
6	$4.52 \pm 0.01^{ab,C}$	$3.72 \pm 0.01^{c,B}$	$4.24 \pm 0.01^{bc,B}$	$4.21 \pm 0.02^{bc,BC}$	$4.06 \pm 0.01^{bc,BC}$	$4.11 \pm 0.01^{bc,B}$	$5.05 \pm 0.01^{a,B}$
7	$5.18 \pm 0.01^{a,B}$	$4.46 \pm 0.01^{ab,A}$	$4.29 \pm 0.01^{b,AB}$	$4.52 \pm 0.43^{ab,B}$	$4.30 \pm 0.01^{b,B}$	$4.55 \pm 0.01^{b,B}$	$5.15 \pm 0.01^{a,B}$
8	$6.27 \pm 0.01^{a,A}$	$4.52 \pm 0.01^{d,A}$	$4.88 \pm 0.59^{cd,A}$	$5.20 \pm 0.02^{bcd,A}$	$5.38 \pm 0.36^{bc,A}$	$5.59 \pm 0.46^{abc,A}$	$5.91 \pm 0.01^{ab,A}$

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

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

ตารางที่ จ-3 ผลการวิเคราะห์สถิติของปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (%WR) ของชิ้นเจาะระหว่างการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w)) ระหว่างการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลาออสโมซิส (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำหนักที่ลดลง ± SD (%)						
	สิ่งทดลองที่ 1 (50: 0)	สิ่งทดลองที่ 2 (0:50)	สิ่งทดลองที่ 3 (5:45)	สิ่งทดลองที่ 4 (10:40)	สิ่งทดลองที่ 5 (15: 35)	สิ่งทดลองที่ 6 (20:30)	สิ่งทดลองที่ 7 (25:25)
1	9.70 ± 0.57^{b,F}	9.05 ± 0.54^{bc,E}	8.40 ±0.53^{c,F}	9.76 ± 0.46^{b,F}	9.28 ± 0.52^{b,F}	9.56 ± 0.07^{b,E}	10.78 ± 0.19^{a,F}
2	13.19 ±0.20^{bc,E}	13.57±0.03^{abc,D}	13.94 ± 0.68^{ab,E}	13.77 ±0.63^{abc,E}	13.00 ± 0.48^{c,E}	13.78 ±0.35^{abc,D}	14.17 ± 0.17^{a,E}
3	17.33 ± 0.33^{a,D}	15.87 ± 0.90^{b,C}	15.73 ± 0.17^{bc,D}	14.93 ± 0.56^{cd,D}	14.74 ± 0.09^{d,D}	15.33± 0.32^{bcd,C}	17.65 ± 0.34^{a,BCD}
4	19.28 ± 0.56^{a,C}	17.60 ± 0.11^{b,B}	17.27 ± 0.51^{b,C}	17.49 ± 0.48^{b,B}	16.31 ± 0.15^{c,C}	17.96 ± 0.92^{b,AB}	17.33 ± 0.46^{b,CD}
5	20.43 ± 0.38^{a,B}	17.58 ± 0.12^{bc,B}	18.08 ± 0.64^{b,BC}	16.43 ± 0.61^{d,C}	20.81 ± 0.82^{a,A}	17.25 ±0.42^{bcd,B}	17.05 ± 0.51^{cd,D}
6	20.45 ± 0.37^{a,B}	18.48 ± 0.57^{b,A}	17.58 ± 0.35^{c,BC}	18.11 ± 0.24^{bc,B}	18.37 ± 0.47^{b,B}	18.27 ± 0.28^{b,A}	18.42 ± 0.2^{b,AB}
7	21.83 ± 0.30^{a,A}	18.19 ± 0.11^{b,AB}	18.45 ± 0.06^{b,AB}	18.28 ± 0.65^{b,AB}	18.20 ± 0.65^{b,B}	17.79 ± 0.13^{b,AB}	18.03 ± 0.92^{b,ABC}
8	20.87 ± 0.82^{a,B}	18.56 ±0.21^{b,A}	19.02 ± 0.59^{b,A}	19.09 ± 0.08^{b,A}	18.78 ± 0.11^{b,B}	18.32 ± 0.39^{b,A}	18.73 ± 0.05^{b,A}

