



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง

Factors Affecting the Quality of Osmotic Dehydrated Cantaloupe

(*Cucumis melo* L.)

โดย

ดร. พิสุทธิ หนักแน่น

คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส ศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง และศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสรวมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง โดยเริ่มต้นได้ทำการศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียม 2 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมแลกเตตและแคลเซียมคลอไรด์ ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 2, 3 ต่อค่าความแข็งของชิ้นแคนตาลูป พบว่า การใช้สารละลายแคลเซียมแลกเตตที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความแข็งโดยเฉลี่ยสูงที่สุด จึงเลือกการใช้แคลเซียมแลกเตตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ในการศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสและชนิดของสารออสโมติกต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่ม เมื่อทำการศึกษาผลของวิธีการออสโมซิส 2 วิธี คือ การออสโมซิสแบบช้าและการออสโมซิสแบบเร็ว พบว่า แคนตาลูปที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสแบบช้ามีค่าความแข็งน้อยกว่าแคนตาลูปที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสแบบเร็ว ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาผลการทดลองทางประสาทสัมผัส พบว่า กระบวนการออสโมซิสทั้ง 2 วิธี ให้คะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกกระบวนการออสโมซิสแบบเร็ว มาใช้ในการศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสรวมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง โดยทำแช่อิ่มแคนตาลูปในสารละลายออสโมติกที่มีการผสมระหว่างน้ำตาลกลูโคสและสารดูดความชื้น 3 ชนิด ได้แก่ ซอร์บิทอล กลิเซอรอลและกลูโคสไซรัป โดยแต่ละชนิดของสารดูดความชื้นใช้อัตราส่วนที่ต่างกันคือ น้ำตาลซูโครสต่อสารดูดความชื้น 4:1 และ 3:2 และใช้ชุดการทดลองที่ใช้เฉพาะน้ำตาลซูโครสเป็นชุดควบคุม พบว่าการใช้สารดูดความชื้นทุกชุดการทดลองสามารถลดค่าความแข็งและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้การใช้ซอร์บิทอลและกลิเซอรอลสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และยังส่งผลให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมสูงกว่าชุดควบคุม ดังนั้นการใช้สารดูดความชื้นสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้

คำสำคัญ แคนตาลูป, แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง, การแช่อิ่ม, สารดูดความชื้น

Abstract

The objective of this research was to study factors affecting the quality of osmo-dried cantaloupe. Three factors including the pretreatment step by calcium salts, osmotic dehydration methods and the use of sucrose and humectant as osmotic agent were investigated. First, the effect of calcium salts (calcium chloride and calcium lactate) on the firmness of fresh cantaloupe was investigated to obtain the suitable types of calcium salt and their concentrations for the pretreatment step prior to osmotic dehydration process. It was found that the proper condition for pretreatment step was 2% calcium lactate for 3 h as considered from the firmness and sensory evaluation. After pretreatment, cantaloupe slices were subjected to two osmotic dehydration processes (fast osmotic dehydration; FOD and slow osmotic dehydration; SOD) and then dried in hot air oven to obtain osmo-dried cantaloupe. The physical, chemical and sensory properties of osmo-dried cantaloupe obtained from FOD and SOD were comparatively determined. Lower hardness was found in the sample produced by SOD compared to FOD, however no significant difference in overall acceptability as evaluated by consumers was found between samples produced by FOD and SOD. Thus, FOD was selected to study the effect of sucrose and humectant mixtures on the quality of osmo-dried cantaloupe. The ratios between sucrose and each humectant (sorbitol, glycerol and glucose syrup) were varied (5:0, 4:1 and 3:2). The sample immersed in the osmotic solution containing 5:0 ratio of sucrose to humectants was used as the control treatment. It was found that the use of humectants could reduce hardness, a_w and brown color of the finished product compared to control treatment ($P < 0.05$), resulting higher sensory score as evaluated in term of overall acceptability was obtained compared to control treatment. Therefore, the use of humectants could improve the quality of osmo-dried cantaloupe.

Keywords cantaloupe, osmo-dried cantaloupe, osmotic dehydration, humectant

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการในคำแนะนำต่างๆด้านการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของคณะฯในการสนับสนุนการวิจัยด้วยดีตลอดมา และ ขอขอบใจนางสาวรัตนาวดี มณีเยี่ยมและนายเอกศักดิ์ คำอ่อนศรีในการทำการทดลองและเก็บข้อมูล



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แคนตาลูป	3
2.2 การทำแห้งผลไม้โดยการออสโมซิส	5
2.3 การทำแห้ง	13
2.4 การใช้สารดูดความชื้นในการปรับปรุงคุณภาพผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง	16
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	20
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	24
4.1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปสด	24
4.2 ผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส	25
4.3 ผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง	28
4.4 ผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	44
เอกสารอ้างอิง	48

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	องค์ประกอบทางเคมีของแคนตาลูป
ตารางที่ 2	คุณค่าทางโภชนาการของแคนตาลูป
ตารางที่ 3	อัตราส่วนของน้ำตาลซูโครส และ กลีเซอรอล/กลูโคส/ไซรัป/ซอร์บิทอล ที่ใช้ในการทดลอง
ตารางที่ 4	องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปสด
ตารางที่ 5	ค่าความแข็งของแคนตาลูปเมื่อแช่ในสารละลายแคลเซียมชนิดต่างๆ
ตารางที่ 6	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมชนิดต่างๆ
ตารางที่ 7	คุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว
ตารางที่ 8	คุณสมบัติทางเคมีของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว
ตารางที่ 9	คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว
ตารางที่ 10	คุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นชนิดต่างๆในปริมาณที่แตกต่างกัน
ตารางที่ 11	คุณสมบัติทางเคมีของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นชนิดต่างๆในปริมาณที่แตกต่างกัน
ตารางที่ 12	คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นชนิดต่างๆในปริมาณที่แตกต่างกัน

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	การถ่ายโอนมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมซิส	5
ภาพที่ 2	โครงสร้าง egg-box model	8
ภาพที่ 3	การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	14
ภาพที่ 4	กราฟอัตราการอบแห้ง	15
ภาพที่ 5	การเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำตาล D-กลูโคส จะเปลี่ยนเป็น ซอร์บิทอล	17
ภาพที่ 6	การเปลี่ยนแปลงของค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการแช่แข็งแคนตาลูปโดยวิธีการแช่แข็งแบบเร็ว	29
ภาพที่ 7	การเปลี่ยนแปลงของค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการแช่แข็งแคนตาลูปโดยวิธีการแช่แข็งแบบช้า	29
ภาพที่ 8	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในระหว่างการทำแห้งแคนตาลูปแช่แข็งที่ผลิตโดยวิธีการแช่แข็งแบบช้าและวิธีการแช่แข็งแบบเร็ว	30
ภาพที่ 9	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งแคนตาลูปแช่แข็งที่ผลิตโดยวิธีการแช่แข็งแบบช้าและวิธีการแช่แข็งแบบเร็ว	31
ภาพที่ 10	อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งระหว่างกระบวนการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นในอัตราส่วนต่างๆ	35
ภาพที่ 11	อัตราการสูญเสียน้ำระหว่างกระบวนการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นในอัตราส่วนต่างๆ	37
ภาพที่ 12	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในระหว่างการทำแห้งแคนตาลูปแช่แข็งที่โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสและผสมกับสารดูดความชื้นในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	38
ภาพที่ 13	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งแคนตาลูปแช่แข็งที่โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสและผสมกับสารดูดความชื้นในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	39

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ในความเป็นจริงนั้น สินค้าเกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศไทยมีมากมายหลายชนิด และได้มีการพัฒนาทั้งในด้านคุณภาพ การผลิต ตลอดจนด้านการตลาด สำหรับสถานการณ์การผลิตผลไม้ภายในประเทศนั้น ผลผลิตที่ผลิตได้ต่อปีมีทั้งการใช้บริโภคภายในประเทศและได้มีการส่งออกนอกประเทศเพื่อจำหน่าย

สถานภาพทางเศรษฐกิจของจังหวัดสระแก้ว รายได้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับภาคเกษตรกรรมมากที่สุด แคนตาลูป เป็นผลไม้ที่สำคัญของจังหวัดสระแก้ว มีการเพาะปลูกมากที่ อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว สามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นดินสิ่งแวดล้อมและปริมาณน้ำฝนเหมาะสมทำให้ได้ผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอ รสชาติหวานกรอบและมีความหอมมากกว่าผลผลิตจากที่อื่น แต่ปัญหาคือแคนตาลูปเมื่อเก็บจากสวนมาจำหน่าย อายุของแคนตาลูปจะอยู่ได้ไม่เกิน 8 วัน จึงทำให้ไม่สามารถระบายสินค้าได้ทัน จึงเกิดปัญหาการเน่าเสียและส่งผลกระทบต่อราคาทุนของผู้ปลูกแคนตาลูปซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบปัญหาผลผลิตล้นตลาดและราคาดิ่งต่ำอีกด้วย (คำนึ่ง สุขอุดม, 2543)

เมื่อกล่าวถึงแคนตาลูปนั้น แคนตาลูปเป็นพืชตระกูลแตงที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย เป็นผลไม้ที่มีกลิ่นหวานหอม มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วยวิตามินเอ และวิตามินซี จึงเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยในปี 2552 ประเทศไทยส่งออกแคนตาลูปมีมูลค่าสูงถึง 28.08 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2552) อย่างไรก็ตามจากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น การนำแคนตาลูปมาแปรรูปจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำแคนตาลูปมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง ซึ่งนอกจากจะช่วยรองรับผลผลิตแคนตาลูปที่มีปริมาณมากแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย ในปี 2550 มีการส่งออกสินค้าผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง (รหัส HS:200600) ไปยังทั่วโลกมีมูลค่าสูงประมาณ 3,273 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2552) และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคต อย่างไรก็ตามปัญหาที่มักพบในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งได้แก่ รสชาติที่หวานจัด และลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการต่างๆ เช่น เนื้อสัมผัสแห้งเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำมากเมื่อมีการใช้น้ำตาลความเข้มข้นสูง เพื่อย่นและเกิดผลึกน้ำตาลที่ผิวหน้าส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพ โดยการใช้สารดูดความชื้น (humectant) เช่น สารกลุ่มพอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ หรือ สารที่เป็นอนุพันธ์ของแป้ง เข้าร่วมในกระบวนการผลิต เนื่องจากสารในกลุ่มนี้มีระดับความหวานน้อยกว่าและมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นสูงกว่าซูโครส ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์

ที่ได้มีความหวานลดลง มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มไม่แห้งเกินไป และยังช่วยลดค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาวิธีการออสโมซิสที่เหมาะสมสำหรับแคนตาลูปและศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารดูดความชื้น ต่อการผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง โดยการใช้สารดูดความชื้นซึ่งได้แก่ กลิเซอรอล ซอร์บิทอลและกลูโคสไซรัป ร่วมกับการใช้น้ำตาลซูโครสในกระบวนการผลิต และศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส การเปลี่ยนแปลงต่างๆระหว่างการอบแห้ง ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง และเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดอื่นๆได้



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 แคนตาลูป

แคนตาลูปเป็นพืชตระกูลแตง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis melo* L. จัดอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ โดยน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่า 1 กิโลกรัม เปลือกผลหนา ผิวมีทั้งแบบเรียบและแบบมีร่างแห มีร่องเป็นทางยาวโดยรอบจากขั้วไปจนถึงส่วนก้น เนื้อมีสีส้มหรือสีเหลือง มีรสหวานและมีกลิ่นหอม มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา ประเทศแถบอเมริกากลาง และเม็กซิโก (Ismail *et al.*, 2010) ส่วนในประเทศไทย ปลูกมากในจังหวัดนครสวรรค์ ปราจีนบุรีและสระแก้ว พันธุ์แคนตาลูปที่ปลูกกันมากในประเทศไทยคือ พันธุ์ฮันนี่ พันธุ์ซันเลดี้ พันธุ์ฮันนี่คิว ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้ เนื่องจากมีรสชาติหวาน กลิ่นหอม เป็นที่นิยมของผู้บริโภค และมีผลผลิตตลอดปี (คำนึ่ง คำอุดม, 2543; ยุพยงษ์ สุทธิธรรม, 2542)

การเก็บเกี่ยวแคนตาลูป ความแก่อ่อนของแคนตาลูปที่จะเก็บเกี่ยวมีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพของแคนตาลูปที่จะใช้ในการบริโภคและเก็บรักษา การเก็บเกี่ยวแคนตาลูปจะเก็บในระยะที่ผลพัฒนาเต็มที่ (แก่เต็มที่) แคนตาลูปมีอายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ โดยส่วนใหญ่ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวจะใช้เวลาประมาณ 75 วันขึ้นไปถึง 130 วันนับตั้งแต่วันที่เริ่มปลูก หรือระยะหลังดอกบานแล้วประมาณ 45 วัน แคนตาลูปที่อยู่ในระยะเก็บเกี่ยวนั้นสามารถสังเกตได้จากลักษณะต่างๆดังต่อไปนี้

1. รอยแยกของขั้วบริเวณรอยต่อระหว่างขั้วกับผล มีรอยร้าวหรือรอยแยกสีน้ำตาลอ่อนเกิดขึ้น โดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวเมื่อมีรอยแยกประมาณ 50%
2. สีของผลจะเปลี่ยนแปลงผิดกับเมื่ออยู่ในระยะผลอ่อนอย่างเห็นได้ชัด เช่น บางพันธุ์เปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีครีมเข้ม บางพันธุ์เปลี่ยนเป็นสีเหลือง สีส้มหรือสีนวล
3. รอยนูนของร่างแหบริเวณรอบผล เมื่ออยู่ในระยะเก็บเกี่ยวจะแข็งและเห็นได้ชัดเจนขึ้น
4. กลิ่นของแคนตาลูป ในแคนตาลูปพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมจะเริ่มมีกลิ่นหอมในระยะที่เก็บเกี่ยวได้
5. การทดสอบทางเคมี โดยวัดความหนาแน่นและปริมาณน้ำตาลในเนื้อแคนตาลูป เมื่อนำแคนตาลูปที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มาคั้นน้ำ น้ำที่ได้ควรจะมีความถ่วงจำเพาะไม่ต่ำกว่า 1.04 ปริมาณน้ำตาลไม่ต่ำกว่า 10% น้ำตาลซูโครสไม่ต่ำกว่า 4.5% (ธงชัย เนมขุนทด, 2531)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแคนตาลูป

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น (% ,น้ำหนักเปียก)	90.15
เถ้า (% ,น้ำหนักเปียก)	0.65
โปรตีน (% ,น้ำหนักเปียก)	0.84
ไขมันทั้งหมด (% ,น้ำหนักเปียก)	0.19
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (% ,น้ำหนักเปียก)	7.86
ซูโครส (% ,น้ำหนักเปียก)	4.35
ฟรุกโทส (% ,น้ำหนักเปียก)	1.54
กลูโคส (% ,น้ำหนักเปียก)	1.87
เส้นใย (% ,น้ำหนักเปียก)	0.90
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	10.00-14.80
ความเป็นกรดต่าง (pH)	6.10-6.60

ที่มา: คัดแปลงจาก Miccolis และ Saltveit (1995)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของแคนตาลูป

คุณค่าทางโภชนาการ (ต่อ 100 กรัมที่รับประทานได้)	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	34
โปรตีน (กรัม)	0.84
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	0.19
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	8.16
เส้นใย (กรัม)	0.90
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	9.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	15.00
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	267.00
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.21
วิตามินเอ (IU)	3383.00
ไทอะมิน (มิลลิกรัม)	0.041
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.019
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.734
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	36.70

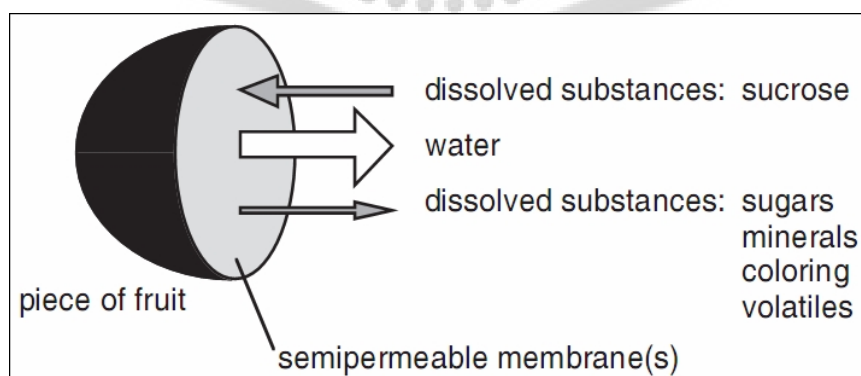
ที่มา: USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2005)

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของแคนตาลูป องค์ประกอบของแคนตาลูปจะแตกต่างกันไปตามชนิด พันธุ์ ฤดูกาลปลูก และความแก่อ่อนของแคนตาลูป โดยองค์ประกอบหลักที่พบมากในแคนตาลูปคือ คาร์โบไฮเดรต ประมาณร้อยละ 7.8-14.4 ของน้ำหนักผลสด ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโทสและซูโครสเป็นส่วนใหญ่ ส่วนกรดอินทรีย์หลักที่พบมากคือ กรดซิตริกและกรดมาลิก นอกจากนี้แคนตาลูปยังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะวิตามินซี วิตามินเอ และโพแทสเซียม (USDA, 2005)

