การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งโดยวิธีไอคิวเอฟ

Development of Frozen Mangosteen Segments by Individual Quick Freezing

พรพงษ์ สุทธิรักษ์

Pornpong Sutthirak

เลขหมู่ TP372.3 พ43 2540 ฉ.2
Bib Key 204889
19 ส.ค. 2543

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Food Technology

Prince of Songkla University

2540

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งโดยวิธีไอคิวเอฟ

ผู้เขียน นายพรพงษ์ สุทธิรักษ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร)

.....กรรมการ
(ดร.ไพศาล วุฒิจำนงค์)

.....กรรมการ
(อาจารย์สุรสิทธิ์ ประสารปราน)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร)

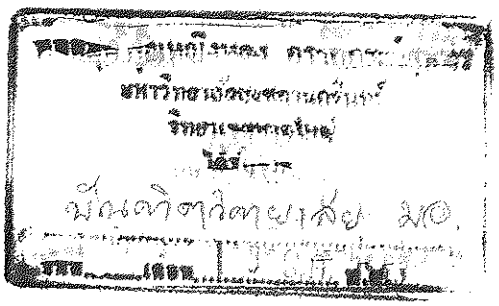
.....กรรมการ
(ดร.ไพศาล วุฒิจำนงค์)

.....กรรมการ
(อาจารย์สุรสิทธิ์ ประสารปราน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศุภชัย ภิสัชเพ็ญ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวลักษณ์ ดิสระ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร



.....
(ดร.ไพรัตน์ สงวนไทร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งโดยวิธีไอคิวเอฟ
ผู้เขียน	นายพรพงษ์ สุทธิรักษ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2539

บทคัดย่อ

การศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งขนาดเล็กและใหญ่ โดยการแช่ในสารละลายกรดซิตริกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ สารละลายกรดอีริธอร์บิก และสารละลายซีสเตอีน ก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่า มีผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นมังคุดทั้งสองขนาด แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างการใช้สารเคมีต่างชนิดกัน ชุดการทดลองที่เหมาะสมในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลคือ การใช้สารละลายกรดซิตริกร้อยละ 0.5 ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 หลังจากนั้นจึงทำการดึงน้ำออกบางส่วนด้วยวิธีออสโมซีสในสารละลายน้ำตาลซูโครส พบว่า การแช่ชิ้นมังคุดขนาดเล็กในสารละลายซูโครสเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที และการแช่ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที มีผลให้ความชื้นลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น และใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าการไม่แช่ รวมทั้งมีผลทำให้คะแนนการยอมรับรสหวานใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติ จึงคัดเลือกเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง

การแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดด้วยเครื่อง Cryogenic Cabinet Freezer โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็น ที่อุณหภูมิเครื่องแช่เยือกแข็ง -40 และ -60 °ซ สามารถแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดเล็กโดยใช้เวลา 29 และ 15 นาที และชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ใช้เวลา 38 และ 24 นาที ตามลำดับ ในการทำให้จุดกึ่งกลางชิ้นมังคุดมีอุณหภูมิ -18°ซ และการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งสองขนาดที่อุณหภูมิ -60°ซ มีต้นทุนต่ำกว่าที่ -40°ซ

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°ซ เป็นเวลา 5 เดือน พบว่า ชิ้นมังคุดขนาดเล็กและใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60°ซ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน คือ ชิ้นมังคุดมีสีขาวลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความแน่นเนื้อ กลิ่นรสมังคุด และการยอมรับรวม คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ยกเว้นกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน จุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานจุลินทรีย์ในสับปะรดแช่เยือกแข็งของไทย และตรวจไม่พบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

Thesis title	Development of Frozen Mangosteen Segments by Individual Quick Freezing
Author	Mr. Pornpong Sutthirak
Major program	Food Technology
Academic year	1996

Abstract

Inhibition of browning reaction of small and large frozen mangosteen segments was studied by immersing in citric acid and sodium chloride solution, erythorbic acid solution, and cysteine solution before freezing. It was found that browning reaction was inhibited in both sizes of magosteen segments, which no significant effect could be observed among three different chemicals used. As a result, application of 0.5% citric acid with 0.25% calcium chloride solution was the most suitable treatment for inhibition of browning reaction. After chemical treatment, the moisture of mangosteens was partially removed by osmosis (dehydration) in sucrose solution. The results showed that immersing in 30 Brix sucrose solution for 30 mins for the small mangosteen segments and in 40 Brix sucrose solution for 30 mins for the large magosteen segments could reduce moisture content, increase total soluble solid, decrease freezing time and gave the maximum score for sweet taste and no significantly different from ideal score. Therefore, the above procedure were selected to be the most appropiate for the dehydrofreezing

Freezing time (rate) of magosteem segments by Cryogenic Cabinet Freezer using liquid carbondioxide as cooling medium was also examined. In order to obtain the mangosteen segment's center of -18 ^{o}C, small segments required 29 mins

and 15 mins for freezing at -40°C and -60°C of the freezing's temperature, respectively while large segments required 38 mins and 24 mins for freezing at -40°C and -60°C of the freezer's temperature, respectively. Moreover, it could be observed that the production cost of freezing at -60°C was less than that of freezing at -40°C.

Mangosteen segments of both sizes frozen at -40°C and -60°C showed the similar trend of sensory quality change during storage at -20°C for 5 months. Whiteness, firmness, flavor, and overall acceptability of frozen magosteen segments decreased with increase of storage time. The change in physical and chemical qualities were slightly observed. In contrast, the ascorbic acid content significantly decreased. Total viable count was less than that of Thai standard for microorganism of frozen pineapple and pathogenic bacteria was not detected.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร.ไพศาล วุฒิจำนงค์ และอาจารย์สุรสิทธิ์ ประสารปราณ กรรมการที่ปรึกษาร่วมที่กรุณาให้คำแนะนำในการค้นคว้าวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ศุภชัย ภิสัชเพ็ญ กรรมการผู้แทนคณะอุตสาหกรรมเกษตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวลักษณ์ ดิสระ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณอาจารย์พิทยา อดุลยธรรม ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์ทางสถิติ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนการศึกษาและเงินสนับสนุนการวิจัย มูลนิธิมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และโครงการวิจัยและพัฒนาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปมังคุด ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย และการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่จำเป็นในงานวิจัย คุณหทัยทิพย์ ชูวิจิตร์ และเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการศึกษาทดลอง รวมทั้งนักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ช่วยเหลือในการทดสอบชิม

และผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ด้วยความเคารพยิ่งที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและเป็นกำลังใจสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่ ๆ รวมทั้งน้อง ๆ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

พรพงษ์ สุทธิรักษ์

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการตารางภาคผนวก	(10)
รายการภาพ	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	19
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	20
3. ผลและวิจารณ์	29
4. สรุป	74
เอกสารอ้างอิง	77
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์	86
ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง	96
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	99
ภาคผนวก ง การประมาณต้นทุนการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง	115
ประวัติผู้เขียน	120

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. องค์ประกอบทางอาหารของมังคุดต่อ 100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้	5
2. ชุดการทดลองการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของชิ้นเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็ง	24
3. ชุดการทดลองการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุด	26
4. องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของเนื้อมังคุดสด	30
5. คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัว	33
6. คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัว	36
7. คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง	41
8. คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง	46
9. คะแนนทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง	52
10. ค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง	53
11. คะแนนทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง	56
12. ค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง	57
13. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง	68
14. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง	70

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ หน้า

1. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด 99
2. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด 100
3. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด 101
4. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด 102
5. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง 103
6. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง 104
7. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง 105
8. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง 106

ตารางภาคผนวกที่ หน้า

9. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็ก
ที่ผลิตที่ -40 องศาเซลเซียส 107
10. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็ก
ที่ผลิตที่ -60 องศาเซลเซียส 109
11. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่
ที่ผลิตที่ -40 องศาเซลเซียส 111
12. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่
ที่ผลิตที่ -60 องศาเซลเซียส 113
13. การประมาณต้นทุนการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง 118

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
1. กลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ของกรดแอสคอร์บิก	10
2. สูตรโครงสร้างของกรดอีริธอร์บิก	10
3. สูตรโครงสร้างของซีสเตอีน	12
4. กลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ของซีสเตอีน	12
5. เปรียบเทียบอัตราการแช่เยือกแข็งพายแอปเปิ้ลโดยการแช่เยือกแข็งแบบกระแสลมเป่าและการใช้ก๊าซไนโตรเจน	16
6. เครื่องแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic Cabinet Freezer รุ่น JE-C1D	21
7. ความชื้นของชิ้นมังคุดขนาดเล็กระหว่างการออสโมซีส	38
8. ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชิ้นมังคุดขนาดเล็กระหว่างการออสโมซีส	38
9. ความชื้นของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ระหว่างการออสโมซีส	43
10. ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ระหว่างการออสโมซีส	43
11. อัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่อุณหภูมิ -40 °ซ (ก) และ -60 °ซ (ข)	49
12. อัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิ -40 °ซ (ก) และ -60 °ซ (ข)	50
13. คะแนนค่าสีทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา	54
14. คะแนนค่าสีทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา	58
15. คะแนนความแน่นเนื้อทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา	59
16. คะแนนความแน่นเนื้อทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา	60

ภาพที่ หน้า

17. คะแนนกลิ่นรสมังคุดทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง ระหว่างการเก็บรักษา 61
18. คะแนนกลิ่นรสมังคุดทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง ระหว่างการเก็บรักษา 62
19. คะแนนการยอมรับรวมทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็ก แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา 63
10. คะแนนการยอมรับรวมทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา 64
21. การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง 65
22. การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง 66
23. ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็ก แช่เยือกแข็ง 68
24. ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ แช่เยือกแข็ง 69
25. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราระหว่างการเก็บรักษา ชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง 72
26. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราระหว่างการเก็บรักษา ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง 73

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

มังคุด (*Garcinia mangostana*,L.) เป็นผลไม้ในเขตร้อนชนิดหนึ่งที่นิยมส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ มีผลทรงกลม สีน้ำตาลแดง หรือสีม่วงเมื่อสุกเต็มที่ ภายในมีเนื้อสีขาวนวล แบ่งเป็น 4-6 กลีบ มีรสหวานอมเปรี้ยว หอมอร่อยชวนรับประทาน จึงได้รับการขนานนามว่า "ราชินีแห่งผลไม้" (ชาติชาย พฤกษ์รัตนกุล และคณะ, 2532 ; Martin, 1980) เนื่องจากการส่งออกมังคุดในรูปผลสดมีอายุการเก็บรักษาสั้น และมักประสบปัญหาด้อยคุณภาพ อย่างไรก็ตามจากแนวโน้มการส่งออกมังคุดที่เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ทำให้การผลิตมังคุดในรูปของการแช่เยือกแข็งได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากการแช่เยือกแข็งมีข้อได้เปรียบคือ เก็บไว้ได้นาน ช่วยลดปัญหาที่ต้องเร่งการขายสินค้าออก การขนส่งสะดวก และสามารถรักษารูปแบบและคุณภาพให้ใกล้เคียงกับผลสด (กรมวิชาการเกษตร, 2528 ; ดารา พวงสุวรรณ, 2531)

การแช่เยือกแข็งมังคุดทั้งผล ต้องผ่านการคัดเลือกผลที่มีคุณภาพดี ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม คือ ขนาดผลสม่ำเสมอ น้ำหนักผลไม่ต่ำกว่า 80 กรัมต่อผล ผิวของผลสะอาด มีสีแดงอมม่วงตามธรรมชาติ เนื้อภายในมีสีขาวนวล ไม่มีอาการเน่าช้ำ เนื้อแก้ว และยางซึม แต่สำหรับผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมดนั้นพบว่า มีปริมาณของผลที่มีลักษณะคุณภาพไม่ครบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด ประมาณร้อยละ 45-50 (เกียรติ ลีละเศรษฐกุล และดารา พวงสุวรรณ, 2530) ซึ่งสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อย่างอื่น เช่น มังคุดกึ่งแห้ง มังคุดกวน มังคุดกระป๋อง รวมทั้งการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วแบบเป็นชิ้นหรือที่เรียกว่า ไอคิวเอฟ (Individually Quick Freezing , IQF) ก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ประโยชน์จากผลมังคุดที่ด้อยคุณภาพ การแช่เยือกแข็งแบบนี้เป็นวิธีที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งที่เร็วมาก ทำได้โดยให้อาหารสัมผัสกับสารให้ความเย็นขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะ มีข้อได้เปรียบคือ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทาง

ชีวเคมีลดลงอย่างรวดเร็ว และเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กและมีปริมาณมากกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ยังคงรักษาคุณภาพของอาหารเอาไว้ได้ สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในอุตสาหกรรมผักและผลไม้แช่เยือกแข็งคือ การพยายามรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ให้คงเดิมมากที่สุด แนวทางการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมังคุดภายหลังการเปิดผลโดยการใช้กรด ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่ การใช้กรดหลักที่พบมากในมังคุดในรูปแบบหรืออนุพันธ์ของกรดที่มีความเหมาะสม เช่น ราคาถูกและมีความคงตัวสูง เป็นต้น นอกจากนี้การดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง (Dehydrofreezing) ก็เป็นวิธีหนึ่งในการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แช่เยือกแข็ง สามารถทำได้โดยการใช้ลมร้อนหรือการใช้วิธีออสโมซิส ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง ซึ่งสามารถลดน้ำหนักและปริมาตรของอาหารลงได้ ช่วยประหยัดพลังงานที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง ในขณะที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังใกล้เคียงกับการแช่เยือกแข็งแบบธรรมดา

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว เพื่อเป็นแนวทางที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากผลิตผล ลดปริมาณของเสียและช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตผล

ตรวจเอกสาร

มังคุดเป็นไม้ผลในเขตร้อน จัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana,* Linn เป็นพืชที่มีสายพันธุ์เดียวเท่านั้น ลักษณะลำต้นขนาดกลางถึงใหญ่ เจริญเติบโตช้า อายุ 7-10 ปีจึงจะให้ผล ขึ้นกับแหล่งที่ปลูกและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ลักษณะของผลมังคุดเป็นแบบเบอรี่ ผลทรงกลมแป้น เปลือกหนา ผลอ่อนเปลือกจะมีสีเขียว พอเริ่มแก่จะมีลายเส้นสีแดง เรียกว่า สายเลือด เมื่อสุกจัดเปลือกจะมีสีม่วงดำ เนื้อภายในมีสีขาวนวล แบ่งเป็นกลีบประมาณ 4-6 กลีบ ในแต่ละผลมีเมล็ดที่เจริญสมบูรณ์ 1-3 เมล็ด ที่เหลือมักลีบ (หลวงบุเรศบำรุงการ, 2518;ทวีศักดิ์ วัฒนกูล, 2532 ; Coronel, 1983)

มังคุดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบมลายู ปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทย สำหรับประเทศไทย พื้นที่ปลูกที่สำคัญ ได้แก่ ภาคใต้และภาคตะวันออก โดยเฉพาะในจังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช และจันทบุรี ส่วนการปลูกมังคุดในภาคอื่นยังมีปริมาณไม่มากพอในเชิงการค้า โดยทั่วไปมังคุดจะออกผลปีละครั้ง เนื่องจากความแตกต่างของภูมิอากาศและพื้นที่ปลูกทำให้ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมังคุดแตกต่างกัน โดยในเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคมเป็นมังคุดที่เก็บเกี่ยวได้ทางภาคตะวันออก ส่วนเดือนสิงหาคมถึงตุลาคมเป็นมังคุดจากภาคใต้ (เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธิ์ และคณะ, 2530 ; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2531)

การเก็บเกี่ยวมังคุด ควรเลือกเก็บผลที่เริ่มมีสายเลือดหรือมีการเปลี่ยนสี ส่วนระยะที่เหมาะแก่การรับประทาน เปลือกจะมีสีม่วงเข้มหรือม่วงดำ สำหรับวิธีการเก็บเกี่ยวมังคุดนั้น เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของผลผลิต ควรมีการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด จิรา ณ หนองคาย (2531) เสนอวิธีการเก็บเกี่ยวมังคุดที่ถูกต้อง 2 วิธี คือ

1.ปีนขึ้นไปเก็บใส่ถุงผ้าหรือตะกร้า

2.ใช้ถุงสอยมังคุด มีลักษณะเป็นมุ้งไนล่อน หรือตาข่าย มีเชือกสำหรับบิด

มังคุดที่เก็บเกี่ยวในระยะเริ่มสุก จะมีเปลือกสีน้ำตาลแดงภายใน 3 วัน และเปลือกจะมีสีดำภายใน 5 วัน ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบดูลักษณะภายใน พบว่า มีมังคุดที่มีคุณภาพดีจริง ๆ เพียงร้อยละ 54.7 เท่านั้น ซึ่งผลมังคุดที่เสื่อมคุณภาพสาเหตุจากความผิดปกติทางสรีรวิทยา ได้แก่

1. ยางไหลภายในผลหรือมียางแทรกอยู่บริเวณกลีบและไส้กลาง โดยที่ผิวภายนอกอาจจะมียางไหลหรือไม่ก็ตาม ซึ่งยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่นอน

2. ยางไหลออกมาที่ผิวผลเป็นจุด ๆ หรือเกิดตามรอยแตก

3. เปลือกแข็ง เป็นปัญหาที่พบมากในปัจจุบัน ผลที่เปลือกแข็ง เมื่อผ่าดูเนื้อภายในจะเสียเป็นส่วน ๆ

4. เนื้อในเป็นแก้ว ซึ่งสาเหตุที่แท้จริงยังไม่ทราบแน่ชัด เนื้อจะเปลี่ยนจากสีขาวขุ่นเป็นขาวใส อาจเป็นบางส่วนหรือทั้งผล (ชาติชาย พฤกษ์รัตนกุล และคณะ, 2532)

