รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลไม้ไทยโดยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปใหม่คล้ายของสดด้วยการเตรียมขั้นต้นวิธีออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ: กรณีศึกษาน้อยหน่า ลองกอง และมังคุด

Value-added, Fresh-like Restructured Thai Fruit Products Prepared by Vacuum Osmotic Dehydration Treatment: A Case Study of Sugar apple, Longkong and Mangosteen

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร.ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2560A10802068
สัญญาเลขที่ 167/2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลไม้ไทยโดยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปใหม่คล้ายของสดด้วยการเตรียมขั้นต้นวิธีออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ: กรณีศึกษาน้อยหน่า ลองกอง และมังคุด

Value-added, Fresh-like Restructured Thai Fruit Products Prepared by Vacuum Osmotic Dehydration Treatment: A Case Study of Sugar apple, Longkong and Mangosteen

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

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มีนาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 167/2560 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวพิชานันท์ ขำขยัน และนางสาวสุภลัคน์ แก่นโชติกุล ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย
มีนาคม 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปใหม่ด้วยการเตรียมขั้นต้นวิธีออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศจากวัตถุดิบผลไม้ ได้แก่ น้อยหน่า ลองกอง และมังคุด จากการศึกษาผลการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าว พบว่า ทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) รวมถึงปริมาณความชื้น ค่า a_w ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าสี (L* a* และb*) และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและด้านสี ของผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากการศึกษาผลของการเติมแคลเซียมและวิตามินซีร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส พบว่า อิทธิพลร่วมของ 3 ปัจจัยมีผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่าสี a* ค่าสี b* และค่าความแน่นเนื้อ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อค่า WL ค่า WR ปริมาณความชื้น ค่าสี L* และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทั้งหมด ($p > 0.05$) จากการศึกษาผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ พบว่า การแปรปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ทำให้เวลาในการทำแห้ง ค่า a_w ค่าสี (L* a* และb*) ค่าความแน่นเนื้อ ความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และด้านความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส 50% กับน้ำตาลมะพร้าว 10% โดยเติมแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% และกรดแอสคอร์บิก 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ โดยเติมกลีเซอรอล 15% ในการขึ้นรูปใหม่ โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p \leq 0.05$)

Abstract

This research aimed to develop restructured Thai fruit products prepared by vacuum osmotic dehydration from Sugar apple Longkong and Mangosteen. Effect of using osmotic mixture solution consisted of oligofructose and coconut sugar was investigated. It was resulted statistically significant in mass transfer, including the WL SG and WR as well as moisture content, a_w value, total sugar content, color value (L* a* and b*) and liking sensory score in terms of appearance and color of fruit treated with osmotic dehydration for 6 hours ($p \leq 0.05$). The effect of calcium lactate concentration and ascorbic acid concentration combined with osmosis under vacuum impregnation were carried out. Interaction of all three factors significant affected the mass transfer including the SG value, calcium content, vitamin C content, color value (a* and b*) and firmness value significant ($p \leq 0.05$). There was no influence factors affected the mass transfer including the WL and WR value, moisture content, color value (L*) and overall sensory score ($p > 0.05$).The effect of using glycerol content on quality of new forming semi- dried fruit product was investigated. Addition of glycerol affected on drying time, a_w value, color value (L* a* and b*), firmness value, liking sensory score in terms of appearance, color, flavor, texture and overall liking ($p \leq 0.05$). The appropriate treatment condition was using osmotic mixture solution consisted of 50% oligofructose and 10% coconut sugar as well as adding 2% calcium lactate and 1% ascorbic acid processed under vacuum impregnation. Prior to restructure forming, 15% of glycerol was added to osmosed fruit puree. The developed restructured semi-dried fruit had more overall liking sensory score than the product without osmotic pretreatment ($p \leq 0.05$).

สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	Abstract	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	จ
	สารบัญภาพ	ฏ
บทที่		
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	4
3	วิธีดำเนินการทดลอง	25
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	33
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	95
	บรรณานุกรม	97
	ภาคผนวก	105
	ประวัตินักวิจัย	118

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	การถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิสในผักและผลไม้.....	6
2-2	กลไก Hydrodynamic Mechanism (HDM).....	8
2-3	ลักษณะผลน้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่อง.....	16
3-1	ลักษณะน้อยหน่าที่ใช้ในงานวิจัย.....	26
3-2	ลักษณะมังคุดที่ใช้ในงานวิจัย.....	26
3-3	ลักษณะลองกองที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
3-4	ลักษณะการต่อเชื่อมอุปกรณ์ในการออสโมซิสสภาวะสุญญากาศ.....	30
4-1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) กับเวลาออสโมซิสชิ้นน้อยหน่าเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	34
4-2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาออสโมซิสชิ้นน้อยหน่าเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	35
4-3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาออสโมซิสชิ้นน้อยหน่าเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	35
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) กับเวลาออสโมซิสลองกองเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	36
4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาออสโมซิสลองกองเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	36
4-6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาออสโมซิสลองกองเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	37
4-7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) กับเวลาออสโมซิสมังคุดเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาออสโมซิสมังคุดเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	38
4-9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาออสโมซิสมังคุด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	38
4-10	ลักษณะของชิ้นน้อยหน่าที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดวนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	39
4-11	ลักษณะของลองกองที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	40
4-12	ลักษณะของมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลาเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	41
4-13	ลักษณะสีของสารละลายออสโมติกก่อนการใช้งานทั้ง 5 สิ่งทดลอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w).....	48
4-14	ปริมาณความชื้น (%) ของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ ([a,b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$).....	58
4-15	ลักษณะของชิ้นน้อยหน่าสด (ก) และหลังการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง (ข)-(ฌ) เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) กรดแอสคอร์บิก (AA) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (VI).....	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-16	ลักษณะสีของสารละลายออสโมติก เมื่อใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างโอลิโกฟรุคโตส 50%w/w กับน้ำตาลมะพร้าว 10%w/w ที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) และกรดแอสคอร์บิก (AA) แตกต่างกัน	62
4-17	ลักษณะของชิ้นลองกองสด (ก) และหลังการออสโมซิส (ข) เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส	71
4-18	ลักษณะของชิ้นมังคุดสด (ก) และหลังการออสโมซิส (ข) เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส	71
4-19	ลักษณะเพียวน้อยหน่าที่ขึ้นรูปใหม่ก่อนการทาแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล	73
4-20	ลักษณะผลิตภัณฑ์น้อยหน่าที่ขึ้นรูปใหม่หลังการทาแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล	74
4-21	ลักษณะเพียวเร่ลองกองที่ขึ้นรูปใหม่ก่อนการทาแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล	74
4-22	ลักษณะผลิตภัณฑ์ลองกองที่ขึ้นรูปใหม่หลังการทาแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล	75
4-23	ลักษณะเพียวเร่มังคุดที่ขึ้นรูปใหม่ก่อนการทาแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล	75
4-24	ลักษณะผลิตภัณฑ์มังคุดที่ขึ้นรูปใหม่หลังการทาแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล	76
4-25	ลักษณะของชิ้นน้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิส (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข)	88
4-26	ลักษณะของชิ้นลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิส (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข)	89
4-27	ลักษณะของชิ้นมังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิส (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข)	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-69	ตัวอย่างการเผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชนภาพ.....	94
4-70	ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน.....	94

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยมีการปลูกผลไม้ในปริมาณมาก และผลไม้ไทยหลายชนิดที่มีศักยภาพในการส่งออกจำหน่ายในตลาดต่างประเทศโดยเฉพาะในรูปแบบผลไม้สด อย่างไรก็ตามในการจำหน่ายในรูปแบบผลไม้สดมักมีการคัดเกรดเพื่อการส่งออก ทำให้มีผลผลิตส่วนหนึ่งที่มีคุณภาพต่ำกว่า เช่น มีตำหนิ ขนาดผลเล็ก จะจำหน่ายเพื่อการบริโภคสดภายในประเทศ และอาจพบปัญหาล้นตลาด ราคาตก และเน่าเสียง่ายระหว่างการรอจำหน่าย (สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, 2553) นอกจากนี้สาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งคือ ผลไม้ส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำเป็นองค์ประกอบมาก จึงจัดเป็นอาหารประเภทเสื่อมเสียง่าย (perishable food) (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539) แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ ควรให้ความสำคัญกับการแปรรูปผลไม้ ที่เน้นรูปแบบการเพิ่มมูลค่า (value added) ของผลไม้ไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556; สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, 2553) ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศตามโมเดลไทยแลนด์ 4.0 โดยให้ประเทศมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม (value-based economy) ที่มุ่งเน้นการสร้างมูลค่าเพิ่ม (ไทยรัฐออนไลน์, 2559) ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2558) กล่าวว่า การขยายตัวด้านการส่งออกผลไม้และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผลไม้ยังมีโอกาสการเพิ่มขึ้นได้อีกมาก ทั้งตลาดสหรัฐอเมริกา ยุโรป และประเทศในประชาคมอาเซียน เนื่องจากคู่แข่งผลไม้เมืองร้อนชนิดเดียวกับประเทศไทยในตลาดโลกยังมีค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามการเจาะตลาดอย่างยั่งยืนจำเป็นต้องสร้างความแข็งแกร่งตลอดห่วงโซ่การผลิต รวมทั้งการแปรรูปผลิตภัณฑ์อย่างมีสไตล์ (style) และชูจุดเด่นของรสชาติผลไม้

งานวิจัยนี้มีแนวคิดผลิตภัณฑ์ (product concept) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อผลไม้ ได้แก่ น้อยหน่า ลองกอง และมังคุด รูปแบบพร้อมรับประทาน (ready to eat) ที่คงลักษณะของผลไม้สดให้ได้มากที่สุด และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง การแปรรูปอาศัยหลักการของการออสโมซิสเป็นวิธีการเตรียมขั้นต้นเพื่อดึงน้ำออกบางส่วน รวมถึงเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically Active Compound: PAC) เพิ่มเข้าไปด้วย แล้วนำผลไม้มาตีป่นเพื่อลดขนาด แล้วขึ้นรูปใหม่ให้เป็นชิ้นที่คงรูปขนาดพร้อมรับประทาน นำมาแปรรูปต่อโดยการทำแห้งจนได้ผลิตภัณฑ์ชนิดกึ่งแห้งที่มีความชื้น 15%-55% และค่า a_w 0.65-0.85 (Jay, 1998) ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บมากกว่าผลไม้สด แนวคิดผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้มาจากการพิจารณาหลักการการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) ที่ทำได้โดยการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งมีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารที่สำคัญ คือ น้ำแพร่ออกจากชิ้นผลไม้ และตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกแพร่เข้าในชิ้นผลไม้ มีผลสำคัญให้เกิดการลดความชื้นให้กับวัตถุดิบก่อนการนำไปทำแห้ง ทำให้ลดระยะเวลาในการทำแห้งลงและลดการสูญเสียกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหาร (Torreeggiani, 1993; Raoult-Wack, 1994) ในการออสโมซิสมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสหลายประการ การศึกษาและปรับปรุงปัจจัยในกระบวนการออสโมซิสจึงมีผลให้ได้ผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสที่ตรงกับแนวความคิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้

โดยส่วนใหญ่สารละลายออสโมติกมักเตรียมจากน้ำตาลทราย เนื่องจากราคาถูกและหาง่าย แต่มีข้อด้อย คือ ต้องใช้สารละลายความเข้มข้นสูง (มากกว่า 50°Brix) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานมาก และมีโอกาสเกิดผลเสียต่อสุขภาพ เช่น ทำให้เกิดโรคอ้วน และนำไปสู่โรคร้ายแรงต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน และโรคหัวใจ เป็นต้น (Ciurzynska et al., 2016) จึงไม่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่มีพฤติกรรมรักสุขภาพ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดหลีกเลี่ยงการใช้น้ำตาลทรายหรือน้ำตาลซูโครส โดยใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสกับน้ำตาลมะพร้าว เนื่องจากน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส มีรสชาติเหมือนกับน้ำตาลทราย แต่ให้ความหวานและให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลทราย รวมทั้งน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสมีสมบัติเป็นพรีไบโอติก (อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ, 2539) สำหรับน้ำตาลมะพร้าว เป็นน้ำตาลจากธรรมชาติ มีรสชาติคล้ายน้ำตาลทรายแดงแต่มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่า โดยมีแร่ธาตุและวิตามินมากกว่าน้ำตาลทราย นอกจากนี้น้ำตาลมะพร้าวให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลทราย รวมทั้งมีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index; GI) ต่ำ เท่ากับ 35 ในขณะที่น้ำตาลทรายมีค่า GI เท่ากับ 64 (Chalobon, 2553) นอกจากนี้งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยด้านด้านการเสริมแร่ธาตุและวิตามินในสารละลายออสโมติกร่วมกับการออสโมซิสภายใต้สภาวะสุญญากาศในระยะเวลาสั้นก่อนการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ โดยต้องการเสริมแร่ธาตุแคลเซียมและวิตามินซี ซึ่งจัดเป็นสาร PAC ที่สามารถเติมลงไปในสารละลายออสโมติกได้ (Fito et al, 1999; Silva et al., 2014) โดยเติมในรูปของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ โดยแคลเซียมจัดเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณมาก มีความสำคัญต่อกระดูกและฟัน โดยปริมาณแคลเซียมที่แนะนำให้บริโภค (สำหรับคนไทยวัยผู้ใหญ่) คือ 1,000 มิลลิกรัม/วัน สำหรับวิตามินซีจัดเป็นวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกายและร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นมาเองได้ วิตามินซีช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันและบำรุงผิว โดยปริมาณวิตามินที่แนะนำให้บริโภค (สำหรับคนไทยวัยผู้ใหญ่) คือ 60 มิลลิกรัม/วัน (สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ, 2554) นอกจากนี้ทั้งแคลเซียมและวิตามินซี จัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพทางเนื้อสัมผัสและช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษาได้ (พีระพรรณ โพธิ์ทอง, ม.ป.ป.)

การออสโมซิสภายใต้สภาวะสุญญากาศในระยะเวลาสั้นก่อนการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ มีผลทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดีมากขึ้น เนื่องจากในขณะใช้สภาวะสุญญากาศอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์ของผลไม้จะถูกดูดออกมา และอาจเกิดการทำลายโครงสร้างเนื้อเยื่อเล็กน้อย เมื่อนำมาแช่ในสภาวะบรรยากาศ สารละลายออสโมติก จึงสามารถแพร่เข้ามาแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกได้ดีมากขึ้น (Fito et al., 1995; Jissy et al., 2012; Hironaka et al., 2011; Barrera et al., 2004; Barrera et al., 2009) งานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศร่วมด้วย โดยปกติผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสมักมีลักษณะชิ้นเปลี่ยนแปลงไป เช่น เกิดลักษณะหด บิด เบี้ยว ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่คงรูปเดิมก่อนการออสโมซิส งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำเนื้อผลไม้หลังการออสโมซิสมาตีป่นเพื่อลดขนาด แล้วขึ้นรูปใหม่ให้เป็นชิ้นที่คงรูป จึงมีการศึกษาใช้กลีเซอรอลเป็นสารยึดเกาะ (binder) เพื่อช่วยในการขึ้นรูปเนื่องจากกลีเซอรอลมีความหนืดสูง และเป็นสารให้ความยืดหยุ่น (plasticizer) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่ม นอกจากนี้กลีเซอรอลมีสมบัติดูดความชื้น (humectant) สามารถลดค่า a_w ในอาหารกึ่งแห้งได้ดี (พิสุทธิ หนักแน่น, 2555)

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลธรรมชาติกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อผลไม้หลังการออสโมซิส

2) เพื่อศึกษาผลของการเติมแคลเซียมและวิตามินซีร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการ ออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อผลไม้หลังการออสโมซิส

3) เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยึดเกาะต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ขึ้นรูป

4) เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

5) ถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวคิดแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากเนื้อผลไม้ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ น้อยหน่า ลองกอง และมังคุด ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อผลไม้พร้อมรับประทาน ที่คงลักษณะของผลไม้สดให้ได้มากที่สุด และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ขอบเขตโครงการวิจัยครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนากรรมวิธีการผลิต และการตรวจสอบคุณภาพ โดยแบ่งงานเป็น 5 ตอน ดังนี้ **ตอนที่ 1** การศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลธรรมชาติกับน้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส โดยน้ำตาลธรรมชาติที่ใช้ คือ น้ำตาลมะพร้าว โดยเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง ปริมาณน้ำตาลต่ำ และได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด **ตอนที่ 2** การศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมและวิตามินซีร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส เป็นการกระตุ้นสภาวะการออสโมซิสโดยการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศในระยะเวลาสั้นๆก่อนการแช่ในสภาวะสุญญากาศ โดยเติมธาตุแคลเซียมในรูปแคลเซียมแลคเตท และเติมวิตามินซีในรูปกรดแอสคอร์บิกในสารละลายออสโมติก เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง มีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูง **ตอนที่ 3** การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยึดเกาะเพื่อช่วยในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอนนี้เป็นการนำเนื้อผลไม้หลังการออสโมซิสมาตีป่นเพื่อลดขนาดและขึ้นรูปใหม่ให้เป็นชิ้น โดยศึกษาการใช้สารยึดเกาะ (Binder) ได้แก่ กลีเซอรอล เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปได้ง่าย มีลักษณะเนื้อสัมผัสดี และและได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด **ตอนที่ 4** การเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส ในขั้นตอนนี้เป็นการนำเนื้อผลไม้หลังการออสโมซิสมาตีป่นเพื่อลดขนาดและขึ้นรูปใหม่ให้เป็นชิ้น แล้วนำมาทำแห้งให้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง เปรียบเทียบคุณภาพกับผลไม้กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส **ตอนที่ 5** การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน โดยการจัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้สู่ชุมชน รวมทั้งการนำเสนอผลงานผ่านการประชุมวิชาการหรือการตีพิมพ์ เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักวิจัย

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

1. อาหารกึ่งแห้ง

อาหารกึ่งแห้ง (intermediate moisture food หรือ semi-dried food) หมายถึง อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นระดับที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อราและยีสต์ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี โดยปกติอาหารกึ่งแห้งมีเนื้อสัมผัส (texture) ที่ดีกว่าอาหารแห้ง เนื่องจากยังมีน้ำอยู่บางส่วน มีความชุ่มฉ่ำ ไม่แห้งและแข็งเกินไป อาหารกึ่งแห้งจึงเป็นอาหารที่สามารถบริโภคได้ โดยไม่ต้องนำไปคืนตัว มีความคงตัวโดยไม่ต้องนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำ หรือฆ่าเชื้อด้วยความร้อน โดยอาหารกึ่งแห้งยังคงมีปริมาณน้ำจำนวนหนึ่ง จึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนใหญ่การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งมีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานมากที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ โดยเน้นในด้านความคงทนต่อจุลินทรีย์ คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีและการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ (ชมพู่ ยิ้มโต, 2550; ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539; นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

โดยปกติสามารถจัดกลุ่มอาหารตามค่า a_w ได้ดังนี้ (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539)

- อาหารที่มีความชื้นสูง (High Moisture Food; HMF) เป็นอาหารที่มีความชื้นมากกว่า 50% หรือ มี a_w มากกว่าหรือเท่ากับ 0.95 เช่น อาหารสดทุกชนิด
- อาหารที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate Moisture Food; IMF) เป็นอาหารที่มีความชื้น 15%-50% หรือมีค่า a_w ระหว่าง 0.65-0.85 เช่น ปลาหมึกแห้งมีความชื้นไม่เกิน 28%
- อาหารที่มีความชื้นต่ำ (Low Moisture Foods; LMF) เป็นอาหารที่มีความชื้นประมาณ 10% -40% หรือมีค่า a_w ระหว่าง 0.60-0.09 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาทางเคมีและใช้ในการเจริญเติบโตได้เพียงเล็กน้อย

อย่างไรก็ตามมีการให้ความหมายของอาหารกึ่งแห้ง (intermediate moisture food หรือ semi-dried food) ที่ระบุช่วงของค่า a_w และปริมาณความชื้นไว้แตกต่างกันเล็กน้อย ดังนี้ ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ (2528) และ Smith and Norvell (1975) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง คือ มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.90 และมีความชื้นอยู่ในช่วง 15%-40% มีแนวโน้มพอเพียงต่อการถนอมอาหารและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น Leistner and Rodel (1976) รายงานว่า โดยทั่วไปแบคทีเรียจะถูกยับยั้ง ถ้าอาหารมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.90 แต่ถ้าค่า a_w น้อยกว่า 0.80 จะมีจุลินทรีย์พวก Xerophilic Moulds Halophilic Bacterias และ Osmophilic Yeasts เจริญได้ โดยจุลินทรีย์ที่มีแนวโน้มในการเจริญและสร้างสารพิษในอาหารกึ่งแห้งได้แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 จุลินทรีย์ที่มีแนวโน้มในการเจริญและสร้างสารพิษในอาหารกึ่งแห้ง

แบคทีเรีย	ยีสต์	รา
Pediococcus	*Hansenula*	*Cladosporium*
Streptococcus	*Candida*	*Paecilomyces*
Micrococcus	*Hanseniaspora*	*Penicillium*
Lactobacillus	*Torulopsis*	*Aspergillus*
Vibrio	*Debaryomyces*	*Emericella*
Staphylococcus	*Saccharomyces*	*Eremascus*

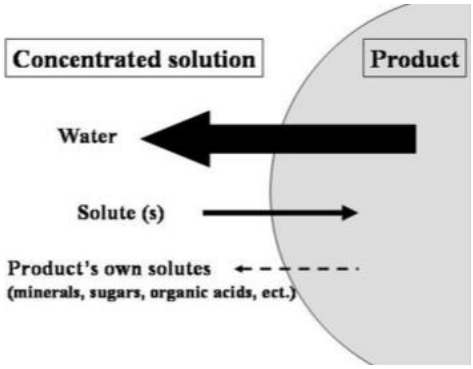
ที่มา : Leistner and Rodel (1976)

2. การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส เป็นการแปรรูปอาหารที่สามารถลดปริมาณน้ำในอาหารลงได้ โดยส่วนใหญ่มักดำเนินการกับผักผลไม้ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมาก ทำได้โดยการแช่ผักผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งเรียกว่าสารละลายออสโมติก เช่น สารละลายน้ำตาล สารละลายเกลือ และสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลและเกลือ เป็นต้น การออสโมซิสสามารถลดปริมาณน้ำในวัตถุดิบลงได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูง เป็นวิธีลดปริมาณน้ำในผักผลไม้ที่ไม่รุนแรง จึงไม่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพไปจากของสดมากนัก (วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, 2556)

2.1 การถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิส

การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสอาศัยหลักการเคลื่อนย้ายน้ำบางส่วนจากเนื้อเยื่ออาหาร ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของอาหารและสารละลายออสโมติก เกิดเป็นแรงขับ (driving force) ทำให้มีการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเซลล์ของอาหารและสารละลายออสโมติก ในลักษณะสวนทางกันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) สำหรับผักผลไม้ ผนังเซลล์สามารถยืดขยายตัวได้เมื่อมีแรงดันเกิดขึ้นภายในเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์จะทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน โดยยอมให้น้ำแพร่ผ่านได้มากกว่าตัวถูกละลายของสารละลายออสโมติก โดยการถ่ายโอนมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิส ได้แก่ 1) น้ำภายในเซลล์ของผักผลไม้จะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลายออสโมติก 2) ตัวถูกละลายของสารละลายออสโมติก เช่น น้ำตาลหรือเกลือ จะแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ผักผลไม้ และ 3) สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ผักผลไม้ตามธรรมชาติ เช่น กรดอินทรีย์และเกลือแร่ จะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลายออสโมติก ทั้งนี้การถ่ายโอนมวลสารหลักที่เกิดขึ้นคือการเคลื่อนย้ายของตัวถูกละลายของสารละลายออสโมติก โดยการถ่ายโอนมวลสารนี้จะเกิดขึ้นจนเข้าสู่สมดุลของสารละลายภายในและภายนอกเซลล์ส่วนการเคลื่อนย้ายของสารที่มีอยู่ตามธรรมชาติในเซลล์ผักผลไม้นั้นจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสจะทำให้ปริมาณน้ำในผักผลไม้ลดลง ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น และทำให้น้ำหนักสุทธิลดลงได้ รวมถึงทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity; a_w) ของผักผลไม้ลดลงด้วย (Torreeggiani, 1993; Raoult-Wack, 1994) การถ่ายโอนมวลสารที่เกิดขึ้นในระหว่างการออสโมซิสดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 การถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิสในผักและผลไม้
ที่มา : Raoult-Wack et al. (1994)

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในผักและผลไม้

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2556) กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลกับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในผักและผลไม้ที่มีต่อการถ่ายโอนมวลสารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ลักษณะของผักละผลไม้ การเตรียมขั้นต้น ลักษณะของสารละลายออสโมซิส อุณหภูมิและเวลาการออสโมซิส และปัจจัยอื่นๆมีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

2.2.1. ลักษณะของผักและผลไม้

1) ชนิด พันธุ์ และความสุก องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบผักผลไม้และลักษณะทางกายภาพ เช่น ความเป็นรู การเรียงตัวและโครงสร้างของเซลล์ ช่องว่างภายในเซลล์และการยึดติดกันของเซลล์ เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเซลล์ผักผลไม้กับสารละลายออสโมติก และมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิส

2) รูปร่างและขนาดของชิ้นอาหาร มีผลระยะการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากชิ้นผักผลไม้และการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติก และหากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก น้ำจะมีโอกาสแพร่ออกมาได้มากกว่าการมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย

2.2.2. การเตรียมขั้นต้น

1) การลวก สามารถทำได้โดยลวกในน้ำร้อนหรือลวกโดยใช้ไอน้ำร้อน การลวกจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของผักผลไม้อ่อนตัวลง เพิ่มความสามารถในการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ให้มากขึ้น และทำให้ตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติก สามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ได้มากขึ้น โดยพบว่าการลวกให้ผลดีกับผักผลไม้ที่มีเนื้อแข็ง

2) การใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ (Pulsed Electric Fields; PEF) ดำเนินการโดยให้สนามไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับอาหารจนเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อมีการสะสมประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จนทำให้มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตที่จะทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งจะใช้เวลาสั้นมากและทำให้เกิดปรากฏการณ์ electroporation หรือ pore formation ทำให้เกิดการทำลายที่เยื่อหุ้มเซลล ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลสาร

3) การใช้คลื่นอัลตราโซนิก คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีความถี่สูงเกินความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยิน (มากกว่า 20 กิโลเฮิรตซ์) การเคลื่อนที่ของคลื่นนี้จะเกิดปรากฏการณ์ captivation effect ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในตัวกลางที่ได้รับคลื่นอัลตราโซนิกเนื่องมาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ฟองอากาศมีผลทำให้เกิดรูขนาดเล็กขึ้น ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสให้สารละลายออสโมติกสัมผัสกับเนื้อเยื่อได้มากขึ้น จึงมีโอกาสเกิดการถ่ายโอนมวลสารได้มากขึ้นนั่นเอง

2.2.3 ลักษณะของสารละลายออสโมติก

1) ชนิดของสารละลายออสโมติก สารละลายออสโมติก ที่นิยมใช้ คือ น้ำเชื่อมจากน้ำตาล อย่างไรก็ตามชนิดของน้ำตาลมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการถ่ายโอนมวลสาร

2) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก ในการออสโมซิสต้องใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นภายในชิ้นผักผลไม้เพื่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันเกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายโอนมวลสาร ระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกจึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย โดยมีแนวโน้มคือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกส่งผลให้อัตราการถ่ายโอนมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าเพิ่มขึ้นและมีผล ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่า a_w ต่ำลง อย่างไรก็ตามการใช้สารละลายออสโมติกที่เข้มข้นมากเกินไปก็สามารถทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารลดลงได้เนื่องจาก หากสารละลายมีความเข้มข้นมากมักมีความหนืดมากและอาจเกิดชั้นบางๆ ที่ผิวของชิ้นวัตถุดิบซึ่งจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำและตัวถูกละลายระหว่างการออสโมซิสได้ (Sankat et al., 1996)

2.2.4 อุณหภูมิและเวลาการออสโมซิส

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้สูงขึ้นจะทำให้โครงสร้างบางส่วนของผักผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป คือ เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลง จึงทำให้การแพร่ผ่านของน้ำและตัวถูกละลายเป็นไปได้ง่ายกว่า การใช้อุณหภูมิต่ำและในกรณีการออสโมซิสโดยใช้น้ำเชื่อม การเพิ่มอุณหภูมิในการออสโมซิสมีผลให้ความหนืดของน้ำเชื่อมลดลงทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำตาลสะดวกขึ้น เป็นผลให้อัตราการออสโมซิสสูงขึ้นด้วย

2.2.5 ปัจจัยอื่นๆ

นอกจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในผักผลไม้ เช่น การคนหรือกวนสารละลายออสโมติกในขณะที่เกิดการออสโมซิสความเข้มข้นบริเวณรอบๆ ชิ้นอาหารจะลดลงเนื่องจากน้ำภายในชิ้นอาหารแพร่ออกมาสู่สารละลายออสโมติก จึงมีผลให้ประสิทธิภาพการออสโมซิสลดลงไปด้วย การคนหรือกวนเป็นการทำให้สารละลายออสโมติกมีการเคลื่อนที่ ซึ่งจะช่วยให้เกิดการกระจายความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้นได้ โดยทำให้สารละลายที่เข้มข้นกว่าไหลมาแทนที่สารละลายที่เจือจาง ทำให้ประสิทธิภาพการออสโมซิสสูงขึ้นด้วย อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกกับผักผลไม้ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการออสโมซิส โดยถ้าอัตราส่วนนี้เพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำแพร่ออกเร็วขึ้น

3. การใช้สภาวะสุญญากาศในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

การประยุกต์ในสภาวะสุญญากาศในกระบวนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส แบ่งเป็น 2 แบบ คือ การดึงน้ำออกแบบออสโมซิสในสภาวะความดันสุญญากาศ (Vacuum Osmotic Dehydration; VOD) และการใช้สภาวะความดันสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ (Pulse Vacuum Osmotic

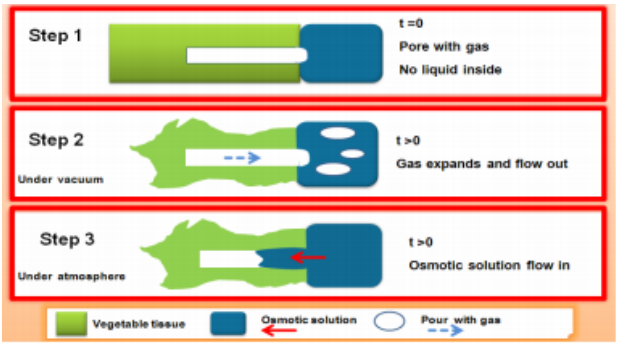
Dehydration; PVOD) ทำได้โดยการแช่ชิ้นอาหารในสารละลายออสโมติกแล้วให้สภาวะสุญญากาศในภาชนะปิดสนิท ซึ่งเรียกสภาวะนี้ว่า Vacuum Impregnation; VI ซึ่งเป็นกระบวนการที่ประยุกต์ใช้แรงขับเคลื่อนในการแพร่กระจายของน้ำ (Hydrodynamic Mechanism; HDM) จากเนื้อเยื่อของชิ้นอาหารไปสู่ที่มีแรงดันออสโมติกที่สูงกว่าผ่านเยื่อเลือกด้วยการใช้สภาวะสุญญากาศ กระบวนการนี้ทำได้โดยการลดความดันอากาศลง จนทำให้เกิดสภาวะความดันสุญญากาศในภาชนะที่ปิดสนิทเมื่อเริ่มต้นกระบวนการเป็นระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะปล่อยให้กลับคืนความดันบรรยากาศน้อยลง เนื่องจากก๊าซถูกบีบอัดจากความดันสุญญากาศ ทำให้ก๊าซเกิดการแผ่ขยายและเคลื่อนที่ออก นอกเนื้อเยื่ออาหารหลังจากนั้น เมื่อความดันกลับสู่ความดันบรรยากาศ สารละลายออสโมติกจะแพร่กระจายเข้าภายในโครงสร้างของชิ้นอาหาร เนื่องจากก๊าซที่เหลือจากการถูกบีบอัดจะเป็นตัวทำละลายเข้าสู่เซลล์ทางช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้การเคลื่อนย้ายมวลสารต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้ปริมาณของตัวถูกละลายที่เข้าสู่ชิ้นอาหารมีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่ชิ้นอาหารแบบดั้งเดิม

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

1) เมื่อ t=0 เป็นขั้นตอนที่เริ่มมีการแช่ชิ้นผักผลไม้ลงในสารละลายออสโมติก ยังไม่มีการเคลื่อนที่ของอากาศออกสู่สารละลายภายนอกหรือสารละลายออสโมติกและยังไม่มีการเคลื่อนที่ของสารละลายออสโมติกเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์

2) เมื่อเวลาผ่านไปในสภาวะสุญญากาศ t>0 ก๊าซจากช่องว่างระหว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกสู่สารละลายภายนอกหรือสารละลายออสโมติก อีกทั้งยังเกิดการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ด้วย