2.2 การทำแห้งผลไม้โดยการออสโมซิส

2.2.1 นิยามของการทำแห้งโดยการออสโมซิส

การทำแห้งโดยการออสโมซิส เป็นวิธีหนึ่งในการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผลไม้โดยอาศัยกระบวนการออสโมซิส อาจทำได้โดยการแช่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า (hypertonic solution) และมีค่า water activity ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายในผลไม้ ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายภายนอกเกิดเป็นแรงขับ (driving force) ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้และสารละลายภายนอกจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าโดยผ่านเซลล์เมมเบรนของผลไม้ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Naknean *et al.*, 2012) โดยการถ่ายโอนมวลจะเกิดขึ้นในทิศทางสวนกัน (counter current flow) ดังแสดงในภาพที่ 1 น้ำภายในเซลล์ผลไม้จะแพร่ออกสู่สารละลาย ในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายจะแพร่เข้าสู่เซลล์ของผลไม้ และมีสารบางอย่างเช่น กรดอินทรีย์ วิตามิน และเกลือแร่ในเนื้อเยื่อผลไม้ จะแพร่ออกสู่สารละลายแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Raoily-Wack, 1994)



ภาพที่ 1 การถ่ายโอนมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมซิส

ที่มา: Torreggiani และ Bertolo (2004)

การถ่ายโอนมวลที่เกิดขึ้นทั้งของน้ำและตัวถูกละลายในกระบวนการออสโมซิสนั้นจะดำเนินการต่อไปจนถึงภาวะสมดุล (อัตราการถ่ายโอนมวลของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าคงที่) มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผลไม้และในสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ (Barbosa-Canovas และ Vega-Mercado, 1996)

ในระหว่างการออสโมซิสนั้นการแพร่ของตัวถูกละลายจะช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นในการทำแห้งผลไม้โดยการออสโมซิส จึงสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องการดึงออกและปริมาณตัวถูกละลายที่เพิ่มขึ้นในผลไม้ได้ โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย (Raoult-Wack, 1994) นอกจากนี้ถ้าเซลล์ของผลไม้ถูกทำลาย เช่น การลวก ความร้อนจำทำให้เซลล์ผลไม้บวมลงทำให้การแพร่ของน้ำและตัวถูกละลายถึงจุดสมดุลได้เร็วขึ้น (ไพบูลย์ธรรมรัตน์วาลิก, 2532)

ลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการออสโมซิสแล้วอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน คือผลิตภัณฑ์ยังคงรักษาสี กลิ่นรสและสารระเหยต่างๆ ไว้ได้ตามธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและยังคงคุณค่าทางโภชนาการ (Lazaides, 2001)

ประเภทของการเชื่อม

1. การเชื่อมแบบเร็ว

การเชื่อมแบบเร็ว คือ การแช่ผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงเพียงครั้งเดียว การเชื่อมด้วยวิธีนี้จะใช้เวลาสั้น ซึ่งผลไม้เชื่อมจะมีลักษณะเหี่ยวยุบ มีสีน้ำตาลเข้ม มีรสหวานไม่สม่ำเสมอเนื้อสัมผัสเหนียวและแข็ง (จินตนา, 2546)

2. การเชื่อมแบบช้า

การเชื่อมแบบช้า คือ การแช่ผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีหลายความเข้มข้น โดยเริ่มจากการแช่ผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นต่ำก่อนแล้วทำการแช่ผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยที่แต่ละความเข้มข้นจะใช้เวลาในการแช่ 24 ชั่วโมง และจะมีการเพิ่มความเข้มข้นขึ้นร้อยละ 10 จนกระทั่งผลไม้เชื่อมมีความเข้มข้นมากเพียงพอตามความต้องการ (จินตนา, 2546)

2.2.2 กระบวนการผลิตผลไม้เชื่อมอบแห้ง

กระบวนการผลิตผลไม้เชื่อมอบแห้ง ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 3 ขั้นตอนคือ

ก. ขั้นตอนการคัดเลือกและการเตรียมวัตถุดิบ

เป็นการคัดเลือกวัตถุดิบให้มีความเหมาะสมต่อกระบวนการผลิต เช่น ลักษณะสายพันธุ์ ระดับความสุก ขนาดและรูปร่างของวัตถุดิบ เนื่องจากคุณภาพของวัตถุดิบมีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลไม้แต่ละชนิด แต่ละพันธุ์ จะมีการถ่ายโอนมวลสารระหว่าง

กระบวนการออสโมซิสไม่เหมือนกัน บางชนิดมีอัตราการถ่ายเทมวลสูง บางชนิดมีอัตราการถ่ายเทมวลต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างของผนังเซลล์ผลไม้แต่ละชนิด รวมทั้งความเป็นรูปพรุนของเนื้อผลไม้ด้วย

Shi และ Fito (1993) ศึกษาลักษณะโครงสร้างของเนื้อผลไม้ต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมซิส โดยทำการทดลองกับผลไม้ 2 ชนิด คือ สับปะรดและแอปปรicot โดยหั่นเป็นชิ้นลูกเต๋ายาวขนาด 15 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แช่ในสารละลายแอสคอร์บิกเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล จากนั้นนำไปแช่สารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 240 นาที พบว่าสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (sugar gain) มากกว่าแอปปรicot ทั้งนี้เนื่องจากสับปะรดมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นรูปพรุนมากกว่าแอปปรicot ดังนั้นตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกจึงแพร่เข้าไปในเซลล์สับปะรดได้มากขึ้น จึงค่าปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมากกว่าในแอปปรicot

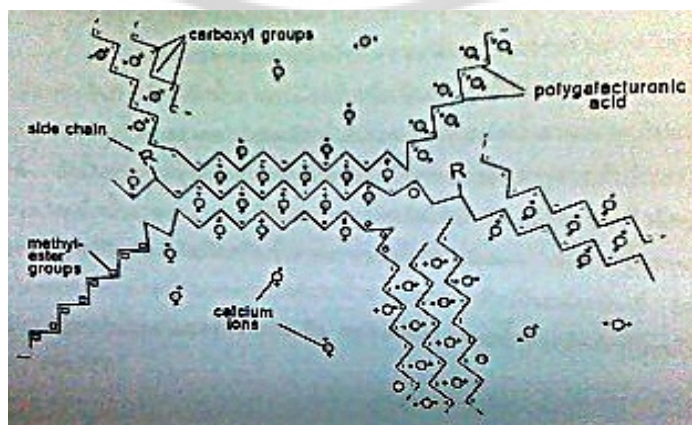
นอกจากนี้ขนาดและรูปร่างของผลไม้ก็มีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลเช่นกัน เนื่องจากจะมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรของผลไม้ ถ้าอัตราส่วนนี้สูงจะทำให้ชิ้นผลไม้มีอัตราการถ่ายเทมวลสูง คือน้ำในชิ้นผลไม้สามารถแพร่ออกมาสู่สารละลายน้ำตาลภายนอกได้มากและเร็ว

Sablani และ Rahman (2003) ศึกษาผลของรูปร่างต่อการถ่ายโอนมวลสารในการทำเหมี่ยวด้วยวิธีการออสโมซิส โดยทดลองหั่นเป็น 3 รูปแบบ คือ แบบชิ้นลูกเต๋ายาวขนาด 2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แบบชิ้นสไลด์ขนาด $3.5 \times 1.8 \times 1.0$ เซนติเมตร และแบบชิ้นรูปกลมยาว 5.5 เซนติเมตร แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปหาความชื้นเพื่อคำนวณสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusion coefficient) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในชิ้นมะม่วงที่หั่นเป็นชิ้นลูกเต๋า ชิ้นสไลด์และชิ้นรูปกลม มีค่าเท่ากับ 2.12, 1.74 และ 1.94 ตามลำดับ โดยมะม่วงที่หั่นเป็นชิ้นลูกเต๋ามีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสูงที่สุด เนื่องจากมะม่วงแบบชิ้นลูกเต๋ามีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าชิ้นสไลด์และรูปกลม จึงทำให้มีการแพร่ของน้ำมากที่สุด

Antonio และคณะ (2004) ศึกษาผลของรูปทรงต่อการทำเหมี่ยวมะละกอด้วยวิธีออสโมซิส โดยการหั่นเป็นชิ้นยาวขนาด $5.5 \times 3.0 \times 0.5$ เซนติเมตร และแบบลูกเต๋ายาวขนาดด้านละ 2.0 เซนติเมตร รูปทรงทั้งสองแบบนี้มีน้ำหนักเท่ากัน จากนั้นแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 44, 55 และ 65 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง พบว่ามะละกอที่หั่นเป็นชิ้นยาวมีอัตราการสูญเสียน้ำ และมีน้ำหนักลดลงมากกว่าการหั่นเป็นลูกเต๋าในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงกว่าแบบลูกเต๋า จึงเกิดการสูญเสียน้ำและน้ำหนักลดลงมากกว่าการหั่นแบบลูกเต๋า

นอกจากการคัดเลือกวัตถุดิบแล้ว การเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส หรือที่เรียกว่าการ pretreatment เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การเตรียมวัตถุดิบอาจจะมีการใช้ทั้งสารเคมีและการใช้ความร้อน เพื่อช่วยในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และรวมถึงสารที่ช่วยในการเพิ่มความกรอบและความแข็งของผลไม้ เช่นสารในกลุ่มแคลเซียม โดยแคลเซียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับเพคติน เกิดเป็นสารประกอบเพคเตต ซึ่งไม่ละลายน้ำ ช่วยให้ผนังเซลล์ผลไม้มีความแข็งแรงมากขึ้น (Feeters และ Tang, 1983) ซึ่งการ pretreatment มีผลต่อความสมบูรณ์ของเนื้อเยื่อตามธรรมชาติของผลไม้ ช่วยทำให้การถ่ายโอนมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกถึงจุดสมดุลได้เร็วขึ้น

การเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อนเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส และการใช้สารเคมี เช่น กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีการใช้แคลเซียมคลอไรด์เพื่อช่วยให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น (บุรฉัตร ศรีทองแท้, 2551) โดยแคลเซียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินบริเวณ middle lamella และผนังเซลล์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) บนสาย polygalacturonides และประจุของ Ca^{2+} โดย Ca^{2+} ทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลบนสาย polygalacturonides สายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสาย polygalacturonides อีกสายหนึ่งเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg-box model เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตต ซึ่งไม่ละลายน้ำ ช่วยให้ผนังเซลล์ของผลไม้มีความแข็งแรงมากขึ้น ดังภาพที่ 2 (จิราพร กอศรีลบุตร, 2549)



ภาพที่ 2 โครงสร้าง egg-box model

จุฑามาศ นิวัฒน์ (2542) ศึกษาผลของการลวกสับประค่อนการออสโมซิสต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส โดยหั่นเป็นชิ้นรูปวงแหวนหนา 1 เซนติเมตร ลวกเป็นเวลา 0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10 นาที จากนั้นนำไปแช่สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าอัตราการถ่ายโอนมวลทั้งของน้ำและน้ำตาลมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการลวก แต่การใช้เวลาในการลวกมากกว่า 5 นาที จะทำให้สับประคมีลักษณะเปื่อยยุ่ย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม ไม่นำรับประทาน

อาพร ละเอียด (2547) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในช่วงการปรับปรุงคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะละกอ โดยใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 5 ระดับได้แก่ร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, และ 2.0 (w/v) แช่เป็นเวลา 7 วัน อัตราส่วนของเนื้อต่อสารละลายเป็น 1:3 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มากขึ้น ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ซึมเข้าไปในเนื้อมะละกอจะมีมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเนื้อมะละกอมีความสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองทางประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์มากขึ้น มะละกอจะมีรสชาติแปลกปลอมมากขึ้น โดยการแช่แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 เป็นสภาวะที่มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดทั้งทางด้านสี รสชาติ ความแข็งและความชอบโดยรวม

Luna-Guzman และ Barrett (2000) ศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลกเทตต่อคุณภาพของแคนตาลูปตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลกเทตร้อยละ 2.5 แช่เป็นเวลา 1 นาทีที่อุณหภูมิ 25 และ 60 องศาเซลเซียสโดยใช้การแช่ในน้ำเป็นชุดควบคุม จากการทดลองพบว่า ทั้งแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลกเทตมีค่าความกรอบเพิ่มขึ้น (firmness) โดยเมื่อเก็บรักษานานขึ้นแคนตาลูปที่แช่ในแคลเซียมแลกเทตจะรักษาค่าความกรอบได้ดีกว่าแคนตาลูปที่แช่ในแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้จากผลการทดลองทางประสาทสัมผัสพบว่า การใช้แคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้เกิดรสขมในแคนตาลูปในขณะที่การใช้แคลเซียมแลกเทตไม่ทำให้เกิดรสขม ดังนั้นการใช้แคลเซียมแลกเทตจึงน่าจะเป็นแนวทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปได้

ข. ขั้นตอนการออสโมซิส

เป็นขั้นตอนการนำผลไม้ที่ผ่านการ pretreatment ตามที่ต้องการแล้ว แช่ในสารละลายออสโมติก ซึ่งการถ่ายเทมวลในระหว่างการออสโมซิส ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการถ่ายเทมวลในระหว่างการออสโมซิส เช่น

ชนิดของสารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกแต่ละชนิดมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างการออสโมซิสที่แตกต่างกัน สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะให้ค่าการถ่ายเทมวลสูงกว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า (Lazarides *et al.*, 1999) โดยทั่วไปสารที่นิยมนำมาใช้เป็นออสโมติกเอเจนต์มากที่สุดคือน้ำตาลซูโครส นอกจากนี้ยังมีการใช้ sugar alcohol, high fructose corn syrup, กลูโคส และฟรุกโทส โดยคุณสมบัติของออสโมติกเอเจนต์ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการออสโมซิสนั้น จะต้องมีความ water activity ต่ำ วัสดุที่ดีต่อผลิตภัณฑ์และสุดท้ายไม่เป็นพิษ (Lerici *et al.*, 1985)

Lerici และคณะ (1985) ศึกษาผลของสารละลายที่แตกต่างกันต่อกระบวนการออสโมซิส โดยแช่ชิ้นแอปเปิ้ลในสารละลายที่แตกต่างกันคือ สารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ สารละลาย corn hydrolyzed starch syrup ความเข้มข้น 68 และ 70 องศาบริกซ์ สารละลายน้ำตาลกลูโคสรวมกับสารละลายน้ำตาลฟรุกโทสความเข้มข้น 66 องศาบริกซ์ และสารละลายน้ำตาลกลูโคส 51 องศาบริกซ์ พบว่าผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านการออสโมซิสนาน 16 ชั่วโมง โดยใช้สารละลาย corn hydrolyzed starch syrup ความเข้มข้น 68 องศาบริกซ์ มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด คือ 59.2% เนื่องจากมีการแพร่เข้าของปริมาณของแข็งน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก สารละลาย corn hydrolyzed starch syrup ความเข้มข้น 68 องศาบริกซ์มีความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์สูงถึง 20% ทำให้มีการแพร่เข้าของสารละลายได้น้อย

Behsnillian และ Spiess (2006) ศึกษาการถ่ายเทมวลในระหว่างการออสโมซิสแครอท โดยหั่นเป็นชิ้นลูกเต๋ายาวด้านละ 2 เซนติเมตร แช่ในสารละลายออสโมติกที่มีค่า water activity (0.91) เท่ากันคือ ซูโครส กลูโคส ซอร์บิทอลและกลีเซอรอล เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าแครอทที่แช่ในสารละลายกลูโคสมีอัตราการสูญเสียน้ำสูงสุด และเมื่อพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล โดยกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด จะให้อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งสูงที่สุด รองลงมาเป็นกลูโคส ซูโครสและซอร์บิทอล ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสารโมเลกุลเล็กมีความสามารถในการแทรกผ่านผนังเซลล์ของแครอทได้ดีกว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

El-Aouar และคณะ (2006) ศึกษาการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสของมะละกอ โดยใช้สารละลายออสโมติก 2 ชนิดคือ ซูโครส และ corn syrup ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 44 ถึง 50% (w/w) โดยใช้อุณหภูมิของสารละลายในช่วง 34-46 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120-210 นาที พบว่าที่อุณหภูมิและความเข้มข้นเดียวกัน มะละกอที่แช่ในน้ำตาลซูโครสมิมน้ำหนักที่ลดลง อัตราการสูญเสียน้ำ และอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งสูงกว่าเมื่อแช่ในสารละลาย corn syrup ทั้งนี้เนื่องจากสารละลาย corn syrup มีความหนืดสูงกว่าสารละลายซูโครส ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลได้น้อยกว่า

Rodrigues และ Fernandes (2007) ศึกษาการใช้น้ำตาลชนิดอื่นทดแทนการใช้น้ำตาลซูโครสบางส่วนในกระบวนการออสโมซิสแคนตาลูป โดยหั่นแคนตาลูปเป็นชิ้นลูกเต๋าด้านละ 2 เซนติเมตร แช่ในสารละลายออสโมติกที่ประกอบด้วยซูโครสเข้มข้น 70% และเกลือ NaCl เข้มข้น 5% ที่อุณหภูมิ 42.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลอง และแปรปรวนปริมาณสารออสโมติก 2 ชนิดคือ กลูโคสและแมนนิทอล ลงไปแทนที่ซูโครส 2 ระดับคือ 0 และ 20% พบว่าในสารละลายออสโมติกที่ประกอบด้วยกลูโคส 20% มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารและอัตราการสูญเสียน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือ แมนนิทอล 20% และต่ำที่สุดคือในสารละลายออสโมติกที่ประกอบด้วยซูโครสเพียงชนิดเดียว ทั้งนี้เนื่องจากซูโครสมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงเกิดการถ่ายเทมวลสารในอัตราที่ต่ำกว่ากลูโคสและแมนนิทอล ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า

ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้มีความสำคัญต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารและระยะเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสามารถทำให้น้ำสามารถแพร่ออกจากชิ้นผลไม้ได้มากขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลาย ที่ใช้ยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และมีผลต่อค่า water activity ของผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Lenart และ Flink, 1984)

นอกจากความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกแล้ว อุณหภูมิของสารละลายก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน เนื่องจากอุณหภูมิของสารละลายมีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลสาร ถ้าอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น อัตราการถ่ายโอนมวลสารก็จะสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนจะทำให้โครงสร้างบางส่วนของผนังเซลล์ผลไม้อ่อนตัวลง ทำให้การแพร่ของน้ำและสารละลายน้ำตาลเกิดมากขึ้น (Azoubel และ Murr, 2004)

Corzo และ Gomez (2004) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูป โดยหั่นแคนตาลูปเป็นชิ้นทรงกระบอก แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 3 ระดับคือ 45, 50 และ 55 องศาบริกซ์ ใช้อุณหภูมิที่ใช้แช่ 3 อุณหภูมิคือ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการแช่ 3 เวลาคือ 60, 90 และ 120 นาที อัตราส่วนของสารละลายออสโมติกต่อแคนตาลูปเป็น 20:1 คำนวณค่าน้ำหนักที่ลดลง อัตราการสูญเสียน้ำ และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำไปคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ desired function methodology (response surface method) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูปคือ ที่อุณหภูมิ 37.95 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส 41.6 องศาบริกซ์ และใช้เวลาในการแช่ 132.20 นาที จะทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น 12.3 องศาบริกซ์ต่อกรัม อัตราการสูญเสียน้ำ 0.33 กรัมต่อกรัม และค่าน้ำหนักที่ลดลง 0.11 กรัมต่อกรัม

Falade และ Aworth (2005) ศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมซิสของมะเฟืองและมะม่วง โดยแช่มะเฟืองในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 44, 52 และ 60 องศาบริกซ์ ใช้อุณหภูมิ 27 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และแช่มะม่วงในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 52, 60 และ 68 องศาบริกซ์ ใช้อุณหภูมิ 27 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง พบว่าเมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายน้ำตาลซูโครสสูงขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นมีผลให้แรงดันออสโมติกสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้การแพร่ของน้ำดีขึ้น โดยการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Falade และคณะ (2007) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 3 ระดับ ได้แก่ 40, 50 และ 60 องศาบริกซ์ และใช้อุณหภูมิของสารละลาย 3 ระดับคือ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลาย ค่าอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีแรงดันออสโมติกสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้ความหนืดของสารละลายลดลง และยังเป็นการไล่อากาศที่อยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่อ ทำให้การกำจัดน้ำด้วยแรงดันออสโมติก และการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าไปในเนื้อแดงโมดิฟาย

นอกจากปัจจัยต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆอีกเช่น การกวนขณะออสโมซิส การนำสารละลายเก่ากลับมาใช้ใหม่ อัตราส่วนระหว่างเนื้อต่อน้ำ และการใช้ความดันสุญญากาศเป็นต้น ซึ่งล้วนมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมซิส และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเกณฑ์ในการเลือกปัจจัยต่างๆในระหว่างกระบวนการออสโมซิสนั้นต้องพิจารณาถึงต้นทุน และลักษณะทางประสาทสัมผัสสุดท้ายเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี และมีต้นทุนในการผลิตที่เหมาะสม

ค. ขั้นตอนการทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) คือการลดความชื้นของอาหารจนถึงจุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ คือมีค่า water activity ต่ำกว่า 0.65 ทำให้อาหารสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดนั้นปริมาณความชื้นที่ไม่เท่ากัน โดยผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งต้องมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 18% และมีค่า water activity ต่ำกว่า 0.65 (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2532) นอกจากเป็นการถนอมอาหารแล้ว การทำแห้งยังเป็นการช่วยลดปริมาตรและน้ำหนักของอาหาร ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่งได้ กระบวนการอบแห้งโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และ ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

El-Aouar และคณะ (2003) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งมะละกอที่ผ่านการแช่ส้มในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.25 และ 3.25 เมตรต่อวินาที เปรียบเทียบกับมะละกอที่ไม่ผ่านการออสโมซิส พบว่ามะละกอที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมะละกอที่ผ่านการออสโมซิส

ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลที่แพร่เข้าไปในชิ้นมะละกอลงจากขั้นตอนการออสโมซิส เกิดการตกผลึกและขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำในระหว่างการอบแห้ง อัตราการอบแห้งจึงลดลง

Mandala และคณะ (2005) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแอปเปิ้ลที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสด้วยสารละลายกลูโคส หรือ ซูโครส ที่ความเข้มข้น 2 ระดับคือ 30 และ 45% แช่เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วง 90 นาทีแรกของการอบแห้ง ความชื้นในชิ้นผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายกลูโคสจะลดลงอย่างรวดเร็วกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิส แต่หลังจากช่วงเวลานี้อัตราการลดลงของความชื้นจะช้าลง สำหรับแอปเปิ้ลที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสพบว่าช่วง 40-50 นาทีแรกของการอบแห้ง ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นอัตราการลดลงของความชื้นจะช้าลงเช่นเดียวกัน

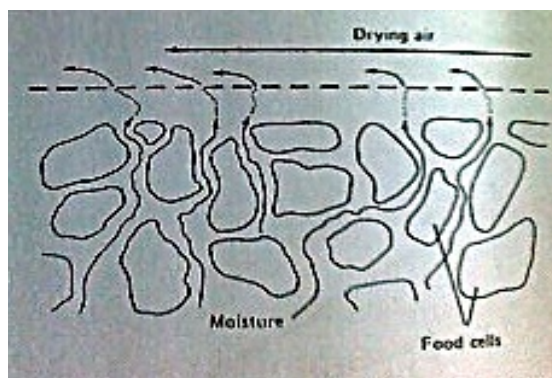
Riva และคณะ (2005) ศึกษาการอบแห้งชิ้นแอปปริคอต ที่หั่นเป็นชิ้นลูกเต๋า หลังผ่านการออสโมซิสในสารละลาย 3 ชนิดคือ สารละลายซูโครส 60% สารละลายซอร์บิทอลเข้มข้น 60% และสารละลายไอโซโทนิค (ซูโครส 13%) นาน 60 นาที เมื่อเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งหลังผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสกับซอร์บิทอลพบว่าอัตราการอบแห้งใกล้เคียงกัน แต่ช่วงหลังอัตราการอบแห้งในแอปปริคอตที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสจะลดลงต่ำกว่าเมื่อผ่านการแช่ในซอร์บิทอล เนื่องจากซูโครสเกิดการตกผลึกและขัดขวางการระเหยของน้ำในระหว่างการอบแห้ง

2.3 การทำแห้ง

การทำแห้งอาหาร หมายถึง การลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อลดค่า a_w ลงเพื่อให้อยู่ในระดับที่ต่ำพอที่จะสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดความเสื่อมเสียคุณภาพและการเน่าเสียของอาหาร และทำให้ค่า a_w อยู่ในระดับที่ปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพนั้นอยู่ในระดับต่ำสุด

2.3.1 กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปด้วยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังภาพที่ 3



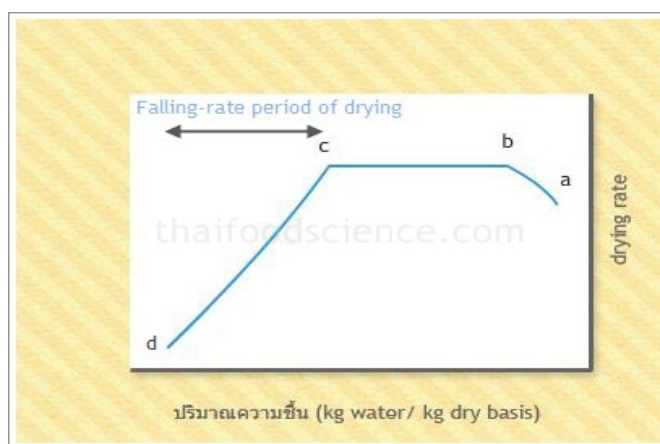
ภาพที่ 3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอน้ำที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอน้ำด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอน้ำสูงและค่อยๆ ลดต่ำลง เมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี
2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร
4. ความแตกต่างของความดันไอน้ำทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร

การทำแห้งจัดเป็นการถนอมอาหาร เนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้เสื่อมเสียได้ยากขึ้น สามารถเก็บได้นานขึ้นที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ โดยทั่วไปผลจากการทำแห้งจะทำให้ น้ำหนักและปริมาตรของอาหารลดลง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษา การทำอาหารแห้งนอกจากจะเป็นการถนอมอาหารแล้ว ยังจัดเป็นการแปรรูปอาหารวิธีหนึ่ง โดยการทำแห้งนั้นจะหมายถึง อาหารที่มีความชื้นต่ำ (low moisture food) ซึ่งโดยทั่วไปมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 25 และมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 และผลิตภัณฑ์อาหารนั้นสามารถนำมาบริโภคได้เลย (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, 2550) กระบวนการอบแห้งอาหาร โดยทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period) ในช่วงแรกของการอบแห้ง เป็นช่วงที่ อุณหภูมิผิวหน้าของอาหารมีการปรับตัวเข้าสู่สมดุลกับอุณหภูมิภายในตัว (ช่วง a , b ดังภาพที่ 4) โดยทั่วไปจะใช้เวลานานมาก จากนั้นจะเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (ช่วง b , c ดังภาพที่ 4) ซึ่งเป็นช่วงที่มีการระเหยของความชื้นบริเวณผิวหน้าของอาหาร และมีการเคลื่อนที่ของความชื้นจาก ด้านในขึ้นอาหารขึ้นมาทดแทนด้วยอัตราเร็วเท่ากับความเร็วที่ระเหยออกจากผิวหน้า โดยผิวหน้า จะยังมีลักษณะเปียกอยู่ ซึ่งอัตราการอบแห้งในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และความเร็วของลมร้อน



ภาพที่ 4 กราฟอัตราการอบแห้ง

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) (ช่วง c , d ดังภาพที่ 4) เกิดขึ้นเมื่อ ความชื้นของอาหารต่ำกว่าความชื้นวิกฤต เป็นช่วงที่การเคลื่อนที่ของน้ำภายในขึ้นอาหารขึ้นมา ทดแทนที่ผิวหน้าของการระเหยได้ลดลง เนื่องจากปริมาณความชื้นในอาหารเหลือน้อย น้ำจึง เคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมาก จนอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารมาอยู่ที่ผิวหน้าการ ระเหยต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ อัตราการทำแห้งจึงลดลง โดยเมื่อ ผิวหน้าของอาหารแห้งสนิท ระบายของการระเหยจะเคลื่อนที่เข้าไปด้านในของอาหาร ความชื้น จะต้องแพร่ผ่านชั้นของแข็งที่ผิวหน้าอาหาร ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงลดต่ำกว่าช่วงแรก (บุรฉัตร ศรีทองแท้, 2551)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราการทำแห้งอาหาร ได้แก่

1. **สภาพธรรมชาติของอาหาร** เมื่อพิจารณาในด้านโครงสร้างของอาหารพบว่า มีผลต่ออัตราการทำแห้ง คือ ถ้าอาหารมีโครงสร้างที่มีรูพรุนมาก จะทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเคลื่อนที่ออกไปได้ง่าย ทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอาหารที่มีรูพรุนมากจนเกินไป อาจจะทำหน้าที่เหมือนฉนวนของการนำความร้อน ซึ่งอาจมีผลทำให้อัตราการทำแห้งลดลงบ้าง เนื่องจากการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำในอาหารไม่ค่อยดี ดังนั้นอาหารที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนมาก อัตราการทำแห้งจะเร็วขึ้น นอกจากนี้สภาพของน้ำในสภาพธรรมชาติของอาหารที่จะนำมาทำแห้ง จะมีผลต่ออัตราการทำแห้ง พบว่า ถ้าน้ำอยู่ในอาหารในรูปน้ำอิสระจะสามารถดึงออกจากอาหารได้ง่าย ดังนั้นอาหารที่มีน้ำอยู่ในรูปน้ำอิสระมาก จะทำให้อัตราการทำแห้งเป็นไปได้เร็วกว่าอาหารที่น้ำอยู่ในรูปของน้ำยึดเกาะเป็นส่วนมาก (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาเกษตรศาสตร์, 2550)

2. **ขนาด รูปร่าง การเตรียมและการจัดเรียงอาหาร** อาหารที่มีขนาดและรูปร่างที่ทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรอาหารมาก จะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนไปทั่วชิ้นอาหาร เพื่อระเหยน้ำออกจากอาหารได้ดีขึ้น ส่งผลให้ทำให้อัตราเร็วของการทำแห้งดีขึ้น (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาเกษตรศาสตร์, 2550) และตำแหน่งของอาหารที่อยู่ในตู้อบ อาหารที่อยู่ในบริเวณที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า จะมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าอาหารที่อยู่ในบริเวณสัมผัสกับลมร้อนได้ไม่ดี และถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารจะสัมผัสลมร้อนไม่ทั่วถึง มีผลให้อัตราการอบแห้งต่ำลง (บุรฉัตร ศรีทองแท้, 2551)

3. **อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อน** กรณีที่อากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศ ส่วนการเพิ่มความเร็วของลมร้อนช่วยให้เกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปจากอาหารได้ดีขึ้น ส่งผลให้อาหารมีอัตราการอบแห้งสูง (บุรฉัตร ศรีทองแท้, 2551)

2.4 การใช้สารดูดความชื้น (humectant) ในการปรับปรุงคุณภาพผลไม้แช่เยือกแข็ง

ในการผลิตผลไม้แช่เยือกแข็งนิยมใช้น้ำตาลหรือเกลือเป็นส่วนประกอบในสารละลายออสโมติก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้น หรือค่า water activity ที่เหมาะสม และมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ (Raoult-Wack, 1994) แต่เนื่องจากน้ำตาลและเกลือมีขีดจำกัดในการใช้ เพราะหากใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รสหวานหรือเค็มมากเกินไป และผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหนียวหนืด เนื่องจากสูญเสียน้ำมากเกินไป การใช้สารดูดความชื้น (humectant) เช่น สารในกลุ่มพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ร่วมกับน้ำตาลซูโครสเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยลดปัญหา

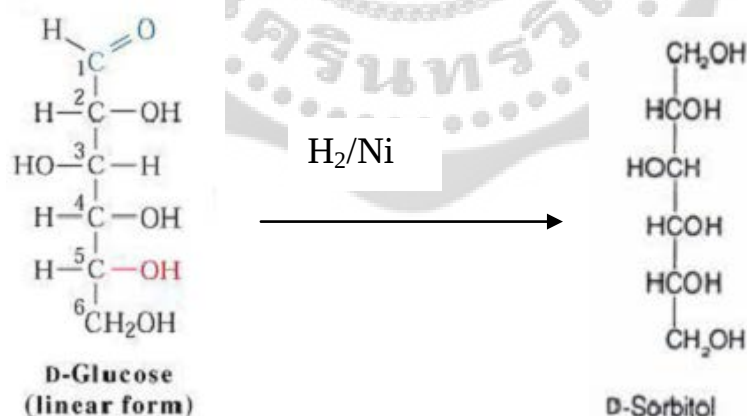
ดังกล่าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารในกลุ่มนี้มีรสหวานน้อยกว่าซูโครส และมีคุณสมบัติในการลดค่า water activity มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ สารดูดความชื้นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และกลูโคสไซรัป (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539; Gustavo *et al.*, 2007)

พอลิไฮดรริกแอลกอฮอล์ หมายถึง สารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น กลีเซอรอลและน้ำตาลแอลกอฮอล์ เป็นต้น โดยน้ำตาลแอลกอฮอล์หมายถึงอนุพันธ์ของน้ำตาลที่มีหมู่คีโตน หรือหมู่แอลดีไฮด์ ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มตามโครงสร้างทางเคมี คือ โมโนแซ็กคาไรด์แอลกอฮอล์ ได้แก่ ซอร์บิทอล แมนนิทอลและไซลิทอลซึ่งได้มาจากกลูโคส แมนโนส และไซโลส ตามลำดับ ไดแซ็กคาไรด์แอลกอฮอล์ ได้แก่ มอลทิทิล แลคทิทิล ซึ่งได้มาจาก มอลโทสและแลคโทสตามลำดับ ไอโซมอลท์ที่ได้มาจาก α -D-กลูโคไพราโนซิล-(1-6)-D-ซอร์บิทอล (GPS) และ α -D-กลูโคไพราโนซิล-(1-6)-D-แมนนิมอล ผสมกันในอัตราส่วน 1:1

สารดูดความชื้น

ซอร์บิทอล

ซอร์บิทอล มีสูตรเคมี คือ $C_6H_{14}O_6$ โดยทราบได้จากการทำรีดักชัน (reduction) ของหมู่คาร์บอนิล ($-C=O$) ของน้ำตาลแอลโดส เช่น D-กลูโคส และ น้ำตาลคีโตส เช่น D-ฟรุกโทส โดยวิธีการเติมไฮโดรเจนแบบอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น รานีนิกเกิล ที่อุณหภูมิ 120°C เพื่อเปลี่ยนหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลให้เป็นหมู่แอลกอฮอล์ ($-C-OH$) เรียกน้ำตาลแอลกอฮอล์นี้ว่าแอลดิทอล (alditol) ดังนั้นน้ำตาล D-กลูโคส จะเปลี่ยนเป็น D-กลูซิทอล หรือเรียกทั่วไปว่า ซอร์บิทอล (sorbitol)



ภาพที่ 5 การเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำตาล D-กลูโคส จะเปลี่ยนเป็น ซอร์บิทอล