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

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

ตารางที่ จ-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส ที่เวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	17.153	2.859	6.992	0.016 [sig]
Error	6	2.453	0.409		
Total	16	9567.442			

[sig] คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ จ5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (%SG) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส ที่เวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	6.320	1.053	5.746	0.005 [sig]
Error	12	2.200	0.183		
Total	21	622.721			

[sig] คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ จ-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (%WR) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิส ที่เวลา 8 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	12.775	2.129	10.573	0.000 [sig]
Error	12	2.417	0.201		
Total	21	7638.498			

[sig] คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ จ-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้น (%) ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมงเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w))

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	12.406	2.068	4.755	0.011 [sig]
Error	12	5.218	0.435		
Total	21	77293.730			

[sig] คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ จ-8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a_w ของชิ้นเงาะที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมงเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส)

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	0.00	2.171E-5	0.379	0.879 [ns]
Error	12	0.001	5.729E-5		
Total	21	17.380			

[ns] คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05)

ตารางที่ จ-9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/100g) ของชิ้นเงาะผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมงเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%w/w)

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	420.911	70.152	209.846	0.000 [sig]
Error	12	4.012	0.334		
Total	21	16983.877			

[sig] คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ จ-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นที่ แตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%W/W))

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	16.504	2.751	22.079	0.000 [sig]
Error	11	1.370	0.125		
Total	20	58204.118			

[sig] คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ จ-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี a* ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นที่ แตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%W/W))

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	0.031	0.005	0.496	0.797 [ns]
Error	9	0.094	0.010		
Total	18	53.251			

[ns] คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05)

ตารางที่ จ-12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี b* ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลาย ออสโมติกที่มีความเข้มข้นที่ แตกต่างกัน (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส (%W/W))

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	1.940	0.323	2.361	0.110 [ns]
Error	10	1.369	0.137		
Total	19	1371.653			

[ns] คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05)

ตารางที่ จ-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้น (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส) แตกต่างกัน

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
Treatment	6	10.562	1.760	1.401	0.217 ns
Block	29	113.052	3.898	3.103	
Error	174	218.581	1.256		
Total	210	9319.000			

ns คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05)

ตารางที่ จ-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านสีของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อ ใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้น (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส) แตกต่างกัน

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
treatment	6	8.443	1.407	1.771	0.108 ns
Block	29	113.217	3.904	4.915	
Error	158	125.505	0.794		
Total	194	8428.000			

ns คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05)

ตารางที่ จ-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านรสชาติของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้น (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส) แตกต่างกัน

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
treatment	6	8.238	1.373	1.246	0.286 ns
Block	29	109.699	3.783		
Error	159	175.167	1.102		
Total	195	7486.000			

ns คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05)

ตารางที่ จ-16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้น (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส) แตกต่างกัน

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
treatment	6	5.467	0.911	0.702	0.648 [ns]
block	29	75.924	2.618	2.019	
Error	147	225.676	1.297		
Total	210	8554.000			

[ns] คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≥0.05)

ตารางที่ จ-17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านคะแนนความชอบโดยรวมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้น (ซูโครส : โอลิโกฟรุกโตส) แตกต่างกัน

Soure of variance	df	Sum of Squres	Mean Squres	F	Sig.
treatment	6	20.407	3.401	3.171	0.006 [sig]
block	29	101.650	3.505	3.267	
Error	162	173.784	1.073		
Total	198	8049.000			

[sig] คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ จ-18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	Df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	25.211	25.211	25.600	0.000 [sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	0.713	0.713	0.724	0.410 [ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	18.893	18.893	19.185	0.001 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	0.147	0.147	0.149	0.706 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.831	1.831	1.859	0.196 [ns]
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.175	0.175	0.178	0.680 [ns]
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.185	0.185	0.188	0.008 [sig]
Error	13	12.802	0.985		
Total	23	11164.809			