1. การใช้ประโยชน์และคุณค่าทางอาหารของมังคุด

เนื้อมังคุด นอกจากเหมาะแก่การบริโภคสดแล้ว ยังมีการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้แก่ มังคุดกระป๋อง มังคุดกวน และมังคุดแช่เยือกแข็ง ซึ่งบางประเภทจัดเป็นการใช้ประโยชน์จากมังคุดส่วนเกินที่เหลือจากการบริโภค หรือจากผลที่ไม่ได้มาตรฐาน (ทวีศักดิ์ วัฒนกูล, 2532) เนื้อและเมล็ดมังคุด เมื่อนำมาเชื่อมด้วยน้ำตาลสามารถถนอมรักษาไว้ได้ดี เหมาะสำหรับราดหน้าไอศกรีมหรือเชอร์เบต โดยเฉพาะในส่วนของเมล็ดจะมีกลิ่นหอมของถั่วนัต (nutty flavor) (Ochse, *et al.*,1961) มังคุดมีส่วนที่เป็นเนื้อร้อยละ 25-30 ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ในปริมาณสูง ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำตาล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 19.8 องศาบริกซ์ มีน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 17.5 ในส่วนนี้ประกอบด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 4.3 โดยมีน้ำตาลหลักคือ ฟรักโตส กลูโคสและซูโครส มีปริมาณความชื้นสูง นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ อีกหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1

เปลือกมังคุด นำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น- เปลือกสด อาจใช้ทำเยลลี่ หรือวุ้นผลไม้ (ชาคริต จุลกะเสวี, 2535) เปลือกตากแห้งอาจใช้เป็นยาแก้ท้องร่วง เป็นเชื้อเพลิง หรือสกัดสารเป็นเครื่องสำอางค์ สบู่ และโลชั่น เป็นต้น (โชค บุญทรง, 2532; ทวีศักดิ์ วัฒนากูล, 2532) ใบสดของต้นมังคุด ในตำรายาแผนโบราณใช้ตำรักษาแผลสดได้ดี ส่วนเนื้อไม้มังคุดเป็นไม้เนื้อแข็ง ใช้ทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ได้ดีมาก (ชาคริต จุลกะเสวี, 2535)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางอาหารของมังคุด ต่อ 100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้

องค์ประกอบ	
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	76.0
ความชื้น (กรัม)	79.27
โปรตีน (กรัม)	0.5
ไขมัน (กรัม)	0
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	18.4
สารเยื่อใย (กรัม)	1.7
เถ้า (กรัม)	2.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	11.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	17.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.9
ไทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.09
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.06
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.1
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม)	2.0*

ที่มา : Department of Health, Nutrition Division (1992)

*ที่มา : Intengan และคณะ (1968)

2. ลักษณะการจำหน่ายมังคุด

1.การจำหน่ายในรูปผลสด ตลาดของผลมังคุดสดเป็นตลาดทางยุโรปและเอเชีย แถบประเทศฮ่องกง ไต้หวัน และสิงคโปร์ ซึ่งจะขนส่งโดยเครื่องบิน ลักษณะของเนื้อมังคุด ต้องมีผิวสะอาดสดใส ปราศจากร่องรอยการทำลายของแมลง ผลมีขนาดตั้งแต่ 70-100 กรัม เปลือกไม่แข็ง ระยะการเก็บเกี่ยวเป็นระยะสายเลือด ส่งขายในลักษณะการบรรจุกล่อง

2.การจำหน่ายในรูปผลแช่เยือกแข็ง ตลาดที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น ต้องการผลขนาดใหญ่ 90 กรัมขึ้นไป ลักษณะของผิวผลต้องสะอาด ปราศจากร่องรอยการทำลายของแมลงและโรค ทำให้จำหน่ายได้ในราคาสูง (เกียรติ ลีละเศรษฐกุล และ ดารา พวงสุวรรณ, 2530)

3. การแช่เยือกแข็งผลไม้

การถนอมรักษาผลไม้โดยการแช่เยือกแข็ง เป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่ปีพ.ศ. 2463 เป็นต้นมา ทั้งนี้จากการพัฒนากรรมวิธีและเครื่องมือในการแช่เยือกแข็ง ตลอดจนภาชนะบรรจุ ทำให้การแช่เยือกแข็งสามารถรักษาคุณภาพของผลไม้ โดยเฉพาะในด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสได้ดีกว่ากรรมวิธีการบรรจุกระป๋องหรือทำแห้ง จึงเหมือนมีผลไม้สดบริโภคตลอดปี การแช่เยือกแข็งสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลไม้เสื่อมเสีย ลดอัตราเร็วของปฏิกิริยาเอนไซม์ และปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่พึงประสงค์ อันเนื่องมาจากผลของการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ร่วมกับการลดปริมาณน้ำในอาหารลง โดยเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง ทำให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มีน้อยลง ผลไม้หลายชนิดจากประเทศไทย ได้ทำการผลิตในลักษณะการแช่เยือกแข็งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ แต่ยังมีปริมาณไม่สูงมากนัก (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527 ; ดารา พวงสุวรรณ, 2531)

สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็งได้เริ่มต้นผลิตโดยโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีห้องเย็นอยู่แล้ว มังคุดที่ใช้เป็นวัตถุดิบควรมีคุณภาพพอดีรับประทาน สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็งเพื่อการส่งออก เป็นผลมังคุดใกล้สุก สิ่งสำคัญที่สุดคือ คุณภาพของมังคุดต้องสดขณะเข้าโรงงาน เพื่อทำการแช่เยือกแข็งทันที จะได้มังคุดแช่เยือกแข็งที่มีคุณภาพดี (สมทรง ปวีณการณ์ และนิลวรรณ ลีอังกูรเสถียร, 2531)

ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธ์กุล (2533) ได้ศึกษาวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง โดยการแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส จนมีอุณหภูมิกึ่งกลางผลเป็น -18 องศาเซลเซียส พบว่า การลดอุณหภูมิล่วงหน้าก่อนการแช่เยือกแข็งเป็น 4 และ 10 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็ง 175 และ 180 นาที ตามลำดับ ในขณะที่มังคุดที่ไม่ได้ลดอุณหภูมิต้องใช้เวลาถึง 220 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้บรรจุในถุงพลาสติกชนิดพีพี และกล่องกระดาษแข็ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

จากการทดลองของวิจิตร ครูปัญญามาตย์ และ อรรถชัย วรกุล (2533) เปรียบเทียบการแช่เยือกแข็งมังคุดโดยใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส แบบกระแสลมเป่า และการใช้ไนโตรเจนเหลว พบว่า การใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัสได้รับคะแนนการยอมรับมากกว่าการใช้เครื่องแบบกระแสลมเป่า การลดอุณหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็งมีผลทำให้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยลง แต่ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ส่วนการจุ่มในไนโตรเจนเหลว เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งที่ไม่เหมาะสมต่อการแช่เยือกแข็งมังคุด เนื่องจากทำให้ผลมังคุดแตกหลังจากการแช่เยือกแข็ง