3) เมื่อสิ้นสุดการใช้สภาวะสุญญากาศ และแช่ชิ้นผักผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศ t>0 สารละลายจะแพร่ผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยจะเข้ามาแทนที่ก๊าซที่ถูกดูดออกไปเป็นผลให้ตัวถูกละลายแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้ และในขณะเดียวกันน้ำในชิ้นผักผลไม้ก็จะสามารถแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติกได้เช่นกัน กลไก Hydrodynamic Mechanism ในระหว่างการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 กลไก Hydrodynamic Mechanism (HDM)
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chiralt and Fito. (2003)

4. น้ำตาลที่ใช้ในงานวิจัย

สารละลายออสโมติกที่ใช้ในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ส่วนใหญ่จะเป็นสารละลายน้ำตาลซูโครส น้ำเกลือ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส มอลโทส รวมทั้งน้ำเชื่อมข้าวโพดด้วย (อ่อนรวี รัตตนาพันธุ์, 2553) สำหรับสารละลายออสโมติกที่ใช้ในโครงงานวิจัยนี้เตรียมจากน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าว

4.1 น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส

โอลิโกฟรุคโตส หรือฟรุคโตสโอลิโกแซคคาไรด์ (fructo-pligosaccharides) เป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ในกลุ่มของฟรุคแทน (fructan) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลฟรุคโตสเชื่อมต่อกัน 2-4 หน่วย พบมากในแก่นตะวัน กระเทียม กล้วยหอม และข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น (ฤดี สุราฤทธิ, 2549) เมื่อรับประทานโอลิโกฟรุคโตสซึ่งเป็นอาหารโพรไบโอ ติกของจุลินทรีย์ จึงช่วยส่งเสริมให้มีการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์สุขภาพ มีคุณสมบัติเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จึงทำให้มีปริมาณกากอาหารเพิ่มมากขึ้น ระบบขับถ่ายจึงดี ปัจจุบันนิยมนำโอลิโกแซคคาไรด์มาใช้เป็นสารเสริมในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น น้ำผลไม้ กาแฟ นม และอาหารธัญพืช เป็นต้น เพื่อให้เป็นอาหารสุขภาพ เนื่องจากมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยโรคเบาหวาน มีความหวานน้อยกว่าซูโครส 30-50% (Wada et al. 2005)

สำหรับประโยชน์สำคัญของโอลิโกฟรุคโตส คือ มีสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก (prebiotic) พรีไบโอติก คือ สารหรือองค์ประกอบที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิตและมีฤทธิ์กระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์โพรไบโอติก เช่น เชื้อ *Bifidobacteria* และ *Lactobacilli* ทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารให้แบคทีเรียในลำไส้ที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้เท่านั้น (Gibson, 2004; Gibson and Roberfroid, 1995) โดยปกติอาหารมักจะเริ่มถูกย่อยและมีการดูดซึมสารอาหารที่สำคัญมากที่สุด ที่กระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ส่วนลำไส้ใหญ่เป็นที่ทำลายกากอาหารที่ไม่ดูดซึมแล้วในลำไส้ใหญ่ของมนุษย์จะมีจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก ที่คอยทำหน้าที่ย่อยสลายกากอาหารและเปลี่ยนเป็นอุจจาระ จุลินทรีย์เหล่านี้มีด้วยกันนับล้านตัว ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีผลดีต่อสุขภาพที่เรียกว่า โพรไบโอติก (probiotic)

ดังนั้นเมื่อเรารับประทานโอลิโกฟรุคโตสซึ่งเป็นอาหารพรีไบโอติก (prebiotic) ของจุลินทรีย์พวกไบโอติก จึงช่วยเสริมให้มีการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์สุขภาพด้วย จึงช่วยทำให้เกิดภาวะสมดุลในระบบทางเดินอาหาร ทำให้มีปริมาณกากอาหารเพิ่มขึ้น ระบบขับถ่ายจึงดีไม่เกิดการสะสมสารพิษไว้ตามผนังลำไส้ทำให้ร่างกายมีภูมิต้านทานดีจึงมีผู้นิยมนำไปใช้เพื่อทำการดีท็อกซ์เพื่อควบคุมน้ำหนัก เพื่อควบคุมโคเลสเตอรอล และการควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยเบาหวาน นอกจากนี้ยังสามารถเสริมภูมิคุ้มกัน และขจัดสารพิษที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียที่ไม่ดี โดยสรุปโอลิโกฟรุคโตสมีคุณสมบัติเป็น prebiotic และมีคุณประโยชน์ดังนี้ (อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ, 2539)

1) ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย
2) ช่วยควบคุม/ จำกัดปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคในร่างกาย
3) ช่วยให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น มีกลไกช่วยป้องกันมะเร็งในลำไส้ใหญ่
4) ช่วยลดสารพิษหลายชนิดที่อาจสะสมตามผนังลำไส้
5) ช่วยกระตุ้นให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกัน

6) ป้องกันหรือลดความรุนแรงของโรคติดเชื้อในทางเดินอาหาร เช่น ท้องเสีย
7) ช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมของร่างกาย
8) ลดปริมาณความร้อนในร่างกาย
9) ทำหน้าที่คล้ายอาหารจำพวกเส้นใย
10) เป็นตัวปรุงแต่ง มีรสชาติดีและมีรสหวานอ่อน ไม่ทำให้ฟันผุ
11) เป็นตัวให้ความชื้นแก่ผลิตภัณฑ์

4.2 น้ำตาลมะพร้าว

โดยปกติมะพร้าวจะออกดอกเป็นช่อขนาดใหญ่ มีกาบหรือใบประดับหุ้มอยู่มิด เมื่อดอกจะบานกาบนี้จะหลุดออก ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในก้านช่อดอกย่อยอันเดียวกัน ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่า มีจำนวนน้อย และอยู่ตอนโคนก้าน ดอกย่อย ส่วนดอกตัวผู้มีขนาดเล็กกว่าและมีจำนวนมากกว่าดอกตัวเมีย ดอกตัวผู้จะอยู่ต่อจากดอกตัวเมียไปทางปลายของก้านช่อดอกย่อย ดอกมีสีเหลืองอมขาว เมื่อดอกตัวผู้บานจะมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ช่อดอกมะพร้าวเรียกว่า‘งวง’หรือ‘จั่น’ส่วนที่ใช้ทำน้ำตาลมะพร้าว คือ ช่อดอก โดยสารสำคัญมีอยู่ในช่อดอกที่มีน้ำตาลซูโครสเป็นส่วน ในการทำนำตาลมะพร้าวจะนำส่วนจั่นหรือช่อดอก ที่มีอายุตั้งแต่ 45 วันขึ้นไป มาใช้แปรรูป (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555) น้ำตาลมะพร้าวส่วนใหญ่นิยมใช้ประกอบอาหาร เพราะมีรสหอมหวาน คุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาลมะพร้าวอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารต่างๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-2 และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวจากการรายงานของ Thampan (1975) และกล้าณรงค์ ศรีรอต (2532) มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-2 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาลมะพร้าวในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน	383 kcal
โปรตีน	0.4 g
ไขมัน	0.1 g
คาร์โบไฮเดรต	95 g
แคลเซียม	80 mg
ฟอสฟอรัส	43 mg
เหล็ก	11.4 mg
วิตามิน B3	1 mg

ที่มา : (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์ , 2551)

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าว

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

ที่มา : (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์, 2551)

Apriyantono et. al (2002) และณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์ (2551) รายงานว่า น้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22.5 45 67.5 และ 90 นาที มีผลให้ปริมาณความชื้น น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุคโตส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไปบ้าง อย่างไรก็ตาม พบว่า น้ำตาลมะพร้าวที่มีลักษณะเป็นของแข็งซึ่งมีความชื้นไม่เกิน 1%-4% จะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสอยู่ในช่วง 27%-81% น้ำตาลกลูโคสอยู่ในช่วง 2%-3% น้ำตาลฟรุคโตสอยู่ในช่วง 1%-3% ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ชนิดและปริมาณของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ในเวลาต่างๆ

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

ที่มา : (ณัฏฐิริชยา อุตราภรณ์ , 2551)

5. สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย หรือ Physiologically Active Compound (PAC) หรือ Functional ingredients เป็นสารประกอบในอาหารที่อยู่ตามธรรมชาติหรืออาจแต่งเติมสารอาหารนั้นให้มีมากขึ้น ทำหน้าที่ในการป้องกัน บำบัด ลดอาการการเกิดโรค รักษาโรคเรื้อรัง เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น หรือปรับปรุงภูมิคุ้มกันของร่างกาย สาร PAC พบได้ตามธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ซึ่งความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ (active compounds) ขึ้นอยู่กับ ชนิดพันธุ์นอกจากนี้สภาวะแวดล้อม เช่น การเก็บรักษาแสง กระบวนการแปรรูปมีผลต่อคุณภาพของสารออกฤทธิ์ (bioavilability) ของสาร PAC ต่างๆในอาหาร (Hering and Albrechtt, 2005) สาร PAC

สามารถพบได้ในอาหารตามธรรมชาติ และทางเลือกที่ดีทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คือ การเติม PAC ลงไปในอาหาร เช่น ผักผลไม้ ให้เป็นอาหารสุขภาพได้ ตัวอย่างสาร PAC ได้แก่ โพรไบโอติก พรีไบโอติก วิตามิน แร่ธาตุ และเส้นใยที่ละลายน้ำได้ (Fito et al, 2001) สำหรับงานวิจัยนี้มีการเติมสาร PAC ลงในสารละลายออสโมติก ได้แก่ วิตามินซี และธาตุแคลเซียม ซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ร่างกายต้องการและขาดไม่ได้ รวมถึงน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสซึ่งมีสมบัติเป็นพรีไบโอติกและมีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลซูโครส สำหรับแร่ธาตุแคลเซียมและวิตามินซี มีรายละเอียดการมีบทบาทที่สำคัญต่อสุขภาพดังนี้

5.1 แคลเซียม

สำหรับแคลเซียม (calcuim) จัดเป็นแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของกระดูกและฟัน ทั้งยังมีปริมาณมากที่สุดในร่างกาย หรือประมาณ 1,200-2,000 กรัม ซึ่ง 99% ในจำนวนนี้เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน อีกประมาณ 1% หรือ 12% พบในเลือด เนื้อเยื่อ และของเหลวต่างๆในร่างกาย หน้าที่รวมถึงการเต้นของหัวใจ เป็นต้น (กลุ่มศึกษาวิจัยโรคกระดูกพรุนคณะแพทย์ศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2554) แคลเซียมพบได้มากใน นม, ชีส, โยเกิร์ต, บล็อกโคลี่, คะน้า, กะหล่ำปลี, น้ำผลไม้และธัญพืชต่างๆ เป็นต้น (ธีรศักดิ์ ธำรงธีระศักดิ์, 2554)

เนื่องจากแคลเซียมมีความสำคัญต่อการสร้างและพัฒนากระดูกและฟัน จึงจำเป็นต่อทารกและเด็กในวัยเจริญเติบโต หรือแม้แต่หญิงตั้งครรภ์ก็ยังต้องการแคลเซียมเพื่อสร้างกระดูกและฟันของทารกในครรภ์ส่วนผู้หญิงที่อยู่ระหว่างให้นมบุตรนั้นต้องการแคลเซียมเพื่อผลิตน้ำนมเช่นกัน ดังนั้นปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการจึงแตกต่างกันไปตามช่วงวัย (สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ, 2554) แสดงดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ปริมาณแคลเซียมที่ควรได้รับต่อวัน สำหรับบุคคลที่อยู่ในช่วงวัยและสถานะแตกต่างกัน

ช่วงวัย/สถานะ	ปริมาณที่ควรได้รับ (มิลลิกรัมต่อวัน)
เด็ก (1-10 ปี)	800-1,000
วัยรุ่น (11-25ปี)	1,000
ผู้ใหญ่	1,000
หญิงมีครรภ์	1,000
หญิงให้นมบุตร	1,500-2,000
ผู้ป่วยกระดูกหัก	1,500

ที่มา : (สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ, 2554)

5.2 วิตามินซี

วิตามินซีเป็นสารอาหารที่มีหน้าที่ช่วยการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกาย การขาดวิตามินอาจเป็นสาเหตุของโรคต่างๆได้มากมาย วิตามินได้ถูกค้นพบหลายชนิดที่สำคัญ เช่น วิตามินเอ, บี1, บี2, บี3, บี5, บี6, บี7, บี9, บี12, ซี, ดี, อี และ เค (อภัย ราษฎรวิจิตร, 2558)

วิตามินซี หรือชื่อทางเคมีกรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) เป็นวิตามินที่ละลายไดในน้ำและร่างกายไมสามารถที่จะสร้างวิตามินซีได้ จึงจำเป็นต้องได้จากการรับประทานเข้าไป วิตามินซี

สามารถพบ ได้ในผักและผลไม้บางชนิด มี 2 รูปแบบซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ทั้ง 2 ชนิด คือ ascorbic acid และ dehydroascorbic acid วิตามินซีเป็นโมเลกุลที่มีความไวในการทำปฏิกิริยา reduction agent หรือ antioxidant ที่มีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในปฏิกิริยาการเผาผลาญไขมัน วิตามินซีในพืชผักและผลไม้จะสลายตัวได้ง่าย โดยเฉพาะพืชผักและผลไม้ที่เด็ดจากต้นมาเป็นเวลานานๆ (ฉัตรชัย ไตรทอง, ม.ป.ป.) ประโยชนของวิตามินซี ดังนี้

1) เสริมสร้างภูมิคุ้มกันและลดภูมิแพ้ เนื่องจากวิตามินซี เป็นส่วนสำคัญในการกระตุ้นกระบวนการ ทางเคมีโดยยับยั้งสารฮิสตามีน ซึ่งเป็นสารที่ร่างกายสร้างขึ้นมามากเกินไปทำให้เลือดซึมผ่านผนังเส้นเลือดฝอยมาก เกิดผิวหนังบวมแดง มีอาการระคายเคืองตามระบบหายใจ และนอกจากนี้วิตามินซี ยังมีความสำคัญต่อระบบภูมิคุกันอีกด้วย

2) เป็นสารต้านการออกซิไดซ์ (antioxidant) เนื่องจากสามารถป้องกันการเสื่อมของเซลล์ นอกจากนี้การได้รับวิตามินซี วันละ 200 มิลลิกรัม อาจลดสารก่อมะเร็งในกระเพาะและตับได้

3) ช่วยสร้างและรักษาสภาพของคอลลาเจน เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการสร้างและรักษาระดับของสาร คอลลาเจนซึ่งเป็นโปรตีนที่ใช้ในการ สร้างกระดูก ฟน เส้นเอ็นและผิวหนัง

4) ช่วยบำรุงรักษาผิว เนื่องจากวิตามินซี ช่วยในการ ส่งเสริมสุขภาพผิวพรรณ สร้างเซลล์ผิวหนังใหม่ ป้องกันการเกิดภาวะริ้วรอยก่อนวัย ช่วยต้านการเกิด เม็ดสีเมลานิน

สำหรับผลของการขาดวิตามินซี พบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วมักก่อให้เกิดโรคเลือดออกตามไรฟันหรือลักปิดลักเปิด นอกจากนี้ ยังสามารถก่อให้เกิดอาการอื่นๆ ตามมาซึ่งพบทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ โดยสามารถแบ่งเป็นลักษณะกว้างๆ เช่น หากขาดในเด็กจะเป็นโรคติดเชื้อง่าย เจริญเติบโตช้า เกิดภาวะโลหิตจาง ช่วงหายใจสั้น มีอาการทางประสาท อ่อนเพลีย เบื่อ อาหาร ซีด เป็นต้น หากขาดในผู้ใหญ่จะมีจุดเลือดออกเล็กๆใต้ผิวหนังก่อน ต่อมาจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นจ้ำตามผิวหนัง เนื่องจากผนังเส้นเลือดฝอยเปราะบาง ผิวหนังหยาบและมีตุ่ม เหงือกบวม เลือดออกตามไรฟัน ปากและตาแห้ง ผมร่วง เป็นต้น โดยปริมาณวิตามินซีที่ร่างกายต้องการต่อวัน แสดงดังตารางที่ 2-6 อย่างไรก็ตามร่างกายอาจต้องการวิตามินซี เพิ่มขึ้นในหลายภาวะ เช่น เครียด เป็นโรคติดเชื้อ มีบาดแผล เป็นต้น

ตารางที่ 2-6 ปริมาณวิตามินซีที่ควรได้รับต่อวันสำหรับบุคคลที่อยู่ในช่วงวัยและสถานะแตกต่างกัน

ช่วงอายุ	ปริมาณที่ควรได้รับ (มิลลิกรัม)
ทารก	35
เด็กเล็ก (1-9 ป)	40
เด็กโต (10-12 ป)	50
หญิงมีครรภ์	70
ผู้ใหญ่	60
ผู้สูบบุหรี่	100
หญิงระยะให้นมบุตร	95

ที่มา : ฉัตรชัย ไตรทอง, (ม.ป.ป.)

6. การใช้กลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์อาหาร

กลีเซอรอลสามารถสกัดได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ในรูปของเอสเธอร์ มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3 propanetriol หรือ 1,2,3-trihydroxyl propane กลีเซอรอลเป็นสารประกอบที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสที่มีความข้นหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีจุดเดือดที่ 290 องศาเซลเซียส มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.261 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 92.09 กรัมต่อโมล (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2546) โดยกลีเซอรอลจัดเป็นสารประกอบประเภท trihydric alcohol เนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้สามารถละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์แต่ไม่สารถละลายได้ในสารไฮโดรคาร์บอน คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของกลีเซอรอลเปรียบเทียบกับซูโครส (คณิตตา พัฒนาภา , 2553) แสดงดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของกลีเซอรอลเปรียบเทียบกับซูโครส

คุณสมบัติ	ซูโครส	กลีเซอรอล
น้ำหนักโมเลกุล	324	92
ความหวาน	1.00	0.60
ความหนืด cp, 25°C	ต่ำ	954
ความสามารถดูดความชื้น	ปานกลาง	สูง
จุดหลอมเหลว (°C)	190	17.8
Tg (°C)	-32	-65
ความสามารถในการละลาย กรัม/100 กรัมน้ำ (25°C)	67	∞
ความเสถียรต่อความร้อน	สลายตัวที่ 160-186 °C	สลายตัวที่ 290 °C

ที่มา : สุขใจ ชูจันทร์ (2555)

เนื่องจากกลีเซอรอลจัดเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำกลีเซอรอลมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยาอย่างแพร่หลาย ซึ่งกลีเซอรอลมีคุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ดังนี้ (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2546)

1) มีความคงตัวสูง ไม่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรสเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน

2) มีรสชาติหวาน โดยมีความหวานประมาณ 0.6-0.7 เท่าของซูโครส

3) สามารถนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวหรือความหนืด และเพิ่มเนื้อสัมผัสสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจล

4) ไม่มีกลิ่นรุนแรง สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานได้โดยไม่ส่งผลต่อกลิ่นรส

5) มีความสามารถในการดูดความชื้น (humectants) ส่งผลต่อการยืดอายุของผลิตภัณฑ์และมีคุณสมบัติเป็นสารให้ความยืดหยุ่น (plasticizer) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่ม มีความหยุ่นตัว สามารถใช้เป็นสารยึดเกาะ (binder) ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ได้

6) เป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ไม่เป็นพิษต่อระบบย่อยอาหาร ผิวหนัง และเนื้อเยื่อ

สำหรับการนำกลีเซอรอลมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร จัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่ง โดยมีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ใช้กลีเซอรอลเป็นตัวทำละลายและตัวดูดความชื้น โดยการเติมกลีเซอรอลใน เค้ก คุ้กกี้ และผลิตภัณฑ์ขนมอบ ช่วยคงความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและชุ่มชื้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งและลูกอม กลีเซอรอลจะทำหน้าที่ควมคุมการตกผลึกและช่วยลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม กลีเซอรอลช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์และลดจุดเยือกแข็ง นอกจากนี้กลีเซอรอลยังทำหน้าที่ป้องกันการแยกชั้นของไขมันในผลิตภัณฑ์เนย ถั่ว และมาร์การีน (คณิตตา พัฒนาภา, 2553)

สารดูดความชื้น (humectant) หมายถึง สารที่ใช้เติมในอาหารเพื่อรักษาความชื้น ทำให้อาหารมีค่า a_w ลดลง (นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.) โดยปกติมักนำสารดูดความชื้นมาใช้ในการแปรรูปอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้ (available water) ให้มีปริมาณเหมาะสมและเป็นที่ยอมรับ สารดูดความชื้นที่สำคัญในการนำมาใช้เพื่อผลิตอาหารกึ่งแห้ง คือ เกลือหรือน้ำตาล แต่เนื่องจากเกลือและน้ำตาลมีขีดจำกัดในการใช้คือ หากใช้ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเค็ม หรือหวานมากเกินไปจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ จึงได้มีการพัฒนาหาสารดูดความชื้นที่มีความเหมาะสมมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539; Gustavo et al.,2007) กลีเซอรอลเป็นสารดูดความชื้นที่นิยมใช้ในอาหาร เนื่องจากเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ ละลายได้ดีในน้ำ มีความสามารถในการลดค่า a_w ได้ดีกว่าซอร์บิทอล และป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล (ปิยนุช คันโธ, 2545) มีการนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง(นิราศ กิ่งวาที, 2546) และนำมาใช้เพื่อการพัฒนากระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ปราศจากสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์และไม่มีการเติมวัตถุกันเสีย โดยพบว่าการใช้สารละลายกลีเซอรอลร่วมกับสารละลายซูโครสสามารถลดค่า a_w ของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งได้มากกว่าการใช้สารละลายซูโครสเพียงชนิดเดียว (กานต์นลิน คงศักดิ์ และคณะ, 2548)

7. ผลไม้ที่ใช้ในงานวิจัย

7.1 น้อยหน่า

น้อยหน่า (sugar apple) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Annona squamosa Linn.* ถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบอเมริกากลางและใต้ ประเทศไทยปลูกมากทางภาคกลาง และตะวันออกเฉียงเหนือ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2549) น้อยหน่าเป็นไม้ผลเมืองร้อน ทรงพุ่มขนาดกลาง สามารถเจริญเติบโตได้ในดินเกือบทุกประเภท แต่ต้องมีการระบายน้ำดี มีสภาพเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 5-7 น้อยหน่าเป็นพืชที่ชอบอากาศแล้ง ไม่ชอบที่ชื้นและน้ำขังแฉะเนื่องจากต้องมีระยะแล้งในเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคมเพื่อการทิ้งใบในการแตกใบใหม่และดอก น้อยหน่าอายุ 2 ปี จะเริ่มให้ผลและจะให้ผลดีอีก 2-3 ปี หลังจากนั้นต้นจะเริ่มโทรมต้องตัดแต่งและบำรุงต้น ปัญหาในการผลิตคือ โรคกิ่งแห้ง โรคมัมมี่ โรคเน่าดำ และเพลี้ยแป้ง ทำให้เกษตรกรใช้สารเคมีป้องกันกำจัด (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.) สำหรับข้อมูลด้านลักษณะพันธุ์น้อยหน่าที่ปลูกในประเทศไทย พบว่า มีการปลูกหลายพันธุ์ โดยน้อยหน่าพันธุ์ดั้งเดิมที่มีการปลูกกันมากและได้รับความนิยม ได้แก่ น้อยหน่าพันธุ์ฝ้าย น้อยหน่าพันธุ์หนัง อย่างไรก็ตามมีการพัฒนาพันธุ์น้อยหน่าลูกผสมซึ่งมีลักษณะเด่นด้านดีหลายประการ จึงได้รับความนิยมกันมาก ได้แก่ น้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่อง (วารสารเพื่อการพัฒนาชนบท, 2553)

น้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่อง (*Annona atemoya* Hort.) เป็นน้อยหน่าพันธุ์ลูกผสม ซึ่งเกิดจากการปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีการผสมพันธุ์ข้ามพันธุ์และข้ามชนิด ปรับปรุงพันธุ์ในประเทศไทยโดยหน่วยงานวิจัย คือ สถาบันอินทรีจันทรสถิตย์เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ดำเนินการโดยสถานีวิจัยปากช่อง น้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่องเป็นน้อยหน่าลูกผสมที่มีคุณสมบัติเด่น ได้แก่ มีผลขนาดใหญ่ เนื้อมาก เมล็ดน้อย มีลักษณะคล้ายรูปหัวใจ ผิวค่อนข้างเรียบ มีร่องตาตื้นคล้ายน้อยหน่าหนัง ผลอ่อนสีเขียวเข้ม เมื่อแก่จัดสีเขียวอ่อนขาวนวล เปลือกบาง ลอกเปลือกได้ และมีรสชาติดี มีจุดด้อยเล็กน้อยคือผลอาจบิดเบี้ยวเพราะ มีเมล็ดน้อยเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรให้ความสนใจและปลูกกันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากให้ผลผลิตมากและให้ผลผลิตเร็ว ติดผลดกกระจายทั่วต้น ผลผลิตส่วนใหญ่บริโภคภายในและส่งออกประเทศใกล้เคียง เช่น จีน มาเลเซีย สิงคโปร์ เวียดนาม และฮ่องกง เป็นต้น

ข้อมูลด้านผลผลิตน้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่องมีการรายงานไว้ดังนี้ ลักษณะเนื้อเหนียวคล้ายน้อยหน่าหนัง มีน้ำหนักผลเฉลี่ย 436.8 กรัม/ผล คิดเป็นปริมาณเนื้อ 72.4% เมล็ดสีน้ำตาลอ่อนเฉลี่ย 19 เมล็ด/ผล รสชาติหวานหอม มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ความหวาน) 20 °Brix การสุกช้าเฉลี่ย 4.9 วัน อายุหลังการสุกยาวนาน หลังปลูกอายุ 2 ปี เริ่มให้ผลผลิตเฉลี่ย 2.2 กก./ต้น/ปี เมื่อต้นมีอายุ 3 ปี ให้ผลผลิตเฉลี่ย 4.4 กก./ต้น/ปี และเมื่อต้นมีอายุ 4 ปี ให้ผลผลิตเฉลี่ย 37.9 กก./ต้น/ปี น้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่องจะเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 110-120 วัน หลังจากออกดอก ซึ่งเป็นวิธีที่เกษตรกรยอมรับ 60.0% (สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร, 2542; เรืองศักดิ์ กมขุนทด, ม.ป.ป.) ลักษณะผลของน้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่อง แสดงดังภาพที่ 2-3 น้อยหน่าเป็นผลไม้ที่มีสารอาหารชนิดต่างๆ หลายชนิด โดยเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต มีแร่ธาตุบางชนิด และวิตามินบี รายละเอียดคุณค่าทางโภชนาการของน้อยหน่า แสดงดังตารางที่ 2-8 (สำนักโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข , 2559)

ภาพที่ 2-3 ลักษณะผลน้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่อง

ตารางที่ 2-8 คุณค่าทางโภชนาการของน้อยหน่าในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ (มิลลิกรัม)
คาร์โบไฮเดรต	22,600.00
โปรตีน	1,400.00
ไขมัน	200.00
น้ำ	75,200.00
สารอนินทรีย์	600.00
แคลเซียม	7.00
ธาตุเหล็ก	0.40
ธาตุฟอสฟอรัส	27.00
วิตามิน บี1	0.09
วิตามิน บี2	0.09
วิตามิน บี3	1.00

ที่มา : (สำนักโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2559)

7.2 ลองกอง

ลองกอง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า (*Lansium domesticum* Corr.) จัดเป็นไม้ผลเมืองร้อน อยู่ในตระกูลเดียวกับลางสาดและดูกู ลองกองจัดอยู่ในวงศ์ Meliales ตระกูล Meliaceae มีแหล่งกำเนิดอยู่ในหมู่เกาะชวา มลายู ฟิลิปปินส์ และภาคใต้ของประเทศไทย ลองกองมีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น Lanson, Lanzone, Duku และ Ayer-Ayer เป็นต้น (Paull, Goo, and Chen, 1987, Nakasone and Paull, 1998) เป็นไม้ผลที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างมาก เพราะมีรสชาติดี และกลิ่นหอมหวาน (คีรี อำพันสวัสดิ์, 2540) สำหรับการปลูกลองกองในประเทศไทยมีการแบ่งพันธุ์ลองกองออกเป็น 3 สายพันธุ์ (อภิชัย พันธุมาศ, 2541; เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธิ์ และคณะ, 2531) คือ

1) ลองกองแห้งเปลือกผลค่อนข้างหนา ผิวหยาบเล็กน้อย เมื่อสุกมีสีเหลืองคล้ำ เปลือกผลจะแข็งกว่าลองกองน้ำ ไม่มียางขาว ตรงขั้วผลอาจจะมนกลมหรือค่อนข้างแหลมขึ้นอยู่กับการเบียดของผล ก้นผลมีรอยบุ๋มเล็กน้อย เนื้อในผลมี 5 กลีบ บางผลมีกลีบใหญ่ 1 กลีบ กลีบใหญ่มักมีเมล็ด เมื่อสุกเต็มที่เนื้อผลจะใสเหมือนแก้ว มีลักษณะแห้งสนิท เนื้อมีรสหวาน กลิ่นหอมชวนรับประทาน ความหวานของเนื้อผลประมาณ 17-19°บริกซ์

2) ลองกองน้ำสีผิวของผลเมื่อสุกจะมีสีเหลืองจางกว่าลองกองแห้ง ผิวคล้ายลองกองแห้งมาก แต่ผลจะนุ่มกว่า ผลโตค่อนข้างกลมและช่อยาวใหญ่ เปลือกค่อนข้างบางและเหนียว การแกะเปลือกออกจากเนื้อค่อนข้างลำบาก เนื้อในผลมี 5 กลีบ เนื้อสีขาวขุ่นมีน้ำมาก รสชาติไม่ค่อยหวาน ความหวานของเนื้อผลประมาณ 16-18°บริกซ์ มีเมล็ดน้อย เมล็ดมีลักษณะกลมรี

3) ลองกองกาแลแมผลมีลักษณะค่อนข้างกลม ช่อผลที่สมบูรณ์จะยาวกว่าลองกองแห้ง เมื่อผลสุกเปลือกจะมีสีนวล ผิวละเอียด เปลือกบาง ไม่มียาง ผลอ่อนนุ่ม เนื้อในผลแห้งใสเป็นแก้ว กลีบผลมี 5 กลีบ เนื้อนิ่ม เนื้อมีรสหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นฉุนไม่หอมเหมือนลองกองแห้ง ความหวานของเนื้อผลประมาณ 16-19°บริกซ์ เมล็ดน้อย และมีขนาดเล็กกว่าลองกองน้ำ ไม่ขม

โดยในงานวิจัยนี้สนใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ลองกองพันธุ์แห้ง ลองกองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย และเป็นพืชหนึ่งที่เกษตรกรให้ความสนใจและนิยมปลูกกันมากขึ้น เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรายได้ต่อหน่วยสูงกว่าพืชชนิดอื่นหลายชนิด อายุให้ผลผลิตนาน ทั้งนี้จะเห็นได้จากอัตราการขยายตัวของพื้นที่ปลูกที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยแหล่งที่ใหญ่ที่สุดอยู่ที่ภาคใต้ รองลงมาคือภาคตะวันออก เนื่องจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกจึงส่งผลต่อผลผลิตลองกองที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับคุณค่าทางอาหารจากเนื้อผลที่บริโภคได้ 100 กรัม พบว่า มีส่วนประกอบของสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินต่างๆ (อภิชัย พันธุมาศ, 2541) แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 คุณค่าทางโภชนาการของลองกองส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณใน100 กรัม
พลังงาน	57.0 แคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	15.2 กรัม
ไขมัน	0.2 มิลลิกรัม
โปรตีน	0.9 มิลลิกรัม
แคลเซียม	19.0 มิลลิกรัม
โปแทสเซียม	27.5 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	25.0 มิลลิกรัม
เหล็ก	1.1 มิลลิกรัม
วิตามินบี 1	0.07 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.04 มิลลิกรัม
วิตามินซี	3.0 มิลลิกรัม
ไนอะซีน	1.0 มิลลิกรัม

7.3 มังคุด

มังคุด (Mangosteen) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana L.* เป็นไม้ผลเขตร้อนที่อยู่ในวงศ์ Guttiferae มีถิ่นกำเนิดไม่แน่ชัด แต่พบว่ามังคุดเป็นไม้ป่าอยู่แถบมลายู ซึ่งคาดว่ามังคุดน่าจะเป็นไม้พื้นเมืองและมีถิ่นกำเนิดในประเทศไทยและพม่า โดยมีแหล่งปลูกมากที่สุดในประเทศไทย และมีการปลูกกระจายในประเทศเขมร เวียดนาม พม่า ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ ศรีลังกา และอินเดีย นอกจากนี้ยังมีการปลูกในแถบร้อนของทวีปแอฟริกา (แซนซิมาร์, กานา, ไลบีเรีย) (นพ ศักดิเศรษฐ์ และสมพร ณ นคร, 2545) ผลมังคุดเป็นแบบเบอรี (Berry) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.4-7.5 เซนติเมตร เปลือกหนา 6-10 เซนติเมตร เนื้อมีสีขาวขุ่นซึ่งเป็นส่วนของแอริล (Aril) ที่เจริญมาจากอินทีคิวเมนต์ (Integument) (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2540)