ซอร์บิทอลมีลักษณะเป็นผงสีขาว มีความสามารถในการละลายน้ำประมาณ 235 กรัม/น้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และมีความสามารถในการดูดความชื้นได้สูง ทนความร้อนได้สูง มีระดับความหวานถ้าเปรียบความหวานของน้ำตาลซูโครสเป็น 100 น้ำตาลแอลกอฮอล์ซอร์บิทอล จะหวานประมาณ 50 นอกจากนี้ซอร์บิทอลยังให้พลังงานต่ำ โดยให้พลังงานเพียง 2 ใน 3 ของซูโครส (2.6 kcal/g) ซึ่งสามารถนำมาใช้กับผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานและเนื้อประเภทไส้กรอก (วรรณา ตูลยชัย. 2549 ; บุรฉัตร ศรีทองแท้. 2551)

กลีเซอรอล มีสูตรทางเคมีว่า $C_3H_8O_3$ จัดเป็นสารพวกไตรไฮดริกแอลกอฮอล์ มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้ดี มีจุดหลอมเหลว 17.8 องศาเซลเซียส จุดเดือด 290 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 1.261 มีความสามารถในการดูดความชื้นและลดค่า Aw ได้ดี มีความหนืดสูง และเป็น plasticizer ช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงความนุ่มนวล และมีความยืดหยุ่นดี นิยมใช้ทั้งในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอาง เช่น ช่วยให้เค้กคงความชุ่มชื้น ช่วยลดการเกิดปัญหา staling ควบคุมการระเหยของน้ำและการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้ง ทำให้เนื้อสัมผัสมีความนุ่ม

Torreggiani และคณะ (1995) ศึกษาผลของการใช้ซอร์บิทอลร่วมกับ hydrolyzed lactose syrup (HLS) ต่อคุณภาพของพริกหยวกแช่อิ่มอบแห้ง โดยใช้สารละลายผสมซอร์บิทอลกับ HLS ในอัตราส่วน 1:1 เปรียบเทียบกับการใช้ HLS เพียงชนิดเดียว อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส พบว่าพริกแดงที่ผ่านการแช่ในสารละลายซอร์บิทอลมีค่า Aw ต่ำกว่าในขณะที่มีปริมาณความชื้นสูงกว่าการไม่เติมซอร์บิทอล นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ซอร์บิทอลช่วยให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีเนื้อนุ่มกว่าเมื่อไม่เติมซอร์บิทอล ทั้งนี้เนื่องจากซอร์บิทอลมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น ได้ดีจึงสามารถลดค่า Aw และคงความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

Guzman และ Hegarty (2000) ศึกษาการใช้กลีเซอรอลในการช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลูกเกด โดยมีการเพิ่มความชื้นในลูกเกดโดยการแช่ในน้ำอุ่น ที่อุณหภูมิ 130 องศาฟาเรนไฮด์ เป็นเวลา 1-2 นาที จากนั้นนำลูกเกดที่ได้มาบรรจุในถังสำหรับการแพร่ (infusion vessel) ลูกเกดเล็กกับกลีเซอรอลปริมาณ 18-23% มีการกวนทุก 3 นาที พบว่าการใช้อุณหภูมิ 130 องศาฟาเรนไฮด์ เป็นเวลา 16 นาที มีผลทำให้กลีเซอรอลแพร่เข้าไปในเนื้อลูกเกดได้ดีที่สุด ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีความอ่อนนุ่ม และมีความชื้นสูงทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นที่ดี

นิราศ กิ่งวาที (2546) ศึกษาผลของการใช้สารดูดความชื้น 3 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และมอลโตเด็คซ์ตริน ต่อคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ที่เตรียมโดยใช้สารละลายผสมของน้ำตาลซูโครสร่วมกับสารดูดความชื้นเป็นสารออสโมติกในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ 0, 10, 20 และ 30% พบว่าที่ระดับการใช้สารดูดความชื้น 30% สับปะรดที่ใช้กลีเซอรอลมีค่า water activity ต่ำที่สุด รองลงมาคือซอร์บิทอลและมอลโตเด็คซ์ตริน โดยเมื่อใช้สารดูดความชื้นในระดับ

ความเข้มข้นที่สูงขึ้น ในด้านเนื้อสัมผัสพบว่า การใช้กลีเซอรอลจะทำให้เนื้อสัมผัสนิ่มลง ส่วนซอร์บิทอลนั้นไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของสับปะรดเชื่อมอบแห้ง ในขณะที่การใช้น้ำตาลร่วมกับกลีเซอรอลนั้น ที่ระดับความเข้มข้น 20% ได้รับคะแนนในด้านสี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมมากที่สุด



บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

แคนตาลูปที่ใช้ในการทดลองใช้แคนตาลูปเนื้อสีส้มพันธุ์ชั้นเลิศ (*Cucumis melo* L.) โดยใช้แคนตาลูปที่อยู่ในระยะพัฒนาเต็มที่ (รอยแตกที่ขั้วมากกว่า 50%) น้ำหนักผลประมาณ 1.5-1.8 กิโลกรัมจากจังหวัดสระแก้ว

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูป

เก็บตัวอย่างแคนตาลูปมาทำความสะอาด ปอกเปลือก เอาไส้ออก แล้ววิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพในส่วนเนื้อ ดังนี้

3.2.1 คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ hand refractometer
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด (Rangana, 1986)
- ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (Rangana, 1986)
- ความเป็นกรดค่าโดยใช้ pH meter

3.2.2 คุณภาพทางกายภาพ

- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Hardness) โดยใช้ Texture analyzer
- ค่าสี ในระบบ L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสี

3.3 ศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส

ศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส โดยมีปัจจัยการศึกษาดังนี้

- ชนิดของสารกลุ่มแคลเซียม 2 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลกเตท
- ความเข้มข้นของสารแคลเซียมแต่ละชนิด 3 ระดับได้แก่ 0, 2 และ 3%

ทำการทดลองโดยการแช่แคนตาลูป (รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 3 m ยาว 3.5 cm สูง 1 cm) อัตราส่วนเนื้อแคนตาลูปต่อสารละลาย 1:3 โดยใช้ระยะเวลาในการแช่ 3 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางด้านต่างๆดังนี้

3.3.1 คุณภาพทางด้านกายภาพ

- วัดค่าเนื้อสัมผัส (Hardness) ของแคนตาลูปโดยใช้เครื่อง Texture analyzer

3.3.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 30 คน โดยวิธีการ 9-point hedonic scale ซึ่งประเมินผลในด้านรส และเนื้อสัมผัส

3.3.3 การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD ; Completely Randomized design) โดยแต่ละค่าที่ทำการวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์อย่างน้อย 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA; Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดทดลองโดยใช้ Duncan's new multiple range test โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.4 ศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อบแห้ง

นำแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมในข้อ 3.3 (โดยเลือกชนิดของสารเคลือบ ความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาร่วมกันระหว่าง ค่าความแข็งของแคนตาลูปและผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส) มาศึกษาวิธีการออสโมซิส 2 วิธี ได้แก่ กระบวนการออสโมซิสแบบช้า และกระบวนการออสโมซิสแบบเร็ว ดังนี้

3.4.1 กระบวนการออสโมซิสแบบเร็ว

นำแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมจากข้อ 3.3 มาแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 50% ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (อัตราส่วนของเนื้อแคนตาลูปต่อสารละลายเท่ากับ 1:3) จากนั้นนำตัวอย่างมาล้างด้วยน้ำอุ่น (60°C) เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 20%

3.4.2 กระบวนการออสโมซิสแบบช้า

นำแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมจากข้อ 3.3 มาแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 30, 40 และ 50% โดยเริ่มต้นแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส 30% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นเป็น 40% แช่ไว้เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง และจากนั้นปรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นเป็น 50% แช่ไว้เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำตัวอย่างมาล้างด้วยน้ำอุ่น (60°C) เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 20%

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากทั้ง 2 วิธีการนำวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

3.4.3 ติดตามการถ่ายเทมวลสารตลอดช่วงของการออสโมซิส โดยเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (solid gain) และอัตราการสูญเสีย น้ำ (water loss)

3.4.4 ติดตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นและน้ำหนักตลอดช่วงของการทำแห้ง

3.4.5 คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)
- ค่า water activity
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด (Rangana, 1986)
- ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (Rangana, 1986)
- ความเป็นกรดโดยใช้ pH meter

3.4.6 คุณภาพทางกายภาพ

- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Hardness) โดยใช้ Texture analyzer
- ค่าสี ในระบบ L*, a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดสี

3.4.7 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 30 คน โดยใช้วิธีการ 9-point hedonic scale ซึ่งประเมินผลในด้าน สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรสและความชอบโดยรวม

3.4.8 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD; Completely Randomized Design) โดยแต่ละค่าที่ทำการวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์อย่างน้อย 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดทดลองโดยใช้ paired-t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.5 ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพแคนตาลูปแช่แข็ง

นำแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมในข้อ 3.3 (โดยเลือกชนิดของสารเคลือบ ความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาร่วมกันระหว่างอัตราการซึมเข้าของเคลือบ ค่าความแข็งของแคนตาลูปและผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส) จากนั้นนำแคนตาลูปไปแช่ในสารละลายออสโมติก (น้ำตาลซูโครส) ซึ่งผสมกับสารดูดความชื้นได้แก่ สารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับกลีเซอรอล สารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับกลูโคสไซรัป และสารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับซอร์บิทอล ในความเข้มข้นดังแสดงในตารางที่ 3 ในทุกชุดการทดลองใช้อัตราส่วนของเนื้อแคนตาลูปต่อสารละลายเท่ากับ 1:3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนของน้ำตาลซูโครส และ กลีเซอรอล/กลูโคส/ไซรัป/ซอร์บิทอล ที่ใช้ในการทดลอง

ซูโครส (%)	กลีเซอรอล/กลูโคส/ไซรัป/ซอร์บิทอล (%)
50	0
40	10
30	20

โดยในการทดลองจะเริ่มต้มน้ำเชื่อมในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40% เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นจะเปลี่ยนไปใช้ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการผสมกับสารดูดความชื้นดังแสดงในตารางที่ 3 อีกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแคปซูลทุกชุดการทดลองมาทำการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 20%

วิเคราะห์ค่าต่างๆเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 3.4

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปสด

แคนตาลูปที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นพันธุ์ชั้นเลิศที่อยู่ในระยะที่พัฒนาเต็มที่ (รอยร้าวบริเวณขั้วมากกว่า 50%) น้ำหนักผลประมาณ 1.5 กิโลกรัม นำมาล้างผ่านการปอกเปลือก เอาไส้ออก แล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพโดยในการผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบและควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอ ในงานวิจัยนี้จึงมีการตรวจสอบคุณภาพของแคนตาลูปเบื้องต้นทั้งทางเคมีและกายภาพ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปสด

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย
ปริมาณความชื้น (% น้ำหนักเปียก)	94.77 ± 0.14
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)	9.50 ± 0.00
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/100g)	3.54 ± 0.56
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/100g)	8.33 ± 0.76
ค่าความเป็นกรด (% as citric acid)	0.14 ± 0.00
ค่า pH	7.17 ± 0.15
ค่าความแข็ง (Hardness, gf)	5.34 ± 0.31
ค่าสีของแคนตาลูป L*	62.70 ± 1.05
a*	8.27 ± 1.13
b*	18.63 ± 1.22

จากการวิเคราะห์พบว่า แคนตาลูปมีความชื้นร้อยละ 94.77 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 7.10 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 3.54 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 7.33 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 0.14 ค่า pH เท่ากับ 7.17 ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Villanueva และคณะ (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแคนตาลูปในระหว่างการสุก พบว่าแคนตาลูปที่อยู่ในระยะเริ่มแก่จนถึงระยะสุกพร้อมบริโภคจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 9.10-14.60 และมีค่าใกล้เคียงกับคุณภาพของแคนตาลูปที่รายงานโดย USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2005) โดยสมบัติเหล่านี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับความสุกของแคนตาลูปได้ และจากรายงานของ Bianco และคณะ (1977) พบว่าผลไม้ที่มีคุณภาพดีจะต้องมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ในทางการค้าจะยอมรับผลิตภัณฑ์แคนตาลูปสดที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 8

4.2 ศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส

ปัญหาด้านคุณภาพที่มักพบมากในผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง ได้แก่ รสชาติที่หวานจัด และลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการ เช่น เนื้อสัมผัสที่แห้งแข็ง เหี่ยวยุ่น จากปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้จากการเตรียมตัวอย่างก่อนการแปรรูป โดยมีการใช้สารเคมีเข้ามาช่วย เช่น สารกลุ่มแคลเซียม

ตารางที่ 5 ค่าความแข็งของแคนตาลูปสดเมื่อแช่ในสารละลายแคลเซียมชนิดต่างๆ

ชุดการทดลอง	ค่าความแข็ง (gf)
ชุดควบคุม	4.87 ± 0.25^c
Calcium chloride 2%	5.67 ± 0.33^b
Calcium chloride 3%	6.85 ± 0.32^a
Calcium lactate 2%	5.32 ± 0.22^b
Calcium lactate 3%	6.97 ± 0.24^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 6 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมชนิดต่างๆ

ชุดการทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส		
	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความชอบรวม
ชุดควบคุม	7.17 ± 0.85^a	7.57 ± 1.22^a	7.51 ± 1.08^a
Calcium chloride 2%	7.18 ± 1.08^a	4.32 ± 1.75^b	4.51 ± 1.05^b
Calcium chloride 3%	7.54 ± 1.04^a	3.18 ± 1.32^b	4.05 ± 0.93^b
Calcium lactate 2%	7.22 ± 1.32^a	7.01 ± 1.48^a	7.13 ± 1.15^a
Calcium lactate 3%	7.74 ± 1.59^a	7.21 ± 1.37^a	7.27 ± 1.20^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การใช้สารประกอบแคลเซียมมาช่วยในการ pretreatment เพื่อช่วยรักษาความคงรูปของเนื้อผลไม้ แคลเซียมที่นิยมนำมาใช้จะนิยมใช้ในรูปของเกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมแลคเตต แคลเซียมซิเตต และแคลเซียมซัลเฟต เป็นต้น

จากการศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิสต่อค่าความแข็งของชิ้นแคนตาลูปดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า ค่าความแข็งในทุกชุดการทดลองที่มีการแช่สารละลายแคลเซียมจะให้ค่าความแข็งสูงกว่าชุดการทดลองควบคุม (แคนตาลูปสด ไม่มีการแช่สารละลายใดๆ) ($P < 0.05$) จากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการรักษาความคงรูปของผลิตภัณฑ์ได้ การที่แคลเซียมคลอไรด์สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้เนื่องจากแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินและผนังเซลล์ของผลไม้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างหมู่คาร์บอกซิลบนสายเพคตินสายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสายเพคตินอีกสายหนึ่งเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg-box model เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคตินที่ไม่ละลายน้ำจึงทำให้เนื้อผลไม้มีความแข็งแรงและคงตัวอยู่ได้ (จิราพร กอศรีลบุตร, 2549) นอกจากนี้แคลเซียมไอออนยังช่วยในการรักษาความเสถียรของเซลล์เมมเบรน โดยช่วยชะลอการสลายตัวของ galactolipid และเมื่อพิจารณาถึงผลของความเข้มข้นของแคลเซียมต่อค่าความแข็ง

ของชิ้นแคนตาลูปพบว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมที่ใช้สูงขึ้น ค่าความแข็งของแคนตาลูปมีค่าสูงขึ้นโดยค่าความแข็งของแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ให้ค่าความแข็งที่สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Luna-Guzman *et al.*, (1999) ศึกษาผลของการแช่แคนตาลูปชนิดพร้อมบริโภค (fresh-cut) ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแคนตาลูป พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าสู่เนื้อแคนตาลูปก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นและมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย และที่ระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 2.5 พบว่าแคนตาลูปที่เวลาการแช่ 5 นาที จะมีค่าความแข็งมากกว่าแคนตาลูปที่ทำการแช่ 2.5 และ 1 นาที ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงผลของชนิดของสารกลุ่มแคลเซียมที่ใช้ในการแช่ต่อค่าความแข็งของชิ้นแคนตาลูปพบว่า ชุดการทดลองที่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะให้ค่าความแข็งสูงกว่าชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายแคลเซียมแล็กเตท ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคลเซียมคลอไรด์เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้แคลเซียมมากกว่าแคลเซียมแล็กเตทส่งผลให้สามารถเกิดสารประกอบระหว่างเพคตินมากกว่า ค่าความแข็งจึงมีค่าสูงกว่า (Pereira *et al.*, 2007)

ผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส แสดงในตารางที่ 6 โดยจากผลการทดลองพบว่าคะแนนด้านคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นแคนตาลูปไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลองที่ศึกษา ($P>0.05$) ส่วนคะแนนด้านคุณลักษณะของกลิ่นรสพบว่าชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ให้ค่าคะแนนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายแคลเซียมแล็กเตท ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะให้รสขมส่งผลให้รสชาติของแคนตาลูปไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ส่วนชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายแคลเซียมแล็กเตทให้คะแนนด้านกลิ่นรสไม่แตกต่างจากชุดควบคุม และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมพบว่าชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ให้คะแนนการยอมรับต่ำที่สุด เช่นเดียวกัน โดยเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมลดต่ำลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรสขมของสารละลาย และจากการทดลองของ Luna-Guzman และ Barrett (2000) ที่ศึกษาผลของการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในแคนตาลูปพร้อมบริโภค (fresh-cut) พบว่าแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นคือจากความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 2 จะมีคะแนนสำหรับการรับรู้รสขมเพิ่มขึ้นจาก 4.8 เป็น 5.8 ตามลำดับ