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

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

ตารางที่ จ-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	Df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	65.951	65.951	47.944	0.000 [sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	18.977	18.977	13.795	0.003 [sig]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	8.361	8.361	6.078	0.031 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	0.437	0.437	0.318	0.584 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.980	1.980	1.440	0.255 [ns]
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.480	1.480	1.076	0.322 [ns]
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.175	0.175	0.127	0.002 [sig]
Error	11	15.132	1.376		
Total	21	1436.969			

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

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

ตารางที่ จ-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำที่ลดลง (WR) ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	Df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	12.572	12.572	10.116	0.007 sig
กรดแอสคอร์บิก	1	14.555	14.555	11.712	0.004 sig
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2.001	2.001	1.610	0.225 ns
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	1.576	1.576	1.268	0.279 ns
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	3.750E-5	3.750E-5	0.000	0.996 ns
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.549	0.549	0.442	0.517 ns
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.020	0.020	0.016	0.020 sig
Error	14	17.399	1.243		
Total	24	4807.766			

sig คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	4.559	4.559	3.722	0.074 ^{ns}
กรดแอสคอร์บิก	1	2.257	2.257	1.843	0.196 ^{ns}
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	17.888	17.888	14.606	0.002 ^{sig}
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	1.067	1.067	0.871	0.366 ^{ns}
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.020	0.020	0.017	0.899 ^{ns}
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.147	0.147	0.120	0.734 ^{ns}
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.002	0.002	0.002	0.968 ^{ns}
Error	14	17.147	1.225		
Total	24	90945.684			

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

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

ตารางที่ จ-22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

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

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	3.654	3.654	8.043	0.016 [sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	3.734	3.734	8.217	0.015 [sig]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	4.625	4.625	10.179	0.009 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	3.501	3.501	7.705	0.018 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.135	0.135	0.297	0.597 [ns]
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.624	1.624	3.574	0.085 [ns]
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.016	0.016	0.036	0.852 [ns]
Error	11	4.998	0.454		
Total	21	13549.898			

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

ตารางที่ จ-23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคลเซียมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

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

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	24.624	24.624	314.160	0.000 [sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	1.029	1.029	13.131	0.003 [sig]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	3.003	3.003	38.317	0.000 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	0.003	0.003	0.033	0.858 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.697	0.697	8.893	0.010 [sig]
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.029	0.029	0.366	0.555 [ns]
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.137	0.137	1.742	0.208 [ns]
Error	14	1.097	0.078		
Total	24	114.621			

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

ตารางที่ จ-24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณวิตามินซีของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	815756.128	815756.128	29734.370	0.000 sig
กรดแอสคอร์บิก	1	2556169.010	2556169.010	93172.546	0.000 sig
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	9430.356	9430.356	343.737	0.000 sig
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	187196.007	187196.007	6823.308	0.000 sig
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	760.726	760.726	27.729	0.000 sig
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	3425.826	3425.826	124.872	0.000 sig
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	3154.709	3154.709	114.989	0.000 sig
Error	14	384.087	27.435		
Total	24	2.604E7			

sig คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ จ-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a_w ของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	0.001	0.001	5.980	0.028 [sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	7.350E-5	7.350E-5	0.605	0.449 [ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2.400E-5	2.400E-5	0.198	0.663 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	2.004E-5	2.400E-5	0.198	0.663 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.500E-6	1.500E-6	0.012	0.913 [ns]
กรดแอสคอร์บิก * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.000	0.000	0.000	1.000 [ns]
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก* การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.500E-6	1.500E-6	0.012	0.913 [ns]
Error	14	0.002	0.000		
Total	24	19.713			

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

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

ตารางที่ จ-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแน่นเนื้อของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

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

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	39.446	39.446	98.335	0.000 [sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	1.002	1.002	2.497	0.149 [ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2.350	2.350	5.858	0.039 [sig]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	0.061	0.061	0.153	0.705 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.056	0.056	0.140	0.717 [ns]
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.377	0.377	0.939	0.358 [ns]
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.171	0.171	0.427	0.000 [sig]
Error	9	3.610	0.401		
Total	19	6952.285			