การปลูกมังคุดในประเทศไทย มีมากในภาคใต้และภาคตะวันออก (ไพโรจน์ ผลประสิทธิ์, 2545) โดยมังคุดที่ปลูกในประเทศไทยเป็นพันธุ์พื้นเมือง แต่อาจแบ่งมังคุดตามแหล่งปลูก ซึ่งแม้เป็นพันธุ์เดียวกันแต่อาจมีความแตกต่างไปบ้าง โดยแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ มังคุดเมืองนนท์ ลักษณะผลสุกจะมีสีม่วงดำ ให้คุณภาพเนื้อดี และมังคุดปักษ์ใต้ ลักษณะผลสุกจะมีสีแดงอมชมพู ผลจะเปลี่ยนเป็นสี

ม่วงช้ากว่ามังคุดเมืองนนท์ ปัจจุบันมังคุดจัดว่าเป็นผลไม้ที่ตลาดมีความต้องการสูง เพราะนอกจากตลาดภายในประเทศแล้วยังมีการส่งออกทั้งในรูปของสดและแช่แข็ง ทำรายได้เข้าสู่ประเทศ ผลผลิตมังคุดในประเทศจะให้ผลผลิตแตกต่างกันไป โดยภาคกลางและภาคตะวันออก จะออกสู่ท้องตลาดตั้งแต่เดือนเมษายน-มิถุนายน โดยจะเก็บเกี่ยวได้มากในเดือนมิถุนายน สำหรับในภาคใต้ได้มีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม ทำให้ประเทศไทยมีผลผลิตมังคุดออกสู่ตลาดเป็นระยะเวลาที่ยาวนานต่อเนื่อง 5 เดือน โดยผลผลิตภาคใต้จะมากกว่าภาคกลางและภาคตะวันออก โดยจังหวัดที่มีผลผลิตมากที่สุด คือ ชุมพร นครศรีธรรมราช จันทบุรี ระนอง และตราด ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) มังคุดเป็นผลไม้ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม รสหวานอมเปรี้ยว รสชาติอร่อย มีกลิ่นหอม และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเนื้อมังคุดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18.4 °บริกซ์ เนื้อจากเนื้อมังคุดมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ในปริมาณสูง ซึ่งจะอยู่ในรูปของน้ำตาล ได้แก่ ฟรุกโตส กลูโคส และซูโครส รวมทั้งกรดต่างๆ เช่น กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดทาร์ทาริก แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 2-10 นอกจากนี้ มังคุดจัดเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก มีรายงานว่าเปลือกมังคุด มีสารต้านออกซิเดชัน ต้านการอักเสบ สารนี้มีชื่อว่า แซนโทน (Xanthone) ซึ่งมีอยู่ถึง 43 ชนิด สำหรับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่า มีการแปรรูปเป็นน้ำมังคุด โดยมีสรรพคุณในการร่วมทำงานในระบบภูมิคุ้มกัน ช่วยในการยืดหยุ่นของข้อเข่า ลดอาการอักเสบ ป้องกันมะเร็ง ซึ่งส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เป็นส่วนประกอบของน้ำมังคุด 75% และน้ำอื่นๆ 25% เพื่อลดความขมและฝาดของสารแทนนิน (สายชล สุทธิธรรม, ภานุมาศ บุญผดุง และมนัสนันท์ พันธ์ชมพู, 2553)

ตารางที่ 2-10 คุณค่าทางโภชนาการของมังคุดส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณใน 100 กรัม	
พลังงาน	60-63	แคลอรี
ความชื้น	80.2-84.9	กรัม
โปรตีน	0.5-0.6	กรัม
ไขมัน	0.1-0.6	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	14.3-15.6	กรัม
เยื่อใย	5.00-5.10	กรัม
เถ้า	0.20-0.23	กรัม
แคลเซียม	0.01-8.0	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	0.02-12.00	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.2-0.8	มิลลิกรัม
วิตามันบี 1	0.03	มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.03	มิลลิกรัม
ไนอาซิน	0.03	มิลลิกรัม

ที่มา: Morton (1987)

8. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

Genevois Flores and de Escalada Pla (2014) ศึกษาผลของการเติมเหล็กและกรดแอสคอร์บิคต่อกระบวนการแช่อิ่มแบบแห้งและสีของเนื้อฟักทอง โดยพบว่า การเติมเหล็ก(0.072-0.360 กรัม/กิโลกรัม) และกรดแอสคอร์บิค (0.8-2.0 กรัม/กิโลกรัม) มีผลทำให้ฟักทองมีปริมาณน้ำที่สูญเสียมากขึ้น และมีสีคล้ำขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือการเติมเฟอรัสซัลเฟต 0.3475 กรัม/กิโลกรัม ร่วมกับกรดแอสคอร์บิค 0.8745 กรัม/กิโลกรัม และการใช้เทคนิคการเคลือบชิ้นฟักทองหลังการแช่อิ่มด้วยสารละลายผสมของแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล มีผลช่วยรักษาสีในระหว่างการทำแห้งและการเก็บรักษาได้

Silva et al. (2014) ศึกษาการใช้แคลเซียมแลคเตทกับไคเนติกของการออสโมซิสและคุณภาพของสับปะรดโดยการใช้สารละลายออสโมติก 40 และ 50% ร่วมกับการใช้แคลเซียมแลคเตท 2 และ 4% พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 50% และแคลเซียมแลคเตท 4% มีค่าการถ่ายเทมวลสาร WL และ WR มากที่สุด

Jissy et al. (2012) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลไม้มาแช่ในสารละลายผสมที่มีส่วนประกอบของสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ร่วมกับการทำแห้งผลไม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เชอรี่หวาน มะม่วง และ บลูเบอร์รี่ ซึ่งในระหว่างกระบวนการแช่จะพบว่า บลูเบอร์รี่และเชอร์รี่ มีการสูญเสียแอนโทไซยานิน(Anthochyanin) ไปบ้าง แต่ก็ไม่ทำให้คุณลักษณะทางกายภาพลดลง ในการใช้Nutraflora™และมีการเติม Soy lecithin ลงไปในการแช่ด้วย เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ซึ่ง Soy lecithin นั้นเป็นสารอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่ง ด้านโครงสร้างทางจุลภาคพบว่า การแช่ด้วย Nutraflora™ ในผลไม้แสดงให้เห็นว่าสามารถรักษาโครงสร้างของเนื้อเยื่อให้มีคุณภาพคล้ายกับในผลไม้สดได้ ข้อดีของการแช่ด้วย Nutraflora™ในผลไม้แสดงให้เห็นว่า มีปริมาณของแข็งที่ไม่สามารถละลายได้สูงขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลไม้สดและผลไม้ที่ผ่านการแช่ ไม่แตกต่างกันมาก กล่าวได้ว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผลไม้ที่ผ่านการแช่ไม่ได้ลดลงดังนั้นกระบวนการแช่ผลไม้ด้วยสารดังกล่าว ร่วมกับการทำแห้ง ช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารที่ดีต่อสุขภาพและมีสารพฤกษเคมีมากขึ้น

Betoret et al. (2012)ศึกษาการเสริมสารพฤกษเคมีจากน้ำส้มแมนดารินให้แพร่เข้าสู่ชิ้นแอปเปิ้ลโดยเทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศแล้วนำมาทำแห้งโดยใช้ลมร้อนและประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยการเสริมฟลาโวนอยด์จากน้ำส้มแมนดารินที่มีเนื้อจากถุงส้มเล็กน้อย (Mandarin LPJ) ให้แพร่สู่ชิ้นแอปเปิ้ลโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งการพัฒนาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งด้วยเทคนิคนี้มีความน่าสนใจ เหมาะสมแก่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในวงการอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ โดยมีแนวคิดในการผลิต คือ เป็นการรวมคุณประโยชน์จากวัตถุดิบทั้งสองชนิดไว้ในผลิตภัณฑ์เพียงหนึ่งเดียว และเป็นการเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายจากน้ำส้มแมนดารินโดยปราศจากการเติมส่วนผสมพิเศษอื่น พบว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้จากการแช่แอปเปิ้ลใน Mandarin LPJ ที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ที่ความดัน 15 MPaปริมาณ 40 กรัม ให้ปริมาณ Hesperidin เทียบเท่าที่ได้จากน้ำส้มแมนดารินปริมาตร 250 มิลลิลิตร

Hironaka et al. (2011) ศึกษาการเสริมปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศที่สภาวะความดัน 70 cmHg เป็นเวลา1 ชั่วโมง ช่วยทำให้เพิ่มปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งเพิ่มขึ้นจาก 10 mg/100 g เป็น 130 mg/100 g

Ashwini*et al*. (2011) ศึกษาการออสโมติกชิ้นมะพร้าวในสารละลายน้ำตาลซูโครส(0, 12.5, 25, และ 50%) ที่มีการเติมสารละลาย Curcuminoids3% โดยนำชิ้นมะพร้าวมาสไลด์ให้มีความยาว 20 mmและหนา 2 mmชั่งน้ำหนักตัวอย่างแล้วนำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสในSonication bath เป็นเวลา 15 นาทีหลังจากนั้นนำตัวอย่างไปผ่านการอัลตราซาวด์ทันทีที่อุณหภูมิ 23±1องศาเซลเซียส ใน Water bath เติมสารละลายCurcuminoids3% (เตรียมได้จากละลายผงเคอร์คูมินมาตรฐานกับน้ำกลั่น)โดยแช่ตัวอย่างในสารลายออสโมติกอัตราส่วน (1:5) เป็นเวลา 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, และ 5.0 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปล้างด้วยน้ำสะอาด และชั่งน้ำหนัก พบว่าการใช้อัลตราซาวด์มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารละลายเคอร์คูมินมีค่าเพิ่มขึ้นจาก $1.64 \times 10^{-10} m^2/s$ เป็น $1.87 \times 10^{-10} m^2/s$ การเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก มากกว่า 25% มีผลทำให้การถ่ายเทมวลสารของน้ำและของแข็งมากการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับสารเคอร์คูมินให้ผลว่าเคอร์คูมินสามารถแพร่เข้าไปในในชิ้นมะพร้าวได้มากซึ่งทำให้มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

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

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 rpmที่อุณหภูมิ 30,40 และ 50 °C พบว่ามีผลทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาณแคลเซียมมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายออสโมติกจาก 30 เป็น 50°C สามารถทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

Rozek et al. (2009) ศึกษา osmo-active solutes (ซูโครส, โซเดียมคลอไรด์และกลีเซอรอล)ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารของสารฟีโนลิกจากองุ่นในโมเดลอาหารที่เป็นของแข็งและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของโมเดลทำการเตรียมโมเดลอาหารโดยใช้ผงวุ้น 4% ผสมให้เข้ากันกับน้ำตาล 9.6% และน้ำกลั่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°Cโดยใช้เตาไมโครเวฟ จนกระทั่งตัวอย่างอาหารเกิดละลายอย่างสมบูรณ์ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จะได้เจลของตัวอย่างอาหารจากนั้นตัดตัวอย่างเจลวุ้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ด้านละ 1 cmนำมาแช่ในสารละลาย osmo-active (ซูโครส

2.92 m , โซเดียมคลอไรด์ 1.9 m, ซูโครส 1.46 mผสมโซเดียมคลอไรด์ 0.95 mและกลีเซอรอล 4.64 m) ที่มีการเติมสารสกัดจากเมล็ดองุ่นทางการค้า 6300 ±45 mg GAE/kg (ปรับ a_w ของสารละลายออสโมติก = 0.935±0.010) ส่วนตัวอย่างควบคุม (น้ำกลั่นผสมสารสกัดจากเมล็ดองุ่นทางการค้า) ปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ25°Cเป็นเวลา 0.5, 1, 2, 4 และ 8 ชั่วโมง ไว้ในที่มืด พบว่า การใช้ osmo-active solutes (ซูโครส, โซเดียมคลอไรด์ ซูโครสผสมโซเดียมคลอไรด์ และกลีเซอรอล)มีผลทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของสารฟีนอลิกมีค่าสูงโดยเฉพาะการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ในการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมงทำให้มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (5350±65 mg of GAE/kg) จึงมีความเป็นไปได้ในการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระให้กับผลิตภัณฑ์ได้

Matusek, Czukor, and Meresz (2008) ศึกษาการเปรียบเทียบชนิดของสารละลายออสโมติก คือ น้ำตาลซูโครสและสารละลายฟรุคโตส-โอลิโกแซคคาไรด์ สำหรับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในแอปเปิล โดยนำแอปเปิลมาหั่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกเต๋า ขนาด (10x10x10 mm) แล้วนำไปแช่ในสารละลายออสโมติกซูโครสและฟรุคโตส-โอลิโกแซคคาไรด์) ความเข้มข้น (40-60% w/v) ที่อุณหภูมิ 40–60 °C เป็นเวลา 20-40 นาที พบว่าองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติโครงสร้างของสารละลายฟรุคโตส-โอลิโกแซคคาไรด์มีความแตกต่างกับสารละลายซูโครส ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การแพร่กระจายของสารละลายและการดึงน้ำออกจากตัวอย่างแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (water loss) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain) จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก อุณหภูมิและเวลาในการแช่สารละลาย แต่จากการศึกษาของผู้วิจัย พบว่า การเกิดปฏิกิริยาของชนิดของสารละลายออสโมติกมีความสำคัญ การเกิดปฏิกิริยามีความสำคัญมากสำหรับค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียกว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ที่ทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการใช้สารละลายฟรุคโตส-โอลิโกแซคคาไรด์ทำให้สามารถการแพร่กระจายไปยังชิ้นแอปเปิลได้น้อยกว่าการใช้สารละลายซูโครส อีกทั้งยังมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียต่ำกว่าการใช้สารละลายซูโครส แต่หากเพิ่มความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลาย ค่าการสูญเสียความชื้นก็จะมีค่ามากขึ้นกว่าการใช้สารละลายซูโครส

Dermesonlouoglou et al. (2008) ได้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีออสโมซิสในการใช้สารละลายออสโมติกคือ oligofructose และ High Dextrose Equivalent Maltodextrin (HDEM) ต่อคุณภาพของแตงกวาที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ โดยนำแตงกวาหั่นเป็นชิ้นหนา 5 mmเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 mmนำแตงกวาส่วนหนึ่งไปลวกในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ80°Cเป็นเวลา 40 วินาทีอีกส่วนหนึ่งนำแตงกวามาดึงน้ำออกด้วยสารละลาย oligofructose และ High Dextrose Equivalent Maltodextrin (HDEM) 56.5% (w/w) ที่มีการเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% (w/w) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.5% (w/w) ที่อุณหภูมิ 15, 35 และ55°Cเป็นเวลา 360, 300 และ180 นาที ตามลำดับอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างต่อสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1: 5 (w/w) หลังจากนั้นนำแตงกวาทั้งหมดไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยบรรจุในถุง pouchesm ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต bio-oriented polypropylene/polyethylene แล้วนำไปศึกษาอายุการเก็บที่อุณหภูมิ -5, -8, -12 และ-15°Cเป็นเวลา 3 เดือนพบว่า การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของสีแตงกวาได้ 36.7% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิส (ลวกและไม่ลวก)นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบวิธีการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสก่อน

การแช่แข็งกับวิธีการแช่แข็งแบบทั่วไปพบว่าการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสก่อนการแช่แข็งทำให้แตงกวามีความแน่นเนื้อดีเมื่อเก็บเป็นเวลานานและจากการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสพบว่าแตงกวาที่ผ่านการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสก่อนการแช่แข็งมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดี

เสาวณีย์ เลิศวรสิริกุล (2558) ศึกษาจลนศาสตร์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมซิสผลแก้วมังกร จากกระบวนการออสโมซิสแก้วมังกรที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส 3 ระดับ พบว่า เมื่อการออสโมซิสสนานขึ้นความชื้นจะลดลงช้าๆ จนถึงจุดสมดุล โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วกว่าอุณหภูมิที่ต่ำ ในขณะปริมาณความชื้นของแก้วมังกรที่ผ่านการออสโมซิสลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายออสโมซิสเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณร้อยละของแข็งที่เพิ่มขึ้น และร้อยละการสูญเสียน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการออสโมซิส จากนั้นจะเพิ่มน้อยลงจนถึงจุดสมดุล และอุณหภูมิของการออสโมซิสสมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสาร โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายออสโมซิสแพร่เข้าสู่เนื้อแก้วมังกรมากขึ้นและรวดเร็วขึ้น และมีการสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้นด้วย แก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมซิส ณ สภาวะต่างๆที่ศึกษา เมื่อเข้าสู่จุดสมดุล มีความชื้น ค่าความสว่าง ค่า a_w และค่าความแข็งลดลง แต่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อแก้วมังกรสด

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2557) ศึกษาผลของการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสของกล้วยไข่กึ่งแห้ง โดยนำกล้วยไข่มาเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศก่อนการออสโมซิสที่ ความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที และออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง สารละลายออสโมติกที่ใช้เป็นสารละลายผสมที่มีส่วนประกอบของโอลิโกฟรุคโตส ซูโครส โซเดียมคลอไรด์ เฟอรัสกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตท แล้วนำไปทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส ระดับ ความดัน 480 มิลลิบาร์ จนมีความชื้น 15±1 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การออสโมซิสก่อนการทำแห้งสามารถช่วยลดเวลาในการทำแห้งกล้วยไข่ได้ประมาณ 170 นาที กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ค่าความแข็งและค่าการหดตัวของความหนาน้อยกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่า กล้วยไข่กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากกว่าและได้รับ คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ใน ระดับชอบปานกลางซึ่งมากกว่ากล้วยไข่กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) น้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่อง รับจากตลาดใหม่ จังหวัดชลบุรี
2) ลองกองพันธุ์แห้ง รับจากตลาดใหม่ จังหวัดชลบุรี
3) มังคุดพันธุ์พื้นเมือง รับจากสวนผลไม้ จังหวัดระยอง
4) น้ำตาลมะพร้าว (coconut sugar) ตราลิน บริษัท น้ำตาลไทยรุ่งเรือง
5) น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (oligofructose) (Beneo ^{TM}, Orafti$^{®}$Pas) บริษัท DPO จำกัด
6) กรดซิตริก (citric acid)
7) แคลเซียมแลคเตท (calcium lactate)
8) กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid)
9) กลีเซอรอล (glycerol)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3) ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ยี่ห้อ Buchi รุ่น Vacuum controller V-800 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
4) ตู้อบลมร้อน (hot air oven) (hot air oven) Memmert รุ่น 560 ประเทศเยอรมนี
5) เครื่องปั่นเอนกประสงค์ ยี่ห้อ Elctrolux รุ่น CRUZO ประเทศจีน
6) เครื่องวัดค่าสี (colorimeter) Hunter Lab รุ่น Miniscan XP plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
7) เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) Novasina รุ่น AG Labmaster-a_w ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
8) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) Stable Micro System รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ
9) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ถ้วยใส่ตัวอย่าง ช้อน แก้ว
10) อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง ขวดรูปชมพู่ ขวดวัดปริมาตร ปิเปต บิวเรต
11) วัสดุวิทยาศาสตร์ เช่น อลูมิเนียมฟอยด์ กระดาษกรอง
12) อุปกรณ์งานครัว เช่น มีด เขียง

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสกับน้ำตาลมะพร้าว

โดยปกติสารละลายออสโมติกมักเตรียมจากน้ำตาลทราย เนื่องจากราคาถูกและหาง่าย แต่มีข้อด้อย คือ ต้องใช้สารละลายความเข้มข้นสูง (มากกว่า 50 °Brix) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานมาก และมีโอกาสเกิดผลเสียต่อสุขภาพ (Ciurzynska et al., 2016) นอกจากนี้การใช้สารละลายน้ำตาลทรายความเข้มข้นสูง ทำให้สารละลายมีความหนืดมากและอาจเกิดชั้นบางๆ ที่ผิวของชิ้นวัตถุดิบซึ่งจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำและตัวถูกละลายระหว่างการออสโมซิสได้ (สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล, 2557)

ในขั้นตอนนี้จึงมีแนวคิดหลีกเลี่ยงการใช้น้ำตาลทรายโดยใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสกับน้ำตาลมะพร้าว เนื่องจากน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส มีรสชาติเหมือนกับน้ำตาลทราย แต่ให้ความหวานและให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลทราย รวมทั้งน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสมีสมบัติเป็นพรีไบโอติก (อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ, 2539) สำหรับน้ำตาลมะพร้าว เป็นน้ำตาลธรรมชาติ มีรสชาติคล้ายน้ำตาลทรายแดงแต่มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าน้ำตาลทราย โดยเฉพาะแร่ธาตุและวิตามิน นอกจากนี้น้ำตาลมะพร้าวให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลทราย รวมทั้งมีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index; GI) ต่ำกว่าน้ำตาลทราย (Chalobon, 2553)

การทดลองขั้นตอนนี้เป็นการแปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสต่อน้ำตาลมะพร้าว เป็น 5 ระดับ ได้แก่ 60:0 0:60 50:10 40:20 และ 30:30 (%w/w) โดยควบคุมความน้ำหนักของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกทุกสิ่งทดลองเท่ากันคือ 60 %w/w (Matusek et al., 2008) แสดงรายละเอียดสิ่งทดลองดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรสัดส่วนของปริมาณน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก

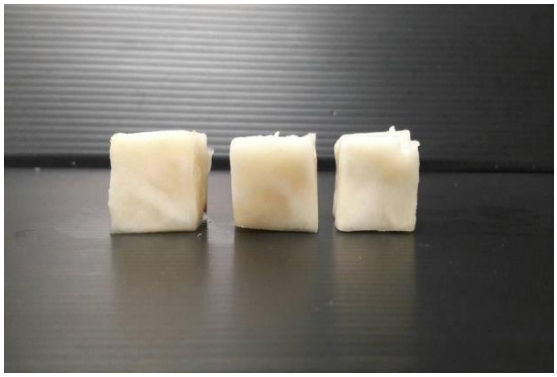
สิ่งทดลองที่	น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (%w/w)	น้ำตาลมะพร้าว (%w/w)
1	60	0
2	0	60
3	50	10
4	40	20
5	30	30

การเตรียมสารละลายออสโมติก

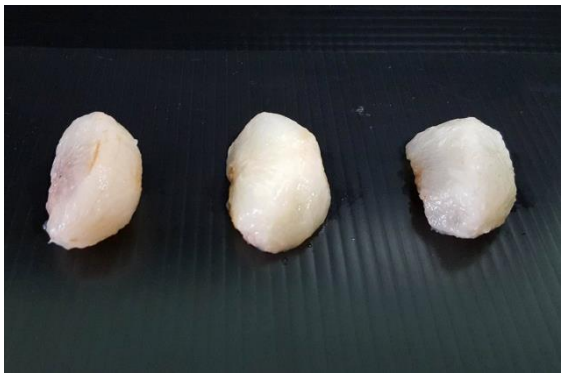
ดำเนินการโดยนำน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสมาผสมกับน้ำตาลมะพร้าวตามความเข้มข้นที่กำหนด เติมน้ำ แล้วคนให้น้ำตาลละลาย นำสารละลายไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้เตาไฟฟ้า แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาใช้งาน

การเตรียมตัวอย่าง

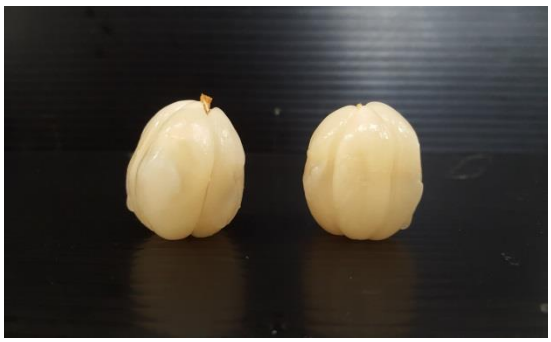
เนื่องจากคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง มีผลโดยตรงต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิส จึงต้องควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ตลอดการทดลองให้มีความสม่ำเสมอกัน แนวทางการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบมีดังนี้ กำหนดใช้น้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่องที่มีระดับความสุกอยู่ในระยะห่าม (กึ่งดิบกึ่งสุก) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 15-18 °Brix นำมาหั่นเป็นชิ้นขนาด 2×2×2 เซนติเมตร โดยใช้แต่ส่วนเนื้อ นำส่วนเมล็ดและส่วนเปลือกออก สำหรับลองกอง ใช้พันธุ์แห้ง ระดับความสุกปานกลาง มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 17-19 °Brix โดยแกะเปลือกออกและใช้ส่วนเนื้อทั้งผล ส่วนมังคุด ใช้พันธุ์พื้นเมือง ระดับความสุกปานกลาง ผลสีแดงหรือน้ำตาลแดง เริ่มมีแต้มสีม่วง มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 16-18°Brix โดยแกะเปลือกออกและใช้ส่วนเนื้อโดยแยกเป็นกลีบ นำผลไม้มาแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.3% เป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (หนึ่งนุช กาฬภักดี และคณะ, 2553) ผลไม้ที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 3-1 ถึง 3-3



ภาพที่ 3-1 ลักษณะน้อยหน่าที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 3-2 ลักษณะมังคุดที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 3-3 ลักษณะลองกองที่ใช้ในงานวิจัย

การออสโมซิสและการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

นำชิ้นผลไม้ที่เตรียมไว้ มาแช่ในสารละลายออสโมติก โดยบรรจุในโหลแก้วและปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติกต่อชิ้นเนื้อน้อยหน่า เท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) แช่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 27±2 องศาเซลเซียส และสุ่มตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง เพื่อชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) ก่อนการชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น นำตัวอย่างมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินที่ผิวออก โดยให้น้ำไหลผ่านชิ้นตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาที วางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที แล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษ คำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) เพื่ออธิบายการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิส โดยคำนวณจากสูตรดังนี้

1) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss ; WL)

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

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 (Weight 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)

การวิเคราะห์คุณภาพผลไม้หลังการออสโมซิส

สุ่มตัวอย่างผลไม้หลังการออสโมซิส มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Lane and Eynon, 1984)

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

4) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

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

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร และวางแผนการทดลองแบบ RCBD สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Dunan' s New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด มีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสมากที่สุด และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆ ที่วัดได้

3.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาการเสริมแร่ธาตุแคลเซียมและวิตามินซี ในรูปของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเป็นการศึกษาถึงผลของการกระตุ้นการถ่ายเทมวลสารด้วยการแช่ในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลาสั้นๆ ก่อนการแช่ต่อในสภาวะบรรยากาศ

ขั้นตอนนี้แปรปัจจัยที่ศึกษาเป็น 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2x2x2 ได้ 8 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

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

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

ปัจจัยที่ 3 การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส คือ ใช้และไม่ใช้

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรความเข้มเข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิก ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

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

การออสโมซิสและการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสาร

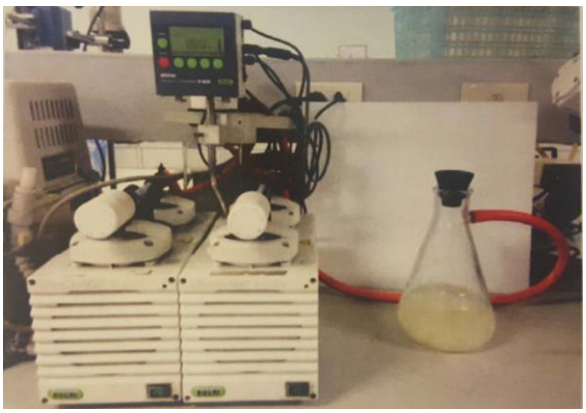
ในการศึกษาขั้นตอนนี้ใช้น้อยหน่าเป็นวัตถุดิบต้นแบบ โดยเตรียมตัวอย่างน้อยหน่าและสารละลายออสโมติกตามที่เลือกได้จากข้อ 3.1 โดยเติมแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิกลงในสารละลายออสโมติกที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว ตามความเข้มข้นที่กำหนด คนผสมให้เข้ากัน

การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศทำได้โดย บรรจุชิ้นน้อยหน่าและสารละลายออสโมติกในขวดรูปชมพู่ กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติก:ชิ้นน้อยหน่าเท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) ปิดขวดรูปชมพู่ด้วยจุกยางให้เป็นระบบปิดและเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศ กำหนดใช้ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาการแช่ในสภาวะสุญญากาศ นำชิ้นน้อยหน่ามาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำตัวอย่างหลังการออสโมซิสมาชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) ก่อนการชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น นำตัวอย่างมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินที่ผิวออก โดยให้น้ำไหลผ่านชิ้นตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาที วางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที แล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษ คำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain; SG) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight reducing; WR) ตามวิธีในข้อ 3.1

การวิเคราะห์คุณภาพผลไม้หลังการออสโมซิส

สุ่มตัวอย่างผลไม้หลังการออสโมซิส มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)
2) ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)
3) ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 1995)
4) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*
5) ค่าความแข็ง (hardness) ด้วยเครื่อง texture analyzer
6) ความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน



ภาพที่ 3-4 ลักษณะการต่อเชื่อมอุปกรณ์ในการออสโมซิสสภาวะสุญญากาศ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

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

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง มีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูง และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆ ที่วัดได้ และนำสภาวะที่เลือกได้นี้มาทดลองปฏิบัติกับลองกองและมังคุด

3.3 การศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่

การทำแห้งดำเนินการเพื่อลดความชื้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง โดยผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่มีปริมาณความชื้นในช่วง 15%-55% และมีค่า a_w ในช่วง 0.60-0.85 (Jay, 1998) โดยงานวิจัยนี้มีแนวความคิดผลิตภัณฑ์ (product concept) จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ คือ การนำเนื้อผลไม้หลังการออสโมซิสมาตีป่นแล้วขึ้นรูปใหม่ให้เป็นชิ้นที่คงรูป ขนาดพร้อมรับประทาน แล้วนำไปอบแห้งเพื่อลดความชื้นและค่า a_w ลงให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง การทดลองขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้สารยึดเกาะ (binder) ได้แก่ กลีเซอรอล ซึ่งมีความหนืดสูง และเป็นสารให้ความยืดหยุ่น (plasticizer) ช่วยในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่ม นอกจากนี้กลีเซอรอลยังมีสมบัติดูดความชื้น (humectant) สามารถลดค่า a_w ในอาหารกึ่งแห้งได้ดี โดยแปรปริมาณการใช้กลีเซอรอล เท่ากับ 0% 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักเนื้อผลไม้หลังการออสโมซิส

การเติมกลีเซอรอลและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ดำเนินการออสโมซิสเนื้อผลไม้ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.2 แล้วนำเนื้อผลไม้หลังการออสโมซิสมาตีป่นลดขนาดให้มีลักษณะเป็นเพียวเร่ (puree) โดยใช้เครื่องบดอาหาร ควบคุมสภาวะการบดลดขนาดดังนี้ ชั่งเนื้อผลไม้ครั้งละ 250 กรัม นำไปตีป่นที่ความเร็วคงที่ (Elctrolux รุ่น CRUZO ความเร็วระดับ 2) นาน 2 นาที เติมกลีเซอรอลตามปริมาณที่กำหนดแล้วตีป่นต่ออีก 2 นาที นำเนื้อ

ผลไม้มาขึ้นรูปโดยอัดใส่ในพิมพ์สแตนเลส กำหนดขนาดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยม ประมาณ 1×1×0.5 นิ้ว โดยควบคุมให้น้ำหนักเนื้อผลไม้ที่ขึ้นรูปในพิมพ์แต่ละชิ้นเท่ากัน แล้วถอดพิมพ์ออก นำไปทำแห้งเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งต่อไป โดยบันทึกความยากง่ายในการขึ้นรูปของแต่ละสิ่งทดลองด้วย

การทำแห้ง

ในขั้นตอนนี้เป็นการทำแห้งเพื่อลดความชื้นผลไม้หลังการขึ้นรูปแล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง กำหนดให้มีความชื้นสุดท้าย 22±1% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60 - 0.85 โดยนำเนื้อผลไม้ที่ขึ้นรูปแล้วมาเรียงบนถาด ทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่

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

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’ s New Multiple Rang Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย มีค่าความชื้น 22±1% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.85 และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆ ที่วัดได้

3.4 การเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิส มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.3 มาวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับผลไม้ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส แต่นำมาตีป่น ขึ้นรูปใหม่ และแปรรูปโดยการทำแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยกำหนดให้มีความชื้นสุดท้าย 22±1% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.85

การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่

1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)
2) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Lane and Eynon, 1984)
3) ปริมาณแคลเซียม (AOAC, 1990)
4) ปริมาณวิตามินซี (AOAC, 1995)
5) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*
6) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w
7) ค่าความแข็ง (hardness) ด้วยเครื่อง texture analyzer

8) ความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน
9) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001)
10) ปริมาณยีสต์และรา (BAM, 2001)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 5 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test วิเคราะห์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำแผ่นพับเผยแพร่ความรู้สู่ชุมชน เช่น กลุ่มแม่บ้านหรือเกษตรกรที่อยู่ในพื้นที่ปลูกผลไม้ และการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ หรือการส่งผลงานเข้าร่วมการประชุมวิชาการ/สัมมนาทางวิชาการ หรือการเข้าร่วมในการจัดนิทรรศการทางวิชาการ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