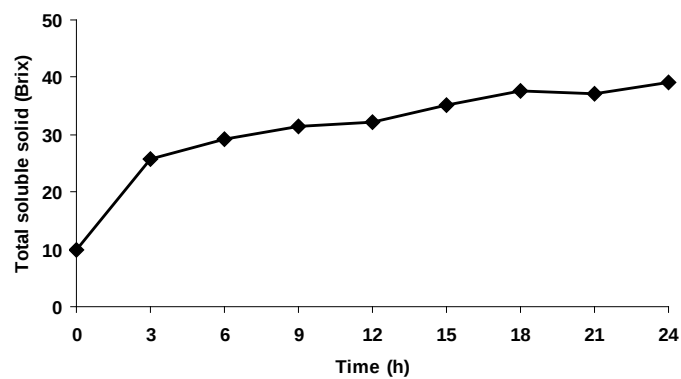
ดังนั้นจากการทดลองการศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของจีนแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิสจึงเลือกชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายแคลเซียมแลกเตทที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ในการทำ pretreatment ในก่อนกระบวนการออสโมซิสเนื่องจากให้ค่าความแข็งสูงและให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

4.3 การศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง

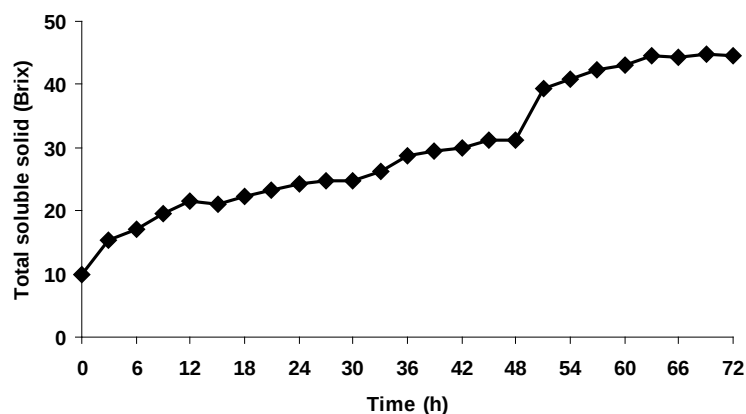
วิธีการออสโมซิสหรือกระบวนการแช่อิ่มผักผลไม้ นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีได้แก่ การแช่อิ่มแบบเร็ว คือ การแช่ผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงเพียงครั้งเดียว การแช่อิ่มด้วยวิธีนี้จะใช้เวลาสั้น ซึ่งผลไม้แช่อิ่มจะมีลักษณะเหี่ยวยุบ มีสีน้ำตาลเข้ม มีรสหวานไม่สม่ำเสมอมีเนื้อสัมผัสเหนียวและแข็ง และการแช่อิ่มแบบช้า คือ การแช่อิ่มผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีหลายความเข้มข้น โดยเริ่มจากการแช่ผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นต่ำก่อนแล้ว ทำการแช่อิ่มผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยที่แต่ละความเข้มข้นจะใช้เวลาในการแช่ 24 ชั่วโมง และจะมีการเพิ่มความเข้มข้นขึ้นร้อยละ 10 จนกระทั่งผลไม้แช่อิ่มมีความเข้มข้นมากเพียงพอกับความต้องการ (จินตนา, 2546) อย่างไรก็ตามการแช่อิ่มแบบช้านี้มีข้อเสียคือใช้เวลานานและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิต นอกจากนี้ผลไม้แต่ละชนิด อาจจะทำให้ลักษณะเมื่อผ่านการแช่อิ่มแบบเร็วและแบบช้าแตกต่างกัน

4.3.1 ผลของวิธีการออสโมซิสหรือวิธีการแช่อิ่มต่อการถ่ายโอนมวลสารของแคนตาลูป

จากการทดลองศึกษาผลของวิธีการแช่อิ่ม 2 วิธี ได้แก่ วิธีการแช่อิ่มแบบเร็วและวิธีการแช่อิ่มแบบช้า ในการแช่อิ่มแคนตาลูป ต่อการถ่ายโอนมวลสารในระหว่างการแช่อิ่มได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7 โดยพบว่าในกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วนี้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 3 ชั่วโมงแรกของการแช่อิ่ม จากนั้นการเพิ่มขึ้นจะช้าลง และมีแนวโน้มที่จะคงที่จนถึงชั่วโมงที่ 24 ของการแช่อิ่ม ($P < 0.05$) ส่วนการแช่อิ่มแบบช้านี้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในจีนแคนตาลูปค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึงในชั่วโมงที่ 48 ของการแช่อิ่มมีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นจะช้าลงและคงที่จนถึงชั่วโมงที่ 72 ของการแช่อิ่ม



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการแช่ส้มแคนตาลูปโดยวิธีการแช่แบบเร็ว

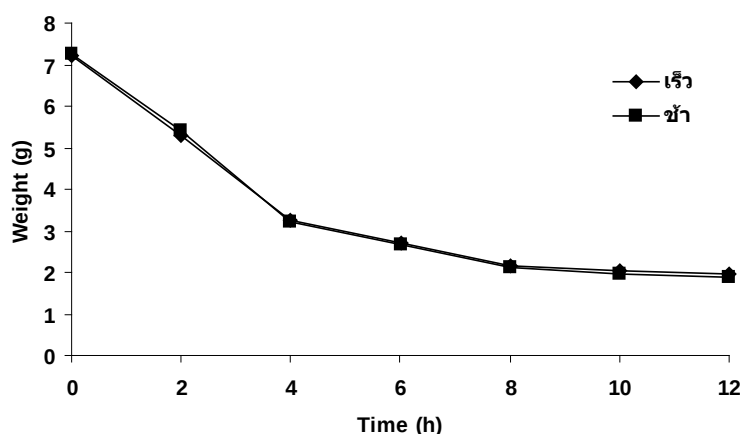


ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการแช่ส้มแคนตาลูปโดยวิธีการแช่แบบช้า

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในชิ้นแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ส้มทั้งสองวิธีพบว่า วิธีการแช่แบบช้าจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์สูงกว่าวิธีการแช่แบบเร็ว ($P < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่แบบช้านี้ใช้เวลาในการแช่ส้มแบบเร็วจึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสุดท้ายในแคนตาลูปที่แช่แบบช้าสูงกว่าการแช่แบบเร็ว

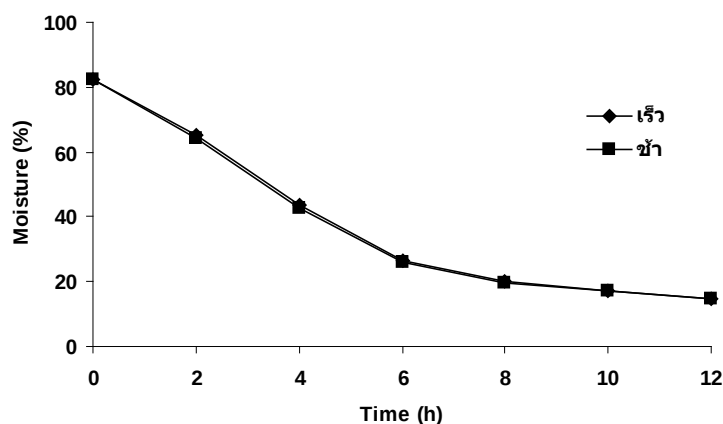
4.3.2 ผลของวิธีการออสโมซิสต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและน้ำหนักในระหว่างการทำแห้ง

จากการทดลองศึกษาผลของวิธีการแช่แข็ง 2 วิธี ได้แก่ วิธีการแช่แข็งแบบเร็วและวิธีการแช่แข็งแบบช้า ในการแช่แข็งแคนตาลูป ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแคนตาลูปแช่แข็งอบแห้งได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 8 โดยพบว่าค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่แข็งอบแห้งที่ผลิตจากกระบวนการแช่แข็งแบบช้าและกระบวนการแช่แข็งแบบเร็ว มีการลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการทำแห้ง ($P < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อการลดลงของน้ำหนัก โดยในระหว่างการทำแห้งนั้นความชื้นจะมีการระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างต่อเนื่องและเมื่อพิจารณาถึงผลของวิธีการแช่แข็งต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในระหว่างการทำแห้ง พบว่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในระหว่างการทำแห้งของแคนตาลูปที่แช่แข็งด้วยกระบวนการแช่แข็งแบบช้าและแบบเร็วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงว่าวิธีการแช่แข็งทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อการลดลงของน้ำหนักในระหว่างการทำแห้ง



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในระหว่างการทำแห้งแคนตาลูปแช่แข็งที่ผลิตโดยวิธีการแช่แข็งแบบช้าและวิธีการแช่แข็งแบบเร็ว

จากการทดลองศึกษาผลของวิธีการแช่แข็งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของแคนตาลูปแช่แข็งอบแห้งในระหว่างการทำแห้งได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 9 โดยพบว่าค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่แข็งอบแห้งที่ผลิตจากกระบวนการแช่แข็งแบบช้าและกระบวนการแช่แข็งแบบเร็ว มีการลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการทำแห้ง ($P < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อการลดลงของน้ำหนัก โดยในระหว่างการทำแห้งนั้นความชื้นจะมีการระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งสอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในระหว่างการทำแห้ง



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งแคนตาลูปแช่อิ่มที่ผลิตโดยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว

เมื่อพิจารณาถึงผลของวิธีการแช่อิ่มต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในระหว่างการทำแห้ง พบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งของแคนตาลูปที่แช่อิ่มด้วยกระบวนการแช่อิ่มแบบช้าและแบบเร็ว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าวิธีการแช่อิ่มทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อการลดลงของความชื้นในระหว่างการทำแห้ง

4.3.3 ผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง

จากการทดลองศึกษาผลของวิธีการแช่อิ่ม 2 วิธี ได้แก่ วิธีการแช่อิ่มแบบเร็วและวิธีการแช่อิ่มแบบช้า ในการแช่อิ่มแคนตาลูป ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7 โดยพบว่าค่าสีของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตจากกระบวนการแช่อิ่มแบบช้าและกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็ว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าวิธีการแช่อิ่มทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เมื่อพิจารณาถึงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์พบว่าแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มแบบช้ามีความแข็งน้อยกว่าแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มแบบเร็ว ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่อิ่มแบบเร็วนั้นเกิดการหดตัวของผลิตภัณฑ์มากกว่าเนื่องจากการแช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดแรงดันออสโมติกมากส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลสารอย่างรวดเร็ว เซลล์จึงเกิดการหดตัวมากกว่ากระบวนการแช่อิ่มแบบช้า ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเหนียวเมื่อวัดค่าแรงตัดโดยใช้เครื่อง Texture analyzer จึงใช้แรงในการตัดผลิตภัณฑ์ให้ขาดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว

คุณสมบัติทางกายภาพ/ชุดการทดลอง	การแช่อิ่มแบบเร็ว	การแช่อิ่มแบบช้า
L*	57.28 ± 0.25^a	55.11 ± 0.37^a
a*	13.45 ± 0.92^a	14.03 ± 0.40^a
b*	20.84 ± 1.13^a	21.08 ± 0.39^a
ค่าความแข็ง (Hardness, N)	20.24 ± 3.77^a	18.15 ± 0.63^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3.4 ผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณสมบัติทางเคมีของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง

จากการทดลองศึกษาผลของวิธีการแช่อิ่ม 2 วิธี ได้แก่ วิธีการแช่อิ่มแบบเร็วและวิธีการแช่อิ่มแบบช้า ในการแช่อิ่มแคนตาลูป ต่อคุณสมบัติทางเคมีของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8 โดยจากการศึกษาพบว่าค่า pH ของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มแบบช้าและแบบเร็วมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณกรดทั้งหมดพบว่าแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มแบบช้ามีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่าแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มแบบเร็ว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดอินทรีย์ในผลไม้ไม่มีความสามารถละลายน้ำได้จึงแพร่ผ่านตัวอย่างไปยังสารละลายออสโมติกได้ และการแช่อิ่มแบบช้าใช้เวลาในการแช่อิ่มนานกว่าจึงส่งผลให้เกิดการละลายของกรดอินทรีย์จากชิ้นตัวอย่างได้มากกว่า โดยในระหว่างการแช่อิ่มนั้นจะเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายภายนอกเกิดเป็นแรงขับ (driving force) ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้และสารละลายภายนอกจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าโดยผ่านเซลล์เมมเบรนของผลไม้ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Ponting *et al.*, 1966) โดยการถ่ายโอนมวลจะเกิดขึ้นในทิศทางสวนกัน (counter current flow) น้ำภายในเซลล์ผลไม้จะแพร่ออกสู่สารละลาย ในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายจะแพร่เข้าสู่เซลล์ของผลไม้ และมีสารบางอย่างเช่น กรดอินทรีย์ วิตามิน และเกลือแร่ในเนื้อเยื่อผลไม้ จะแพร่ออกสู่สารละลายได้ (Raoult-Wack, 1994)

เมื่อพิจารณาค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและแบบเร็ว พบว่าแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็ว มีค่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ต่ำกว่าแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยกระบวนการแช่อิ่มแบบช้า ($P < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการแช่อิ่มแบบช้านั้นใช้การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเป็นระดับ ทำให้เป็นการเพิ่มอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (solid gain) ในระหว่างการแช่อิ่มได้ดี ปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์จึงสูงกว่าการแช่อิ่มแบบเร็วซึ่งเป็นการใช้ความเข้มข้นของสารละลายความเข้มข้นสูงเพียงครั้งเดียว (Korsrilabut *et al.*, 2010)

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางเคมีของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว

คุณสมบัติทางเคมี/ชุดการทดลอง	การแช่อิ่มแบบเร็ว	การแช่อิ่มแบบช้า
pH	5.44 ± 0.13^a	5.72 ± 0.13^a
ปริมาณกรดทั้งหมด (% กรดซิตริก)	0.10 ± 0.01^a	0.07 ± 0.00^b
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/100g)	12.94 ± 0.34^b	14.11 ± 0.53^a
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/100g)	40.05 ± 0.70^b	44.57 ± 0.68^a
ความชื้น (%)	14.65 ± 0.44^a	14.08 ± 0.53^b
a_w	0.71 ± 0.01^a	0.72 ± 0.01^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการทดลองศึกษาผลของวิธีการแช่อิ่ม 2 วิธี ได้แก่ วิธีการแช่อิ่มแบบเร็วและวิธีการแช่อิ่มแบบช้า ในการแช่อิ่มแคนตาลูป ต่อค่าความชื้นและค่า a_w ของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8 โดยพบว่าค่าความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตจากกระบวนการแช่อิ่มแบบช้าและกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงว่าวิธีการแช่อิ่มทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อค่าความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

4.3.5 ผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยวิธีการแช่อิ่ม 2 วิธี ได้แก่ วิธีการแช่อิ่มแบบช้าและวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว โดยใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ทดสอบคุณภาพในด้านต่างๆคือ สี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรสและความชอบรวม โดยใช้ผู้บริโภครวม 60 คน ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9 โดยจากผลการทดลองพบว่า ทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ทำการประเมินของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตจากกระบวนการแช่อิ่มแบบช้าและกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าวิธีการแช่อิ่มทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ดังนั้นจึงเลือกวิธีการแช่อิ่มแบบเร็วเพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากเป็นการประหยัดเวลาและพลังงานในการบวนการแปรรูปมากกว่ากระบวนการแช่อิ่มแบบช้า

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว

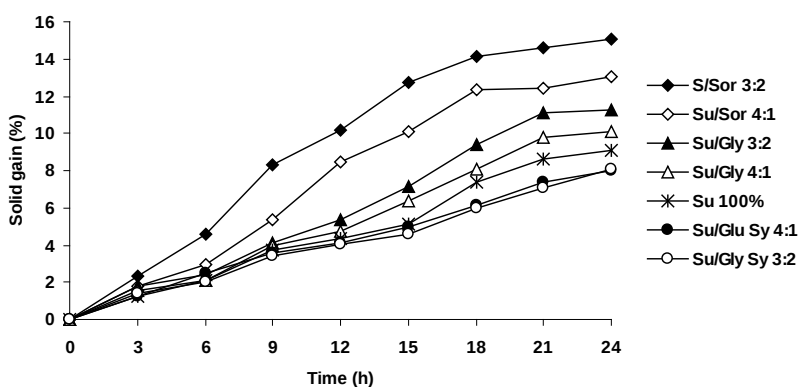
คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส/ชุดการทดลอง	การแช่อิ่มแบบเร็ว	การแช่อิ่มแบบช้า
สี	6.70 ^b	6.91 ^a
ลักษณะปรากฏ	6.34 ^b	7.03 ^a
เนื้อสัมผัส	6.03 ^b	7.15 ^a
กลิ่นรส	6.33 ^a	6.59 ^a
ความชอบรวม	6.45 ^a	6.83 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.4 การศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพแคนตาลูปแช่แข็ง

4.4.1 ผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อการถ่ายโอนมวลสารของแคนตาลูป