จากการศึกษาของรุจิรา กิจธารทอง (2534) พบว่า มังคุดแช่เยือกแข็งที่มีรูปแบบแตกต่างกันได้คะแนนการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน โดยมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้รับคะแนนการยอมรับสูงกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล สมชาย กล้าหาญ (2535) รายงานว่า การแช่เยือกแข็งมังคุด โดยการเรียงลงถาดโฟม แล้วเทไนโตรเจนเหลวลงไป ปิดถังโฟมไว้ 30 นาที เก็บที่อุณหภูมิ -10 ถึง 0 องศาเซลเซียส ลักษณะภายในของผลมังคุดหลังจากการแช่เยือกแข็ง เนื้อจะแข็งมาก มีลักษณะสีขาวขุ่น หลังจากการเก็บรักษา 56 วัน สีเนื้อและเปลือก รสชาติ ยังคงสภาพเหมือนมังคุดสด ผลมังคุดที่แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวเปลือกจะอ่อนนุ่มลง พร้อมทั้งยางที่เปลือกจะหมดไปด้วย

4. ขั้นตอนการผลิตผลไม้แช่เยือกแข็ง

โดยทั่วไปผลไม้ที่นำมาทำการแช่เยือกแข็ง จะเก็บเกี่ยวในระยะที่สุกเต็มที่ หรือใกล้เคียงกับการบริโภคสด ซึ่งมีกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสดีที่สุด นอกจากวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีแล้ว การปฏิบัติต่อผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็งก็มีความสำคัญ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์และชนิดของผลไม้ ในระหว่างรอเข้ากระบวนการผลิต อาจต้องเก็บในห้องที่มีการควบคุมบรรยากาศ ผ่านการบ่มสุก การควบคุมเชื้อรา การคัดขนาดและคุณภาพ การทำความสะอาดและการตัดแต่ง

การปฏิบัติต่อผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็ง

1. การป้องกันและยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้

ผลไม้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์เกิดจากสารประกอบพวกโมโนฟีนอลิกในสภาวะที่มีออกซิเจนและเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่นได้สารที่เรียกว่า ออโธ-ไดฟีนอล (O-diphenol) หลังจากนั้นจะถูกออกซิไดส์ ได้สารที่เรียกว่า ออโธ-ควิโนน (O-quinones) (Nicolas, 1994) สารออโธ-ควิโนนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิก กรดอะมิโนและสารประกอบอื่นๆ ให้สารที่มีสีน้ำตาลที่มีรูปร่างไม่แน่นอน พีเอชที่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส อยู่ในช่วง 5-7 การเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์สามารถยับยั้งได้ด้วยกรด สารเฮไลด์ (halides) กรดฟีนอลิก ซัลไฟต์ สารประกอบที่เป็นสารรีดิวซ์ เช่น กรดแอสคอร์บิก (Sapers, 1993) การลวกก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ได้ แต่ไม่สามารถทำได้ในผลิตภัณฑ์ทุกประเภทโดยเฉพาะผลไม้ที่บริโภคสด เช่น มังคุด ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีอื่นแทน การป้องกันและยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทำได้โดย

ก. การใช้สารประกอบซัลเฟอร์ (ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมหรือโพแทสเซียมไบซัลไฟต์ และเมตาไบซัลไฟต์)

สารประกอบซัลเฟอร์ที่เติมลงในอาหารเพื่อยับยั้งหรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นสารฟอกสี และวัตถุกันหืน เป็นต้น (Taylor, *et al.*, 1986) ซัลไฟต์ทำหน้าที่ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอล

ออกซิเดส และขัดขวางการเกิดรงควัตถุ โดยจะไปรวมตัวกับสารที่ไม่คงตัว ที่เกิดเป็นรงควัตถุ (Sayavedrasoto and Montgomery, 1986) อย่างไรก็ตาม FDA (1986) ได้มีการประกาศห้ามใช้ซัลไฟต์ในผักและผลไม้สด และระบุว่า อาหารบรรจุภาชนะที่มีการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรืออนุพันธ์ในปริมาณตั้งแต่ 10 ส่วนในล้านส่วนขึ้นไป ต้องปิดฉลากบอกปริมาณซัลไฟต์ที่มีอยู่