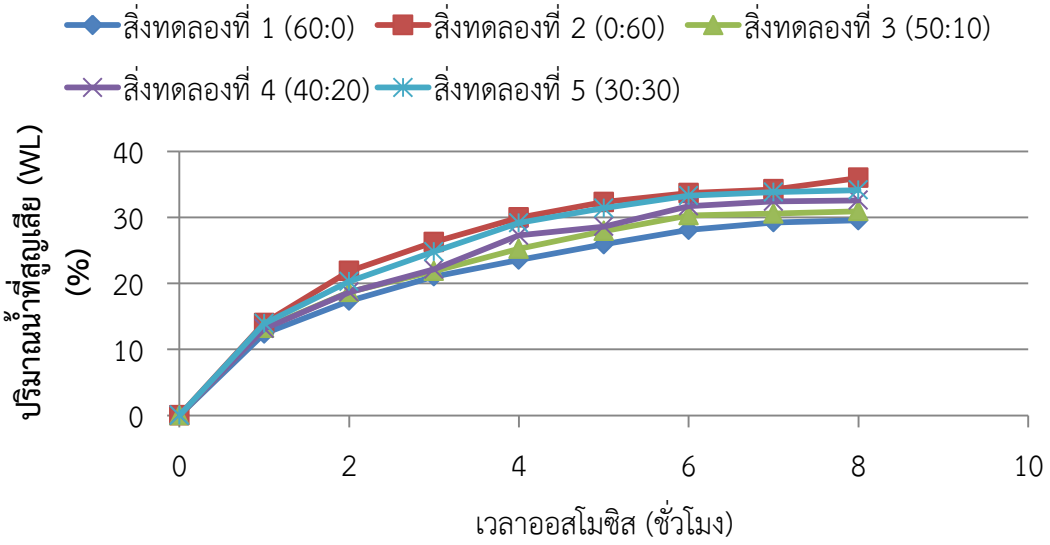
4.1 ผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสกับน้ำตาลมะพร้าว

4.1.1 ค่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

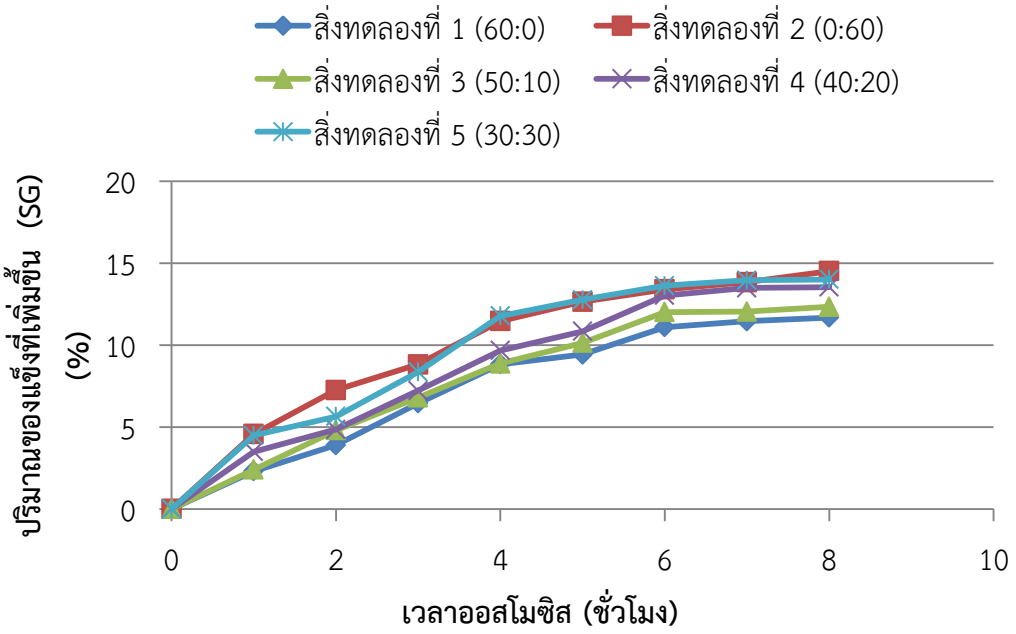
อัตราการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิสเป็นผลตอบสนองที่สำคัญของการออสโมซิส ในการทดลองนี้ศึกษาค่าการถ่ายเทมวลสาร 3 ค่า ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ผลการทดลองค่าการถ่ายเทมวลสารแสดงดังภาพที่ 4-1 ถึง 4-9 จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการถ่ายเทมวลสาร WL SG และ WR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาในการออสโมซิส แสดงให้เห็นว่าเกิดการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายในระหว่างการออสโมซิสตามหลักการของการออสโมซิส จากการเกิดแรงขับ (driving force) เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกและความเข้มข้นภายในเซลล์ชิ้นผักผลไม้ ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสาระระหว่างกัน โดยกลไกการถ่ายเทมวลสารที่สำคัญที่เกิดขึ้นคือ น้ำภายในเซลล์ชิ้นผักผลไม้แพร่ออกสู่สารละลายออสโมติก ในขณะเดียวกันตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกแพร่สู่ภายในเซลล์ชิ้นผักผลไม้ โดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งมีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Torreeggiani, 1993; Raoult-Wack, 1994) ผลไม้ทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าการถ่ายเทมวลสารตามเวลาในการออสโมซิสคล้ายกัน กล่าวคือ ค่าการถ่ายเทมวลสารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงแรกของการออสโมซิส สังเกตได้จากกราฟที่มีความชันมาก โดยเฉพาะกรณีค่า WL และ WR ที่พบว่า ใน 2 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิสกราฟมีความชันมาก ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกของการออสโมซิสมีความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นระหว่างภายในเซลล์ชิ้นผลไม้และสารละลายออสโมติกภายนอกอย่างมากจึงเกิดเป็นแรงขับมากเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำและน้ำหนักจากชิ้นผลไม้ได้อย่างมากและรวดเร็ว แต่เมื่อระยะเวลาในการออสโมซิสนานขึ้นจะเกิดการสะสมของน้ำที่แพร่ออกมารอบๆ ชิ้นผักผลไม้ได้มากขึ้น สารละลายออสโมติกจึงมีความเข้มข้นลดลงตามเวลาการออสโมซิสที่เพิ่มขึ้น เกิดแรงขับน้อยลงจึงเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้น้อยและช้าลง จึงสังเกตได้ว่ากราฟที่มีความชันลดลง จากแนวโน้มดังกล่าว สอดคล้องกับการรายงานของ พิสุทธิ หนักแน่น (2555) รายงานว่า ในการออสโมซิสชิ้นแคนตาลูปปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำที่สูญเสียจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการออสโมซิส (ช่วง 3 ชั่วโมงแรก) จากนั้นค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มน้อยลงจนถึงจุดสมดุล แสดงให้เห็นว่าเมื่อการออสโมซิสนานขึ้นความชื้นของชิ้นแคนตาลูปจะลดลงช้าๆ จนถึงจุดสมดุล (เวลา 24 ชั่วโมง) อัคราช พาอ้อ และอัฐภิญญา ปัทมภาสสกุล (2556) รายงานว่า ในการออสโมซิสชิ้นเงาะโดยการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส (0-50%) กับน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (0-50%) พบว่า ทุกสิ่งทดลองให้แนวโน้มค่าการถ่ายเทมวลสารคล้ายกัน คือ ค่าการถ่ายเทมวลสารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงแรกของการออสโมซิส (ช่วง 4 ชั่วโมงแรก)

Torreeggiani (1993) และ Raoult-Wack (1994) กล่าวว่า การถ่ายเทมวลสารหลักที่เกิดขึ้นในระหว่างการออสโมซิสผักผลไม้ คือ การเคลื่อนย้ายของน้ำในชิ้นผักผลไม้และการเคลื่อนย้ายของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติก โดยการถ่ายเทมวลสารนี้จะเกิดขึ้นจนเข้าสู่สมดุลของสารละลายภายในและภายนอกเซลล์ชิ้นผักผลไม้ ส่วนการเคลื่อนย้ายของสารที่มีอยู่ตามธรรมชาติในเซลล์ผักผลไม้นั้นจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า การออสโมซิสชิ้นผลไม้เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลน้ำและของแข็งจนทำให้น้ำหนักของผลไม้ลดลงได้

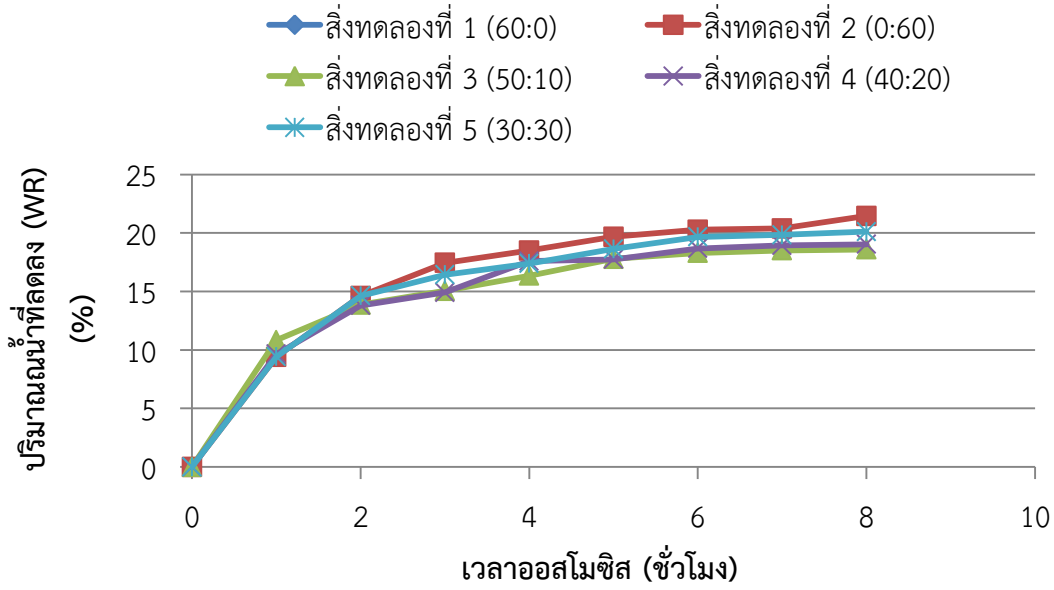
จากการพิจารณาค่าการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสของทุกสิ่งทดลองร่วมกับผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติเพื่อพิจารณาระยะเวลาการออสโมซิสที่ทำให้เกิดค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มน้อยลงหรือคงที่ ($p>0.05$) เพื่อกำหนดเป็นระยะเวลาที่สมดุล ผลจากภาพรวมพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 3 4 และ 5 ซึ่งมีการใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสต่อน้ำตาลมะพร้าว ได้แก่ 60:0 50:10 40:20 และ 30:30 (%w/w) ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาที่สมดุลที่ทำให้ได้ค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่า (ค่า WL ค่า SG และค่า WR) คงที่ ($p>0.05$) อยู่ในช่วงเวลา 5-7 ชั่วโมง ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียวยังมีค่าการถ่ายเทมวลสารไม่คงที่เมื่อใช้เวลาการออสโมซิสถึง 8 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาลักษณะตัวอย่างของทุกสิ่งทดลอง พบว่า หลังการออสโมซิสตั้งแต่เวลา 7 ชั่วโมงขึ้นไป ชิ้นผลไม้มีลักษณะนิ่ม และมีรสหวานมาก ซึ่งอาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้ชิ้นผลไม้ที่ยังคงลักษณะที่ดี มีรสไม่หวานมาก จึงกำหนดเวลาในการออสโมซิสในขั้นตอนต่อไปสำหรับทุกสิ่งทดลองเท่ากัน คือ 6 ชั่วโมง



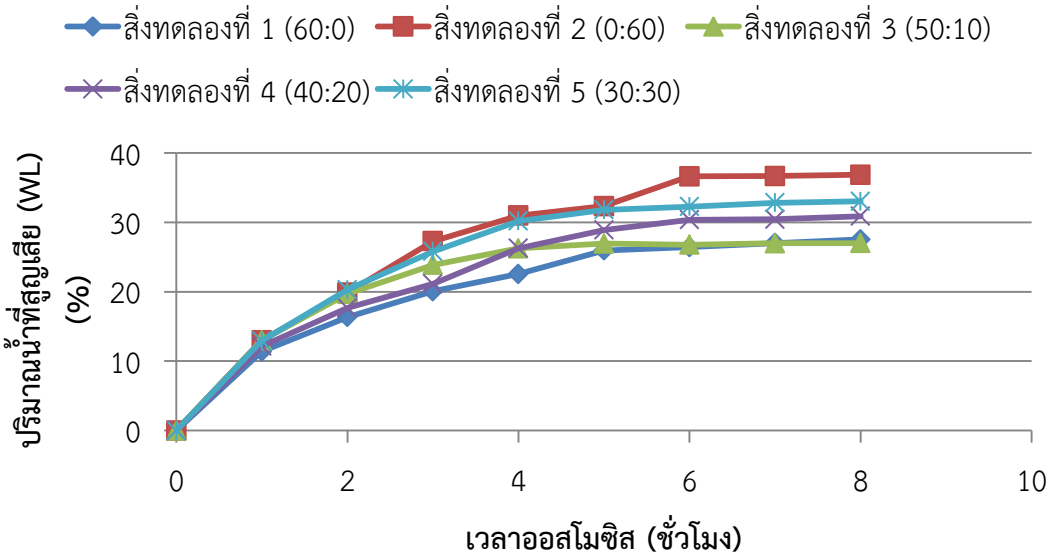
ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) กับเวลาออสโมซิสชิ้นน้อยหน่าเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



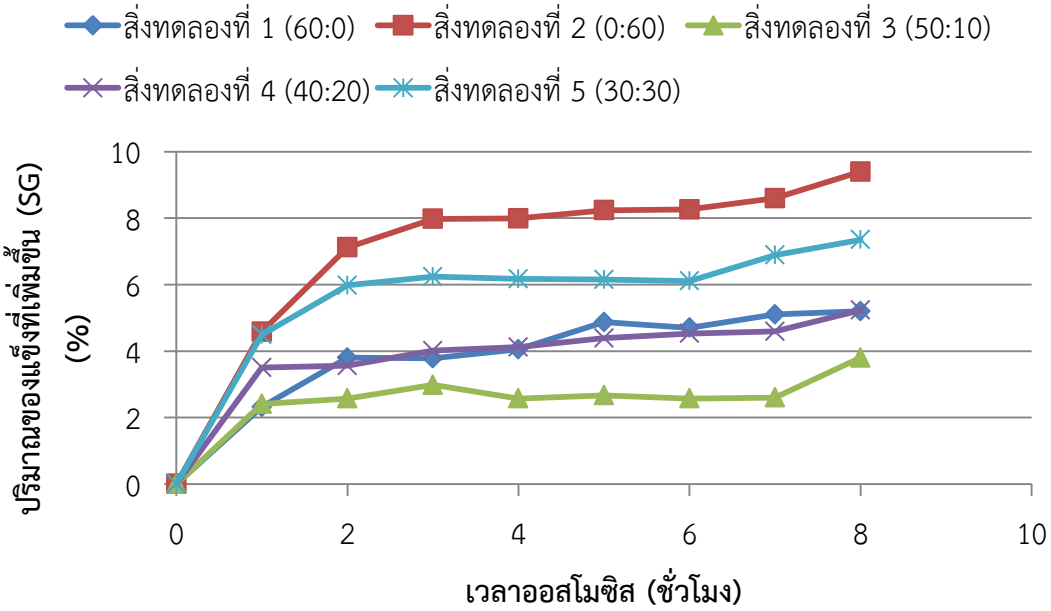
ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาออสโมซิสชิ้นน้อยหน่า เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าว แตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



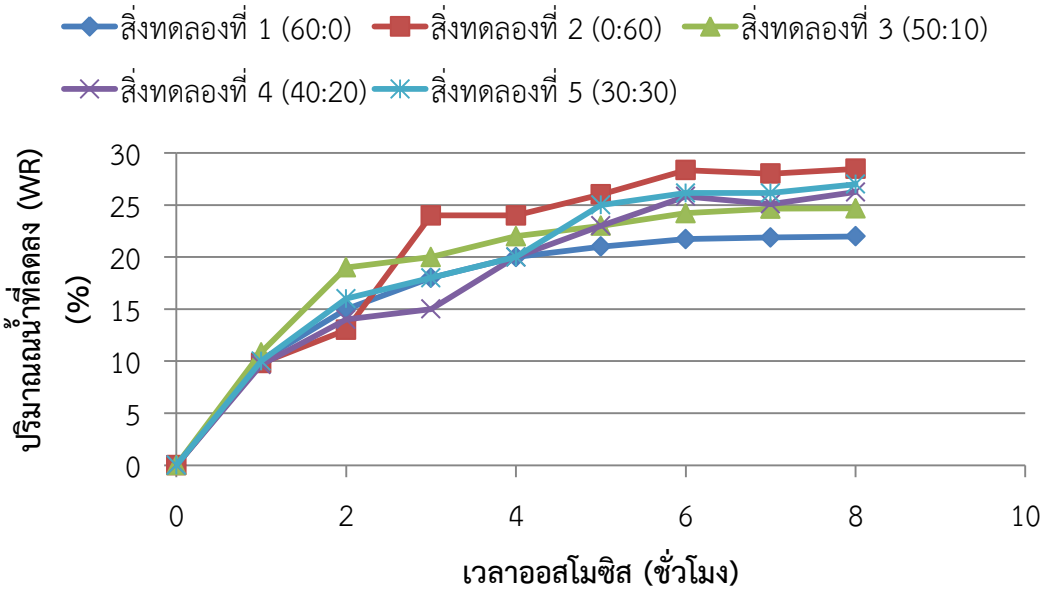
ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาออสโมซิสชิ้นน้อยหน่า เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าว แตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



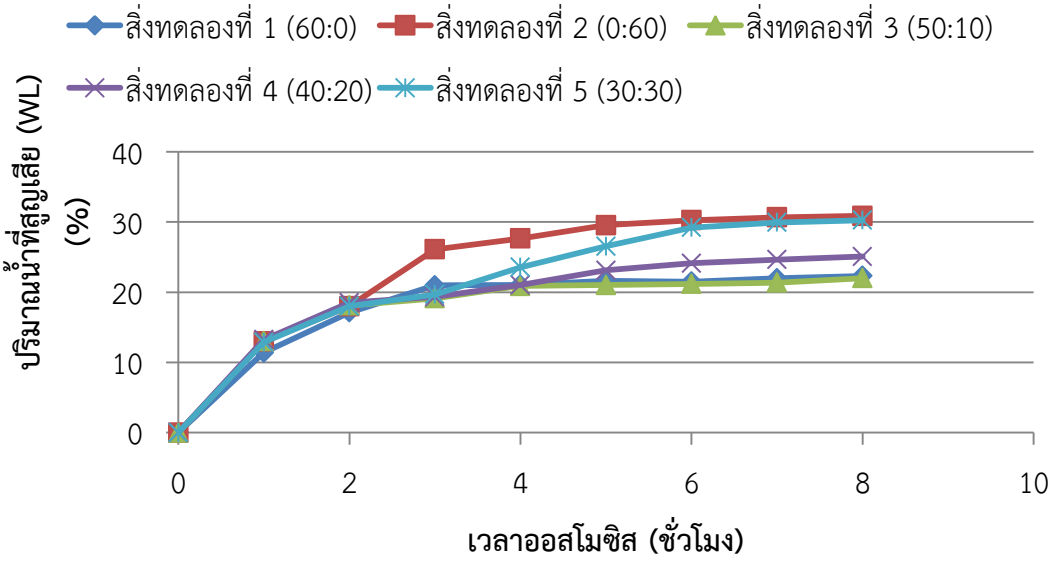
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) กับเวลาออสโมซิสลองกอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



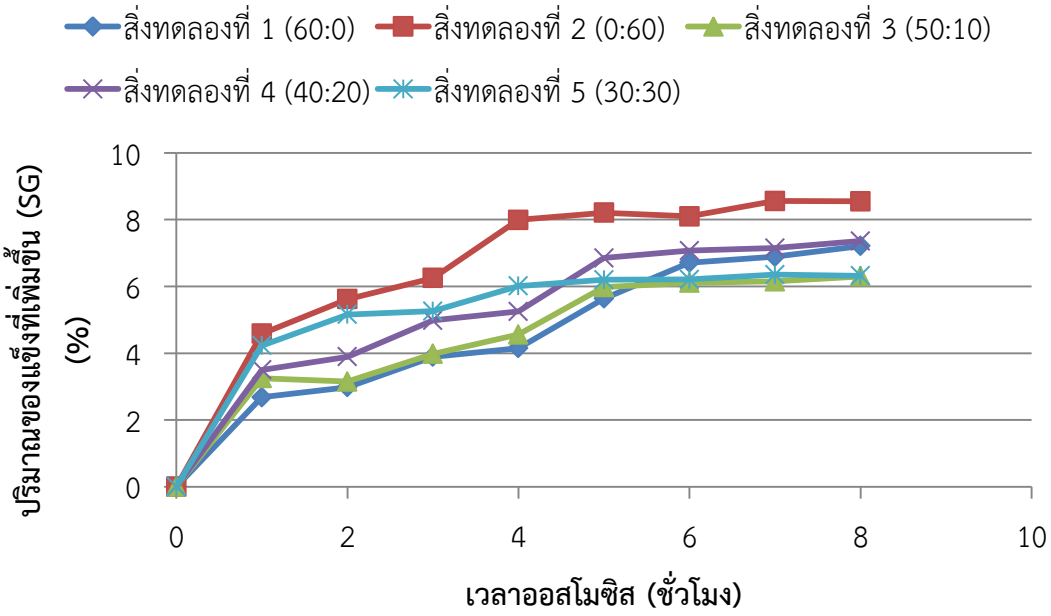
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาออสโมซิสลองกอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



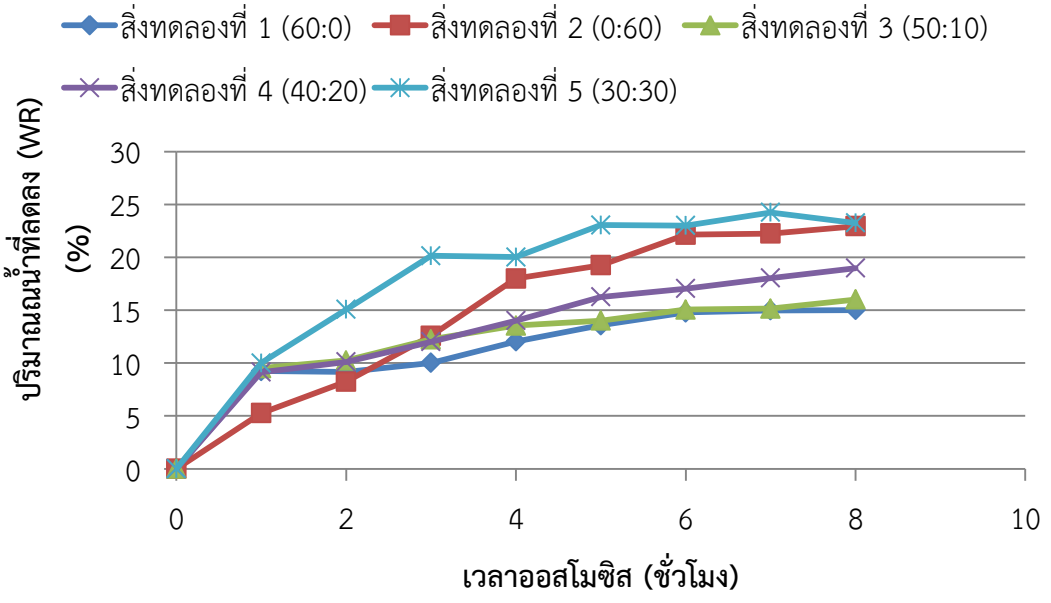
ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาออสโมซิสลองกอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



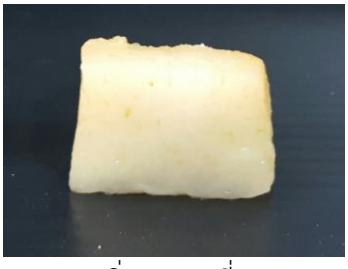
ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) กับเวลาออสโมซิสมังคุด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



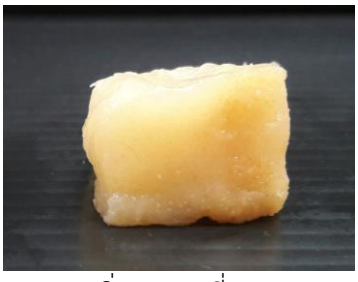
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) กับเวลาออสโมซิสมังคุด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



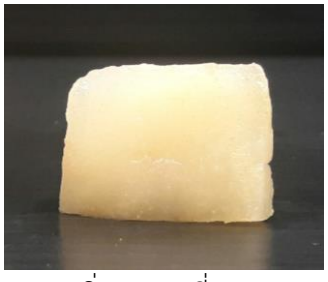
ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) กับเวลาออสโมซิสมังคุด เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



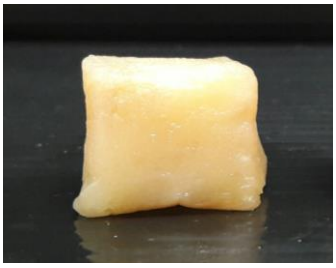
(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (60:0)



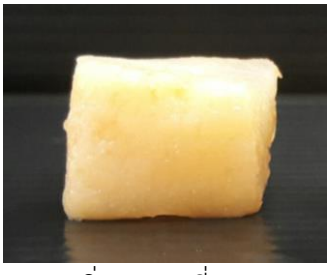
(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (0:60)



(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (50:10)



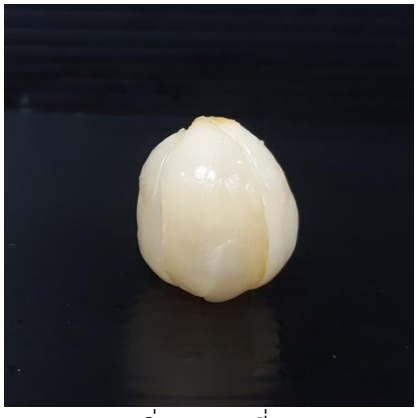
(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (40:20)



(จ) สิ่งทดลองที่ 5 (30:30)

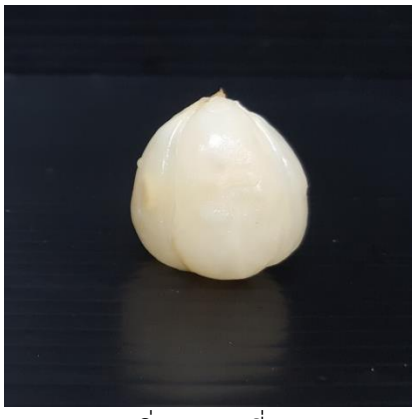
ภาพที่ 4-10 ลักษณะของชิ้นน้อยหน่าที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดวนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (60:0)



(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (0:60)

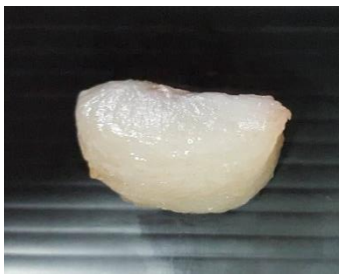
(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (50:10)



(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (40:20)

(จ) สิ่งทดลองที่ 5 (30:30)

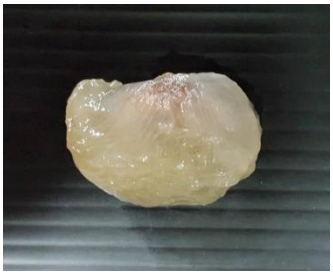
ภาพที่ 4-11 ลักษณะของลองกองที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)



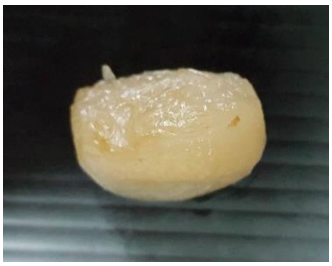
(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (60:0)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (0: 60)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (50:10)



(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (40:20)



(จ) สิ่งทดลองที่ 5 (30:30)

ภาพที่ 4-12 ลักษณะของมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลาเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทั้ง 5 สิ่งทดลอง (ก-จ) เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)

4.1.2 ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของผลไม้หลังการออสโมซิส

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL ค่า SG และ ค่า WR ของผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4-1 ถึง 4-3 พบว่า เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกันมีผลทำให้ผลไม้มีค่า WL SG และ WR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-1 ค่าการถ่ายเทมวลสารด้านปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของน้อยหน่าที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่ (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	WL	SG	WR
1 (60:0)	28.41 ± 0.13^{d}	10.92 ± 0.18^{d}	17.49 ± 0.31^{c}
2 (0:60)	33.08 ± 0.35^{a}	13.88 ± 0.63^{a}	19.20 ± 0.27^{a}
3 (50:10)	30.32 ± 0.20^{c}	12.03 ± 0.07^{c}	18.29 ± 0.13^{b}
4 (40:20)	31.71 ± 0.19^{b}	13.04± 0.32^{b}	18.67 ± 0.50^{ab}
5 (30:30)	32.77 ± 0.02^{a}	14.01 ± 0.00^{a}	18.76 ± 0.03^{ab}

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

ตารางที่ 4-2 ค่าการถ่ายเทมวลสารด้านปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของลองกองที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่ (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	WL	SG	WR
1 (60:0)	26.42 ± 0.13^{d}	4.70 ± 0.13^{c}	21.71 ± 0.57^{c}
2 (0:60)	36.61 ± 0.23^{a}	8.26 ± 0.23^{a}	28.34 ± 0.58^{a}
3 (50:10)	26.78 ± 0.02^{d}	2.57 ± 0.02^{d}	24.21 ± 0.85^{b}
4 (40:20)	30.36 ± 0.14^{c}	4.53 ± 0.14^{c}	25.83 ± 0.75^{b}
5 (30:30)	32.26 ± 0.38^{b}	6.11 ± 0.38^{b}	26.14 ± 0.62^{b}

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

จากตารางที่ 4-1 ถึง 4-3 พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 มีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียว 60% มีแนวโน้มค่า WL SG และ WR ต่ำที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว 60% มีแนวโน้มค่า WL SG และ WR สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลมะพร้าวช่วยกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำตาลมะพร้าวมีองค์ประกอบของน้ำตาลซูโครส (มวลโมเลกุล 342.29 กรัม/โมล) น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุคโตส (มวลโมเลกุล 180.16 กรัม/โมล) ซึ่งมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส ที่มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 342 ถึง 1638 กรัม/โมล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า DP (degree of polymerization) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (Orafti® Pas) ซึ่งมีมวลโมเลกุล 828 กรัม/โมล โดยน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสจัดเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดจากการต่อกันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตั้งแต่ 2-10 โมเลกุลด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkages) (Harris et al, 1995; Lowette et al, 2015; Gaynor, 2011)

ตารางที่ 4-3 ค่าการถ่ายเทมวลสารด้านปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่ (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ค่าเฉลี่ย ± SD (%)		
	WL	SG	WR
1 (60:0)	21.49 ± 0.33^{d}	6.71 ± 0.89^{c}	25.71 ± 0.47^{c}
2 (0:60)	30.25 ± 0.25^{a}	8.10 ± 0.53^{a}	28.34 ± 0.49^{a}
3 (50:10)	21.77 ± 0.17^{d}	6.11 ± 0.52^{c}	25.21 ± 0.27^{c}
4 (40:20)	24.12 ± 0.36^{c}	7.07 ± 0.14^{b}	25.83 ± 0.33^{c}
5 (30:30)	29.21 ± 0.30^{b}	6.21 ± 0.38^{c}	26.14 ± 0.64^{b}

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

การนำน้ำตาลมะพร้าวมาเตรียมเป็นสารละลายออสโมติก จึงอาจมีผลทำให้น้ำตาลชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในชิ้นผลไม้ได้ง่ายและเร็วกว่าน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส เนื่องจากมีมวลโมเลกุลต่ำกว่า เป็นผลให้เกิดแรงดันออสโมติกสูงกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส จึงเอื้อต่อการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่า ส่งผลให้สิ่งทดลองที่ 2 มีค่า WL และค่า SG มากที่สุด ($p \leq 0.05$) จึงทำให้ค่า WR ซึ่งเป็นผลของน้ำหนักสุทธิลดลงมากที่สุดเช่นกัน ($p \leq 0.05$) สิ่งทดลองที่มีการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส และน้ำตาลมะพร้าวในสิ่งทดลองที่ 3 4 และ 5 มีแนวโน้มทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่า WL ค่า SG และ ค่า WR เพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียว โดยการเพิ่มปริมาณน้ำตาลมะพร้าว 10% 20% และ 30% ในสิ่งทดลองที่ 3 4 และ 5 หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง มีแนวโน้มทำให้ชิ้นผลไม้มีค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะค่า WL และ WR สำหรับน้อยหน่า พบว่า มีค่า WL และ WR เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 30.32%-32.77% และ 18.29%-18.76% ตามลำดับ ตามลำดับ สำหรับลองกอง พบว่า มีค่า WL และ WR เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 26.78%-32.26% และ 24.21%-26.14% และสำหรับมังคุด พบว่า มีค่า WL และ WR เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 21.77%-29.21% และ 25.21%-26.14% ตามลำดับ

2) ความชื้น และ a_w

จากตารางที่ 4-4 ถึง 4-6 แสดงปริมาณความชื้นของผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน พบว่า ปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์กับค่า WL โดยสิ่งทดลองที่ 2 มีค่า WL สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) แสดงถึงสิ่งทดลองดังกล่าวมีปริมาณน้ำสูญเสียระหว่างการออสโมซิสมากที่สุด จึงมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่า WL เช่นกัน แสดงให้เห็นว่า ระหว่างการออสโมซิสชิ้นผลไม้ที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน กลไกการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นส่งผลต่อปริมาณความชื้นสุดท้ายของชิ้นผลไม้ อย่างไรก็ตามผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองมีปริมาณ