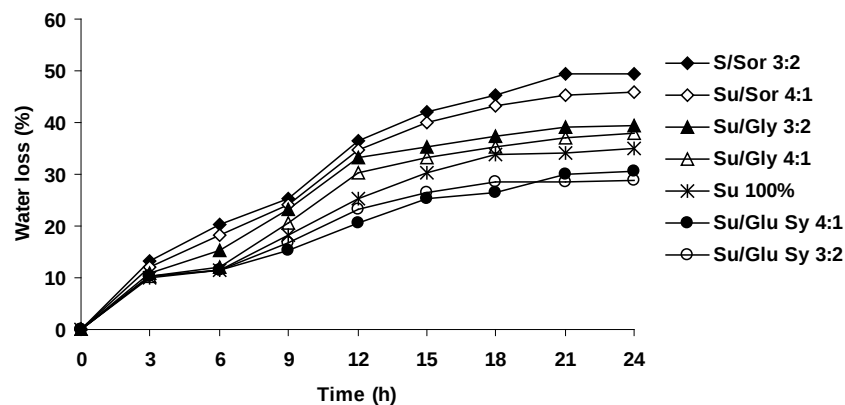
จากการทดลองศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น โดยใช้สารดูดความชื้น 3 ชนิดได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอลและกลูโคสไฮริป และศึกษาอัตราส่วนในการผสม 2 อัตราส่วนคือ ซูโครสต่อสารดูดความชื้น อัตราส่วน 4:1 และ 3: 1 ต่อการถ่ายโอนมวลสารในระหว่างการแช่แข็งได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 10 และ 11 โดยจากการทดลองพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (Solid gain, SG) และอัตราการสูญเสียน้ำ (Water loss, WL) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการแช่แข็งเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง ($P < 0.05$) โดยในระหว่างการแช่แข็งนั้นจะเกิดการถ่ายโอนมวลระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้และสารละลายภายนอกจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าโดยผ่านเซลล์เมมเบรนของผลไม้ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน โดยการถ่ายโอนมวลจะเกิดขึ้นในทิศทางสวนกัน (counter current flow) น้ำภายในเซลล์ผลไม้จะแพร่ออกสู่สารละลาย ในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายซึ่งในที่นี้คือน้ำตาลซูโครสและสารดูดความชื้นจะแพร่เข้าสู่เซลล์ของผลไม้ และมีสารบางอย่างเช่น กรดอินทรีย์ วิตามิน และเกลือแร่ในเนื้อเยื่อผลไม้ จะแพร่ออกสู่สารละลายแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นในระหว่างการแช่แข็ง



ภาพที่ 10 อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งระหว่างการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นในอัตราส่วนต่างๆ

เมื่อพิจารณาถึงผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดต่อการถ่ายโอนมวลสาร ในระหว่างการเชื่อมพบว่าชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับซอร์บิทอล มีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสีย น้ำสูงที่สุด ($P < 0.05$) รองลงมาคือชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับกลีเซอรอล และชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส 100% และชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับกลูโคสไซรัปมีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสีย น้ำต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่แคนตาลูปในสารละลายซอร์บิทอลนั้น ซอร์บิทอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าซูโครสจึงสามารถแพร่ผ่านเซลล์ของแคนตาลูปได้ง่ายกว่าซูโครส โดยเมื่ออัตราส่วนของซอร์บิทอลเพิ่มขึ้นอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสีย น้ำจะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสและกลีเซอรอลนั้น ให้อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสีย น้ำลดต่ำและต่ำกว่าชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอล ถึงแม้ว่ากลีเซอรอลจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่ากลีเซอรอล แต่สารละลายกลีเซอรอลนั้นให้ความหนืดสูงกว่าสารละลายซอร์บิทอล โดยความหนืดเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการถ่ายโอนมวลสารในระหว่างการเชื่อม โดยหากสารละลายออสโมติกมีความหนืดสูงจะส่งผลให้การถ่ายโอนมวลสารในระหว่างการเชื่อมเกิดขึ้นได้ช้า ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสีย น้ำของชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายซูโครสผสมกับกลีเซอรอลจึงต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายผสมระหว่างซูโครสและซอร์บิทอล และนอกจากนี้เมื่อความเข้มข้นของกลีเซอรอลสูงขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดของสารละลายออสโมติกเพิ่มสูงขึ้นด้วย อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสีย น้ำก็จะเกิดช้าลง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Guillemain และคณะ (2008) ที่ศึกษาผลของความหนืดของสารละลายออสโมติก ต่อการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าไปในชิ้นแอปเปิ้ลในระหว่างการเชื่อม พบว่าเมื่อสารละลายออสโมติกมีความหนืดสูงขึ้น ตัวถูกละลายจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของชิ้นแอปเปิ้ลได้น้อยลง ส่วนชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลูโคสไซรัปนั้นให้อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสีย น้ำสูงต่ำที่สุดทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลูโคสไซรัปนั้นเป็นอนุพันธ์ของแป้ง ได้จากการย่อยสลายแป้งให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าซอร์บิทอลและกลีเซอรอล นอกจากนี้สารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลูโคสไซรัปนั้นมีความหนืดสูงกว่าสารละลายผสมระหว่างซูโครสและซอร์บิทอลและสารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลีเซอรอล จึงส่งผลให้ชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายผสมระหว่างซูโครสและกลูโคสไซรัปมีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสีย น้ำต่ำที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสไซรัปก็จะส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสีย น้ำลดต่ำลงด้วยเช่นเดียวกัน อันเนื่องมาจากความหนืดของสารละลายออสโมติกที่สูงขึ้น ดังนั้นการใช้สารละลายผสมระหว่าง

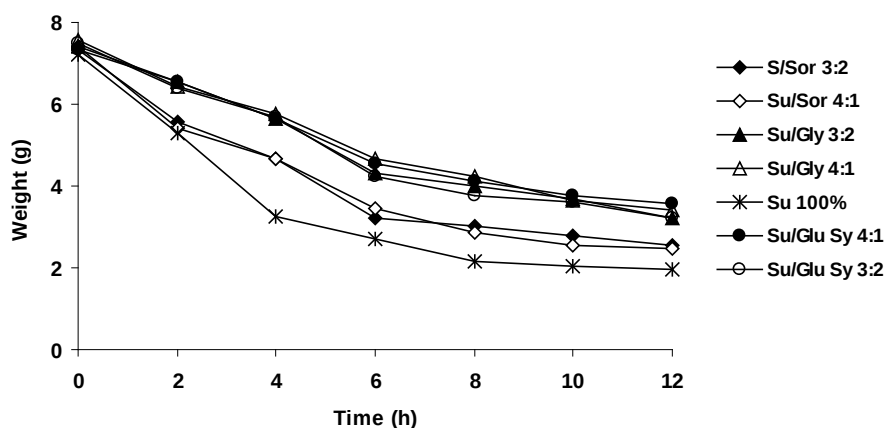
น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลและกลีเซอรอลสามารถเพิ่มอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสียน้ำในระหว่างการแช่แข็งให้สูงขึ้น ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในการแช่แข็งให้สั้นลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับ การแช่แข็งในสารละลายซูโครส 100%



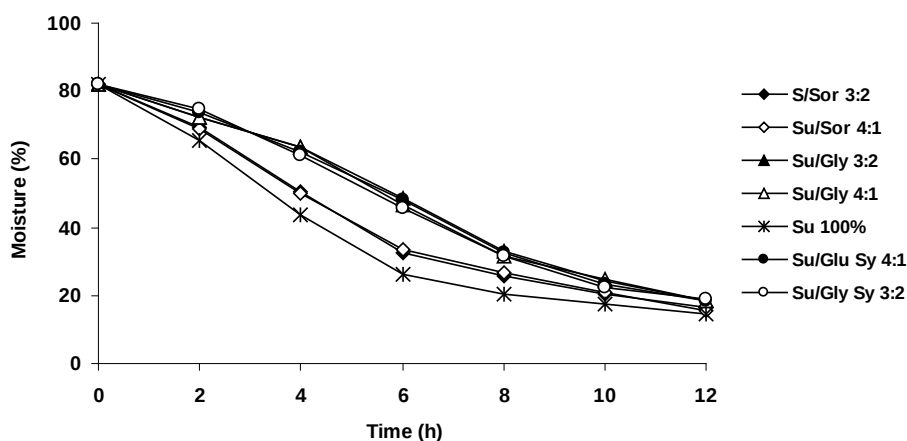
ภาพที่ 11 อัตราการสูญเสียน้ำระหว่างการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่มีการผสมสารลดความชื้นในอัตราส่วนต่างๆ

4.4.2 ผลของการใช้น้ำตาลซูโครสรวมกับการใช้สารลดความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและน้ำหนักในระหว่างการทำแห้ง

จากการทดลองศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสรวมกับการใช้สารลดความชื้น โดยใช้สารลดความชื้น 3 ชนิด ได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอลและกลูโคสไซรัป และศึกษาอัตราส่วนในการผสม 2 อัตราส่วนคือ ซูโครสต่อสารลดความชื้น อัตราส่วน 4:1 และ 3: 1 ต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและน้ำหนักในระหว่างการแช่แข็งได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12 โดยจากการทดลองพบว่าค่าความชื้นและน้ำหนักของแคนตาลูปมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการทำแห้งในทุกชุดการทดลอง ($P < 0.05$) เนื่องจากมีการระเหยออกของน้ำทำให้ความชื้นและน้ำลงของชิ้นแคนตาลูปลดลง



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในระหว่างการทำแห้งแคนตาลูปแช่แข็งที่ใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสและผสมกับสารดูดความชื้นในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการทำแห้งแคนตาลูปแช่แข็งที่ใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสและผสมกับสารดูดความชื้นในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงผลของการใช้น้ำตาลซูโครสรวมกับการใช้สารดูดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและน้ำหนักในระหว่างการทำแห้งพบว่าชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับสารดูดความชื้นทุกชนิดมีอัตราการลดลงของน้ำหนักและค่าความชื้นต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส 100% ทั้งนี้เนื่องมาจากสารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอลและกลูโคสไซรัปมีคุณสมบัติในการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำในอาหารส่งผลให้มีปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ลดลง และมี

ปริมาณของ bound water เพิ่มขึ้น โดยน้ำอิสระนั้นมีความสามารถในการระเหยได้ง่ายกว่า ส่วน bound water นั้นมีความสามารถในการระเหยต่ำกว่า ดังนั้นชุดการทดลองที่มีการแช่สารละลายผสมระหว่างซูโครสและสารดูดความชื้นจึงมีปริมาณของน้ำอิสระลดลง ส่งผลให้การลดลงของความชื้นและน้ำหนักต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส 100%

4.4.3 ผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่หมอบแห้ง

จากการทดลองศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น โดยใช้สารดูดความชื้น 3 ชนิดได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอลและกลูโคสไซรัป และศึกษาอัตราส่วนในการผสม 2 อัตราส่วนคือ ซูโครสต่อสารดูดความชื้น อัตราส่วน 4:1 และ 3: 1 ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่หมอบแห้ง ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 10

เมื่อพิจารณาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่หมอบแห้ง พบว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสผสมกับซอร์บิทอลและกลีเซอรอลมีค่า L^* สูงกว่า และมีค่า a^* ต่ำกว่าชุดการที่มีการใช้เฉพาะน้ำตาลซูโครส และชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสผสมกับกลูโคสไซรัป ($P < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสผสมกับซอร์บิทอลและกลีเซอรอลมีค่าความสว่างมากกว่า และมีค่าความเป็นสีแดงน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างการทำแห้งจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เนื่องจากในแคนตาลูปมีน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากันในระหว่างการอบแห้งโดยใช้ความร้อนส่งผลให้เกิดเป็นสารสีน้ำตาล นอกจากนี้น้ำตาลซูโครสยังสามารถเกิดปฏิกิริยาอินเวอร์ชัน (inversion) เกิดเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทสซึ่งมีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ และสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ ดังนั้นชุดการทดลองที่มีการใช้เฉพาะน้ำตาลซูโครสจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากกว่า ทำให้เกิดสีน้ำตาลได้มาก ค่าความสว่าง (L^*) จึงมีค่าลดลง และค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับกลูโคสไซรัปนั้นมีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่แช่ในเฉพาะสารละลายน้ำตาลซูโครส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลูโคสไซรัปเป็นอนุพันธ์ของสตาร์ช และนอกจากนี้ยังประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส และมอลโทส ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ จึงทำให้ค่าสีที่ได้ไม่แตกต่างไปจากชุดการทดลองที่มีการแช่ในเฉพาะสารละลายน้ำตาลซูโครส ($P > 0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับซอร์บิทอลและกลีเซอรอลนั้น มีค่าความสว่างสูงกว่า และมีค่าความเป็นสีแดงต่ำกว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้เฉพาะน้ำตาลซูโครสและชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสผสมกับกลูโคสไซรัป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากซอร์บิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์

ซึ่งมีคุณสมบัติไม่สามารถเกิดปฏิกิริยามอลาร์ดได้ ส่วน กลีเซอรอลนั้นไม่มีหมู่คาร์บอนิลที่จะเกิดปฏิกิริยามอลาร์ดได้ ดังนั้นชุดการทดลองที่มีการใช้ในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับซอร์บิทอลและกลีเซอรอลจึงเกิดสีน้ำตาลได้น้อยกว่า ค่าความสว่างหรือค่า L^* จึงสูงกว่าและค่าความเป็นสีแดงหรือค่า a^* จึงต่ำกว่า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของซอร์บิทอลและกลีเซอรอลที่ใช้ในการแช่ พบว่าไม่มีผลต่อค่า L^* และ a^* แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความเข้มข้นที่ห่างกันแค่ 1 ส่วนไม่มีผลต่อค่า L^* และ a^* ของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นชนิดต่างๆในปริมาณที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติทางกายภาพ/ชุดการทดลอง	L^*	a^*	b^*	Hardness (N)
Sucrose 100%	57.48 ± 1.25^d	13.45 ± 0.92^a	20.84 ± 1.13^a	20.24 ± 0.77^a
Sucrose : Sorbitol 4:1	60.22 ± 0.34^b	9.38 ± 0.82^d	26.34 ± 1.03^a	17.12 ± 0.89^b
Sucrose : Sorbitol 3:2	60.41 ± 0.46^b	9.89 ± 0.23^d	25.67 ± 1.21^a	15.21 ± 0.85^c
Sucrose : Glycerol 4:1	61.32 ± 0.41^a	10.43 ± 0.26^c	26.31 ± 0.89^a	14.62 ± 0.97^c
Sucrose : Glycerol 3:2	61.43 ± 0.55^a	9.86 ± 0.22^d	26.79 ± 0.96^a	13.71 ± 1.11^c
Sucrose : Glucose Syrup 4:1	59.04 ± 0.32^c	11.82 ± 0.41^b	19.54 ± 1.11^b	14.35 ± 0.39^c
Sucrose : Glucose Syrup 3:2	59.28 ± 0.36^c	11.64 ± 0.37^b	19.65 ± 1.07^b	13.12 ± 0.51^c

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนั่ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งต่อค่าความแข็ง (Hardness) พบว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้สารดูดความชื้น ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอลและกลูโคสไซรัป มีค่าความแข็งน้อยกว่าชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำตาลซูโครส ทั้งนี้เนื่องมาจากในระหว่างการทำแห้งน้ำตาลซูโครสจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและเกิดการตกผลึก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งมากกว่า ในขณะที่ชุดการทดลองที่มีการใช้สารดูดความชื้นจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งน้อยลงเนื่องจากสารดูดความชื้นที่เติมลงไปสามารถลดการตกผลึกของน้ำตาลซูโครสได้ นอกจากนี้สารดูดความชื้นยังมีความสามารถในการสร้างพันธะกับน้ำในอาหารทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น (Branen, 1990; Chauhan *et al.*,

2011) และเมื่อพิจารณาผลของชนิดของสารให้ความชื้นพบว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้กลูโคสไฮรปมีค่าความแข็งน้อยที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่มีการใช้ซอร์บิทอลและชุดการทดลองที่มีการใช้กลีเซอรอลตามลำดับ

ตารางที่ 11 คุณสมบัติทางเคมีของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการผสมสารให้ความชื้นชนิดต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติทางเคมี/ชุดการทดลอง	pH	Total acidity (%)	Reducing sugar (%)	Total sugar (%)	Moisture content (%)	a _w
Sucrose 100%	5.44 ± 0.13 ^a	0.17 ± 0.03 ^b	12.49 ± 0.34 ^d	40.05 ± 0.70 ^a	14.65 ± 0.44 ^c	0.71 ± 0.01 ^a
Sucrose : Sorbitol 4:1	5.67 ± 0.33 ^a	0.15 ± 0.04 ^b	9.13 ± 0.21 ^c	36.78 ± 0.53 ^c	15.43 ± 0.21 ^b	0.64 ± 0.01 ^b
Sucrose : Sorbitol 3:2	5.43 ± 0.43 ^a	0.17 ± 0.05 ^b	8.11 ± 0.32 ^d	34.41 ± 0.21 ^d	16.43 ± 0.22 ^a	0.62 ± 0.01 ^b
Sucrose : Glycerol 4:1	5.87 ± 0.33 ^a	0.15 ± 0.04 ^b	9.13 ± 0.31 ^c	35.78 ± 0.75 ^c	15.73 ± 0.21 ^b	0.64 ± 0.01 ^b
Sucrose : Glycerol 3:2	5.73 ± 0.43 ^a	0.12 ± 0.01 ^c	7.71 ± 0.43 ^c	32.43 ± 0.87 ^c	15.88 ± 0.22 ^a	0.62 ± 0.01 ^b
Sucrose : Glucose Syrup 4:1	5.42 ± 0.21 ^a	0.25 ± 0.05 ^a	10.52 ± 0.22 ^b	38.56 ± 0.45 ^b	16.33 ± 0.56 ^a	0.65 ± 0.01 ^b
Sucrose : Glucose Syrup 3:2	5.56 ± 0.23 ^a	0.23 ± 0.05 ^a	10.13 ± 0.31 ^b	38.11 ± 0.41 ^b	16.93 ± 0.32 ^a	0.62 ± 0.01 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการทดลองศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสรวมกับการใช้สารให้ความชื้นต่อคุณสมบัติทางเคมีของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 11 โดยจากการศึกษาพบว่าค่า pH ของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณกรดทั้งหมดพบว่าแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่ในน้ำตาลซูโครสร่วมกับกลูโคสไฮรปมีปริมาณกรดสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างการแช่อิ่มกลูโคสไฮรปอาจจะไปเคลือบผิวชั้นแคนตาลูป ทำให้กรดละลายออกมาในสารละลายออสโมติกคลดลง ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นๆรวมถึงชุดการทดลองที่แช่ในเฉพาะน้ำตาลซูโครสมีอัตราการสูญเสียสูงกว่า กรดจึงสามารถละลายออกมาได้มากกว่า