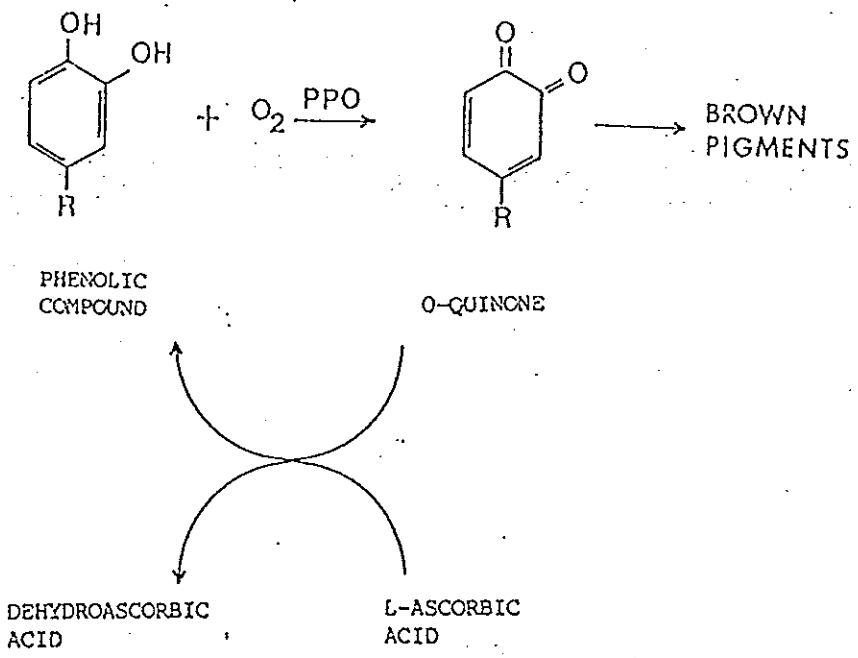
ข. การใช้กรดอินทรีย์

กรดแอสคอร์บิก เป็นสารที่นำมาใช้แทนซัลไฟต์ได้ดีที่สุด มีฤทธิ์สูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ เนื่องจากช่วยลดการเกิดสารควิโนน ดังแสดงในภาพที่ 1 นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นสูงๆ มีผลยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสโดยตรง (Vamos-Viggazo, 1981) การใช้กรดแอสคอร์บิกอาจเติมลงไปในน้ำเชื่อม หรือจุ่มผลไม้ในสารละลายของกรด แต่กรดแอสคอร์บิกมีราคาค่อนข้างสูงและความคงตัวต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการทดลองใช้อนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิกแทน เช่น กรดดี-ไอโซแอสคอร์บิกหรือกรดอีริธอร์บิก (ภาพที่ 2) และกรดแอสคอร์บิก-2-ฟอสเฟต

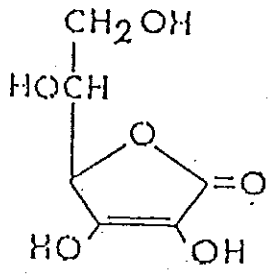
Santerre และคณะ (1988) รายงานว่า การใช้กรดอีริธอร์บิก ซึ่งมีราคาต่ำกว่ากรดแอสคอร์บิก สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นแอปเปิ้ลแช่เยือกแข็งได้ดีพอ ๆ กับการใช้กรดแอสคอร์บิก และการใช้กรดอีริธอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 1 ร่วมกับการใช้กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.25 และ 1 ไม่มีความแตกต่างในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นแอปเปิ้ลแช่เยือกแข็ง จากการทดลองของ Sapers และ Ziolkowski (1987) พบว่า การใช้กรดอีริธอร์บิก ให้ผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิ้ลได้ดีเหมือนกับการใช้กรดแอสคอร์บิก แต่กรดแอสคอร์บิกมีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นแอปเปิ้ลมากกว่าการใช้กรดอีริธอร์บิก Nicolas (1994) อธิบายว่า กลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของกรดอีริธอร์บิกเป็นเช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิก

นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดแอสคอบิก-2-ฟอสเฟต ซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่มีความคงตัวมากกว่ากรดแอสคอร์บิกในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในมันฝรั่ง โดยใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 2.5 ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก-2-ฟอสเฟตร้อยละ 1.9 และกรดแอสคอร์บิกไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 1.5 สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 4 เพียงอย่างเดียว (Sapers and Miller, 1992)

จากการศึกษาของ Monsalve-Gonzalez และคณะ (1993) พบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิก -2-ฟอสเฟตร่วมกับการใช้กรดแอสคอร์บิก มีผลในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 1 กลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ของกรดแอสคอร์บิก
ที่มา : Nicolas (1994)



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของกรดอีริธอร์บิก
ที่มา : Nicolas (1994)

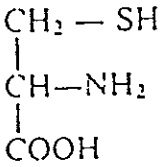
จากการศึกษาการใช้กรดซิตริกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ร่วมกับสารชนิดอื่นในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ พบว่า กรดซิตริก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารจับโลหะเหล็กและทองแดง อันเป็นโลหะหนักที่จำเป็นในกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส และเป็นตัวช่วยลดพีเอชไม่ให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส (Langdon, 1987) ร่วมกับการใช้เกลือแคลเซียมซึ่งสามารถเสริมฤทธิ์ของกรดในการเป็นสารป้องกันและยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ดังการทดลองของชื่นใจ ศรีพงษ์พันธ์กุล (2533) พบว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกร้อยละ 0.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 เพื่อยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสี และรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็ง มีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากกว่าการไม่ใช้สารละลายผสม จากรายงานของ Langdon (1987) พบว่า การใช้กรดซิตริกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกสามารถรักษาสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของมันฝรั่งได้ดีเท่ากับการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

ค. การใช้สารยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

สารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส มีหลายชนิด แต่ที่นำมาใช้แทนซัลไฟต์มีเพียง 2-3 ชนิดเท่านั้น เช่น กรดเบนโซอิก กรดโคจิก (Cojic) และ 4-เฮกซิลรีซอร์ซินอล (4-hexylresorcinol) (Vamos-Viggazo,1981)