ความชื้นต่ำกว่าผลไม้สดที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นก่อนการออสโมซิส (น้อยหน่ามีความชื้นเริ่มต้น 79% ลองกองมีความชื้นเริ่มต้น 89% และมังคุดมีความชื้นเริ่มต้น 81%) ซึ่งเป็นการยืนยันให้เห็นว่าการออสโมซิสในการทดลองนี้สามารถลดความชื้นของผลไม้ลงได้

ตารางที่ 4-4 ปริมาณความชื้น (%) ของน้อยหน่าที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
1 (60:0)	62.41 ± 0.07[a]
2 (0:60)	56.95 ± 0.63[e]
3 (50:10)	59.88 ± 0.15[b]
4 (40:20)	59.07 ± 0.13[c]
5 (30:30)	57.87 ± 1.99[d]

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

ตารางที่ 4-5 ปริมาณความชื้น (%) ของลองกองที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
1 (60:0)	73.92 ± 0.17[a]
2 (0:60)	62.41 ± 0.32[e]
3 (50:10)	72.93 ± 0.03[b]
4 (40:20)	68.72 ± 0.20[c]
5 (30:30)	66.43 ± 0.52[d]

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

ตารางที่ 4-6 ปริมาณความชื้น (%) ของมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
1 (60:0)	61.08 ± 0.08[a]
2 (0:60)	52.25 ± 0.13[c]
3 (50:10)	60.98 ± 0.11[a]
4 (40:20)	58.11 ± 0.19[b]
5 (30:30)	53.89 ± 0.92[c]

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

จากตารางที่ 4-7 ถึง 4-9 แสดงค่า a_w ของผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน พบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.922-0.970 ($p \leq 0.05$) ซึ่งต่ำกว่าค่า a_w ของผลไม้สด (ประมาณ 0.980-0.990) แสดงให้เห็นว่าการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้ค่า a_w ของผลไม้ลดลงได้ จากการพิจารณาค่า a_w ของแต่ละสิ่งทดลอง พบว่า ค่า a_w มีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับค่า WL และค่า SG รวมถึงปริมาณความชื้น เนื่องจากสิ่งทดลองที่มีค่า WL และ SG มาก ซึ่งหมายความว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากชิ้นผลไม้มากและมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นมาก ส่งผลให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำ ค่า a_w จึงมีค่าต่ำไปด้วย โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ที่มีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียวผลไม้มีค่า a_w ต่ำที่สุด โดยน้อยหน่า ลองกอง และมังคุม มีค่า a_w เท่ากับ 0.940 0.922 และ 0.942 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) เสาวณีย์ เลิศวรสิริกุล (2558) รายงานว่า กระบวนการออสโมซิสผักผลไม้สามารถลดปริมาณน้ำอิสระในอาหารได้ เนื่องจากในระหว่างการออสโมซิสเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสาร การแพร่ระหว่างน้ำภายในเซลล์และสารละลายภายนอกเซลล์ โดยน้ำภายในเซลล์จะแพร่ออกนนอกเซลล์ ในขณะเดียวกันสารละลายภายนอก คือ น้ำตาลชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของสารละลายออสโมติก สารมารถแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ได้ จึงเป็นการลดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับตัวอย่าง อย่างไรก็ตามกระบวนการออสโมซิสของผักผลไม้แต่ละชนิดอาจมีผลต่อการลดค่า a_w ซึ่งหมายถึง ปริมาณน้ำอิสระในอาหารได้ไม่เท่ากัน ช่อทิพย์ โกมลวาทิน และสิริมา แต่สกุล (2558) รายงานว่า ในการออสโมซิสลูกตาลอ่อน โดยแช่ในสารละลายโอลิโกฟรุคโตส 40% ร่วมกับน้ำตาลมะพร้าว 20% เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง สามารถลดค่า a_w เหลือ 0.949 จากลูกตาลอ่อนสดที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.970 ในขณะที่ อัคราช พาอ้อ และอัฐภิญญา ปัทมาภาสสกุล (2556) รายงานว่า ในการออสโมซิสเงาะ โดยแช่ในสารละลายโอลิโกฟรุคโตส 50% เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง สามารถลดค่า a_w เหลือ 0.987 จากเงาะสด ที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.988 การที่กระบวนการออสโมซิสผักผลไม้แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการลดค่า a_w ได้ไม่เท่ากันขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัสตามธรรมชาติของผักและผลไม้ ชนิดและความเข้มข้นของละลายออสโมติก อุณหภูมิและเวลาการออสโมซิส เป็นต้น (วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, 2556)

ตารางที่ 4-7 ค่า a_w ของน้อยหน่าที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD
1 (60:0)	0.970 ± 0.002^{a}
2 (0:60)	0.940 ± 0.002^{d}
3 (50:10)	0.966 ± 0.001^{a}
4 (40:20)	0.960 ± 0.001^{b}
5 (30:30)	0.950 ± 0.002^{c}

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

ตารางที่ 4-8 ค่า a_w ของลองกองที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD
1 (60:0)	0.945 ± 0.001^{a}
2 (0:60)	0.922 ± 0.001^{e}
3 (50:10)	0.936 ± 0.001^{b}
4 (40:20)	0.934 ± 0.001^{c}
5 (30:30)	0.931 ± 0.001^{d}

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

ตารางที่ 4-9 ค่า a_w ของมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD
1 (60:0)	0.970 ± 0.002^{a}
2 (0:60)	0.942 ± 0.002^{c}
3 (50:10)	0.967 ± 0.001^{a}
4 (40:20)	0.950 ± 0.001^{b}
5 (30:30)	0.945 ± 0.002^{c}

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

3) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4-10 ถึง 4-12 พบว่า เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกันมีผลทำให้ผลไม้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบแนวโน้มคล้ายกันว่าการใช้น้ำตาลมะพร้าวอย่างเดียว ทำให้ผลไม้มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในงานวิจัยนี้เป็นผลรวมของปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทกับปริมาณน้ำตาลซูโครสที่มีในผลไม้ โดยน้ำตาลอินเวอร์ทมักหมายถึงน้ำตาลฟรุคโทสและกลูโคส การใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสปริมาณมากอาจมีส่วนทำให้ผลไม้มีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ในกลุ่มของฟรุคแทน (fructan) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลฟรุคโตสเชื่อมต่อกัน จึงเอื้อให้ฟรุคโตสสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นผลไม้ได้มาก ส่วนน้ำตาลมะพร้าวมีองค์ประกอบของน้ำตาลซูโครสเป็นหลักโดยปริมาณมากถึง 68.35-72.04 กรัม/100กรัม (Thampan, 1975; กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2532) การใช้น้ำตาลมะพร้าวมากอาจมีส่วนทำให้ผลไม้มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4-10 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม) ของน้อยหน่าที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย ± SD (กรัม/100กรัม)
1 (60:0)	25.11 ± 0.08^{b}
2 (0:60)	26.11 ± 0.11^{a}
3 (50:10)	25.87 ± 0.13^{b}
4 (40:20)	25.24 ± 0.78^{b}
5 (30:30)	26.61 ± 0.24^{a}

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

ตารางที่ 4-11 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม) ของลองกองที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย ± SD (กรัม/100กรัม)
1 (60:0)	11.02 ± 0.06^{d}
2 (0:60)	14.25 ± 0.04^{a}
3 (50:10)	11.32 ± 0.04^{c}
4 (40:20)	11.47 ± 0.20^{c}
5 (30:30)	12.28 ± 0.05^{b}

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

ตารางที่ 4-12 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม) ของมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

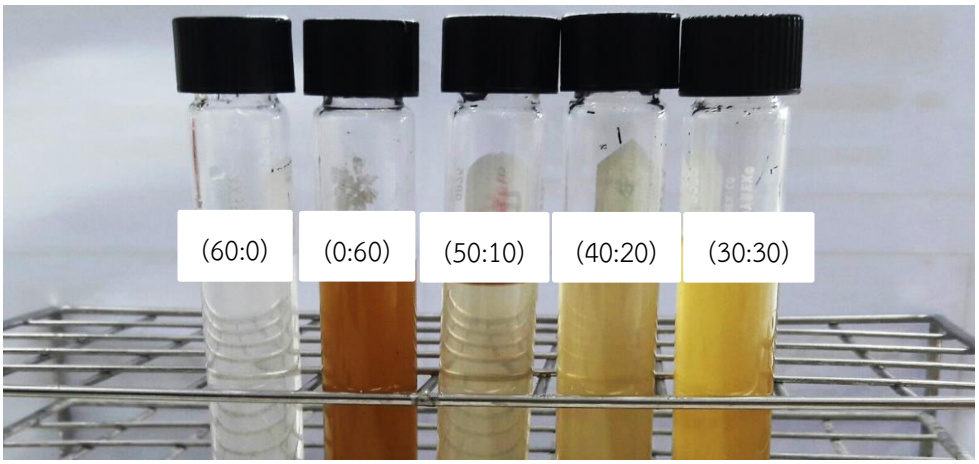
สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย ± SD (กรัม/100กรัม)
1 (60:0)	16.55 ± 0.17^{c}
2 (0:60)	18.45 ± 0.18^{a}
3 (50:10)	16.32 ± 0.74^{c}
4 (40:20)	16.24 ± 0.37^{c}
5 (30:30)	17.07 ± 0.22^{b}

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

4) ค่าสี

ลักษณะสีของชิ้นผลไม้หลังการออสโมซิสที่มองเห็นด้วยตาเปล่า พบว่า ผลไม้สิ่งทดลองที่ 2 4 และ 5 มีแนวโน้มให้สีน้ำตาลเข้มกว่าสิ่งทดลองที่ 1 และ 3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสีของสารละลายออสโมติกที่ใช้ทั้ง 5 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกัน สิ่งทดลองที่มีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเป็นส่วนผสมทำให้สารละลายออสโมติกจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเป็นส่วนผสมในสารละลาย ใช้สารละลายน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียว มีลักษณะค่อนข้างใสและไม่มีสี แสดงลักษณะสีของสารละลายออสโมติกก่อนการออสโมซิสทั้ง 5 สิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-13 ดังนั้นการที่ชิ้นผลไม้ในสิ่งทดลองที่ 2 4 และ 5 มีสีน้ำตาลเข้มมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 อาจเพราะสิ่งทดลองดังกล่าวเป็นการแช่ชิ้นน้อยหน่าในสารละลายออสโมติกที่มีสีน้ำตาลเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จึงมีโอกาสทำให้ชิ้นผลไม้มีสีคล้ายกับสีของน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้เป็นสารละลายออสโมติก

สำหรับค่าสี L* a* และ b* พบว่า ผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิส เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน มีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ($p \leq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-13 ถึง 4-15 เมื่อพิจารณาค่า L* พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว มีแนวโน้มค่าความสว่างต่ำที่สุด อาจเนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุดและมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวที่มีสีน้ำตาลมากที่สุด ชิ้นตัวอย่างจึงมีโอกาสเกิดสีคล้ำตามสีของสารละลายออสโมติกได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น สำหรับค่า a* พบว่า การใช้ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า a* ของทุกสิ่งทดลองมีค่าเป็นบวก (+) ซึ่งแสดงความเป็นสีแดง ยกเว้นสิ่งทดลองที่ 1 ของน้อยหน่า มีค่า a* เป็นลบ (-) ซึ่งแสดงความเป็นสีเขียวมากกว่าสิ่งทดลองอื่น และสำหรับค่า b* พบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่า b* เป็นบวก (+) ซึ่งแสดงความเป็นสีเหลือง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกจากน้ำตาลมะพร้าวมากขึ้นมีแนวโน้มให้ตัวอย่างมีสีออกเหลืองมากขึ้น โดยเฉพาะสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 4-13 ลักษณะสีของสารละลายออสโมติกก่อนการใช้งานทั้ง 5 สิ่งทดลอง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)

ตารางที่ 4-13 ค่าสี L* a* และ b* ของน้อยหน่าที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	L*	a*	b*
1 (60:0)	59.15 ± 0.12[a]	-0.09 ± 0.02[d]	15.14 ± 0.11[d]
2 (0:60)	51.49 ± 0.20[e]	2.88 ± 0.12[a]	20.98 ± 0.08[a]
3 (50:10)	54.92 ± 0.04[b]	0.25 ± 0.07[c]	17.17 ± 0.14[b]
4 (40:20)	53.63 ± 0.15[c]	0.25 ± 0.08[c]	16.38 ± 0.17[c]
5 (30:30)	52.24 ± 0.07[d]	1.05 ± 0.05[b]	15.00 ± 0.26[d]

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

ตารางที่ 4-14 ค่าสี L* a* และ b* ของลองกองที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	L*	a*	b*
1 (60:0)	53.60 ± 0.20 [a]	0.37± 0.08[d]	10.86 ± 0.28[c]
2 (0:60)	47.44 ± 0.40[e]	1.93 ± 0.20[a]	10.81 ± 0.25[c]
3 (50:10)	52.79 ± 0.08[b]	0.71 ± 0.10[c]	11.54 ± 0.25[b]
4 (40:20)	51.61 ± 0.59[c]	1.42± 0.13[b]	9.36± 0.22[d]
5 (30:30)	50.86 ± 0.14[d]	1.44 ± 0.03[b]	12.04 ± 0.06[a]

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

ตารางที่ 4-15 ค่าสี L* a* และ b* ของมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว)	ค่าเฉลี่ย ± SD		
	L*	a*	b*
1 (60:0)	62.11 ± 0.91[a]	0.45 ± 0.08[c]	7.19 ± 0.77[b]
2 (0:60)	52.41 ± 0.77[c]	1.15 ± 0.52[a]	9.20 ± 0.36[a]
3 (50:10)	57.07 ± 0.54[b]	0.61 ± 0.07[b]	9.11 ± 0.58[a]
4 (40:20)	57.23 ± 0.28[b]	0.63 ± 0.31[b]	9.18 ± 0.51[a]
5 (30:30)	56.89 ± 0.89[b]	1.1 ± 0.29[a]	7.14 ± 0.78[b]

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

5) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-16 ถึง 4-18 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สำหรับน้อยหน่า พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.14-6.89 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) แสดงให้เห็นว่าแม้ในการออสโมซิสจะมีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวร่วมกันตามสัดส่วนในการทดลองนี้ ผู้ทดสอบยังคงมีความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ และสี ยังมีความแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลอง ด้านลักษณะปรากฏและสี พบว่าสิ่งทดลองที่มีการใช้สารละลายออสโมติกที่มีส่วนผสมของน้ำตาลมะพร้าว (สิ่งทดลองที่ 2 3 4 และ 5) ชิ้นน้อยหน่าจะมีลักษณะปรากฏหดตัวลง และมีสีเข้มขึ้น ในขณะที่สิ่งทดลองที่ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเพียงชนิดเดียว (สิ่งทดลองที่ 1) ชิ้นน้อยหน่ามีการหดตัวลงน้อยกว่าและยังคงมีสีขาว เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสี พบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสร่วมกับน้ำตาลมะพร้าวในสัดส่วน 40:10 (%w/w) ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีมากที่สุด คือ 6.79 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลางแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับสิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสร่วมกับน้ำตาลมะพร้าวในสัดส่วน 50:20 60:0 และ 30:30 (%w/w) โดยสิ่งทดลองที่มีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงชนิดเดียวได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีน้อยที่สุด คือ 5.93 และ 5.68 ตามลำดับ อยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับสิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสร่วมกับน้ำตาลมะพร้าวในอัตราส่วน 60:0 และ 30:30

สำหรับลองกอง และมังคุด พบว่า ได้รับคะแนนความชอบแนวโน้มเดียวกัน โดยพบว่าด้านกลิ่นรส และรสชาติ ของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส และรสชาติ อยู่ในช่วง 5.94-6.15 (เฉยๆถึงชอบเล็กน้อย) สำหรับคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลอง โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสร่วมกับน้ำตาลมะพร้าวในสัดส่วน 50:10 (%w/w) ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด อยู่ในช่วง 6.05-6.56 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) โดยสิ่งทดลองที่มีการใช้น้ำตาลมะพร้าวเพียงชนิดเดียวได้รับคะแนนความชอบด้านดังกล่าวน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 5.68-6.01 (เฉยๆถึงชอบเล็กน้อย)

ตารางที่ 4-16 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของน้อยหน่าที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส[ns]	รสชาติ[ns]	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (60:0)	6.21 ± 1.50[ab]	6.18 ± 1.56[ab]	6.14 ± 1.35	6.43 ± 1.07	6.68 ± 1.16	6.57 ± 1.26
2 (0:60)	5.93 ± 1.27[b]	5.68 ± 1.44[b]	6.21 ± 1.34	6.39 ± 1.62	6.61 ± 1.50	6.43 ± 1.45
3 (50:10)	6.75 ± 1.00[a]	6.71 ± 1.21[a]	6.25 ± 1.35	6.36 ± 1.28	6.61 ± 1.10	6.61 ± 1.13
4 (40:20)	6.79 ± 1.26[a]	6.79 ± 1.26[a]	6.71 ± 1.41	6.64 ± 1.57	6.79 ± 1.73	6.89 ± 1.57
5 (30:30)	6.43 ± 1.37[ab]	6.43 ± 1.53[ab]	6.64 ± 1.52	6.32 ± 1.85	6.46 ± 1.64	6.61 1.64

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

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

ตารางที่ 4-17 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของลองกองที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส[ns]	รสชาติ[ns]	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (60:0)	6.08 ± 1.05[a]	6.29 ± 1.56[a]	6.01 ± 1.15	6.10 ± 1.00	6.17 ± 1.04[ab]	6.70 ± 1.00[a]
2 (0:60)	5.93 ± 1.17[b]	5.68 ± 0.89[b]	5.94 ± 1.08	6.01 ± 1.10	6.08 ± 1.07[b]	6.01 ± 1.40[b]
3 (50:10)	6.05 ± 1.01[a]	6.11 ± 1.14[ab]	6.15 ± 1.75	6.05 ± 1.08	6.21 ± 1.09[a]	6.56 ± 1.35[a]
4 (40:20)	6.00 ± 1.20[ab]	6.19 ± 1.05[ab]	6.11 ± 1.40	6.01 ± 0.98	6.29 ± 1.14[a]	6.52 ± 1.20[ab]
5 (30:30)	5.98 ± 1.23[b]	6.13 ± 1.04[ab]	6.04 ± 1.57	6.05 ± 1.01	6.12 ± 1.73[ab]	6.03 ± 1.11[b]

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

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

ตารางที่ 4-18 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายออสโมติกแปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง (โอลิโกฟรุคโตส : น้ำตาลมะพร้าว %w/w)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส[ns]	รสชาติ[ns]	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (60:0)	6.08 ± 1.05[a]	6.39 ± 1.74[a]	6.01 ± 1.15	6.10 ± 1.00	6.07 ± 1.04[ab]	6.18 ± 1.01[a]
2 (0:60)	5.99 ± 1.23[b]	5.99 ± 0.89[b]	5.94 ± 1.08	6.01 ± 1.10	5.98 ± 1.02[b]	5.98 ± 1.00[b]
3 (50:10)	6.15 ± 1.09[a]	6.12 ± 1.78[ab]	6.15 ± 1.75	6.05 ± 1.08	6.20 ± 1.23[a]	6.06 ± 1.14[a]
4 (40:20)	6.00 ± 1.20[ab]	6.11 ± 1.15[ab]	6.11 ± 1.40	6.01 ± 0.98	6.19 ± 1.04[a]	6.02 ± 1.04[a]
5 (30:30)	5.98 ± 1.23[b]	6.13 ± 1.74[b]	6.04 ± 1.57	6.05 ± 1.01	6.02 ± 1.73[ab]	5.89 ± 1.02[b]

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

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

4.1.3 การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

เกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง และมีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสได้มากที่สุด ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่าในการออสโมซิสน้อยหน่า ลองกอง และมังคุด สิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสกับน้ำตาลมะพร้าวเท่ากับ 50:10 (%w/w) มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงและมีการใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสได้มากที่สุด โดยน้อยหน่ามีค่า WL SG และ WR หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง เท่ากับ 30.32% 12.030% และ18.29% ตามลำดับ ลองกองมีค่า WL SG และ WR หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง เท่ากับ 26.78% 2.57% และ24.21% ตามลำดับ และมังคุดมีค่า WL SG และ WR หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง เท่ากับ 21.77% 6.11% และ25.21% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบรวมอยู่ในช่วง 6.06-6.61 เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆ พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 มีแนวโน้มปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเพียงชนิดเดียว

4.2 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

1) ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของน้อยหน่าหลังการออสโมซิส

จากวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ได้แก่ ค่าการถ่ายเทมวลสาร (WL SG และ WR) ปริมาณความชื้น ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่าสี (L* a* และ b*) ค่าความแข็ง ความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สำหรับการออสโมซิสโดยใช้น้อยหน่าเป็นวัตถุดิบต้นแบบ ได้ผลสรุปการวิเคราะห์ ANOVA แสดงผลดังตารางที่ 4-19 พบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่าสี a* ค่าสี b* และค่าความแข็ง ($p \leq 0.05$) อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อค่าสี L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) และค่าสี L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท มีผลต่อค่าปริมาณความชื้น ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก มีผลต่อค่าปริมาณความชื้น ความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อค่า ปริมาณความชื้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (AA) และสภาวะสุญญากาศ (VI) ในการออสโมซิสน้อยหน่า

ค่าคุณภาพ	CL	AA	VI	CL × AA	CL × VI	AA × VI	CL × AA × VI
ค่า WL	sig	sig	sig	ns	sig	ns	ns
ค่า SG	sig	sig	sig	ns	sig	sig	sig
ค่า WR	sig	ns	sig	ns	sig	ns	ns
ปริมาณความชื้น	sig	sig	sig	ns	ns	ns	ns
ปริมาณแคลเซียม	sig	sig	sig	sig	sig	sig	sig
ปริมาณวิตามินซี	ns	sig	sig	sig	sig	sig	sig
ค่า L*	sig	sig	sig	sig	sig	ns	ns
ค่า a*	ns	sig	sig	sig	ns	sig	sig
ค่า b*	sig	ns	sig	sig	sig	sig	sig
ค่าความแข็ง	sig	sig	sig	sig	sig	ns	sig
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านสี	sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านกลิ่นรส	sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านรสชาติ	ns	sig	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	ns	sig	ns	ns	ns	ns	ns
ความชอบโดยรวม	ns	sig	ns	ns	ns	ns	ns

sig หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อคุณภาพที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p > 0.05$)

1.1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

จากตารางที่ 4-22 แสดงปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตทที่ระดับ 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า WL มากที่สุด เท่ากับ 42.67% ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นมีค่า WL อยู่ในช่วง 29.18%-33.51% เท่านั้น ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้แคลเซียมแลคเตทที่ระดับ 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ ช่วยกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลน้ำออกจากชิ้นตัวอย่างได้

จากตารางที่ 4-23 แสดงปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อค่า SG ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า สิ่งทดลองที่ใช้ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 2% ภายใต้สภาวะสุญญากาศ มีค่า SG มากที่สุด เท่ากับ 21.28% ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเติมแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกมากขึ้น มีผลให้เกิดความแตกต่างกันของความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกภายนอกและภายในเซลล์ผลไม้ให้มีความแตกต่างกันมาก จึงเกิดแรงขับในการแพร่ของตัวถูกละลาย และเมื่อร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลให้เกิดกลไก HDM ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการแพร่ของตัวถูกละลายเข้ามาในเซลล์ของผลไม้ได้มากขึ้น

จากตารางที่ 4-24 แสดงปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและการใช้สภาวะสุญญากาศ พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตท 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า WR มากที่สุด เท่ากับ 28.15% ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับผลของค่า WL เนื่องจาก WR เป็นน้ำหนักสุทธิที่แสดงผลของการสูญเสียน้ำจากชิ้นน้อยหน่าและการได้รับปริมาณของแข็งเข้ามาในชิ้นน้อยหน่า ซึ่งปกติแล้วปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่ามากกว่าของแข็งที่ได้รับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่า WR เป็นผลมาจากค่า WL เป็นหลัก

ตารางที่ 4-22 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและการใช้สภาวะสุญญากาศ

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่า WL เฉลี่ย ± SD (%)
1	ใช้	33.51 ± 1.15^{b}
1	ไม่ใช้	29.18 ± 0.88^{b}
2	ใช้	42.67 ± 9.33^{a}
2	ไม่ใช้	29.92 ± 1.40^{b}

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

ตารางที่ 4-23 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของน้อยหน่าหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่า SG เฉลี่ย ± SD (%)
1	1	1	ใช้	11.05 ± 0.52^{d}
2	1	1	ไม่ใช้	8.23 ± 1.01^{e}
3	1	2	ใช้	13.90 ± 0.97^{b}
4	1	2	ไม่ใช้	11.43 ± 0.61^{d}
5	2	1	ใช้	13.34 ± 0.94^{bc}
6	2	1	ไม่ใช้	13.05 ± 0.66^{bc}
7	2	2	ใช้	21.28 ± 0.87^{a}
8	2	2	ไม่ใช้	12.25 ± 0.37^{cd}

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

ตารางที่ 4-24 ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่า WR เฉลี่ย ± SD (%)
1	ใช้	22.97 ± 1.77^{b}
1	ไม่ใช้	17.71 ± 1.11^{b}
2	ใช้	28.15 ± 9.30^{a}
2	ไม่ใช้	17.27 ± 1.74^{b}

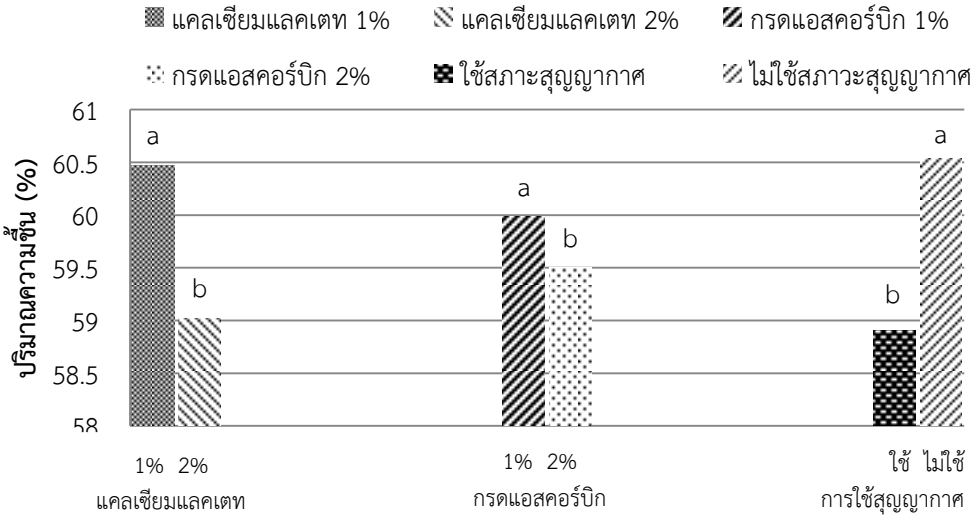
$^{a,b,c,d,..}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตทที่ระดับ 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า WR มากที่สุด เท่ากับ 28.15% ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นมีค่า WR อยู่ในช่วง 17.27-22.97% เท่านั้น การเติมแคลเซียมแคลเตทมากขึ้นส่งผลให้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นสูงขึ้น จึงช่วยให้เพิ่มความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกกับสารละลายภายในเซลล์ของชิ้นน้อยหน่า เป็นการเพิ่มแรงขับในการแพร่ของสารละลายออสโมติก จึงมีโอกาสเกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น รวมทั้งผลของการเกิดผลึกของแคลเซียมเพคเตทที่มีลักษณะแหลมคมสามารถทิ่มแทงเนื้อเยื่อผลไม้ จึงเกิดโครงสร้างแบบเปิดทำให้สามารถเกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดีมากขึ้น และยังมีการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วยจึงเป็นการช่วยกระตุ้นทำให้การถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากขึ้นตามกลไกของ HDM จึงเป็นผลให้สิ่งทดลองนี้มีค่า WL สูง และค่า WR สูงตามไปด้วย จากภาพรวมในขั้นตอนนี้ พบว่า ค่าการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการออสโมซิสมีอิทธิพลจากตัวแปรที่ศึกษาแตกต่างกันเล็กน้อย โดยค่า WL และค่า WR เป็นผลจากอิทธิพลร่วมกันระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและการใช้สภาวะสุญญากาศ ในขณะที่ค่า SG เป็นผลจากอิทธิพล

ร่วมกันระหว่างทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิกและการใช้สภาวะสุญญากาศ การใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย มีผลให้เกิดกลไก Hydrodynamic mechanism (HDM) ทำให้โครงสร้างของเนื้อเยื่อผักผลไม้เปลี่ยนรูป โดยโครงสร้างภายในเซลล์ถูกบีบอัด ยุบตัวลง และอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย เมื่อนำมาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศทำให้เนื้อเยื่อเกิดความคลายตัว เป็นผลทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้น โดยน้ำหรือสารต่างๆ ที่อยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างเซลล์จะแพร่ออกมาได้ง่ายจากผนังเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีความเป็นรูมากขึ้น (Fito et al., 1995; Chafer et al., 2003)

1.2) ปริมาณความชื้น

เนื่องจากปริมาณความชื้นเป็นผลมาจากอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ ($p \leq 0.05$) จึงได้แสดงผลของอิทธิพลของปัจจัยหลักดังกล่าว ได้ตามภาพที่ 4-14 พบว่า เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิกในสาระลายออสโมติก มีผลต่อปริมาณความชื้นของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 59.02-60.47% การใช้แคลเซียมแลคเตท และกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นสูง 2% ทำให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นต่ำสุด คือ 59.02% และ 59.50% ตามลำดับ



ภาพที่ 4-14 ปริมาณความชื้น (%) ของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ (^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

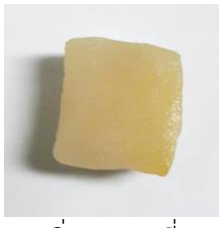
จากภาพที่ 4-14 พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสชิ้นน้อยหน่ามีผลต่อปริมาณความชื้นของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการออสโมซิสชิ้นน้อยหน่าภายใต้สภาวะสุญญากาศมีผลทำให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสมีปริมาณความชื้นต่ำสุด เท่ากับ 58.91% ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้สภาวะสุญญากาศทำให้เกิดกลไก HDM

ทำให้สารละลายออสโมติกสามารถแพร่ไปยังชิ้นเนื้อผลไม้ได้ และน้ำในชิ้นผักผลไม้สามารถแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติกได้เช่นกัน (Fito et al., 1995; Chafer et al., 2003)

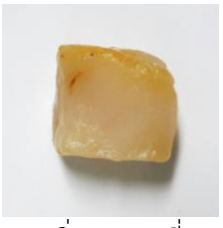
1.3) ค่าสี

ลักษณะของชิ้นน้อยหน่าสดและชิ้นน้อยหน่าหลังผ่านการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ แสดงดังภาพที่ 4-15 พบว่า ทุกสิ่งทดลองที่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะหดตัวลงเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นน้อยหน่าสด จากลักษณะปรากฏของชิ้นน้อยหน่า พบว่า สิ่งทดลองที่ไม่มีการใช้สุญญากาศมีสีคล้ำกว่าชิ้นน้อยหน่าที่มีการใช้สภาวะสุญญากาศ และพบแนวโน้มว่า การใช้กรดแอสคอร์บิกปริมาณมาก หรือการใช้กรดแอสคอร์บิกปริมาณน้อยร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้สีของชิ้นน้อยหน่ามีสีขาวและสว่างมากขึ้นจนคล้ายสีของน้อยหน่าสด

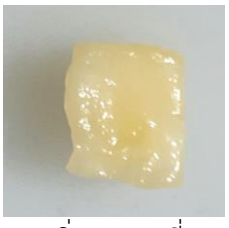
(ก) น้อยหน่าสด



(ข) สิ่งทดลองที่ 1 (CL1 : AA1 : VI)

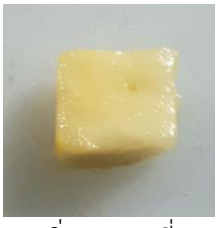


(ค) สิ่งทดลองที่ 2 (CL1 : AA1 : no VI)



(ง) สิ่งทดลองที่ 3 (CL1 : AA2 : VI)

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



(ฉ) สิ่งทดลองที่ 5 (CL2 : AA1 : VI)

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

(ซ) สิ่งทดลองที่ 7 (CL2 : AA2 : VI)

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

ภาพที่ 4-15 ลักษณะของชิ้นน้อยหน่าสด (ก) และหลังการออสโมซิสทั้ง 8 สิ่งทดลอง (ข)-(ฌ) เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) กรดแอสคอร์บิก (AA) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (VI)

เมื่อนำมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี รายงานเป็นค่าสี L* a* และ b* ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยของ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อค่า L* ($p \leq 0.05$) จึงแสดงผลค่าสี L* ดังตารางที่ 4-11 ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยของความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อค่า a* และ b* ($p \leq 0.05$) จึงแสดงผลของค่าสี a* และ b* แสดงดังตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-25 ค่าสี L* ของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและการใช้สภาวะสุญญากาศ

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าสี L*เฉลี่ย ± SD
1	ใช้	60.41 ± 1.21^{b}
1	ไม่ใช้	59.41 ± 1.03^{bc}
2	ใช้	62.73 ± 0.58^{a}
2	ไม่ใช้	59.22 ± 0.31^{c}