เมื่อพิจารณาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสรวมกับการใช้สารให้ความชื้นต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้เฉพาะน้ำตาลซูโครสมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลูโคสไฮรป ส่วนชุดการทดลองที่แช่ในน้ำตาลซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลและการใช้

น้ำตาลซูโครสร่วมกับซอร์บิทอล มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างการอบแห้งเกิดปฏิกิริยาอินเวอร์ชันได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสซึ่งมีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ทำให้ชุดการทดลองที่แช่ในเฉพาะน้ำตาลซูโครสมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด ส่วนชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลูโคสไซรัปนั้น ในระหว่างการอบแห้งอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ กลูโคสไซรัปโดยทั่วไปนั้นประกอบด้วยน้ำตาลมอลโทส มอลโทไดโอส ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์เช่นกัน ส่วนชุดการทดลองที่มีการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลนั้น จะเป็นการลดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในระบบ เนื่องจากทั้งซอร์บิทอลและกลีเซอรอลไม่มีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ดังนั้นการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลจึงเป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาอินเวอร์ชันและไฮโดรไลซิสลง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายจึงน้อยลงด้วย นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย นอกจากนี้เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเพิ่มขึ้น จะสามารถลดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ยังส่งผลต่อคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์โดยถ้าผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงจะสามารถเกิดปฏิกิริยามেলลาร์ดได้ดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของคุณค่าสีของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 12 คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของแคนดาลูปแช่อบแห้งที่ผลิตโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการผสมสารให้ความชื้นชนิดต่างๆในปริมาณที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส/ ชุดการทดลอง	สี	ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความชอบรวม
Sucrose 100%	6.80 ^b	6.34 ^a	6.73 ^b	6.38 ^a	6.29 ^b
Sucrose : Sorbitol 4:1	7.01 ^a	6.89 ^a	7.45 ^a	7.02 ^a	7.22 ^a
Sucrose : Sorbitol 3:2	7.12 ^a	6.92 ^a	7.84 ^a	6.78 ^a	7.26 ^a
Sucrose : Glycerol 4:1	6.87 ^a	6.59 ^a	7.25 ^a	7.02 ^a	7.12 ^a
Sucrose : Glycerol 3:2	7.02 ^a	6.82 ^a	7.24 ^a	7.08 ^a	7.03 ^a
Sucrose : Glucose Syrup 4:1	7.31 ^a	6.87 ^a	7.33 ^a	6.98 ^a	7.36 ^a
Sucrose : Glucose Syrup 3:2	7.22 ^a	7.03 ^a	7.59 ^a	6.88 ^a	7.31 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อปริมาณความชื้นและค่า a_w พบว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับสารดูดความชื้นสามารถลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้ดีกว่าชุดการทดลองที่มีการใช้เฉพาะน้ำตาลซูโครส ทั้งนี้เนื่องจากสารดูดความชื้นมีความสามารถในการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำในอาหาร ทำให้น้ำอิสระในอาหารลดลง ปริมาณ bound water จึงเพิ่มขึ้น ค่า a_w จึงลดลง และเมื่อพิจารณาผลของชนิดสารดูดความชื้นและอัตราส่วนที่ใช้ พบว่า ไม่มีผลต่อค่า a_w ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 12 แสดงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นชนิดต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านของเนื้อสัมผัสสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการใช้เฉพาะน้ำตาลซูโครส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้สารดูดความชื้นสามารถลดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ชุดการทดลองที่มีการแช่น้ำตาลซูโครสร่วมกับซอร์บิทอลและกลีเซอรอลมีคะแนนการยอมรับทางด้านสีสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการแช่น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลูโคสไซรัปและชุดการทดลองที่มีการแช่เฉพาะในน้ำตาลซูโครส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำน้อยกว่า และเมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบโดยรวมพบว่าชุดการทดลองที่ใช้เฉพาะน้ำตาลซูโครสมีคะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด แสดงว่าการใช้สารดูดความชื้นทดแทนการใช้น้ำตาลซูโครสสามารถปรับปรุงคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. แคนตาลูปที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นแคนตาลูปพันธุ์ซัลเลดี้ (*Cucumis melo* L.) มีปริมาณความชื้นร้อยละ 94 (โดยน้ำหนักเปียก) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 7-8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 4.53 % ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 10.46 % ค่าความเป็นกรด (%ในรูปของกรดซิตริก)เท่ากับ 0.14 % ปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 51.22 mg/100g ค่าความแข็งในช่วง 4.00-5.00 gf ค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 62.70 ,8.27, 18.63 ตามลำดับ

2. จากการศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพขึ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส โดยการนำขึ้นแคนตาลูปไปแช่ในสารละลายแคลเซียม 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์และสารละลายแคลเซียมแลคเตต โดยแปรความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 0% , 2% และ 3% โดยใช้ระยะเวลาในการแช่ 3 ชั่วโมง อัตราส่วนแคนตาลูปต่อสารละลายเป็น 1:3 พบว่า สารละลายแคลเซียมแลคเตตที่ระดับความเข้มข้น 2% มีค่าความแข็งที่สูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตตที่ระดับความเข้มข้น 2% มาใช้ในการ pretreatment แคนตาลูปก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส เพื่อใช้ในการศึกษาในขั้นต่อไป

3. เมื่อศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มพบว่าการแช่อิ่มแบบช้าให้ลักษณะเชิงผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีเนื้อสัมผัสด้านความแข็งน้อยกว่าวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว และส่งผลให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสสูงกว่าวิธีการแช่อิ่มแบบเร็ว แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบโดยรวม พบว่าแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตจากวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและเร็วมีคะแนนไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกวิธีการแช่อิ่มแบบเร็วเพื่อทำการศึกษาต่อไป

4. เมื่อศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับสารดูดความชื้น พบว่าการใช้สารดูดความชื้นทุกชุดการทดลองสามารถลดค่าความแข็งและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้การใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และยังส่งผลให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมสูงกว่าชุดควบคุม ดังนั้นการใช้สารดูดความชื้นสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้ นอกจากนี้การใช้ ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลสามารถป้องกันการตกผลึกที่บริเวณผิวหน้าของอาหาร ทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่แข็ง แข็งจนเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสชาติไม่หวานมากและยังส่งผลต่อสุขภาพ โดยเฉพาะผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถรับประทานได้ เนื่องจากซอร์บิทอลหรือมอลทิทอลมีรสชาติที่หวานน้อยกว่าน้ำตาล

ซูโครส เมื่อรับประทานเข้าไปแล้วมีการดูดซึมภายในร่างกายช้ากว่าน้ำตาลซูโครสจึงไม่มีผลต่อระบบน้ำตาลในเลือด นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีค่า water activity ที่ต่ำลง เพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- คำนึ่ง คำอุดม. 2543. แดงแคนตาลูป. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม.
- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์. 2550. การถนอมและการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 6. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- จินตนา ศรีสุข. 2546. การแปรรูปผักและผลไม้แช่อิ่ม. วารสารศูนย์บริการวิชาการ. 11(1): 58-64.
- จิราพร กอศรีบุตร. (2549). ผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการทำแห้งและคุณภาพของแคนตาลูป *Cucumis melo* L. แช่อิ่มอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ (เทคโนโลยีทางอาหาร). มหาวิทยาลัยบูรพา.
- บุรฉัตร ศรีทองแท้. 2551. ผลของพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ต่อการทำแห้งและคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่ม. (เทคโนโลยีทางอาหาร). บัณฑิตวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร
- จุฑามาศ นิวัฒน์. 2542. การทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีการออสโมซิสแบบระบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธงชัย เนมขุนทด. 2531. แคนตาลูป. กรุงเทพมหานคร. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน.
- ยุพียงษ์ สุทธิธรรม. การปลูกแสดแคนตาลูป. พิมพ์ครั้งที่ 1. สารคดี ชุด กลุ่มอาชีพของคนไทย. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ไพบุลย์ ธรรมรัตน์. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. หน้า 278-279. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- วรรณดา ตูลยชัย. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทแอคทีฟพรินท์ จำกัด.
- ศุลกากร, กรม. ข้อมูลการส่งออกแคนตาลูป. [online]. Available from: [http:// www.nfi.or.th/export.htm](http://www.nfi.or.th/export.htm). [10 ธันวาคม 2553].
- ศุลกากร, กรม. ข้อมูลการส่งออกผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง. [online]. Available from: <http:// www.nfi.or.th/export.htm>. [10 ธันวาคม 2553].
- อาพร ละออง. 2547. ผลของแคลเซียมคลอไรด์และน้ำตาลอินเวิร์ตต่อคุณภาพของมะละกอ *Carica papaya* L. ที่ทำแห้งโดยการออสโมซิส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Chemists International. 16th ed. The Association of Official Analytical Chemists International. Gaithersburg.

- Azoubel, P. and Murr, F. E. X. 2004. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*. 61: 291-295.
- Barbosa-Canovas, G. V. and Vega-Mercado, H. 1996. *Dehydration of Food*. New York: International Thomson Publishing.
- Behsnilian, D. and Spiess, W. E. L. 2006. Osmotic dehydration of fruits and vegetable. *IUFoST World Congress*. 13th World Congress of Food Science and Technology.
- Benzie, I. F. F. and Strain, J. J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 239: 70-76.
- Binsan, W., Benjakul, S., Visessanguan, W., Roytrakul, S., Tanaka, M. and Kishimura, H. 2008. Antioxidative activity of Mungoong, an extract paste, from the cephalothorax of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Food Chemistry*. 106: 185-193.
- Branen, A. L., Davidson, P. M. and Salminen, S. 1990. *Food additive*. 1st edn. New York: Marcel Dekker Inc.
- Chauhan OP, Singh A, Singh A, Raju PS, Bawa AS (2011) Effect of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal and sensory properties of apple slices. *Int J Food Prop* 14:1037-1048
- Corzo, O. and Gomez, E. R. 2004. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food Engineering*. 64: 213-219.
- El-Aouar, A. A., Azoubel, P. M. and Murr, F. E. X. 2003. Drying kinetics of fresh and osmotically pretreated papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*. 59: 85-91.
- El-Aouar, A. A., Azoubel, P. M., Barbosa, J. L. and Murr, F. E. X. 2006. Influence of osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*. 75: 267-274.
- Falade, K. O. and Aworth, O. C. 2005. Sensory evaluation and consumer acceptance of osmosed and oven-dried African star apple and mango. *Journal of Food, Agricultural and Environment*. 3: 91-96.
- Fallier, A. L. K. and Fialho, E. 2010. Polyphenol content and antioxidant capacity in organic and conventional plant foods. *Journal of Food Composition and analysis*. 23: 561-568.
- Feeters, R. F. and Tang, H. C. L. 1983. Relation among cell wall constituents, calcium and texture during cucumber fermentation and storage. *Journal of Food Science*. 48: 66-70.

- Gustavo, V., Barbosa-Canovas, J. J., Fernandez-Molina, S. M., Alzamora, M. S. and Tapia, A. L. M. 2007. Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas. 1st ed. Daya Publishing House.
- Guzman, M. A. and Hegarty, E. 2000. Method for improving the softness of raisins. US Patent6, 103, 285.
- Ismail H.I., Chan K.W., Mariod A.A. and Ismail, M. 2010. Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (*Cucumis melo*) methanolic extracts. *Food Chem.* 119(2): 643-647.
- Lazarides, H. N., Fito, P., Chiralt, A., Gekas, V. and Lenart, A. 1999. Advances in osmotic drhydration. In A.R.F. Oliveira and J.C. Oliveira (eds). Processing Foods, Quality Optimization and Process Assessment, pp. 176-199. London: CRC Press.
- Lazarides, H. N. 2001. Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruit and vegetables. In P. Fito., A. Chiralt., J. M. Barat., W. E. L. Spiess and D. Behsnilian (eds.), Osmotic dehydration and Vacuum Impregnation, pp. 33-42. Pennsylvania: Technomic Publishing.
- Lenart, A. and Flink, J. M. 1984. Osmotic concentration of potato : II. Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal of Food Technology.* 19: 65-89.
- Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Rosa, M. and Bartolucci, L. 1985. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science.* 50: 1217-1219.
- Luna-Guzman, I. and 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.
- Mandala, I. G., Anagnostaras, E. F. and Oikonomou, C. K. 2005. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering.* 69: 307-316.
- Miccolis, V. and Saltveit, M. E. 1995. Influence of storage period and temperature on postharvest characteristics of six melon (*Cucumis melo* L., Inodorus Group) cultivars. *Postharvest Biology and Technology.* 5: 211-219.
- Naknean P. 2012. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruit. *International Food Research Journal.* 19: 7-18.

- Ponting, J. D., Watters, G. G., Forrey, R. R., Jackson, R. and Stanley, W. L. 1996. Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*. 20: 125-128.
- Ranganna, S. 1986. *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*. New Delhi: McGraw-Hill.
- Raoult-Wack, A. L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of food. *Trends in Food Science and Technology*. 5: 255-260.
- Rattanathanalerk, M., Chiewchan, N. and Srichumpoung, W. 2005. Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. *Journal of Food Engineering*. 66: 259-265.
- Riva, M., Campolongo, S., Leva, A. A., Maestrelli, A. and Torreggiani, D. 2005. Structure-property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. *Food Research International*. 38: 533-542.
- Raoult-Wack, A. L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of food. *Trends in Food Science and Technology*. 5: 255-260.
- Rodrigues, S. and Fernandes, F. A. N. 2007. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*. 80: 678-687.
- Sablani, S. S. and Rahman, M. S. 2003. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficient during osmotic dehydration of mango. *Food Research International*. 36: 65-71.
- Shi, X. Q. and Fito, P. 1993. Vacuum osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*. 11: 1429-1442.
- Torreggiani, D. and Bertolo, G. 2004. Present and future in process control and optimization of osmotic dehydration. *Advances in Food and Nutrition Research*. 48: 173-238.
- USDA. 2008. National Nutrient Database for Standard Reference. (Online). Available from: <http://www.nal.usda.gov>. (2008, November 6).

ภาคผนวก



ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย : ดร. พิสุทธิ หนักแน่น

ประวัติการศึกษา (ระบวุฒิปริญญาตรี สาขาวิชา สถาบัน)

- วท.บ. (อุตสาหกรรมเกษตร), ม.สงขลานครินทร์, 2549
- ประ.ด. (เทคโนโลยีอาหาร), ม.สงขลานครินทร์, 2553

ประสบการณ์การทำงาน

ทำการสอนในระดับปริญญาตรี และทำวิจัยที่เกี่ยวข้องเรื่องน้ำตาล คาร์โบไฮเดรต และผลิตภัณฑ์ ทำวิจัยที่เกี่ยวข้องผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบพวกผักผลไม้เช่น น้ำตาลโตนด และ ผลิตภัณฑ์ และเป็นวิทยากร ถ่ายทอดความรู้ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต การแปรรูป และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ผลงานที่เคยตีพิมพ์/ เผยแพร่

- Naknean, P., Meenune, M. and Roudaut, G. 2011. Changes in properties of palm sugar syrup produced by an open pan and a vacuum evaporator during storage. Food Control. (Submitted)
- Naknean, P., Meenune, M. and Roudaut, G. 2010. Characterization of palm sap harvested in Songkhla province, Southern Thailand. International Food Research Journal. 17(4) : 977-986.
- Naknean, P., Meenune, M. and Roudaut, G. 2009. Changes in physical and chemical properties during the production of palm sugar syrup by open pan and vacuum evaporator. Asian Journal of Food and Agro-Industry. 2(4) : 448-456.
- Naknean, P. and Meenune, M. 2009. Factors affecting retention and release of flavour compounds in food carbohydrates. International Food Research Journal. 17(1) : 23-34.