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

ตารางที่ จ-27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบด้านลักษณะปรากฏของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	0.004	0.004	0.007	0.931 ^{ns}
กรดแอสคอร์บิก	1	0.200	0.200	0.373	0.542 ^{ns}
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.177	1.177	2.190	0.140 ^{ns}
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	1.177	1.177	2.190	0.140 ^{ns}
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	3.921	3.921	7.297	0.008 ^{ns}
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.688	0.688	1.280	0.259 ^{ns}
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.037	0.037	0.69	0.793 ^{ns}
Error	199	106.928	0.537		
Total	236	11469.000			

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

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

ตารางที่ จ-28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบด้านสีของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

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

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	0.114	0.114	0.163	0.687 [ns]
กรดแอสคอร์บิก	1	0.665	0.665	0.952	0.330 [ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.472	0.472	0.676	0.412 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	0.956	0.956	1.369	0.243 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.472	0.472	0.676	0.412 [ns]
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.665	0.665	0.952	0.330 [ns]
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.092	0.092	0.131	0.717 [ns]
Error	200	139.674	0.698		
Total	237	11550.000			

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

ตารางที่ จ-29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบด้านรสชาติของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

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

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	3.444	3.444	2.561	0.111 [ns]
กรดแอสคอร์บิก	1	185.823	185.823	138.170	0.000 [sig]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.640	0.640	0.476	0.491 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	4.917	4.917	3.656	0.057 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	5.087	5.087	3.782	0.053 [ns]
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.511	1.511	1.124	0.291 [ns]
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.482	0.482	0.358	0.000 [sig]
Error	178	239.389	1.345		
Total	215	7031.000			

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

ตารางที่ จ-30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชอบด้านเนื้อสัมผัสของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	5.350	5.350	6.934	0.009 [sig]
กรดแอสคอร์บิก	1	0.134	0.134	0.174	0.677 [ns]
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.809	0.804	1.049	0.307 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	0.328	0.328	0.425	0.515 [ns]
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.119	0.119	0.155	0.695 [ns]
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.151	0.151	0.196	0.659 [ns]
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.552	0.552	0.716	0.399 [ns]
Error	164	126.544	0.772		
Total	201	9910.000			

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

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

ตารางที่ จ-31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของด้านความชอบโดยรวมของชิ้นเงาะหลังการออสโมซิสที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

Soure of variance	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
แคลเซียมแลคเตท	1	3.632	3.632	2.948	0.088 ^{ns}
กรดแอสคอร์บิก	1	31.330	31.330	25.429	0.000 ^{sig}
การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	1.323E-5	1.323E-5	0.000	0.997 ^{ns}
แคลเซียมแลคเตท * กรดแอสคอร์บิก	1	8.593	8.593	6.975	0.009 ^{sig}
แคลเซียมแลคเตท * การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	4.699	4.699	3.814	0.052 ^{ns}
กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	2.344	2.344	1.903	0.169 ^{ns}
แคลเซียมแลคเตท*กรดแอสคอร์บิก*การใช้สภาวะสุญญากาศ	1	0.410	0.410	0.333	0.000 ^{sig}
Error	198	243.947	1.232		
Total	235	9695.000			

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

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

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

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

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131
e-mail wich@buu.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.ม. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.บ. (วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยบูรพา

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

Food product development, Sensory evaluation, Processing of fruit and vegetable, Osmotic dehydration

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย นางสาวอุดมลักษณ์ สุขอัตตะ
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Udomlak Sukatta

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

หัวหน้าฝ่ายเทคโนโลยีชีวมวล และพลังงานชีวภาพ

3. หน่วยงานที่สังกัด

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีสมุนไพร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ
ฝ่ายเทคโนโลยีชีวมวลและพลังงานชีวภาพ
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
e-mail aap e-mail uls@ku.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

การทำวิจัยหลังปริญญาเอก (Certificate of Food and Nutrition) United Nation University, Japan
ปร.ด. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.ม. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

Plant extraction, Phytochemical, HPLC and GC-MS, Physical and chemical of essential oil