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

ค่าสี L* ของน้อยหน่าหลังการออสโมซิสแตกต่างกันเป็นผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ นั่นแสดงให้เห็นว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกระดับ 1% หรือ 2% ไม่มีผลทำให้ค่าสี L* มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม กรดแอสคอร์บิกจัดเป็นสารช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic Browing) โดยกรดแอสคอร์บิกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ได้ (Pizzocaro et al., 2004) ดังนั้นหากกรดแอสคอร์บิกสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นน้อยหน่าได้ จะสามารถช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้และเป็นผลให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสยังคงมีความสว่าง ไม่เกิดสีน้ำตาลคล้ำ จากตารางที่ 4-25 พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นน้อยหน่ามีค่าสี L* สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาเป็นสภาวะที่เอื้อต่อการแพร่ของกรดแอสคอร์บิกเข้าไปในชิ้นตัวอย่างได้มากที่สุด กรดแอสคอร์บิกจึงช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้มากที่สุด จนส่งผลให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสยังคงมีความสว่างมากที่สุดและไม่เกิดสีน้ำตาลคล้ำ

ตารางที่ 4-26 ค่าสี a* และ b* ของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
				a*	b*
1	1	1	ใช้	19.87 ± 0.20^{c}	1.10 ± 0.03^{c}
2	1	1	ไม่ใช้	17.31 ± 0.15^{d}	-0.42 ± 0.05^{e}
3	1	2	ใช้	20.98 ± 0.22^{a}	1.64 ± 0.01^{b}
4	1	2	ไม่ใช้	14.97 ± 0.12^{f}	-0.04 ± 0.06^{d}
5	2	1	ใช้	20.37 ± 0.08^{b}	2.30 ± 0.24^{a}
6	2	1	ไม่ใช้	16.30 ± 0.24^{e}	0.13 ± 0.06^{d}
7	2	2	ใช้	20.52 ± 0.13^{b}	2.37 ± 0.07^{a}
8	2	2	ไม่ใช้	16.25 ± 0.16^{e}	-0.87 ± 0.06^{f}

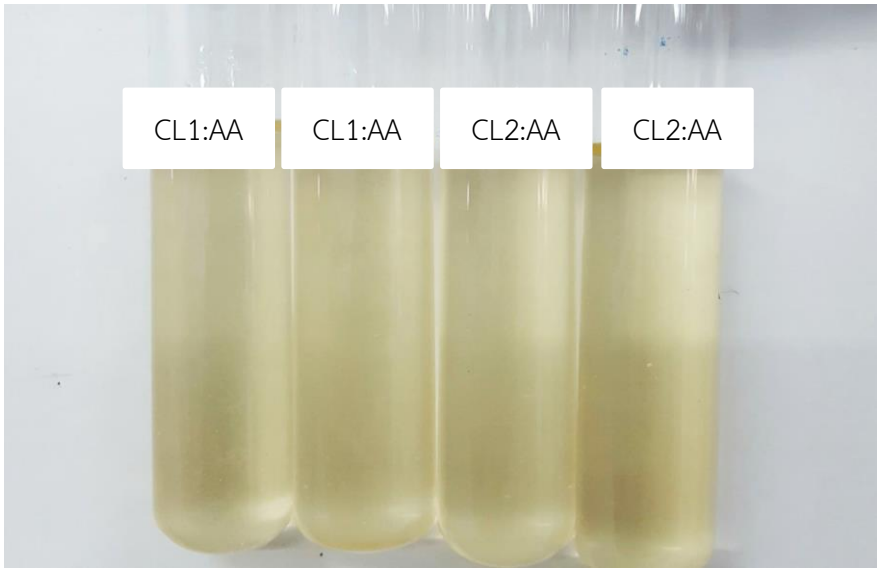
$^{a,b,c,d,...}$ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4-26 เมื่อพิจารณาค่าสี a* พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 5 และ 7 มีค่าสี a* อยู่ในระดับสูง (20.37-20.98) มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย การแช่ชิ้นน้อยหน่าในสารละลายออสโมติกในระยะเวลาสั้นๆ ที่สภาวะสุญญากาศส่งเสริมให้อากาศที่ช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกและอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้ ทำให้เกิดลักษณะรูพรุนมากขึ้น เมื่อนำชิ้นผลไม้มาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศจึงส่งเสริมให้เกิดการแพร่ของตัวถูกละลายผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์ได้มากขึ้น (Fito et al., 1995) ซึ่งจากงานวิจัยนี้สารละลายออสโมติกที่ใช้แช่ชิ้นน้อยหน่า เป็นสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส 50% กับน้ำตาลมะพร้าว 10% ซึ่งเป็นสารละลายที่มีสีออกเหลืองแดงตามสีธรรมชาติของน้ำตาลมะพร้าว ดังนั้นสิ่งทดลองที่มีการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วยจึงมีแนวโน้มทำให้ชิ้นน้อยหน่ามีค่าความเป็นสีแดง (a*) มากกว่าสิ่งทดลองอื่นนั่นเอง จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% และใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า a* สูงที่สุด เท่ากับ 20.98 ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ มีค่า a* ต่ำที่สุด เท่ากับ 14.97 ($p \leq 0.05$) เป็นการยืนยันให้เห็นแนวโน้มว่าการใช้สภาวะสุญญากาศส่งผลให้ชิ้นน้อยหน่ามีค่าความเป็นสีแดง (a*) มากกว่าการไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ

ส่วนค่า b* พบว่ามีแนวโน้มคล้ายค่าสี a* โดยสิ่งทดลองที่ 3 5 และ 7 มีค่าสี b* เป็นบวก (+) และมีค่าอยู่ในระดับสูง (1.64-2.37) มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้เนื่องมาจากเป็นสิ่งทดลองที่มีการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย จึงมีแนวโน้มทำให้สารสีตามธรรมชาติของสารละลายออสโมซิสสามารถแพร่เข้ามาในชิ้นน้อยหน่าได้มาก จึงทำให้มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากกว่าสิ่งทดลองอื่นนั่นเอง นอกจากนี้อาจเป็นผลจากการใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมด้วย โดยการที่สามารถแพร่เข้าไปในชิ้น

น้อยหน่าได้มาก จะสามารถช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้และเป็นผลให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสยังคงมีความสว่างออกเหลืองหรือไม่เกิดสีคล้ำนั่นเอง

ผลการทดลองพบข้อสังเกตว่า สิ่งทดลองที่ 2 4 และ 8 มีค่า b* เป็นลบ (-) โดยมีค่าอยู่ในช่วง -0.04 ถึง-0.87 ซึ่งหมายถึง มีค่าสีออกทางน้ำเงินหรือกล่าวได้ว่าไม่มีความเป็นสีเหลือง ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากสิ่งทดลองดังกล่าว เป็นสภาวะที่ไม่เอื้อต่อการแพร่เข้าของสารสีโดยธรรมชาติของสาระละลายออสโมติก รวมถึงไม่เอื้อต่อการแพร่เข้าของกรดแอสคอร์บิกที่ช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยพบว่าสิ่งทดลองดังกล่าวเป็นสภาวะที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย



ภาพที่ 4-16 ลักษณะสีของสารละลายออสโมติก เมื่อใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างโอลิโกฟรุคโตส 50%w/w กับน้ำตาลมะพร้าว 10%w/w ที่แปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (CL) และกรดแอสคอร์บิก (AA) แตกต่างกัน

1.4) ปริมาณแคลเซียม

เนื่องจากปริมาณแคลเซียมของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสเป็นอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4-27 พบว่า สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตทและความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิกระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด เท่ากับ 35.75 มิลลิกรัม/100กรัม ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทระดับสูง เป็นการเพิ่มปริมาณแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ในสารละลายออสโมติก จึงเพิ่มโอกาสให้เกิดการแพร่ของแคลเซียมไอออนเข้าไปในเซลล์ของชิ้นน้อยหน่าได้มากกว่าแคลเซียมแลคเตทระดับต่ำกว่า (1%) และการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วยสามารถกระตุ้นการแพร่ของตัวถูกละลายได้ เนื่องจากที่สภาวะสุญญากาศทำให้เกิดการบีบอัด ทำให้

เซลล์ผักผลไม้ยุบตัวลงเนื้อเยื่อจึงอ่อนนุ่มและมีลักษณะเป็นรูที่เอื้อต่อการแพร่ของตัวถูกละลายได้มากขึ้น ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งใช้ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตท (2%) และความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิกระดับต่ำ (1%) โดยไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมน้อยที่สุด เท่ากับ 24.78 มิลลิกรัม/100กรัม ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-27 ปริมาณแคลเซียมของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ± SD (มิลลิกรัม/100กรัม)
1	1	1	ใช้	29.50 ± 0.31^{d}
2	1	1	ไม่ใช้	26.13 ± 0.60^{f}
3	1	2	ใช้	30.84 ± 0.26^{c}
4	1	2	ไม่ใช้	24.78 ± 0.49^{g}
5	2	1	ใช้	34.05 ± 0.82^{b}
6	2	1	ไม่ใช้	27.75 ± 0.61^{e}
7	2	2	ใช้	35.75 ± 0.70^{a}
8	2	2	ไม่ใช้	28.71 ± 0.53^{d}

$^{a,b,c,d,...}$ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดลองนี้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Torres et al. (2006) ศึกษาผลการเติมแคลเซียมความเข้มข้น 1% และ 2% ในสารละลายซูโครส 45 และ 65 องศาบริกซ์ ร่วมกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศและหรือการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ 10 นาที พบว่า การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูง 65 องศาบริกซ์ ที่มีการเติมแคลเซียม 2% ทำให้ชิ้นมะม่วงมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด และการเติมแคลเซียม 1% ร่วมกับการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศในสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 45 องศาบริกซ์ ทำให้มะม่วงมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศร่วมด้วย สามารถส่งเสริมให้แคลเซียมแพร่เข้าสู่ชิ้นมะม่วงได้มากกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ อัคราช พาอ้อ และอัฐภิญญา ปัทมภาสสกุล. (2556) ศึกษาผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส (0-50%) กับน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (0-50%) มีผลทำให้ค่าการถ่ายเทมวลสาร รวมถึงคุณภาพของเงาะหลังออสโมซิสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การใช้สารละลายผสมมีผลให้ค่าการถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิก 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ

100 mbar เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เงาะหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินสูงและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ($p<0.05$)

1.5) ปริมาณวิตามินซี

เนื่องจากปริมาณวิตามินซีของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสเป็นอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ ($p\leq0.05$) ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4-28 พบว่า สิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1% กรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด เท่ากับ 1027.96 มิลลิกรัม/100กรัม ($p\leq0.05$) และสิ่งทดลองที่ 2 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 1% กรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 1% และไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสมีปริมาณวิตามินซีต่ำที่สุด เท่ากับ 365.20 มิลลิกรัม/100กรัม ($p\leq0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อกรดแอสคอร์บิกมีความเข้มข้นสูงขึ้น จะช่วยเพิ่มโอกาสการแพร่เข้าไปในชิ้นน้อยหน่าได้มากกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นต่ำ นอกจากนี้การใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย สามารถกระตุ้นการแพร่ของตัวถูกละลายได้ เนื่องจากที่สภาวะสุญญากาศทำให้เกิดการบีบอัด ทำให้เซลล์ผักผลไม้ยุบตัวลงเนื้อเยื่อจึงอ่อนนุ่มและมีลักษณะเป็นรูที่เอื้อต่อการแพร่ของตัวถูกละลายได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Hironaka et al. (2001) ที่ศึกษาการเสริมปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ พบว่า การใช้สภาวะสุญญากาศที่ความดัน 70 mmHg เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ช่วยทำให้เพิ่มปริมาณวิตามินซีในหัวมันฝรั่งเพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิกรัม/100กรัม เป็น 130 มิลลิกรัม/100กรัม

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้แคลเซียมแลคเตทปริมาณมากขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณวิตามินซีในชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสน้อยลง อาจเนื่องมาจากแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) สามารถสร้างพันธะกับสารประกอบเพคตินบริเวณผนังเซลล์ (cell wall) และมิลเดิลลาเมลลา (middle lamella) ทำให้เนื้อเยื่อผักผลไม้มีความยืดหยุ่นน้อยลงเกิดโครงสร้างที่แข็งแรงมากขึ้น (Barrera et al., 2004) จึงอาจทำให้เกิดการขัดขวางการแพร่เข้าของกรดแอสคอร์บิกบางส่วนได้ ซึ่งกลไกดังกล่าวมีผลสำคัญต่อการแพร่ของกรดแอสคอร์บิก ซึ่งสอดคล้องกับที่ Barrera et al. (2004) รายงานว่า การเสริมแคลเซียมและเหล็กให้กับชิ้นแอปเปิ้ลโดยใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum Impregnation: VI) ต่อจลศาสตร์การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส โดยนำแอปเปิ้ลมาแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 55 °Brix ที่อุณหภูมิ 30°C อัตราส่วนระหว่างชิ้นแอปเปิ้ลต่อสารละลายออสโมซิสเท่ากับ 1:20 ที่มีการเติมเกลือแคลเซียมแลคเตทหรือเฟอร์รัสกลูโคเนต โดยใช้ความดันสุญญากาศในการแช่ในสารละลายออสโมติก 50 mbar เป็นเวลา10 นาที หลังจากนั้นแช่ต่อที่สภาพบรรยากาศเป็นเวลา 0, 15, 30, 45, 60, 120 และ 180 นาที พบว่า การเติมแคลเซียมแลคเตททำให้ตัวอย่างมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ต่ำ โดยแคลเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินบริเวณมิลเดิลลาเมลลาของผนังเซลล์พืช จึงทำให้ตัวอย่างมีความแข็งมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิค VI มีผลทำให้มีปริมาณแร่ธาตุสูงกว่าตัวอย่างสด

ตารางที่ 4-28 ปริมาณวิตามินซีของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย ± SD (มิลลิกรัม/100กรัม)
1	1	1	ใช้	577.37 ± 3.25[e]
2	1	1	ไม่ใช้	365.20 ± 3.17[g]
3	1	2	ใช้	1027.96 ± 9.37[a]
4	1	2	ไม่ใช้	660.83 ± 16.68[d]
5	2	1	ใช้	579.95 ± 3.37[e]
6	2	1	ไม่ใช้	397.85 ± 3.41[f]
7	2	2	ใช้	985.54 ± 15.94[b]
8	2	2	ไม่ใช้	694.45 ± 3.09[c]

[a,b,c,d,...] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.6) ความแข็ง

ค่าความแข็งสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง texture Analyzer ซึ่งหมายถึง แรงที่สูงที่สุด ที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหารตามระยะทางที่กำหนด ซึ่งแสดงถึงความแข็งหรือนุ่มของผลิตภัณฑ์ อาหาร ถ้าอาหารที่มีความแข็งมาก แรงที่ใช้ฟันกัดอาหารในครั้งแรกก็จะมีค่ามาก (Alvarez, 2002) อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อค่าความแข็งของน้อยหน่าหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงแสดงผลดังตารางที่ 4-29

ตารางที่ 4-29 ค่าความแข็งของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิก และการใช้สภาวะสุญญากาศ

สิ่งทดลองที่	แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ความแข็งเฉลี่ย ± SD (N)
1	1	1	ใช้	111.23 ± 2.59[c]
2	1	1	ไม่ใช้	71.14 ± 1.15[e]
3	1	2	ใช้	109.84 ± 7.47[c]
4	1	2	ไม่ใช้	91.88 ± 12.23[d]
5	2	1	ใช้	129.23 ± 1.48[b]
6	2	1	ไม่ใช้	114.26 ± 6.90[c]
7	2	2	ใช้	153.57 ± 6.42[a]
8	2	2	ไม่ใช้	136.64 ± 6.51[b]

[a,b,c,d,...] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4-29 พบว่า สิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งใช้แคลเซียมเลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2% และใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย มีค่าความแข็งสูงที่สุด เท่ากับ 153.57 N ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมแคลเซียมแลคเตทสามารถปรับปรุงความแข็ง (hardness) หรือความแข็งกรอบของเนื้อเยื่อผักผลไม้ได้ โดยเกลือแคลเซียมจะแตกตัวให้แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และสร้างพันธะกับเพคตินในชิ้นผลไม้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามระหว่างหมูคาร์บอกซิล โดยแคลเซียมไอออน ทำหน้าที่ดึงหมูคารบอกซิลบนสายของเพคตินสายหนึ่ง ให้จับกับหมูคารบอกซิลของสายเพคตินอีกสายหนึ่ง เกิดเปนสารประกอบแคลเซียมเพคเตท ซึ่งมีสมบัติไมละลายน้ำ ทำให้ผนังเซลลแข็งแรง และส่งผลให้ชิ้นผักผลไม้มีความแข็งมากขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ดังนั้นการใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตทในระดับสูง (2%) จึงเปนการเพิ่มโอกาสที่แคลเซียมไอออนสามารถแพรเข่าไปในเซลลของชิ้นน้อยหน่าได้มากขึ้น ทำให้เพิ่มความแข็งได้มากขึ้นนั่นเอง สวนการใช้สภาวะสุญญากาศสามารถกระตุ้นการแพร่ของตัวถูกละลายได้ จึงเป็นการเพิ่มโอกาสการแพร่ของแคลเซียมให้เข้าไปในชิ้นเนื้อน้อยหน่าได้มากขึ้นนั่นเอง

1.7) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale และผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า ปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส แสดงผลดังตารางที่ 4-30 ถึงตารางที่ 4-32 และปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก มีผลต่อความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แสดงผลดังตารางที่ 4-33 ถึงตารางที่ 4-35

ตารางที่ 4-30 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏเฉลี่ย ± SD
1	6.63 ± 1.20^{a}
2	6.35 ± 1.20^{b}

[a,b.] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-31 คะแนนความชอบด้านสีของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	คะแนนความชอบด้านสีเฉลี่ย ± SD
1	6.37 ± 1.23^{b}
2	6.70 ± 1.21^{a}

[a,b.] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-32 คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท

แคลเซียมแลคเตท (%w/w)	คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสเฉลี่ย ± SD
1	6.04 ± 1.39[a]
2	5.64 ± 1.37[b]

[a,b.] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-33 คะแนนความชอบด้านรสชาติของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	คะแนนความชอบด้านรสชาติเฉลี่ย ± SD
1	6.35 ± 1.54[a]
2	5.31 ± 1.56[b]

[a,b.] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-34 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสเฉลี่ย ± SD
1	6.35 ± 1.14[a]
2	6.02 ± 1.26[b]

[a,b.] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-35 คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิส เมื่อแปรความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิก (%w/w)	คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ย ± SD
1	6.40 ± 1.09[a]
2	5.98 ± 1.17[b]

[a,b.] ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองด้านความชอบทางประสาทสัมผัสทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัส ในขณะที่การใช้สภาวะสุญญากาศไม่มีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัส จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับต่ำ (1%) มีผลให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและความชอบด้านกลิ่นรสของ

น้อยหน่าหลังการออสโมซิสมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับต่ำอาจทำให้เนื้อสัมผัสไม่นิ่มเละหรือแข็งจนเกินไป รวมถึงการใช้แคลเซียมแลคเตทมากอาจส่งผลต่อการเกิดผลึกของแคลเซียมเพคเตทที่มีลักษณะแหลมคม สามารถทิ่มแทงเนื้อเยื่อน้อยหน่าได้มากและส่งผลให้สารที่ให้กลิ่นรสอาจแพร่ออกมานอกเซลล์ได้มาก

ในขณะที่เมื่อใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับสูง (2%) มีผลให้คะแนนความชอบด้านสีของน้อยหน่าหลังการออสโมซิสมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของเนื้อน้อยหน่าหลังการออสโมซิส และผลการวิเคราะห์ค่าสี L* ที่พบว่า เมื่อใช้แคลเซียมแลคเตทในระดับสูง มีผลให้เนื้อน้อยหน่ายังคงมีความสว่าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้แคลเซียมแลคเตทมากอาจส่งผลต่อการเกิดผลึกของแคลเซียมเพคเตทที่มีลักษณะแหลมคม สามารถทิ่มแทงเนื้อเยื่อน้อยหน่าได้มาก จึงช่วยส่งเสริมให้กรดแอสคอร์บิกสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นน้อยหน่าได้ จะสามารถช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ และเป็นผลให้ชิ้นน้อยหน่าหลังการออสโมซิสยังคงมีความสว่าง

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับต่ำ (1%) มีผลให้คะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของน้อยหน่าหลังการออสโมซิสมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมกรดแอสคอร์บิกในระดับสูง ส่งผลให้รสชาติของผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวชัดเจน ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ เพราะไม่สอดคล้องกับลักษณะรสชาติตามธรรมชาติของน้อยหน่าที่มีรสหวานไม่มีรสเปรี้ยว นอกจากนี้การใช้กรดแอสคอร์บิคในระดับสูงมีผลกระทบให้เนื้อน้อยหน่ามีรสค่อนข้างนิ่มลงมาก ในขณะที่การใช้กรดแอสคอร์บิคในระดับต่ำมีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของน้อยหน่าน้อยกว่า จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้น้อยหน่าที่ผ่านการออสโมซิสเมื่อใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับต่ำ ได้รับคะแนนความชอบด้านรสหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกในระดับสูง

1.8) การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง มีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูง และ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน)

เมื่อพิจารณาจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่า สิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอย่างน้อย 6 คะแนน ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 1 2 3 5 6 และ 8 โดยได้คะแนนความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 6.00-6.54 เมื่อพิจารณาด้านค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่า WL ค่า SG และค่า WR พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 และ7 มีค่า WL และ WR มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 36.41%-48.94% และ33.03%-33.65% ตามลำดับ และสิ่งทดลองที่ 7 มีค่า SG มากที่สุด เท่ากับ 21.28% อย่างไรก็ตามเป้าหมายสำคัญของการออสโมซิสคือการลดปริมาณน้ำและน้ำหนักของตัวอย่างลงจึงให้ความสำคัญกับการพิจารณาค่า WL และค่า WR มากกว่าค่า SG

เมื่อพิจารณาด้านคะแนนความชอบโดยรวมและค่าการถ่ายเทมวลสารจึงพบว่ามีสิ่งทดลองที่ 5 เพียงสิ่งทดลองเดียวที่มีความเหมาะสม รวมทั้งเมื่อพิจารณาด้านปริมาณแคลเซียมและปริมาณวิตามินซีของสิ่งทดลองที่ 5 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมอยู่ในระดับสูง (34.05 มิลลิกรัม/100กรัม) แม้มีปริมาณวิตามินซีไม่สูงนัก (579.95 มิลลิกรัม/100กรัม) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่นแต่จากแนวโน้มผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่พบว่ายิ่งใช้กรดแอสคอร์บิกมาก (2%) มีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์หลัง

การออสโมซิสมีรสเปรี้ยวมากจนผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ปริมาณวิตามินซีที่คงอยู่ในเนื้อน้อยหน่ามากกว่าปริมาณวิตามินซีที่แนะนำให้บริโภคใน 1 วัน (60 มิลลิกรัม/วัน สำหรับผู้ใหญ่อายุ 15-60 ปี) ถึงประมาณ 10 เท่า ดังนั้นสิ่งทดลองที่ 5 นี้จึงมีความเหมาะสม

ดังนั้นสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งใช้แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าการถ่ายเทมวลสารสูง โดยมีค่า WL ค่า SG และ ค่า WR เท่ากับ 42.67% 13.34% และ 28.15% ตามลำดับ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.29 อยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซี เท่ากับ 34.06 มิลลิกรัม/100กรัม และ 579.95 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ

2) ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิส

จากการนำสภาวะที่เลือกได้ คือ เติมแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% และกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% ในสารละลายออสโมติกที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว ร่วมกับการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศทำได้โดย บรรจุลองกองหรือมังคุดและสารละลายออสโมติกในขวดรูปชมพู่ กำหนดอัตราส่วนสารละลายออสโมติก:ผลไม้ เท่ากับ 4:1 (โดยน้ำหนัก) ปิดขวดรูปชมพู่ด้วยจุกยางให้เป็นระบบปิดและเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศ กำหนดใช้ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาการแช่ในสภาวะสุญญากาศ นำผลไม้มาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำตัวอย่างหลังการออสโมซิสมาวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพหลังการออสโมซิส ได้ผลการทดลองดังนี้

จากตารางที่ 4-36 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารของลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิส พบว่า ลองกองมีค่า WL ค่า SG และ ค่า WR เท่ากับ 38.54% 2.01% และ 36.52% ตามลำดับ ส่วนมังคุดมีค่า WL ค่า SG และ ค่า WR เท่ากับ 35.22% 5.87% และ 29.36% ตามลำดับ โดยภาพรวมพบว่าลองกองและมังคุดมีการถ่ายเทมวลสารด้านค่า WL และ ค่า WR มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการออสโมซิสโดยไม่เติมแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิคและไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งมีผลให้ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงเช่นกันโดยมีความชื้นหลังออสโมซิสสำหรับลองกองและมังคุดเท่ากับ 59.21% และ 49.12% ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4-37

ตารางที่ 4-36 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงของลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิส เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

ชนิดผลไม้	ค่า WL เฉลี่ย ± SD (%)	ค่า SG เฉลี่ย ± SD (%)	ค่า WR เฉลี่ย ± SD (%)
ลองกอง	38.54 ± 1.07	2.01 ± 0.98	36.52 ± 1.08
มังคุด	35.22 ± 1.10	5.87 ± 0.89	29.36 ± 1.08

ตารางที่ 4-37 ปริมาณความชื้นของลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิส เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

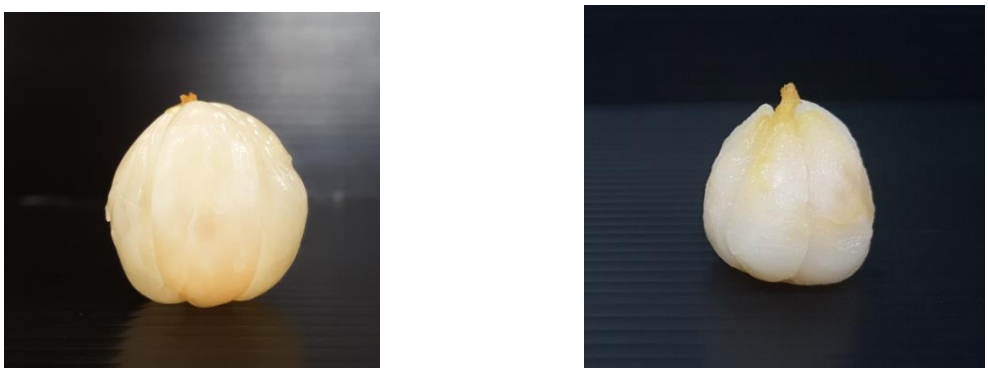
ชนิดผลไม้	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ± SD (%)
ลองกอง	59.21 ± 1.01
มังคุด	49.12 ± 1.54

จากตารางที่ 4-38 พบแนวโน้มว่าทั้งลองกองและมังคุดมีสีคล้ำน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับการออสโมซิสโดยไม่เติมแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิคและไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นสภาวะที่เอื้อต่อการแพร่ของกรดแอสคอร์บิกเข้าไปในชิ้นตัวอย่างได้ กรดแอสคอร์บิกจึงช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ จนส่งผลให้ชิ้นลองกองและมังคุดมีความสว่างไม่เกิดสีน้ำตาลคล้ำมากนัก โดยค่าสี L* อยู่ในช่วง 59.02-62.74 และพบว่าชิ้นลองกองและมังคุดมีค่าสี b* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการออสโมซิสโดยไม่เติมแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิคและไม่ใช้สภาวะสุญญากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วยส่งเสริมให้เกิดการแพร่ของตัวถูกละลายผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์ได้มากขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยนี้สารละลายออสโมติกที่ใช้แช่มีสีออกเหลืองแดงตามสีธรรมชาติของน้ำตาลมะพร้าว ดังนั้นลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิสจึงมีสีออกเหลือง แสดงดังภาพที่ 4-17 และ 4-18 จากตารางที่ 4-39 ยืนยันให้เห็นว่าการใช้สภาวะการออสโมซิสโดยเติมแคลเซียมแลคเตท กรดแอสคอร์บิคและใช้สภาวะสุญญากาศช่วยให้ชิ้นลองกองและมังคุดมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด โดยลองกองสดมีปริมาณแคลเซียม และวิตามินซี เท่ากับ 19.57 และ 3.89 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ และมังคุดสดมีปริมาณแคลเซียม และวิตามินซี เท่ากับ 8.67 และ 1.29 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ สำหรับลองกองคิดเป็นการเพิ่มขึ้นของแคลเซียมและวิตามินซี เท่ากับ 10.64 และ 389.23 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ และสำหรับมังคุดคิดเป็นการเพิ่มขึ้นของแคลเซียมและวิตามินซี เท่ากับ 12.50 และ 331.90 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ สำหรับค่าความแข็ง แสดงผลดังตารางที่ 4-40 พบว่า ส่วนเนื้อของลองกองและมังคุดมีความแข็งค่อนข้างน้อย เนื่องจากส่วนของเนื้อเยื่อมีลักษณะนิ่มมากเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อสัมผัสของน้อยหน่า จากการเตรียมตัวอย่างวัดความแข็งเฉพาะส่วนเนื้อ พบว่า เนื้อลองกองและมังคุดมีความแข็ง เท่ากับ 48.14 และ 39.16 N ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่า ทั้งลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.45 และ 6.24 ตามลำดับ แสดงถึงระดับชอบเล็กน้อย สำหรับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส พบว่า ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.04-6.75 แสดงถึงระดับชอบเล็กน้อยเช่นกัน ทั้งนี้มีแนวโน้มคล้ายกับกรณีของน้อยหน่าที่พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกร่วมด้วยส่งผลให้รสชาติของผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวมากขึ้น นอกจากนี้เนื่องจากทั้งลองกองและมังคุดมีเนื้อสัมผัสโดยธรรมชาติค่อนข้างนิ่มการออสโมซิสเป็นเวลานานโดยใช้กรดแอสคอร์บิคและสภาวะสุญญากาศร่วมด้วยอาจมีผลกระทบให้เนื่อเยื่อมีโอกาสนิ่มลงได้แม้จะมีการเติมแคลเซียมแลคเตทร่วมด้วยก็ตาม

ตารางที่ 4-38 ค่าสี L* a* และ b* ของลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิส เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

ชนิดผลไม้	ค่าสี L* เฉลี่ย ± SD	ค่าสี a* เฉลี่ย ± SD	ค่าสี b*เฉลี่ย ± SD
ลองกอง	62.74 ± 1.25	0.08 ± 0.03	13.50 ± 1.04
มังคุด	59.02 ± 1.07	0.69 ± 0.57	10.01 ± 0.97



ภาพที่ 4-17 ลักษณะของชิ้นลองกองสด (ก) และหลังการออสโมซิส (ข) เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

(ก) (ข)

ภาพที่ 4-18 ลักษณะของชิ้นมังคุดสด (ก) และหลังการออสโมซิส (ข) เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

ตารางที่ 4-39 ปริมาณแคลเซียมและปริมาณวิตามินซีของลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิส เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

ชนิดผลไม้	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย ± SD (มิลลิกรัม/100กรัม)	ปริมาณวิตามินซีเฉลี่ย ± SD (มิลลิกรัม/100กรัม)
ลองกอง	30.21 ± 3.57	393.12 ± 11.10
มังคุด	21.17 ± 1.56	333.19 ± 22.88

ตารางที่ 4-40 ค่าความแข็งของลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิส เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

ชนิดผลไม้	ค่าความแข็งเฉลี่ย ± SD (N)*
ลองกอง	48.14 ± 1.48
มังคุด	39.16 ± 3.07

* เตรียมตัวอย่างโดยตัดเฉพาะส่วนเนื้อ เอาเมล็ดออก

ตารางที่ 4-41 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของลองกองและมังคุดหลังการออสโมซิส เมื่อเติมแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1%ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

คะแนนความชอบ	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± SD	
	ลองกอง	มังคุด
ลักษณะปรากฏ	6.55 ± 0.85	6.14 ± 0.99
สี	6.75 ± 0.75	6.54 ± 0.79
กลิ่นรส	6.61 ± 1.14	6.33 ± 1.14
รสชาติ	6.20 ± 1.10	6.14 ± 0.97
เนื้อสัมผัส	6.04 ± 0.69	6.07 ± 0.75
ความชอบโดยรวม	6.45 ± 1.05	6.24 ± 0.95

4.3 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่

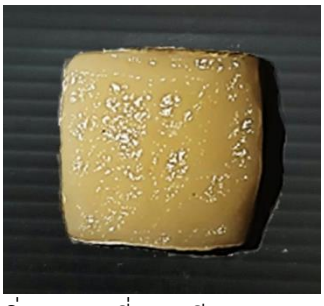
ขั้นตอนนี้เป็นการนำผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 4.2 มาตีป่นลดขนาด ให้มีลักษณะเป็นเพียวเร่ (puree) แล้วนำมาเติมกลีเซอรอลโดยแปรปริมาณการใช้กลีเซอรอลเท่ากับ 0% 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักเนื้อผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิส และนำมาขึ้นรูปใหม่ให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยม ขนาดประมาณ 1×1×0.5 นิ้ว จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้น 22 ± 1 % โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 15%-55% ซึ่งอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง และสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าสี ค่าความแข็ง และความชอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ปริมาณความชื้นและค่า a_w