บทสรุปผู้บริหาร

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง

(ภาษาอังกฤษ) Factors affecting the quality of osmotic dehydrated cantaloupe

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูปเนื้อสีส้มพันธุ์ชั้นเลดี้ (Cucumis melo L.)
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส
3. เพื่อศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง
4. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นในการผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง

ที่มาของการวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ในความเป็นจริงนั้น สินค้าเกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศไทยมีมากมายหลายชนิด และได้มีการพัฒนาทั้งในด้านคุณภาพ การผลิต ตลอดจนด้านการตลาด สำหรับสถานการณ์การผลิตผลไม้ภายในประเทศนั้น ผลผลิตที่ผลิตได้ต่อปีมีทั้งการใช้บริโภคภายในประเทศและได้มีการส่งออกนอกประเทศเพื่อจำหน่าย

สถานภาพทางเศรษฐกิจของจังหวัดสระแก้ว รายได้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับภาคเกษตรกรรมมากที่สุด แคนตาลูป เป็นผลไม้ที่สำคัญของจังหวัดสระแก้ว มีการเพาะปลูกมากที่ อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว สามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นดินสิ่งแวดล้อมและปริมาณน้ำฝนเหมาะสมทำให้ได้ผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอ รสชาติหวานกรอบและมีความหอมมากกว่าผลผลิตจากที่อื่น แต่ปัญหาคือแคนตาลูปเมื่อเก็บจากสวนมาจำหน่าย อายุของแคนตาลูปจะอยู่ได้ไม่เกิน 8 วัน จึงทำให้ไม่สามารถระบายสินค้าได้ทัน จึงเกิดปัญหาการเน่าเสียและส่งผลกระทบต่อรายได้นักปลูกแคนตาลูปซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบปัญหาผลผลิตล้นตลาดและราคาตกต่ำอีกด้วย (คำนึ่ง สุขอุดม, 2543)

เมื่อกล่าวถึงแคนตาลูปนั้น แคนตาลูปเป็นพืชตระกูลแตงที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย เป็นผลไม้ที่มีกลิ่นหวานหอม มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วยวิตามินเอ และวิตามินซี จึงเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยในปี 2552 ประเทศไทย

ส่งออกแคนตาลูปมีมูลค่าสูงถึง 28.08 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2552) อย่างไรก็ตามจากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น การนำแคนตาลูปมาแปรรูปจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำแคนตาลูปมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง ซึ่งนอกจากจะช่วยรองรับผลผลิตแคนตาลูปที่มีปริมาณมากแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย ในปี 2550 มีการส่งออกสินค้าผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง (รหัส HS:200600) ไปยังทั่วโลกมีมูลค่าสูงประมาณ 3,273 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2552) และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคต อย่างไรก็ตามปัญหาที่มักพบในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งได้แก่ รสชาติที่หวานจัด และลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการต่างๆ เช่น เนื้อสัมผัสแห้งเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำมากเมื่อมีการใช้น้ำตาลความเข้มข้นสูง เพื่อย่นและเกิดผลึกน้ำตาลที่ผิวหน้าส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพ โดยการใช้สารดูดความชื้น (humectant) เช่น สารกลุ่มพอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ หรือ สารที่เป็นอนุพันธ์ของแป้ง เข้ามาร่วมในกระบวนการผลิต เนื่องจากสารในกลุ่มนี้มีระดับความหวานน้อยกว่าและมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นสูงกว่าซูโครส ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหวานลดลง มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มไม่แห้งเกินไป และยังช่วยลดค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาวิธีการออสโมซิสที่เหมาะสมสำหรับแคนตาลูปและศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารดูดความชื้น ต่อการผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง โดยการใช้สารดูดความชื้นซึ่งได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอลและกลูโคสไซรัป ร่วมกับการใช้น้ำตาลซูโครสในกระบวนการผลิต และศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส การเปลี่ยนแปลงต่างๆระหว่างการอบแห้ง ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง และเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดอื่นๆได้

การดำเนินงานและผลงานที่ได้รับจากการวิจัย (โดยสังเขป) พร้อมภาพประกอบ

1. การดำเนินงานวิจัย

1.1 วัตถุดิบ

แคนตาลูปที่ใช้ในการทดลองใช้แคนตาลูปเนื้อสีส้มพันธุ์ชั้นเลดี้ (*Cucumis melo* L.) โดยใช้แคนตาลูปที่อยู่ในระยะพัฒนาเต็มที่ (รอยแตกที่ขั้วมากกว่า 50%) น้ำหนักผลประมาณ 1.5-1.8 กิโลกรัมจากจังหวัดสระแก้ว

1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูป

เก็บตัวอย่างแคนตาลูปมาทำความสะอาด ปอกเปลือก เอาไส้ออก แล้ววิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพในส่วนเนื้อ ดังนี้

1.2.1 คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ hand refractometer
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด (Rangana, 1986)
- ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (Rangana, 1986)
- ความเป็นกรดค้างโดยใช้ pH meter

1.2.2 คุณภาพทางกายภาพ

- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Hardness) โดยใช้ Texture analyzer
- ค่าสี ในระบบ L*, a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดสี

1.3 ศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส

ศึกษาผลของการใช้สารกลุ่มแคลเซียมต่อคุณภาพของชิ้นแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส โดยมีปัจจัยการศึกษาดังนี้

- ชนิดของสารกลุ่มแคลเซียม 2 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมเลกเตท
- ความเข้มข้นของสารแคลเซียมแต่ละชนิด 3 ระดับ ได้แก่ 0, 2 และ 3%

ทำการทดลองโดยการแช่แคนตาลูป (รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 3 m ยาว 3.5 cm สูง 1 cm) อัตราส่วนเนื้อแคนตาลูปต่อสารละลาย 1:3 โดยใช้ระยะเวลาในการแช่ 3 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางด้านต่างๆดังนี้

1.3.1 คุณภาพทางด้านกายภาพ

- วัดค่าเนื้อสัมผัส (Hardness) ของแคนตาลูปโดยใช้เครื่อง Texture analyzer

1.3.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 30 คน โดยวิธีการ 9-point hedonic scale ซึ่งประเมินผลในด้านรส และเนื้อสัมผัส

1.3.3 การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD ; Completely Randomized design) โดยแต่ละค่าที่ทำการวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์อย่างน้อย 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA; Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดทดลองโดยใช้ Duncan's new multiple range test โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.4 ศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง

นำแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมในข้อ 3.3 (โดยเลือกชนิดของสารเคลือบ ความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาร่วมกันระหว่าง ค่าความแข็งของแคนตาลูปและผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส) มาศึกษาวิธีการออสโมซิส 2 วิธี ได้แก่ กระบวนการออสโมซิสแบบช้า และกระบวนการออสโมซิสแบบเร็ว ดังนี้

1.4.1 กระบวนการออสโมซิสแบบเร็ว

นำแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมจากข้อ 3.3 มาแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 50% ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (อัตราส่วนของเนื้อแคนตาลูปต่อสารละลายเท่ากับ 1:3) จากนั้นนำตัวอย่างมาล้างด้วยน้ำอุ่น (60°C) เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 20%

1.4.2 กระบวนการออสโมซิสแบบช้า

นำแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมจากข้อ 3.3 มาแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 30, 40 และ 50% โดยเริ่มต้นแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส 30% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นเป็น 40% แช่ไว้เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง และจากนั้นปรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นเป็น 50% แช่ไว้เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำตัวอย่างมาล้างด้วยน้ำอุ่น (60°C) เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 20%

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากทั้ง 2 วิธีการนำวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

1.4.3 ติดตามการถ่ายเทมวลสารตลอดช่วงของการออสโมซิส โดยเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (solid gain) และอัตราการสูญเสีย น้ำ (water loss)

1.4.4 ติดตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นและน้ำหนักตลอดช่วงของการทำแห้ง

1.4.5 คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)
- ค่า water activity
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด (Rangana, 1986)
- ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (Rangana, 1986)

- ความเป็นกรดต่างโดยใช้ pH meter

1.4.6 คุณภาพทางกายภาพ

- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Hardness) โดยใช้ Texture analyzer

- ค่าสี ในระบบ L*, a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดสี

1.4.7 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 30 คน โดยใช้วิธีการ 9-point hedonic scale ซึ่งประเมินผลในด้าน สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรสและความชอบโดยรวม

1.4.8 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD; Completely Randomized Design) โดยแต่ละค่าที่ทำทำการวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์ห้อย่างน้อย 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดทดลองโดยใช้ paired-t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.5 ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพแคนตาลูปแช่หมอบแห้ง

นำแคนตาลูปที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมในข้อ 3.3 (โดยเลือกชนิดของสารเคลือบ ความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาร่วมกันระหว่างอัตราการซึมเข้าของเคลือบ ค่าความแข็งของแคนตาลูปและผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส) จากนั้นนำแคนตาลูปไปแช่ในสารละลายออสโมติก (น้ำตาลซูโครส) ซึ่งผสมกับสารดูดความชื้นได้แก่ สารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับกลีเซอรอล สารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับกลูโคสไซรัป และสารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกับซอร์บิทอล ในความเข้มข้นดังแสดงในตารางที่ 1 ในทุกชุดการทดลองใช้อัตราส่วนของเนื้อแคนตาลูปต่อสารละลายเท่ากับ 1:3

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของน้ำตาลซูโครส และ กลีเซอรอล/กลูโคสไซรัป/ซอร์บิทอล ที่ใช้ในการทดลอง

ซูโครส (%)	กลีเซอรอล/กลูโคสไซรัป/ซอร์บิทอล (%)
50	0
40	10
30	20

โดยในการทดลองจะเริ่มต้มน้ำแช่แคนตาลูปในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40% เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นจะเปลี่ยนไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีการผสมกับสารดูดความชื้นดังแสดงในตารางที่ 3 อีกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแคนตาลูปทุกชุดการทดลองมาทำการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 20%

วิเคราะห์ค่าต่างๆเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1.4

2. ผลที่ได้รับจากงานวิจัย

2.1 คุณสมบัติทางเคมีของแคนตาลูปสด

จากการวิเคราะห์พบว่า แคนตาลูปมีความชื้นร้อยละ 94.77 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 7.10 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 3.54 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 7.33 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 0.14 ค่า pH เท่ากับ 7.17

2.2 การใช้สารกลุ่มแคลเซียมในขั้นตอนการ pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส

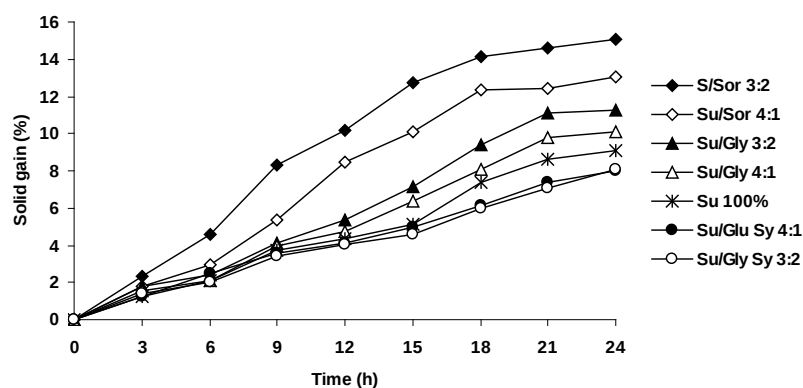
จากการศึกษาการใช้สารกลุ่มแคลเซียม 2 ชนิดคือ แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแล็กเตท โดยศึกษา 3 ระดับความเข้มข้นคือ 0, 2 และ 3% ในการ pretreatment แคนตาลูปสดก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส แล้วทำการประเมินค่าความแข็งแรงและการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า การใช้แคลเซียมแล็กเตทที่ระดับความเข้มข้น 2% มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงสูงสุดและไม่มีรสชาติผิดปกติ จึงเลือกนำไปใช้ในขั้นตอนของการ pretreatment แคนตาลูปก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส

2.3 ผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อบแห้ง

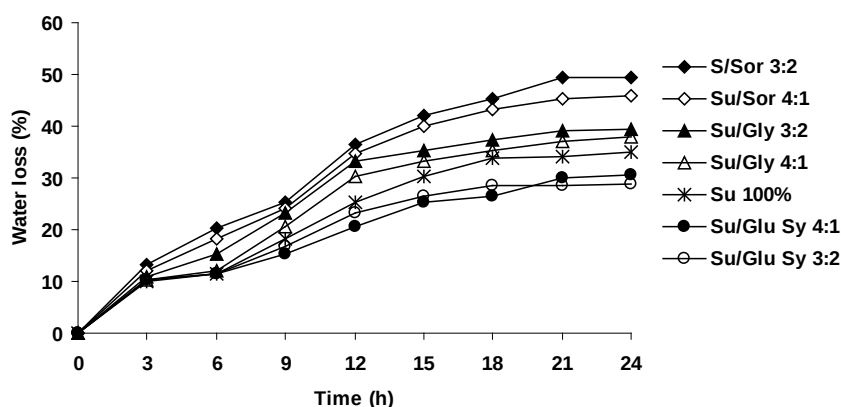
จากการศึกษาผลของวิธีการออสโมซิส 2 วิธีคือ การแช่แบบช้าและการแช่แบบเร็วต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อบแห้ง พบว่า การแช่แบบช้าจะให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า ลักษณะขึ้นตัวอย่างคงรูป ไม่หดตัวมาก ในขณะที่ลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่ผ่านการแช่แบบเร็วจะหดตัวมาก และเมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแช่แบบเร็วมีความแข็งแรงมากกว่าแบบช้า แต่อย่างไรก็ตามจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยให้ผู้บริโภค 60 คนพบว่าเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวมนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกวิธีการแช่แบบเร็วเพื่อใช้ในการศึกษานำต่อไป

2.4 ผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อบแห้ง

จากการศึกษาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อบแห้ง โดยสารดูดความชื้นที่ใช้ได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอลและกลูโคสไซรัป และอัตราส่วนที่ทำการศึกษาคือ ซูโครสต่อสารดูดความชื้น เท่ากับ 4:1 และ 3:2 โดยใช้ชุดการทดลองที่เฉพาะในน้ำตาลซูโครสเป็นชุดควบคุม พบว่า เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนมวลสารในระหว่างการแช่ ชุดการทดลองที่มีการแช่ในซอร์บิทอลมีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสียน้ำสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซอร์บิทอลจะทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ชุดการทดลองที่มีการแช่ในกลูโคสไซรัปมีอัตราการถ่ายโอนมวลสารต่ำที่สุด และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซอร์บิทอลจะทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งและอัตราการสูญเสียน้ำมีค่าลดลง ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2



ภาพที่ 1 อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งระหว่างการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นในอัตราส่วนต่างๆ



ภาพที่ 2 อัตราการสูญเสียน้ำระหว่างการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่มีการผสมสารดูดความชื้นในอัตราส่วนต่างๆ

เมื่อพิจารณาผลของการใช้น้ำตาลซูโครสรวมกับการใช้สารดูดความชื้นต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อบแห้งพบว่าชุดการทดลองที่มีการใช้สารดูดความชื้นจะสามารถลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าชุดการทดลองควบคุม ซึ่งจะส่งผลต่อความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ชุดการทดลองที่มีการใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลยังสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้อีกด้วย ส่งผลให้ชุดการทดลองที่มีการใช้สารดูดความชื้นในทุกชุดการทดลองมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบรวมสูงกว่าชุดควบคุม

การนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้

ได้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปเนื้อสีส้มพันธุ์ชันเลดี้ (*Cucumis melo* L.) และทราบชนิดของสารกลุ่มแคลเซียมและระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนของการ pretreatment ก่อนนำแคนตาลูปเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส และทราบถึงผลของวิธีการออสโมซิสต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดจนทราบถึงชนิดของสารดูดความชื้นรวมถึงระดับหรือปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ร่วมกับน้ำตาลซูโครสเพื่อการประยุกต์ใช้ในการผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง ซึ่งจากผลการวิจัยดังกล่าวจะช่วยในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีคุณภาพดี ยังเป็นการเพิ่มมูลค่า ยืดอายุการเก็บรักษา และเป็นทางเลือกให้กับผู้ผลิตและผู้บริโภค เพื่อให้สามารถวางขายได้ระยะเวลานานขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการส่งออกนอกประเทศได้ อีกทั้งยังสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ มาใช้ในการวางแผนปรับปรุงกระบวนการผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง และสามารถส่งเสริมอาชีพการแปรรูปแคนตาลูปของเกษตรกรในจังหวัดสระแก้วให้ สามารถแข่งขันได้อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

ผลงานวิจัย/ผลผลิต สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม หรืออื่น ๆ ที่ได้จากการทำวิจัย

และมี Impact ต่อสังคม, ประเทศชาติได้รับประโยชน์อะไร

องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยจะช่วยในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีคุณภาพดี ยังเป็นการเพิ่มมูลค่า ยืดอายุการเก็บรักษา และเป็นทางเลือกให้กับผู้ผลิตและผู้บริโภค เพื่อให้สามารถวางขายได้ระยะเวลานานขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการส่งออกนอกประเทศได้ อีกทั้งยังสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ มาใช้ในการวางแผนปรับปรุงกระบวนการผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง และสามารถส่งเสริมอาชีพการแปรรูปแคนตาลูปของเกษตรกรในจังหวัดสระแก้วให้ สามารถแข่งขันได้อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย

1. การวิจัยใช้ผลไม้สดมาคั้นน้ำและนำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งไอน้ำความดันสูง (autoclave) ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการผลิตน้ำผลไม้พร้อมดื่มในอุตสาหกรรม ทำให้ลักษณะของน้ำผลไม้ที่ได้ยังไม่เป็นที่ยอมรับเท่าที่ควร เนื่องจากสีและกลิ่นที่มีการเปลี่ยนแปลงมาก
2. การคัดเลือกน้ำผลไม้จากแบบสอบถาม ทำให้ได้น้ำผลไม้ที่กลุ่มเป้าหมายชอบดื่ม อย่างไรก็ตาม น้ำผลไม้นี้ดังกล่าวอาจมีสมบัติไม่เหมาะสมในการเจริญของเชื้อโพรไบโอติกส์ ทำให้ได้การเจริญของเชื้อที่ค่อนข้างต่ำ

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยที่คาดว่าจะดำเนินการต่อไป

เนื่องจากในระหว่างการเชื่อมต่อโดยใช้สารดูดความชื้นเป็นสารละลายออสโมติกนั้น จะเกิดการสูญเสียได้มาก โดยในระหว่างการในระหว่างการเชื่อมต่อ สารอาหาร เช่น วิตามิน แร่ธาตุ อาจจะละลายไปในสารละลายออสโมติก ดังนั้นจึงควรหาวิธีการลดการสูญเสียสารสำคัญ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการคงเหลืออยู่มากที่สุด

คณะผู้ทำวิจัย

1. **ชื่อสกุล** นายพิสุทธิ นกแน่น **หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน**
สังกัด คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 ที่ตั้ง 114 ซอยสุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
 โทรศัพท์ที่ทำงาน 02-649-5000 ต่อ 8304 โทรสาร 02-649-5000 ต่อ 8304
 อีเมลล์ phisut@swu.ac.th

ทุนสนับสนุน

ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณ รายได้คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
 ประจำปีงบประมาณ 2554
 เริ่มงานวิจัย ปี 2554
 สิ้นสุดงานวิจัย ปี 2555