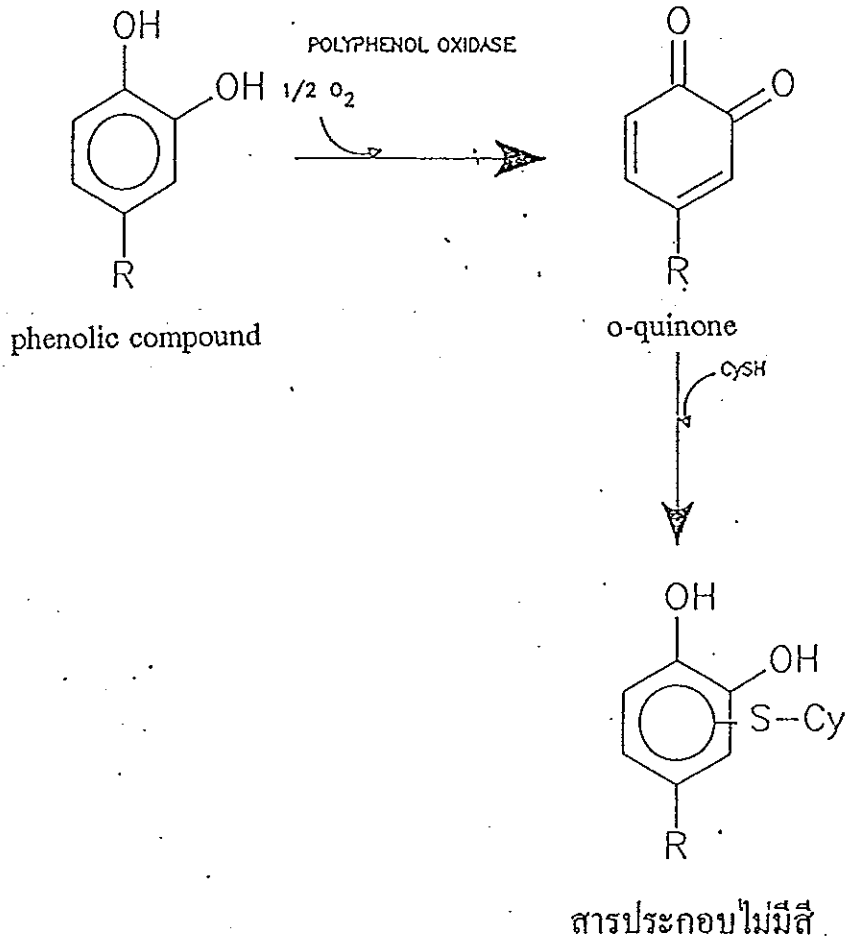
ง. กรดอะมิโน

แอล-ซีสเตอีน (L-cysteine) (ภาพที่ 3) เป็นกรดอะมิโนตัวหนึ่งที่มีศักยภาพในการใช้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลแทนการใช้ซัลไฟต์ Nicolas (1994) รายงานว่า คุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของซีสเตอีน เกิดจากการทำปฏิกิริยากับสารควิโนน ได้สารประกอบไม่มีสีที่มีความเสถียร ดังแสดงในภาพที่ 4 และนิยมใช้เป็นส่วนผสมในทางการค้าเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล จากการทดลองของ Nicoli และคณะ (1994) พบว่า การใช้ซีสเตอีนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นแอปเปิ้ลได้ดีในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา และประสิทธิภาพการเป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจะลดลงเมื่อมีการสัมผัสกับออกซิเจน Molnar-Perl และ Friedman (1990) พบว่า อะซิติลซีสเตอีน (N-acetylcysteine) มีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลและมันฝรั่งได้ดีพอ ๆ กับการใช้ซัลไฟต์



ภาพที่ 3 สูตรโครงสร้างของซีสเตอีน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Smith และ Walters (1967)



ภาพที่ 4 กลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ของซีสเตอีน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Nicolas (1994)

2. การใช้สารที่ทำให้เกิดความแน่นเนื้อ

หลังการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อลดลง จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าหาสารต่าง ๆ ที่ช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเกิดความแน่นเนื้อหรือคงตัวดีขึ้น ซึ่งพบว่า เกลือแคลเซียมมีส่วนเกี่ยวข้องกับความคงตัวของเนื้อเยื่อผลไม้ โดยทำปฏิกิริยากับสารเพคติน เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตต ทำให้โครงสร้างแข็งแรงขึ้น (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535) Drake และ Fridlund (1986) พบว่า การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการผลิตชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งสามารถช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อและลดการเกิดสีน้ำตาลได้

3. การดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง (dehydrofreezing)

สิ่งสำคัญที่อุตสาหกรรมผลไม้แช่เยือกแข็งจะต้องคำนึงถึงเพื่อรักษาส่วนแบ่งในตลาดไว้ คือ จะต้องพยายามรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีที่สุด ในขณะเดียวกันต้องพยายามหาวิธีการต่าง ๆ ในการลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องในการผลิตด้วย อาทิเช่น พลังงานที่ใช้ พื้นที่ในการเก็บรักษา เป็นต้น การดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง เป็นเทคโนโลยีรูปแบบหนึ่งของการแช่เยือกแข็งผักและผลไม้ โดยผักและผลไม้จะถูกนำไปกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง วิธีนี้จะช่วยลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง ลดปริมาณบรรจุภัณฑ์ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและพื้นที่ในการเก็บ ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณน้ำน้อยลง และมีความเข้มข้นของของแข็งเพิ่มขึ้นประมาณ 2-3 เท่า แต่ยังมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งแบบธรรมดา (Huxsol, 1982 ; Luh and Lorenzo, 1988) การดึงน้ำออกอาจทำได้โดยการอบให้ความชื้นลดลงด้วยความร้อน แต่อาจมีผลต่อคุณภาพของผลไม้ โดยเฉพาะพวกที่ไวต่อความร้อน (Kitson, 1970) การดึงน้ำออกโดยวิธีออสโมซีสเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากนัก โดยการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายที่มีความดันออสโมติกสูง เช่น สารละลายน้ำตาล เกลือ ซอร์บิทอล และกลีเซอรอล น้ำในเนื้อเยื่อผลไม้จะซึมผ่านผนังเซลล์ไปสู่สารละลายภายนอก ในขณะเดียวกันอาจมีการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าไปในชิ้นผลไม้ด้วย (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533 ; Biswal, *et al.*, 1991)

Ponting และคณะ (1966) พบว่า การดึงน้ำออกร้อยละ 50 โดยประมาณ โดยการแช่ผลพีชในน้ำเชื่อมก่อนการแช่เยือกแข็ง ผลพีชยังมีคุณภาพเทียบเท่ากับการแช่เยือกแข็งแบบธรรมดา Farkas และ Lazar (1969) ทำการทดลองโดยการดึงน้ำออกร้อยละ 30 ของปริมาณน้ำเริ่มต้นของชิ้นแอปเปิ้ลก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง พบว่า มีคุณภาพเทียบเท่ากับแอปเปิ้ลที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบธรรมดา

จากการศึกษาของสงวนศรี เจริญเหรียญ และ วิชาญ วงค์สิทธิ์ (2534) พบว่า การแช่ชิ้นสับปะรดในน้ำตาลเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ อัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก มีอัตราเร็วของการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ละลายได้ในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรกของการออสโมซีส เมื่อนำไปทำการแช่เยือกแข็ง ได้รับคะแนนการยอมรับในด้านสีเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาล ส่วนรสชาติและกลิ่นไม่มีความแตกต่างกัน