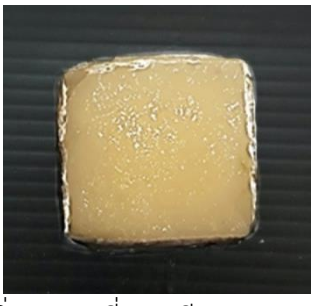
จากการนำเนื้อน้อยหน่า ลองกอง และมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสมาตีป่นลดขนาด แล้วนำมาเติมกลีเซอรอลปริมาณ 0% 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักเนื้อผลไม้ ได้ลักษณะเพียวเร่ผลไม้ที่ขึ้นรูปใหม่ก่อนการทำแห้งและหลังการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แสดงดังภาพที่ 4-19 ถึง 4-24

จากภาพที่ 4-19 4-21 และ 4-23 แสดงลักษณะเพียวเร่ผลไม้ที่ขึ้นรูปใหม่ พบว่า ทุกสิ่งทดลองสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมได้ อย่างไรก็ตามพบข้อสังเกตว่าการเติมกลีเซอรอลร่วมด้วยทำ

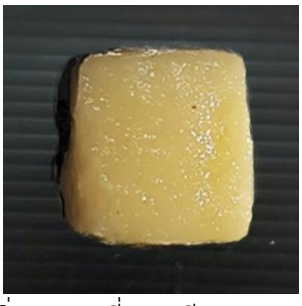
ให้การขึ้นรูปในพิมพ์ทำได้ง่ายขึ้น และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลยิ่งช่วยให้การขึ้นรูปทำได้ง่ายมาก โดยเพียวเร่ผลไม้มีการเกาะตัวกันได้ดีมากขึ้น ผิวหน้าเรียบเนียน เป็นมันวาว โดยสิ่งทดลองที่ 2-4 (เติมกลีเซอรอล 5%-10%) สามารถขึ้นรูปได้ง่ายกว่าสิ่งทดลองที่ 1 (เติมกลีเซอรอล 0%) และเมื่อนำเพียวเร่ผลไม้ที่ขึ้นรูปมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่า สิ่งทดลองที่ 2-4 ได้ผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ ที่มีลักษณะเกาะตัวเป็นชิ้นคงรูปดี ผิวหน้าเรียบเนียน เป็นมันวาวเล็กน้อย ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 มีลักษณะผิวหน้าไม่เรียบเนียน มีรอยแตกเล็กน้อย และไม่มีความมันวาว แสดงดังภาพที่ 4-20 4-22 และ 4-24 กลีเซอรอลเป็นของเหลวใส ที่มีความข้นหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น รวมถึงมีสมบัติละลายได้ในน้ำ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ โดยมีรายงานว่ากลีเซอรอลมีความคงตัวสูง ไม่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรสเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน สามารถใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว เพิ่มความหนืด เพิ่มเนื้อสัมผัส สารให้ความยืดหยุ่น สารยืดเกาะ สารดูดความชื้น และป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลได้ด้วย (วิภา สุโรสนะเมธากุล, 2546; ปิยนุช คันโธ, 2545) ดังนั้นจากลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่มีการเติมกลีเซอรอลที่พบว่า ให้ลักษณะปรากฏดี และช่วยให้การขึ้นรูปง่ายขึ้นจึงเป็นแนวทางที่ดีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปใหม่ที่ใช้เนื้อผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิส



(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (กลีเซอรอล 0 %)



(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (กลีเซอรอล 5 %)

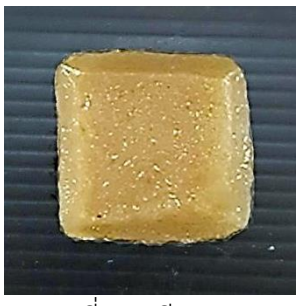


(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (กลีเซอรอล 10 %)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (กลีเซอรอล 15 %)

ภาพที่ 4-19 ลักษณะเพียวน้อยหน่าที่ขึ้นรูปใหม่ก่อนการทำแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (กลีเซอรอล 0 %)



(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (กลีเซอรอล 5 %)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (กลีเซอรอล 10 %)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (กลีเซอรอล 15 %)

ภาพที่ 20 ลักษณะผลิตภัณฑ์น้อยหน่าที่ขึ้นรูปใหม่หลังการทำแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (กลีเซอรอล 0 %)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (กลีเซอรอล 5 %)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (กลีเซอรอล 10 %)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (กลีเซอรอล 15 %)

ภาพที่ 4-21 ลักษณะเพียวเร่ลองกองที่ขึ้นรูปใหม่ก่อนการทำแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (กลีเซอรอล 0 %)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (กลีเซอรอล 5 %)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (กลีเซอรอล 10 %)

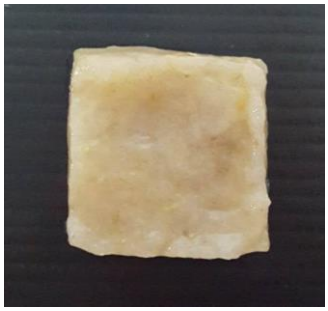
(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (กลีเซอรอล 15 %)

ภาพที่ 4-22 ลักษณะผลิตภัณฑ์ลองกองที่ขึ้นรูปใหม่หลังการทำแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (กลีเซอรอล 0 %)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (กลีเซอรอล 5 %)

(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (กลีเซอรอล 10 %)

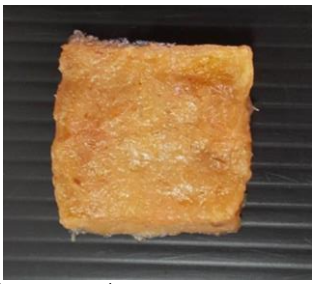


(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (กลีเซอรอล 15 %)

ภาพที่ 4- 23 ลักษณะเพียวเร่มังคุดที่ขึ้นรูปใหม่ก่อนการทำแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

(ก) สิ่งทดลองที่ 1 (กลีเซอรอล 0 %)

(ข) สิ่งทดลองที่ 2 (กลีเซอรอล 5 %)



(ค) สิ่งทดลองที่ 3 (กลีเซอรอล 10 %)

(ง) สิ่งทดลองที่ 4 (กลีเซอรอล 15 %)

ภาพที่ 4-24 ลักษณะผลิตภัณฑ์มังคุดที่ขึ้นรูปใหม่หลังการทำแห้งเมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

จากการนำเนื้อผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสมาตีป่นลดขนาด แล้วนำมาเติมกลีเซอรอลปริมาณ 0% 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักเนื้อผลไม้ แล้วนำทุกสิ่งทดลองมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ตู้อบลมร้อน จนให้เหลือความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 22 ± 1% พบว่า สิ่งทดลองที่เติมกลีเซอรอล 0% 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักเนื้อน้อยหน่า ต้องใช้ระยะเวลาในการทำแห้งเฉลี่ยอยู่ในช่วง 562-669 นาที โดยทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง 22.13%-22.47% ($p>0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 4-42 ถึง 4-44

ตารางที่ 4-42 ปริมาณความชื้นและเวลาการทำแห้งของผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ปริมาณความชื้น^{ns} (%)	เวลาการทำแห้ง (นาที)
1 (กลีเซอรอล 0 %)	22.13 ± 0.09	562.33 ± 2.51^{d}
2 (กลีเซอรอล 5 %)	22.31 ± 0.19	581.00 ± 3.61^{c}
3 (กลีเซอรอล 10 %)	22.31 ± 0.14	630.00 ± 2.00^{b}
4 (กลีเซอรอล 15 %)	22.36± 0.05	654.00 ± 3.61^{a}

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

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

ตารางที่ 4-43 ปริมาณความชื้นและเวลาการทำแห้งของผลิตภัณฑ์ลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ปริมาณความชื้น^{ns} (%)	เวลาการทำแห้ง (นาที)
1 (กลีเซอรอล 0 %)	22.07 ± 0.00^{d}	242.66 ± 2.51^{c}
2 (กลีเซอรอล 5 %)	22.34 ± 0.03^{c}	247.33 ± 2.51^{c}
3 (กลีเซอรอล 10 %)	22.54 ± 0.02^{b}	317.66 ± 2.51^{b}
4 (กลีเซอรอล 15 %)	22.64± 0.02^{a}	368.00 ± 2.64^{a}

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

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

ตารางที่ 4-44 ปริมาณความชื้นและเวลาการทำแห้งของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ปริมาณความชื้น^{ns} (%)	เวลาการทำแห้ง (นาที)
1 (กลีเซอรอล 0 %)	22.54 ± 0.29	564.57 ± 3.49^{d}
2 (กลีเซอรอล 5 %)	22.39 ± 0.34	597.08 ± 3.99^{c}
3 (กลีเซอรอล 10 %)	22.41 ± 0.57	647.97 ± 6.11^{b}
4 (กลีเซอรอล 15 %)	22.47± 0.98	669.08 ± 5.27^{a}

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

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

เมื่อพิจารณาเวลาการทำแห้งพบแนวโน้มว่าสิ่งทดลองที่มีการเติมกลีเซอรอล 15% ต้องใช้เวลาในการทำแห้งนานมากที่สุด รองลงมาคือสิ่งทดลองที่มีการเติมกลีเซอรอล 10% 5% และ 0% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากกลีเซอรอลเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดความชื้น และเป็นสารประกอบพวกโพลีออล (polyols) ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลหลายหมู่ สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในชิ้นน้อยหน่าได้ จึงทำให้น้ำส่วนนี้ไม่สามารถถ่ายเทออกมานอกเซลล์ ปริมาณน้ำอิสระนอกเซลล์จึงลดลง การทำแห้งด้วยลมร้อนเพื่อระเหยน้ำให้กลายเป็นไอจึงทำได้ยากขึ้น เพราะตัวอย่างมีปริมาณน้ำอิสระน้อยในขณะที่มีปริมาณน้ำในเซลล์มาก จึงต้องให้เวลาในการทำแห้งนานขึ้น นอกจากนี้กลีเซอรอลเป็นสารละลายที่มีความหนืดสูง (954 เซนติพอยส์) การเติมลงไปในเพียวเร่มีโอกาสเกิดชั้นบางๆ เคลือบที่เนื้อของผลไม้ ซึ่งจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำออกมาจากเซลล์ได้ (Clement, Francois & Rohanie, 1996) อย่างไรก็ตามเพียวเร่ผลไม้ที่ขึ้นรูปใหม่ทุกสิ่ง

ทดลอง สามารถลดความชื้นลงได้จนอยู่ในช่วงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (15%-55%) (Jay, 1998)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ water activity (a_w) ของผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสโดยแปรปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน แสดงผลดังตารางที่ 4-45 ถึง 4-47

ตารางที่ 4-45 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD
1 (กลีเซอรอล 0 %)	0.77 ± 0.00^{a}
2 (กลีเซอรอล 5 %)	0.76 ± 0.00^{b}
3 (กลีเซอรอล 10 %)	0.74 ± 0.00^{c}
4 (กลีเซอรอล 15 %)	0.70 ± 0.02^{d}

^{a,b,c} คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-46 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD
1 (กลีเซอรอล 0 %)	0.75 ± 0.00^{a}
2 (กลีเซอรอล 5 %)	0.74 ± 0.00^{b}
3 (กลีเซอรอล 10 %)	0.73 ± 0.00^{c}
4 (กลีเซอรอล 15 %)	0.70 ± 0.01^{d}

^{a,b,c} คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-47 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่า a_w เฉลี่ย ± SD
1 (กลีเซอรอล 0 %)	0.77 ± 0.00^{a}
2 (กลีเซอรอล 5 %)	0.75 ± 0.01^{b}
3 (กลีเซอรอล 10 %)	0.73 ± 0.00^{c}
4 (กลีเซอรอล 15 %)	0.70 ± 0.01^{d}

^{a,b,c} คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4-23 พบแนวโน้มว่าการใช้กลีเซอรอลมีผลต่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีการเติมกลีเซอรอล มีค่า a_w สูงที่สุดและสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งมีการเติมกลีเซอรอลความเข้มข้น 15% มีค่า a_w ต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากกลีเซอรอลจัดเป็นสารดูดความชื้น (humectant) ชนิดหนึ่ง สามารถเติมลงในอาหารเพื่อรักษาความชื้นและมีสมบัติช่วยลดค่า a_w ของอาหารได้ดี โดยกลีเซอรอลเป็นสารประกอบพวก

polyhydroxy alcohol ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลหลายหมู่ ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลจึงยิ่งเป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้น จึงทำให้มีการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น จึงช่วยลดปริมาณน้ำอิสระในอาหารลงได้ (Clement, Francois & Rohanie, 1996; สุขใจ ชูจันทร์, 2555; วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2546; คณิตตา พัฒนาภา, 2553)

4.3.2 ค่าสี

ผลการวิเคราะห์ค่าสี (L* a* และ b*) ของผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่โดยแปรปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน แสดงผลดังตารางที่ 4-48 ถึง 4-50 พบว่า ปริมาณการใช้กลีเซอรอลมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้กลีเซอรอล ทำให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่มีแนวโน้มค่าสี L* (ความสว่าง) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสี a* (ความเป็นสีเขียว) และค่าสี b* (ความเป็นสีเหลือง) ลดลง หรือกล่าวได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้กลีเซอรอลมีผลให้ผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่มีสีความสว่างมากขึ้น สีคล้ำลดลง

ตารางที่ 4-48 ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่	ค่าสีเฉลี่ย ± SD		
(% กลีเซอรอล)	L*	a*	b*
1 (กลีเซอรอล 0 %)	58.82 ± 0.08^{c}	5.27 ± 0.02^{a}	23.23 ± 23.23^{a}
2 (กลีเซอรอล 5 %)	59.13 ± 0.17^{c}	4.77 ± 0.07^{b}	21.99 ± 21.99^{b}
3 (กลีเซอรอล 10 %)	60.39 ± 0.61^{b}	4.77 ± 0.07^{b}	21.48 ± 21.48^{c}
4 (กลีเซอรอล 15 %)	61.83 ± 0.04^{a}	3.06 ± 0.03^{c}	20.47 ± 20.47^{d}

^{a,b,c,d} คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-49 ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์ลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่	ค่าสีเฉลี่ย ± SD		
(% กลีเซอรอล)	L*	a*	b*
1 (กลีเซอรอล 0 %)	58.35 ± 0.02^{d}	5.22 ± 0.03^{a}	23.23 ± 0.01^{a}
2 (กลีเซอรอล 5 %)	59.56 ± 0.09^{c}	4.69 ± 0.03^{c}	21.89 ± 0.05^{b}
3 (กลีเซอรอล 10 %)	60.65 ± 0.07^{b}	4.81 ± 0.06^{b}	21.34 ± 0.05^{c}
4 (กลีเซอรอล 15 %)	61.80 ± 0.04^{a}	3.05 ± 0.01^{d}	20.45 ± 0.10^{d}

^{a,b,c,d} คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-50 ค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่าสีเฉลี่ย ± SD		
	L*	a*	b*
1 (กลีเซอรอล 0 %)	52.89 ± 0.14d[d]	6.21 ± 0.47[a]	33.17 ± 1.24[a]
2 (กลีเซอรอล 5 %)	54.55 ± 0.17[c]	6.34 ± 0.17[a]	32.47 ± 1.07[a]
3 (กลีเซอรอล 10 %)	58.74 ± 0.28[b]	5.70 ± 0.27[b]	29.37 ± 0.89[b]
4 (กลีเซอรอล 15 %)	59.65 ± 0.89[a]	5.09 ± 0.89[c]	28.88 ± 0.88[c]

[a,b,c,d] คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในขั้นตอนการออสโมซิสมีการเติมกรดแอสคอร์บิคลงไปด้วย และมีการตีป่นผลไม้ ขึ้นรูปแล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน จึงอาจมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid oxidation) ได้เป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค (dehydro-ascorbic acid) ที่สามารถจะแตกหักไปเป็นแอริโธรเพนโตซูโลส (erythropentosulose) จนทำให้เกิดสารสีน้ำตาลจากกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid browning) ได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการแตกตัวของกรดแอสคอบิก ได้แก่ ปริมาณกรดแอสคอบิกเริ่มต้น อัตราส่วนระหว่างกรดแอสคอบิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก อุณหภูมิ ความเข้มข้นของเกลือและน้ำตาล ค่า pH ปริมาณออกซิเจน เอนไซม์ โลหะที่เป็นตัวคะตะไลซ์ และกรดอะมิโน (Eskin et al, 1971; Nursten, 2005) และจากที่กล่าวไว้ข้างต้นว่ากลีเซอรอลเป็นของเหลวใส ที่มีความข้นหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น รวมถึงมีสมบัติละลายได้ในน้ำ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมกลีเซอรอลเป็นส่วนผสม 5%-15% ไม่ได้ทำให้เกิดผลด้อยด้านสีแต่กลับเป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่มีความสว่างมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมกลีเซอรอล ช่วยลดการเกิดสีคล้ำได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเติมกลีเซอรอลเป็นการเพิ่มเนื้อสารลงไปให้ส่วนผสม จึงเป็นการเจือจางสีของส่วนผสมให้มีความสว่างมากขึ้น และการเติมกลีเซอรอลมีส่วนช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลจากเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารประกอบพวกโพลีออล (polyols) มีโครงสร้างเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ ประเภท Trihydric alcohol ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อกันของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $C_3H_8O_3$ ซึ่งไม่มีองค์ประกอบที่จะส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้ (คณิตตา พัฒนาภา, 2553; พิสุทธิ หนักแน่น, 2555) นอกจากนี้เนื่องจากกลีเซอรอลมีสมบัติเป็นสารดูดความชื้น ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลหลายหมู่ สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในชิ้นผลไม้ได้ จึงทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง จึงลดโอกาสกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้อีกทางหนึ่ง และการเติมกลีเซอรอลลงไปในเพียวเร่มีโอกาสเกิดชั้นบางๆ เคลือบที่เนื้อของผลไม้ ซึ่งจะขัดขวางการสัมผัสอากาศร้อนในห้องอบจึงลดโอกาสการกระตุ้นการเกิดเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้

4.3.3 ค่าความแข็ง

ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็ง ของผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ โดยแปรปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน แสดงผลดังตารางที่ 4-51 ถึง 4-53

ตารางที่ 4-51 ค่าความแข็ง (N) ของผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่าความแข็งเฉลี่ย (N) ± SD
1 (กลีเซอรอล 0 %)	108.13 ± 8.43[a]
2 (กลีเซอรอล 5 %)	86.80 ± 7.88[b]
3 (กลีเซอรอล 10 %)	58.44 ± 3.88[c]
4 (กลีเซอรอล 15 %)	49.21 ± 4.56[d]

[a,b,c,d] คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-52 ค่าความแข็ง (N) ของผลิตภัณฑ์ลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่าความแข็งเฉลี่ย (N) ± SD
1 (กลีเซอรอล 0 %)	26.64 ± 0.04[a]
2 (กลีเซอรอล 5 %)	23.95 ± 0.03[b]
3 (กลีเซอรอล 10 %)	21.74 ± 0.02[c]
4 (กลีเซอรอล 15 %)	20.66 ± 0.02[d]

[a,b,c,d] คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-53 ค่าความแข็ง (N) ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอล

สิ่งทดลองที่ (% กลีเซอรอล)	ค่าความแข็งเฉลี่ย (N) ± SD
1 (กลีเซอรอล 0 %)	56.87 ± 0.47[a]
2 (กลีเซอรอล 5 %)	47.22 ± 0.98[b]
3 (กลีเซอรอล 10 %)	34.14 ± 0.14[c]
4 (กลีเซอรอล 15 %)	29.55 ± 0.09[d]

[a,b,c,d] คือค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าความแข็ง เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งหรือความอ่อนนุ่มของลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร ถ้ามีค่าความแข็งมาก แสดงว่าเนื้อสัมผัสของอาหารมีความแข็งมาก แต่ถ้ามีความแข็งน้อย แสดงว่าเนื้อสัมผัสของอาหารมีความอ่อนนุ่มมาก จากตางรางที่ 4-51 ถึง 4-53 พบว่า ปริมาณการใช้กลีเซอรอลมีผลต่อค่าความแข็ง ($p \leq 0.05$) พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีการเติมกลีเซรอรอล มีค่าความแข็งมากที่สุด ($p \leq 0.05$) และสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งมีการเติมกลีเซอรอลความเข้มข้น 15% มีค่าความแข็งน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองนี้ จึงแสดงให้เห็นว่ากลีเซอรอลช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ให้มีความอ่อนนุ่มมากขึ้น จึงลดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลงได้ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของกลีเซอรอลที่เติมลงไปในเพียวเร่ผลไม้สามารถจับโมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์เอาไว้ได้มากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะนุ่มและชุ่มชื้น (คณิตตา พัฒนาภา, 2553)

4.3.4 ความชอบทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่โดยแปรปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน แสดงผลดังตารางที่ 4-54 ถึง 4-56 สำหรับน้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ พบว่า ปริมาณการใช้กลีเซอรอลมีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน ($p \leq 0.05$) ยกเว้นความชอบด้านกลิ่นรส ($p \leq 0.05$) สำหรับลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ พบว่า ปริมาณการใช้กลีเซอรอลมีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน ($p \leq 0.05$) ยกเว้นความชอบด้านลักษณะปรากฏและสี ($p \leq 0.05$) ส่วนมังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ พบว่า ปริมาณการใช้กลีเซอรอลมีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน ($p \leq 0.05$) ยกเว้นความชอบด้านสี ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามพบแนวโน้มคล้ายกันว่าการใช้กลีเซอรอลถึง 15% ในสิ่งทดลองที่ 4 มีผลให้ได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากสิ่งทดลองนี้มีลักษณะปรากฏมันวาว ผิวเรียบเนียนไม่มีรอยแตก มีความสว่างมากและสีไม่คล้ำ นอกจากนี้สิ่งทดลองที่ 4 ยังได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้กลีเซอรอลช่วยลดปริมาณน้ำอิสระและชะลอการระเหยของน้ำได้จึงมีโอกาสรักษารสชาติของผลิตภัณฑ์ไว้ได้มากที่สุด นอกจากนี้กลีเซอรอลมีรสชาติหวานเล็กน้อย โดยมีความหวานประมาณ 0.6-0.7 เท่าของซูโครส การใช้ปริมาณกลีเซอรอลระดับสูง (ความเข้มข้น 15%) จึงอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ มีรสชาติหวานมากขึ้นเล็กน้อยจนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้นหรือคล้ายของสดมากขึ้น โดยผู้ทดสอบให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่าผลิตภัณฑ์มีรสหวานร่วมกับรสเปรี้ยว (คาดว่าเป็นผลจากการเติมกรดแอสคอร์บิคร่วมด้วย) ดังนั้นสิ่งทดลองที่มีการเติมกลีเซอรอลมากขึ้นจะให้รสหวานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีผลให้รสชาติโดยรวมของผลิตภัณฑ์มีความกลมกล่อมมากขึ้น ส่วนคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ยืนยันให้เห็นว่าการเติมกลีเซอรอลมีผลช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นได้ โดยมีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มชุ่มชื้นขึ้น ผู้บริโภคมีแนวโน้มชอบเนื้อสัมผัสมากขึ้น สำหรับคะแนนความชอบโดยรวม พบว่าผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่มีแนวโน้มคล้ายกัน โดยสิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งมีการเติมกลีเซอรอล 15% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด สำหรับผลิตภัณฑ์น้อยหน่า ลองกอง และมังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.60 6.10 และ 6.01 ตามลำดับ

4.3.5 การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

เกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย มีปริมาณความชื้น 22±1% และมีค่า a_w อยู่ ในช่วง 0.65-0.85 และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งมีการเติมกลีเซอรอล 15% มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเมื่อมีการใช้กลีเซอรอลในปริมาณมาก ส่งผลให้เพียวเร่ผลไม้สามารถเกาะตัวกันได้ดีและง่ายต่อการขึ้นรูป โดยสิ่งทดลองที่ 4 นี้มีปริมาณความชื้น และค่า a_w อยู่ในช่วงของปริมาณความชื้นและค่า a_w ที่กำหนดไว้ตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด อยู่ในช่วง 6.01-6.60 ($p \leq 0.05$) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพด้านอื่นๆ พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ลักษณะปรากฏมันวาว ผิวเรียบเนียนไม่มีรอยแตก มีความสว่างมากและสีไม่คล้ำ มีค่าสี L* มากที่สุด โดยมีค่าสี a* และค่าสี b* น้อยที่สุด รวมทั้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มโดยมีค่าความแข็งต่ำที่สุด

ตารางที่ 4-54 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของน้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสโดยแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่	คะแนนความชอบ ± SD					
(% กลีเซอรอล)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส[ns]	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (กลีเซอรอล 0 %)	6.46 ± 1.13[b]	6.43 ± 1.00[b]	6.23 ± 1.30	5.83 ± 1.23[b]	5.96 ± 1.40[b]	6.06 ± 0.78[b]
2 (กลีเซอรอล 5 %)	6.53 ± 1.10[b]	6.23 ± 1.10[b]	6.23 ± 1.30	5.73 ± 1.72[b]	5.83 ± 1.34[b]	5.93 ± 0.98[b]
3 (กลีเซอรอล 10 %)	6.60 ± 0.93[b]	6.46 ± 1.00[b]	6.16 ± 1.17	5.73 ± 1.20[b]	5.90 ± 1.37[b]	5.96 ± 1.09[b]
4 (กลีเซอรอล 15 %)	6.93 ± 1.04[a]	6.93 ± 0.90[a]	6.30 ± 1.29	6.40 ± 1.06[a]	6.50 ± 1.27[a]	6.60 ± 1.22[a]

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

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

ตารางที่ 4-55 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสโดยแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่	คะแนนความชอบ ± SD					
(% กลีเซอรอล)	ลักษณะปรากฏ[ns]	สี[ns]	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (กลีเซอรอล 0 %)	6.16 ± 0.99	6.01 ± 0.57	6.16 ± 0.91[a]	6.36 ± 0.90[a]	5.06 ± 0.98[b]	5.16 ± 0.98[b]
2 (กลีเซอรอล 5 %)	6.11 ± 1.24	6.10 ± 0.64	5.20 ± 1.32[b]	5.25 ± 1.12[b]	5.01 ± 0.92[b]	5.25 ± 0.92[b]
3 (กลีเซอรอล 10 %)	6.10 ± 0.92	6.16 ± 0.90	5.19 ± 0.87[b]	5.11 ± 0.87[b]	5.10 ± 1.11[b]	5.17 ± 1.11[b]
4 (กลีเซอรอล 15 %)	6.23 ± 0.67	6.13 ± 0.68	6.13 ± 0.97[a]	6.10 ± 0.87[a]	6.12 ± 0.57[a]	6.10 ± 0.57[a]

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

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

ตารางที่ 4-56 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของมังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสโดยแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท 2% และกรดแอสคอร์บิก 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ เมื่อแปรความเข้มข้นของกลีเซอรอลแตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่	คะแนนความชอบ ± SD					
(% กลีเซอรอล)	ลักษณะปรากฏ	สี^{ns}	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1 (กลีเซอรอล 0 %)	6.01 ± 1.04^{b}	6.01 ± 0.59	6.12 ± 0.86^{a}	6.38 ± 0.98^{a}	5.00 ± 1.10^{b}	6.08 ± 0.88^{a}
2 (กลีเซอรอล 5 %)	6.13 ± 0.19^{b}	6.08 ± 0.83	5.17 ± 1.14^{b}	5.57 ± 1.12^{b}	5.80 ± 1.30^{b}	5.07 ± 1.08^{b}
3 (กลีเซอรอล 10 %)	6.20 ± 0.91^{b}	6.12 ± 1.02	5.12 ± 1.09^{b}	5.84 ± 1.09^{b}	5.99 ± 1.31^{b}	5.14 ± 1.11^{b}
4 (กลีเซอรอล 15 %)	6.33 ± 0.09^{a}	6.03 ± 0.98	6.09 ± 1.02^{a}	6.61 ± 0.32^{a}	6.56 ± 1.13^{a}	6.01 ± 1.26^{a}

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

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

4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

จากการผลิตผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ โดยใช้น้อยหน่า ลองกอง และมังคุดที่ผ่านการออสโมซิส ซึ่งมีการเติมแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% และกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% โดยในขั้นตอนการตีป่นและขึ้นรูปใหม่มีการเติมกลีเซอรอล 15% แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 4.3 แล้วสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) คุณภาพทางเคมี

จากการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณแคลเซียม และปริมาณวิตามินซี ได้ผลดังตารางที่ 4-57 ถึง 4-59

ตารางที่ 4-57 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ปริมาณความชื้น^{ns} (กรัม/100กรัม)	22.13 ± 0.09	22.40 ± 0.19
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม)	29.58 ± 0.12^{a}	19.30 ± 0.05^{b}
ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	31.44 ± 0.16^{a}	4.80 ± 0.13^{b}
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100กรัม)	354.26 ± 0.10	nd

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

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

nd คือ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

ตารางที่ 4-58 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ปริมาณความชื้น^{ns} (กรัม/100กรัม)	22.52 ± 0.005^{a}	22.44 ± 0.05^{b}
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม)	14.48 ± 0.04^{a}	12.90± 0.03^{b}
ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	30.07 ± 0.64^{a}	17.08 ± 0.14^{b}
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100กรัม)	155.29 ± 0.26^{a}	nd

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

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

nd คือ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

ตารางที่ 4-59 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ปริมาณความชื้น[ns] (กรัม/100กรัม)	22.23 ± 0.11	22.37 ± 0.12
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม)	30.22 ± 0.08[a]	27.21 ± 0.27[b]
ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	20.01 ± 0.44	nd
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100กรัม)	278.10 ± 0.80	nd

[a,b] คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
[ns] คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
nd คือ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

จากตารางที่ 4-57 ถึง 4-59 พบว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน มีการควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้ได้เท่ากับ 22±1% และมีค่า a_w ประมาณ 0.70 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณแคลเซียม และปริมาณวิตามินซี พบว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีด้านดังกล่าวมากกว่าผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p \leq 0.05$) ผลการวิเคราะห์ด้านปริมาณแคลเซียมและปริมาณวิตามินซี แสดงให้เห็นว่าการเติมธาตุแคลเซียมในรูปของแคลเซียมแลคเตทและการเติมวิตามินซีในรูปกรดแอสคอร์บิกสามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีในผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าการไม่นำมาออสโมซิส โดยปกติน้อยหน่าสดมีปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 7 มิลลิกรัม/100กรัม และไม่พบปริมาณวิตามินซีอยู่เลย (สำนักโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2559) และจากการวิเคราะห์ พบว่า ลองกองสดมีปริมาณแคลเซียม และวิตามินซี เท่ากับ 19.57 และ 3.89 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ และมังคุดสดมีปริมาณแคลเซียม และวิตามินซี เท่ากับ 8.67 และ 1.29 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อมีการเติมปริมาณแคลเซียมในรูปแคลเซียมแลคเทตความเข้มข้น 2% และเติมปริมาณวิตามินซีในรูปกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% จึงทำให้มีปริมาณแคลเซียมและปริมาณวิตามินซีในผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งมากกว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fito et al. (2001) ที่แสดงให้เห็นว่าสามารถเติมสารพวก PAC (physiologically active compounds) ซึ่งหมายถึงสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายลงในสารละลายออสโมติกได้ เช่น เติมแคลเซียมและเหล็กในสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่มะเขือยาวและเปลือกส้ม แล้วสามารถเพิ่มธาตุแคลเซียมและเหล็กได้มากกว่าในของสด

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2557) รายงานว่า เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ฝรั่งกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส พบว่า ผลิตภัณฑ์ฝรั่งกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายผสมที่มีโอลิโกฟรุคโตส ซูโครส และโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 35% 15% และ 0% ตามลำดับ ที่เติมเฟอรัสกลูโคเนตความเข้มข้น 1% และแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 1% ร่วมกับการใช้สภาวะ

สุญญากาศ ทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แคลเซียม และเหล็ก มากกว่าฝรั่งกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ฝรั่งกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แคลเซียม และเหล็ก เท่ากับ 7.30 กรัม/100กรัม 21.65 มิลลิกรัม/100กรัม และ 4.18 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ฝรั่งกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ทำแห้งสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 °C ภายใต้ความดัน 36 cmHg มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แคลเซียม และเหล็ก เท่ากับ 5.30 กรัม/100กรัม 14.33 มิลลิกรัม/100กรัม และปริมาณเหล็กเท่ากับ 0.18 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากกว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากการออสโมซิสเป็นการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่มีการใช้น้ำตาลเป็นส่วนประกอบโดยใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส 50% (w/w) ผสมกับน้ำตาลมะพร้าว 10% (w/w) จึงทำให้ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส มีมากกว่าผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส อย่างไรก็ตามน้ำตาลที่ใช้เตรียมสารละลายออสโมติกในงานวิจัยนี้เป็นน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีสมบัติเป็นพรีไบโอติก จึงช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย มีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร ทำให้มีปริมาณกากอาหารเพิ่มมากขึ้น ระบบขับถ่ายจึงดีไม่เกิดการสะสมสารพิษไว้ ตามผนังลำไส้ทำให้ร่างกายมีภูมิต้านทานดี (อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ, 2539)

2) คุณภาพทางกายภาพ

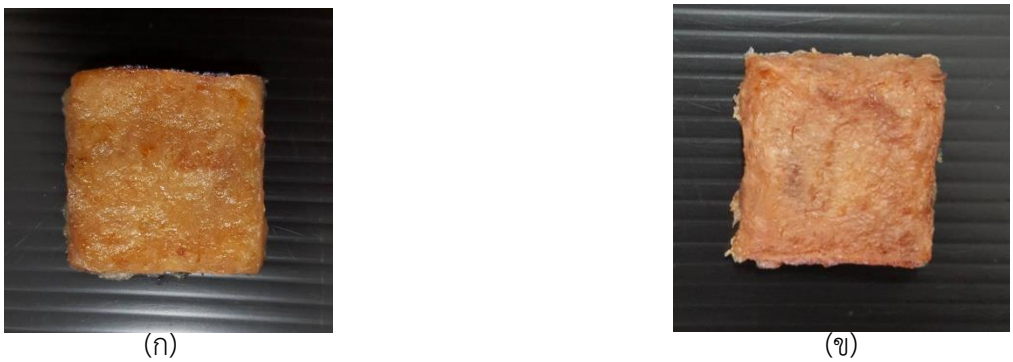
ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์น้อยหน่า ลองกอง และมังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส แสดงดังภาพที่ 4-25 ถึง 4-27 พบว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิส มีสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน ผลิตภัณฑ์มีความสว่าง ไม่คล้ำ ลักษณะคงรูป ผิวแห้ง มันวาว ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส สีน้ำตาลอมเหลืองเข้มมาก สีค่อนข้างคล้ำ มีลักษณะหดตัวลง โดยเฉพาะเกิดการหดตัวที่ผิวหน้ามากกว่าด้านล่าง และมีผิวค่อนข้างแห้งมาก

(ก) (ข)

ภาพที่ 4-25 ลักษณะของชิ้นน้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิส (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข)

(ก) (ข)

ภาพที่ 4-26 ลักษณะของชิ้นลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิส (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข)



(ก) (ข)

ภาพที่ 4-27 ลักษณะของชิ้นมังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิส (ก) และไม่ผ่านการออสโมซิส (ข)

จากการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* a* และ b* ค่า a_w และ ค่าความแข็ง แสดงดังตารางที่ 4-60 ถึง 4-62 สำหรับ ค่าสี L* a* และ b* พบว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส มีค่าสี L* (ค่าความสว่าง) มากกว่าผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p \leq 0.05$) แต่มีค่า a* (สีแดง) และ b* (สีเหลือง) น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่า a_w พบว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส มีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสจะทำให้ปริมาณน้ำ รวมถึงทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ลดลง นอกจากนี้การใช้กลีเซอรอลในการช่วยขึ้นรูปยังช่วยควมคุมการตกผลึกและลดค่า a_w ได้อีกด้วย (Torreeggiani, 1993; Raoult-Wack, 1994; วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2546) อย่างไรก็ตามหากพิจารณาโดยภาพรวมจะเห็นว่า ค่า a_w มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากในขั้นตอนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน มีการควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้ได้เท่ากับ 22±1% จึงมีผลทำให้สามารถลดค่า a_w ลงได้ ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า

ผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสจัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง (intermediate moisture food) ที่กำหนดไว้ว่าต้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 15%-55% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.85 (Jay, 1998) จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหาร พบว่า ค่าความแข็งของผลไม้กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่ามากกว่าผลไม้กึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิส ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสมีการเติมกลีเซอรอล ทำให้ผลิตภัณฑ์มมีความนุ่มชุ่มชื้นขึ้น จึงทำให้ความแข็งลดลงมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิสุทธิ หนักแน่น (2555) รายงานว่า การใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับสารดูดความชื้นชนิดต่างๆ ได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล และกลูโคสไซรัป ในแคนตาลูปอบแห้ง พบว่า การใช้สารดูดความชื้นทุกชุดการทดลองสามารถลดค่าความแข็งและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ได้ โดยการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 4-60 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ค่าสี L*	61.83 ± 0.04[a]	39.56 ± 0.28[b]
ค่าสี a*	3.06 ± 0.03[b]	19.27 ± 0.11[a]
ค่าสี b*	20.47 ± 0.07[b]	27.84 ± 0.29[a]
ค่า a_w	0.705 ± 0.004[b]	0.714 ± 0.004[a]
ค่าความแข็ง (N)	49.21 ± 4.56[b]	180.31 ± 9.47[a]

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

ตารางที่ 4-61 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ค่าสี L*	61.83 ± 0.04[a]	39.56 ± 0.28[b]
ค่าสี a*	3.06 ± 0.03[b]	19.27 ± 0.11[a]
ค่าสี b*	20.47 ± 0.07[b]	27.84 ± 0.29[a]
ค่า a_w	0.715 ± 0.004[b]	0.714 ± 0.004[a]
ค่าความแข็ง (N)	49.21 ± 4.56[b]	180.31 ± 9.47[a]

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

ตารางที่ 4-62 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ค่าสี L*	61.83 ± 0.04[a]	39.56 ± 0.28[b]
ค่าสี a*	3.06 ± 0.03[b]	19.27 ± 0.11[a]
ค่าสี b*	20.47 ± 0.07[b]	27.84 ± 0.29[a]
ค่า a_w	0.705 ± 0.004[b]	0.714 ± 0.004[a]
ค่าความแข็ง (N)	49.21 ± 4.56[b]	180.31 ± 9.47[a]

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

3) คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการนำผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-63 ถึง 4-65 พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสมากกว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสได้รับคะแนนความชอบทุกด้านในช่วง 6.06-6.93 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งเป็นคะแนนที่มากกว่าผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ที่ได้รับคะแนนความชอบในทุกด้าน ในช่วง 2.66-4.73 อยู่ในระดับไม่ชอบมากถึงไม่ชอบเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิส มีลักษณะปรากฏที่ดีกว่า คงรูปดี รสชาติหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นรสผลไม้ และมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีลักษณะสีน้ำตาลคล้ำ ผิวไม่เรียบ มีลักษณะหดตัวไม่คงรูป รสชาติหวานน้อยกว่า มีกลิ่นรสผลไม้น้อยกว่า และมีเนื้อสัมผัสแห้งแข็ง

ตารางที่ 4-63 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของน้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

คะแนนความชอบ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ลักษณะปรากฏ	6.93 ± 1.04[a]	4.66 ± 1.06[b]
สี	6.93 ± 0.90[a]	4.70 ± 1.57[b]
กลิ่นรส	6.30 ± 1.29[a]	4.60 ± 1.22[b]
รสชาติ	6.40 ± 1.06[a]	3.23 ± 2.73[b]
เนื้อสัมผัส	6.53 ± 1.27[a]	2.80 ± 2.69[b]
ความชอบโดยรวม	6.60 ± 1.22[a]	4.73 ± 1.79[b]

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

ตารางที่ 4-64 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

คะแนนความชอบ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ลักษณะปรากฏ	6.54 ± 1.01[a]	3.66 ± 1.03[b]
สี	6.53 ± 0.78[a]	4.04 ± 1.17[b]
กลิ่นรส	6.33 ± 0.59[a]	4.10 ± 1.01[b]
รสชาติ	6.55 ± 1.10[a]	3.83 ± 0.78[b]
เนื้อสัมผัส	6.08 ± 0.89[a]	2.88 ± 0.57[b]
ความชอบโดยรวม	6.12 ± 1.00[a]	4.30 ± 0.74[b]

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

ตารางที่ 4-65 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของมังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

คะแนนความชอบ	ค่าเฉลี่ย ± SD	
	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส
ลักษณะปรากฏ	6.03 ± 0.09[a]	2.66 ± 0.47[b]
สี	6.23 ± 0.87[a]	3.70 ± 1.01[b]
กลิ่นรส	6.34 ± 1.19[a]	4.60 ± 1.10[b]
รสชาติ	6.07 ± 1.05[a]	4.23 ± 1.03[b]
เนื้อสัมผัส	6.23 ± 1.02[a]	2.99 ± 0.99[b]
ความชอบโดยรวม	6.06 ± 1.01[a]	3.70 ± 1.79[b]

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

4) คุณภาพทางจุลินทรีย์

ตารางที่ 4-66 ถึง 4-68 พบว่า จุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณเฉลี่ย 1×10^{3}-1.5×10^{3} cfu/กรัม ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณเฉลี่ย 2.2×10^{2}- 2.4×10^{2} cfu/กรัม โดยพบแนวโน้มว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าและผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส อาจเป็นเพราะในขั้นตอนการออสโมซิสเป็นการดำเนินการที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในสภาวะบรรยากาศจึงมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนและจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนได้มากกว่า อย่างไรก็ตามปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ทั้งสองชนิดมีปริมาณไม่เกิน 10^{6} cfu/กรัม และ 100 cfu/กรัม ตามลำดับ จึงถือว่ามีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ เรื่อง ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง (มอก. 919,2532) และผลไม้แห้ง (มผช. 136, 2550)

ตารางที่ 4-66 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของผลิตภัณฑ์น้อยหน่ากึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

สิ่งทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/กรัม)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/กรัม)
ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	2.4×10^{2}	$<1.0\times10^{1}$
ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	1.0×10^{3}	$<1.0\times10^{1}$

ตารางที่ 4-67 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของผลิตภัณฑ์ลองกองกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

สิ่งทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/กรัม)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/กรัม)
ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	2.4×10^{2}	$<1.0\times10^{1}$
ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	1.5×10^{3}	$<1.0\times10^{1}$

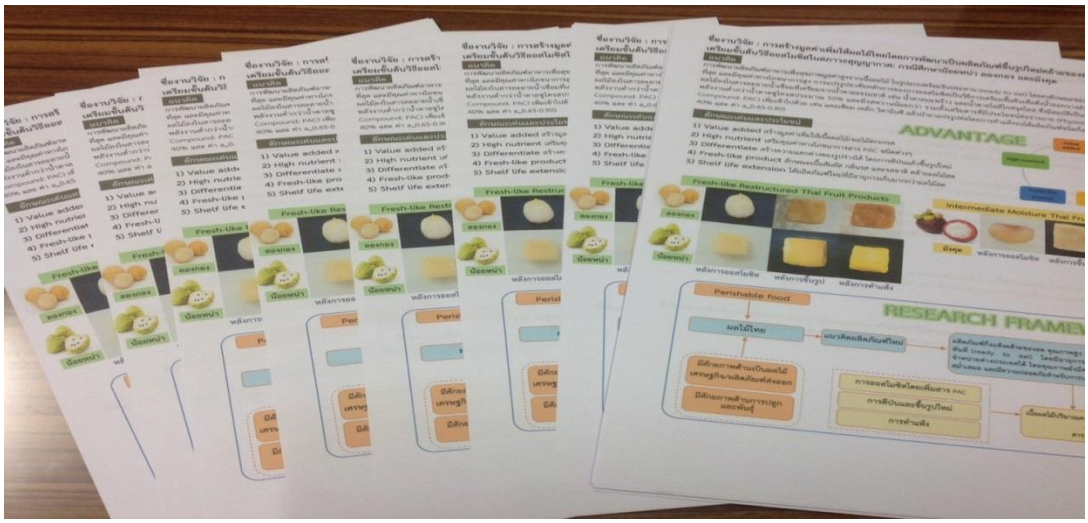
ตารางที่ 4-68 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

สิ่งทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/กรัม)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/กรัม)
ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส	2.2×10^{2}	$<1.0\times10^{1}$
ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส	1.3×10^{3}	$<1.0\times10^{1}$

4.5 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำแผ่นพับเผยแพร่ความรู้สู่ชุมชน เช่น กลุ่มแม่บ้านหรือเกษตรกรที่อยู่ในพื้นที่ปลูกผลไม้ และการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ หรือการเข้าร่วมในการจัดนิทรรศการทางวิชาการ ตัวอย่างการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน ตัวอย่างเช่น เข้าร่วมถ่ายทอดเทคโนโลยีผลงานวิจัยในพิธีลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือด้านการจัดการเรียนรู้และสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาความรู้สู่ท้องถิ่นและชุมชน วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 ณ คณะวิทยาศาสตร์ ม. บูรพา และเข้าร่วมนำการถ่ายทอดผลงานวิจัยในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ งานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ภาคตะวันออก ครั้งที่ 34 วันที่ 16-18 สิงหาคม พ.ศ. 2560 ณ คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา รวมทั้งจัดทำเอกสารเผยแพร่ โดยให้ความรู้เชิงเทคนิคในการผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปใหม่คล้ายของสดจากผลไม้ที่พัฒนาได้ ตัวอย่างการเผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนและเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนแสดงดังภาพที่ 4-69 และ 4-70

ภาพที่ 4-69 ตัวอย่างการเผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน



ภาพที่ 4-70 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) ผลของการใช้สารละลายออสโมติกในรูปแบบสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสกับน้ำตาลมะพร้าวต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อผลไม้หลังการออสโมซิส พบว่า เมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่แปรสัดส่วนระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกันมีผลทำให้ผลไม้มีค่า WL WR และ SG รวมถึงปริมาณความชื้น ค่า a_w ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าสี และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ และสี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีแนวโน้มว่าการใช้สารละลายน้ำตาลมะพร้าวเพียงชนิดเดียว (60%) ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสาร และปริมาณน้ำตาลซูโครสมากที่สุด ขณะที่การใช้สารละลายออสโมติกระหว่างโอลิโกฟรุคโตส 30%-50% และน้ำตาลมะพร้าว 10%-30% มีแนวโน้มค่าการถ่ายเทมวลสารไม่แตกต่างกันมากนัก ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือการใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส 50%w/w กับน้ำตาลมะพร้าว 10%w/w โดยออสโมซิสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2) ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเนื้อน้อยหน่าหลังการออสโมซิส พบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่าสี a* ค่าสี b* และค่าความแข็ง($p \leq 0.05$) อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อค่าสี L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) และค่าสี L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท มีผลต่อค่าปริมาณความชื้น ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก มีผลต่อค่าปริมาณความชื้น ความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อค่า ปริมาณความชื้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ การเติมแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที โดยสามารถใช้สภาวะดังกล่าวในการออสโมซิสเนื้อลองกองและมังคุดได้เช่นกัน

3) ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน มีผลทำให้ เวลาในการทำแห้ง ค่า a_w ค่าสี และความแข็ง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ การเติมกลีเซอรอล 15% เนื่องจากเมื่อมีการใช้กลีเซอรอลในปริมาณมาก ส่งผลให้เพียวเร่ผลไม้สามารถเกาะตัวกันได้ดี ง่ายต่อการขึ้นรูป และมีเนื้อสัมผัสนุ่ม โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

4) ผลการเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส พบว่า การออสโมซิสน้อยหน่าก่อนการทำแห้งโดยในขั้นตอนการตีป่นและขึ้นรูปใหม่มีการเติมกลีเซอรอล 15% แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถลดเวลาในการทำแห้งได้ ผลการเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินซี ค่าสี L* มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่าความแข็งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งขึ้นรูปใหม่ที่ผ่านการออสโมซิสมีได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.06-6.93 ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการออสโมซิสที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 2.66-4.73 โดยผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งทั้งสองชนิดมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) อาจมีการศึกษาการใช้สารละลายออสโมติกจากน้ำตาลจากธรรมชาติชนิดอื่น เช่น น้ำเชื่อมดอกมะพร้าว

2) อาจมีการศึกษาการเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายชนิดอื่นลงในสารละลายออสโมติก เช่น แร่ธาตุหรือ วิตามินชนิดต่างๆ

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอต. (2532). *เทคโนโลยีของน้ำตาล.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

กานต์นลิน คงศักดิ์, สริญญา บริบูรณางกูร และบุศรากรณ์ มหาโยธี. (2548). *การพัฒนากระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ปราศจากสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์และไม่มีการเติมวัตถุกันเสีย.* ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

กรมวิชาการเกษตร. (ม.ป.ป.). *ปัญหาการตลาดของน้อยหน่าพันธุ์เพชรปากช่อง*. วันที่ค้นข้อมูล 16 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th/sugarapple

กรมวิชาการเกษตร. (ม.ป.ป.). *หลักการและเหตุผล.* วันที่ค้นข้อมูล 16 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th/sugarapple

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. (2558). *Image Analysis*. เอกสารประกอบการปฏิบัติการรายวิชาการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

คณิตตา พัฒนาภา. (2553). *การพัฒนากระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง*. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร), สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุวรรณ กุลวิศวะ, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2550). ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่ายและคุณภาพทางกายภาพในกล้วยแผ่น. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*, ฉบับพิเศษปี ที่ 30.

จันธิดา พิทักษ์วงษ์ และพิเชษฐ ชวลิตนิติธรรม. (2557). *ผลของการใช้ซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการทำเปลือกแตงโมกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส.* ปัญหาพิเศษ ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

ฉัตรชัย ไตรทอง. (มปป). *วิตามินซี (Ascorbic acid).* วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://thailand.digitaljournals.org/index.php/RTAMG/article/viewFile/2270

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

ณัฏฐิกา โรจนเกียรติถาวร และนันทมน ใหม่ยศ. (2558). *ผลของความเข้มข้นของเฟอรัสกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของฝรั่ง*.ปัญหาพิเศษ ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

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

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

ไทยเกษตรศาสตร์. (2555). *น้ำตาลมะพร้าว.* วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.thaikasetsart.com

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

นิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *Climacteric fruit.* วันที่ค้นข้อมูล 16 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1105/climacteric-fruit

นิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *Fructo-oligosaccharide/Oligofructose.* วันที่ค้นข้อมูล 16 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จากhttp://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1213/fructooligosaccharide-oligofructose

นิราศ กิ่งวาที. (2546). *การใช้สารดูดความชื้นในการปรับปรุงคุณภาพสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง*. วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิยนุช คันโธ. (2545). *การยืดอายุการเก็บรักษาขนมเปี๊ยะโดยการใช้สารลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และบรรจุภัณฑ์*, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประโยชน์ดอทคอม. (ม.ป.ป.). *น้อยหน่า.* วันที่ค้นข้อมูล 27 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://prayod.com/น้อยหน่า-sugar-apple/

ปนิดา บรรจงสินศิริ.(2560). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้แปรรูป.* วันที่ค้นข้อมูล 16 เมษายน 2560. เข้าถึงได้จาก http://www.sciencepark.or.th/documents/news/20170404/FINtalk2

ปรียา วิบูลเศรษฐ์. (2528). *A_w กับอาหารและอาหาร IMF*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร

เปรมศิริ โรจน์สัจจะกุล. (ม.ป.ป.). *Browning Reactions*. วันที่สืบค้นข้อมูล 13 เมษายน 2560. เข้าถึงได้จาก http://kaelearning.mahidol.ac.th/moodledata_/19/browning_reactions.pdf

พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, มณฑิรา นพรัตน์, จุฑารัตน์ แจ้งกระจ่าง, ญาดา แสงพริ้ง และวันดี อยู่เจริญสุข. (2553). *ผลของการลวกกรดซิตริกและกลีเซอรอลต่อคุณภาพของมะพร้าวอบแห้ง.* ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พนิดา เนตรวีระ. (2548). *ผลของการใช้ซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการทำแห้งมะละกอด้วยวิธีออสโมซิส.* ปัญหาพิเศษ. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2556). *เกลือแคลเซียม.* วันที่ค้นข้อมูล 2 เมษายน 2560. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1868/calcium-salt

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. (2555). *น้ำตาลอินเวอร์ท.* วันที่ค้นข้อมูล 16 เมษายน 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0910/invert-sugar

พิสุทธิ หนักแน่น. (2555). *ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง.* คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พีระพรรณ โพธิ์ทอง. (ม.ป.ป.). *วัตถุเจือปนในอาหาร.* วันที่ค้นข้อมูล 29 ธันวาคม2559, เข้าถึงได้จาก http://haamor.com/th/วัตถุเจือปนในอาหาร/

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. (2532). *กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์. อ้างถึงใน ศิวพร หงส์ทอง และจุติมา สอนดี. (2554*). การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนามแดงกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ*. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ไพโรจน์ วิริยะจารี. (2539). *อาหารกึ่งแห้ง*. เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. แก่นเกษตร 42 (ฉบับพิเศษ 2). 175-182.

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

เรืองศักดิ์ กมขุนทด. (ม.ป.ป.). *เพชรปากช่อง.* สถานีวิจัยปากช่อง สถาบันอินทรีจันทรสถิตย์เพื่อการค้นคว้า และพัฒนาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฤดี สุราฤทธิ. (2549). *น้ำตาล (Sugar)*. วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.*dental.anamai.moph.go.th*

วนิดา แย้มแดง และสายนภา โนนชา. (2556). *ผลของการใช้ซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลต่อการทำแห้งแกนสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส.* ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วารสารเพื่อการพัฒนาชนบท. (2553). *พันธุ์ของไม้ผลสกุลน้อยหน่าที่นิยมปลูกทางการค้า.* วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th/sugarapple

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2549). *น้อยหน่า*. วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/น้อยหน่า

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

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2557). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ฝรั่งกึ่งแห้งแห้งที่เสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายโดยการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสร่วมกับการทำแห้ง.* คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ วช.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. (2546). คุณสมบัติและประโยชน์ของกลีเซอรอล. *วารสารอาหาร.* 33(2), 87-89.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2555). *การตลาดอาหารเพื่อสุขภาพ*. วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.kasikornresearch.com

สมฤดี ไทพาณิชย์และ ปราณี อ่านเปรื่อง. (2556*).* การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์เนื้อกล้วยหอมตี ป่นพาสเจอไรซ์. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร*, ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสยาม

สุขใจ ชูจันทร์. (2555). *สารให้ความหวานพลังงานต่ำ:การผลิตทางชีวภาพคุณสมบัติและการใช้ประโยชน์.* สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2557). ผลของสารละลายออสโมติกต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของกล้วยไข่. *วารสารอาหารและเทคโนโลยี*. 22(4), 532-544

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร. (2557). *การประยุกต์ใช้กระบวนการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งแบบสุญญากาศในการพัฒนาคุณภาพกล้วยไข่กึ่งแห้งเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล, สากีนา ลาแมปะ และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. (2555). การอบแห้งขนุนด้วยพลังงาน ความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน : จลนพลศาสตร์คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส, *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17*, 117-129

สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร. (2542). *น้อยหน่าพันธุ์ลูกผสมเพชรปากช่อง.* วันที่ค้นข้อมูล 27 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://portal.rae.mju.ac.th/dbplant/index.php/horticulture/item/sugar-apple-sweetsop-custard-apple-6

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2556). มาตรฐานสินค้าเกษตร:น้อยหน่า. *ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป ตอนพิเศษ.*

สำนักโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข. (2559). *สารอาหารของน้อยหน่า.* วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.thailovehealth.com/food/food-15952.html

เสาวณีย์ เลิศวรสิริกุล. (2558). *จลนศาสตร์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมซิสผลแก้วมังกร.* วันที่ค้นข้อมูล 16 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.rdi.ku.ac.th/newweb/

หนึ่งนุช กาฬภักดี, กอบวิทย พิริยะวัฒน์, เกศินี อินถา, ภาวิณี เกษศิริ และประภัสสร ไขแสง. (2553). *ผลของการทำพรีทรีทเมนต์ต่อการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในเงาะแช่อิ่มอบแห้ง.* วันที่ค้นข้อมูล 16 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก https://kruvijai.files.wordpress.com/2010/11/4-food-rambutan.pdf

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

อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ. (2539). *ตามรอยน้ำตาล.* กรุงเทพฯ : ที.พี.พริ้นท์

อภัย ราษฎรวิจิตร. (2558). *วิตามิน (Vitamin).* วันที่ค้นข้อมูล 16 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://haamor.com

อ่อนรวี รัตตนาพันธุ์. (2553). *หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส*, 20, 240-245.

ฤทัยรัตน์ แก้วดี และคณะ. (2556). *การศึกษาผลของสารละลายออสโมติกต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ลำไยแช่เยือกแข็งชนิดนุ่ม*. Graduate Research Conference 2013 Khon Kaen University.

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

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

AOAC 960.29. (1985). *การหาปริมาณโซเดียมโดยวิธี Mohr Method*. อ้างถึงใน บทปฏิบัติการวิเคราะห์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา.

AOAC. (2000). *Official Method of Analysis of A.O.A.C. international (17th ed.).* The Association of ofificail Analysis Chemists: Gaithersburg.

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

Barbosa-Canovas, G. V. & Vega-Mercado.1996. *Dehydration of Foods*. New York.

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.

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.

Chalobon. (2553). *คุณค่าอาหารของน้ำตาลมะพร้าว*. วันที่ค้นข้อมูล 16 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก https://chalobon.wordpress.com/2010/09/24/คุณค่าอาหารของน้ำตาลมะพร้าว

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

Ciurzynska, A., Kowalska, H., Czajkowska, K. & Lenart, A., (2016). Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food, *Trends in Food Science & Technology*, *50*, 186-192.

Clement, K., Francois, C. & Rohanie, M. (1996). The air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *International Journal of Food Science & Technology, 31*, 123-135.

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

Eskin, N.A.M., Henderson, H.M. & Townsend, R.J. (1971). *Biochemistry of Foods*.

Acadamic Press. New York.

Fernandes, F.A.N., Gallao, M.I. & Rodrigues, S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pretreatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT-Food Science and Technology*, *41*, 604-610.

Fernandes, F.A.N., Rodriguesi, S., Gaspareto, O. & Oliveira, E. (2006). Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. *Journal of Food Engineering, 77*, 188-193.

Fernandes, F.A.N., Gallao, M.I. & Rodrigues, S. (2009). Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering, 90,* 186-190.

Fito, P. & Cjiralt, A. (1995). Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, *99*, 9-15

Fito, P., Andres, A., Pastor, R. & Chiralt, A. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation relaxation phenomena during vacuum treatments solid popous food liquid systems. *Journal of Food Engineering*, *27*, 229-240.

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

Gaynor, P. (2011). *Determination of the GRAS Status of the Addition of Oligofructose to Infant Formula as a Nutritional Supplement*.

Gras, M.L., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, A. & Fito, P. (2001). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation Interaction with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, *56*, 279-284.

Gustavo, V., Barbosa-Cannovas, J.J., Fernandez-Molina, S.M., Alzamora, M.S. & Tapia, A.L.M. (2007). Handling and preservation of Fruit and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas. *1st ed. Daya Publishing House*.

Harris, N.L., Eugene, K. & Athanasios, N. (1995). Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *Journal Food Eng. 25*, 151-166.

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

Kurozawa, L.M., Hubinger, M.D. & Park, K.J. (2012). Glass transition phenomenon on shrinkage of papaya during convective drying. *Journal of Food Engineering, 108*, 43-50.

Leistner, L. & Rodel, W. (1976). The stability of intermediate moisture foods. *In Water Activity: Theory and Applications*.

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

Lowette K., Roosen L., Tack J. & Berghe P.V. (2015). Effects of High-Fructose Diets on Central Appetite Signaling and Cognitive Function. *Journal Front Nutrition*.

Matusek, A.C. (2008). Comparison of diffusion of fructo-oligosaccharide components during vacuum impregnation and osmotic dehydration. *European Food Research and Technology, 227*, 417-423

Moazzam, R.K. (2012). Osmotic dehydration technique for fruit preservation: A review, *Pak. J. Food Sc, 22(2),* 71-85.

Moraga, M.J., Moraga, G., Fito, P.J. & Martinez-Navarrete, N. (2009). Effect of vacuum impregnation with calium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydration grapefruit. *Journal of Food Engineering*, *90*, 372-379.

Nursten, H. (2005). The Maillard Reaction. *The Royal Society of Chemistry*. Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, Cambridge CB4 0WF, UK.

Pizzocaro, F., Torreggiani, D. & Gilardi, G. (1993). Inhition of apple Polyohenoloxidase (PPO). Istituto Sperimentale per la Valoriuazione Tecnologica dei Prodotti Agricoli. Milano, Italy.

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

Raoult-Wack, A.L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration foods. *Trend Food Sci. Tech, 5*, 255-260.

Raoult-Wack, A.L., Rios, G., Saurel, R., Giroux, F. & Guilbert, S. (1994). Modelling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). *Food Research International, 27*, 207-209.

Rockland, L.B., Beuchat, L.R., Birch, Lewicki, P.P., Le, H.V. & Pomaranska-Lazuka, W. (2002). Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, *54*, 141-146.

Sankat, C.K., Castaigne, F. & Maharaj, R. (1996). The air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *International Journal Food Science and Technology, 31*, 123-135.

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

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

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

Torres, J.D., Talens, P., Eacriche, I., & Chiralt, A. (2006). Influence of process c on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal Engineering, 74*, 240-246.

Wada, T., Sugatani, J., Terada, E., Ohguchi, M. & Miwa, M. (2005). Physicochemical characterization and biological effects of inulin enzymatically synthesized from sucrose. *Journal Agricultural Food Chem*istry, *53*, 1246–1253.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ก-1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

1. อุปกรณ์

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

2. การวิเคราะห์

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

2) นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างไม่เกิน 0.05 กรัม)

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

การคำนวณ

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

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

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

1. สารเคมีและอุปกรณ์

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

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

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

สารละลายทั้งสองนี้ต้องเตรียมแยกกันและเก็บใส่ขวดสีน้ำตาล เมื่อต้องการใช้ให้ผสมสารละลายทั้งสองนี้ด้วยปริมาตรเท่ากันทันทีก่อน ใช้

2) สารละลาย 1% Methylene blue ในน้ำกลั่น

3) สารละลาย Zinc ferrocyanide ประกอบด้วยสารละลาย Carrez I & II

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

สารละลาย Carrez II เตรียมโดยละลายโปแตสเฟอร์โรไซยาไนด์ 10.6 กรัมในกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

4) บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

5) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

6) ปิเปต ขนาด 5 10 และ 50 มิลลิลิตร

7) ขวดวัดปริมาตร 100 250 และ 1000 มิลลิลิตร

8) เตาไฟฟ้า (Hot plate) รุ่น ECM6 ประเทศอังกฤษ

2. การวิเคราะห์

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

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

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งก่อนการอินเวอร์ชั่น (D_1)

- **Preliminary titration**

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

- **Accurate titration**

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

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

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งหลังการอินเวอร์ชั่น (D_2)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งหลังการอินเวอร์ชั่นนั้นอาจใช้สารละลายน้ำตาลเดิมที่เหลือจากการไตเตรทหาค่า D_1 แล้ว โดยแบ่งมาจำนวนหนึ่งให้ทราบปริมาตรที่แน่นอนเพื่อใช้ประโยชน์ในการคำนวณกลับ ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรด

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

ก-3 ปริมาณแคลเซียม (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

1. สารเคมีและอุปกรณ์

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

2. การวิเคราะห์

1) อบแห้งตัวอย่างสดด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาสเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิ้ลเผาไหม้ตัวอย่างในเตาไฟฟ้าจนไม่มีควันดำเสียก่อน แล้วจึงนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิปรมาณ 550 องศาสเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้อง

3) เทเถ้าลงในบีกเกอร์แล้วเติมกรดไฮโรคลอริก 5 มิลลิลิตร นำไประเหยให้แห้งบน Steam bath

4) ละลายส่วนที่เหลือโดยเติมกรดไฮโดรคลอริก 2 มิลลิลิตรนำไปให้ความร้อนบน Steam bath นาน 5 นาที

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

6) นำสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร แล้วเจือลาง 150 มิลลิลิตร

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

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

9) นำสารละลายไปต้มนาน 1-2 นาที แล้วทิ้งให้ตกตะกอนจนกระทั่งใส จากนั้นกรองส่วนในออกผ่านกระดาษกรอง Quantitative

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

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

12) นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายโพสแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มัลที่อุณหภูมิ 70-90 องศาสเซลเซียส จนกระทั่งได้สีชมพูอ่อน

การคำนวณ

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

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

b = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก-4 ปริมาณวิตามินซี (AOAC,1995)

1. สารเคมีและอุปกรณ์

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

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

2. การเตรียมสารเคมี

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

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

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

3. การวิเคราะห์

3.1 การปรับมาตรฐานของ Dye solution

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

2) ทำไปไทเทรตกับ Dye solution จนกระทั่งถึงยุติ (สีชมพูอ่อน) บันทึกปริมาตรที่ใช้

3) ทำแบงค์ (Blank) โดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน จากนั้นคำนวณหา Dye factor

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

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

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

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ 10 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร

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

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

การคำนวณ

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

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

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

ข-1 ค่าสี

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

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

ค่าสี a* หมายถึง ค่าสีเขียว-แดง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีเขียว ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีแดง

ค่า b* หมายถึง ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง มีค่าเป็นลบหมายถึงสีน้ำเงิน ถ้าเป็นบวกหมายถึงสีเหลือง

ค่า ΔE หมายถึง ค่าความแตกต่างของสี

การคำนวณค่า ΔE

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

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

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

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

ข-2 ค่า Water activity (a_w)

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

ข-3 ค่าความแข็ง (Hardness)

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

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	.....	.....	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ง-1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

1. วัสดุและสารเคมี

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

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

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

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

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

3) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

3. การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

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

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

3) เจือจางสารละลายตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2 จนได้ความเจือจาง 10^{-3}

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

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

6) นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

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

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

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีเฉลี่ยที่ความเจือจางต่ำที่สุด

df คือ Dilution Factor หรือส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะเชื้อในถาดที่หาค่า n ได้

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

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

7.3) หากจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีไม่มากนัก ให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

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

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

ง-2 ปริมาณยีสต์และรา โดยวิธีการนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

1. วัสดุและสารเคมี

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

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

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

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

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

3) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

3. การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1) ทำวิธีเดียวกันกับภาคผนวกที่ ง-1 ในข้อที่ 1-5

2) นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน

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

ยกเว้นกรณี หากจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีไม่มากนัก ให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

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

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