การแช่เยือกแข็ง

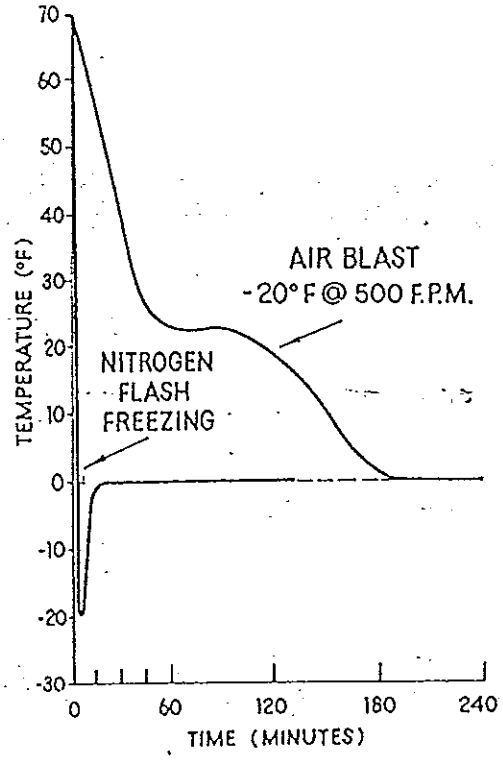
ปกติจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส แต่หากมีตัวถูกละลายละลายอยู่จุดเยือกแข็งจะลดลง ในเนื้อเยื่อของผลไม้ประกอบด้วยน้ำในปริมาณมาก และมีสารต่าง ๆ ละลายอยู่โดยเฉพาะกรดและน้ำตาล ทำให้จุดเยือกแข็งของผลไม้เหลือประมาณ -2 ถึง -3 องศาเซลเซียส ซึ่งมีสารที่ละลายได้มากเท่าใด ทำให้จุดเยือกแข็งของผลไม้ลดต่ำลงเท่านั้น เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผลไม้ให้ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำในผลไม้จะเริ่มเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง การเกิดผลึกน้ำแข็งเริ่มขึ้นเมื่อสภาวะเอื้ออำนวยให้โมเลกุลของน้ำหลาย ๆ โมเลกุล มาจับตัวกันเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่มีระเบียบ ซึ่งเรียกว่า นิวเคลียสผลึก จนมีขนาดโตพอที่สามารถจะอยู่ได้ และเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการโตของผลึกต่อไป เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย และให้อาหารแช่เยือกแข็งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับห้องเก็บรักษา จึงควรลดอุณหภูมิอาหารแช่เยือกแข็งลงจนเป็น -18 องศาเซลเซียส ก่อนการบรรจุและเก็บรักษา (Borgstrom, 1968)

อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งมีผลต่อปริมาณและขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อผลไม้ และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) เป็นวิธีการแช่

เยือกแข็งที่ใช้เวลานานในการทำให้เกิดการเยือกแข็งขึ้น และการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว (quick freezing) เป็นการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว การแช่เยือกแข็งแบบช้าใช้เวลานานกว่าการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วมาก ตัวอย่างดังภาพที่ 5 เป็นการแช่เยือกแข็งพายแอปเปิ้ล โดยการแช่เยือกแข็งแบบลมเป่าซึ่งเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าใช้เวลาประมาณ 180 นาที และการแช่เยือกแข็งโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วใช้เวลาประมาณ 15 นาที การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วมีข้อดีเมื่อเทียบกับการแช่เยือกแข็งแบบช้า คือ ทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสหรือเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลถูกยับยั้งอย่างรวดเร็ว และทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กและปริมาณมาก กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ไม่เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อของผลไม้ (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527 ; ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

การแช่เยือกแข็งสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การใช้ลมเย็น การสัมผัสกับแผ่นความเย็น การจุ่มในของเหลวให้ความเย็น และการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก ซึ่งวิธีการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิก จัดเป็นวิธีการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว ทำได้โดยให้อาหารสัมผัสกับสารให้ความเย็น ขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

ในปัจจุบันการแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ (Individual Quick Freezing, IQF) มีบทบาทมากขึ้นในอุตสาหกรรมการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว ในอาหารที่มีลักษณะเป็นชิ้นแข็ง เช่น ถั่วลันเตา กะหล่ำดอก กุ้ง ปลา เป็นต้น (Pruthi, 1994) สารให้ความเย็นที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง เช่น ไนโตรเจนเหลว มีข้อดีคือ อาหารไม่แห้งมากเกินไป ลดปัญหาการสูญเสียคุณภาพและคุณค่าของอาหาร และออกซิเจนจะถูกกำจัดออกไปในระหว่างการแช่เยือกแข็ง จากการทดลองของสมชาย กล้าหาญ (2535) พบว่า การแช่เยือกแข็งลำไยสด โดยบรรจุเรียงในถาดโฟม แล้วเทไนโตรเจนเหลวลงไป ทิ้งไว้ 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -5 ถึง 0 องศาเซลเซียส จะสามารถรักษาคุณภาพของลำไยสดไว้ได้นาน 41 วัน โดยลักษณะคุณภาพทุกประการเป็นที่ยอมรับของผู้ซื้อเท่ากับผลลำไยสด สมทรง ปวิณการณ์ (2530) รายงานว่า การแช่เยือกแข็งทุเรียนพันธุ์หมอนทองและชะนีแบบรวดเร็ว โดยนำเข้าเครื่องแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟที่ใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารให้ความเย็น ตั้งอุณหภูมิของเครื่องเป็น -40 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 นาทีสำหรับพันธุ์หมอนทอง และ 40 นาทีสำหรับพันธุ์ชะนี



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบอัตราการแช่เยือกแข็งพายแอปเปิ้ลโดยการแช่เยือกแข็งแบบกระแสลมเป่าและการใช้ก๊าซไนโตรเจน

ที่มา : Woolrich และ Novak (1968)

การแช่เยือกแข็งโดยใช้ไนโตรเจนเหลวมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงซึ่งเป็นของไนโตรเจนเกือบทั้งหมด อาจใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็นที่สามารถใช้ทดแทนไนโตรเจนเหลวได้ ซึ่งมีข้อดีเหมือนกับการใช้ไนโตรเจนเหลว (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) Garthwaite (1992) กล่าวว่าการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวในการถนอมอาหารสดเป็นไปอย่างแพร่หลาย อาทิ เนื้อปลาและสัตว์ทะเลอื่น ๆ ผลไม้และผักสด เพราะคาร์บอนไดออกไซด์มีราคาถูก และมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีอยู่ในอาหารสด ไม่ทำให้รูปทรงและรสชาติอาหารเปลี่ยนไป การใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวสามารถฉีดพ่นบนอาหารที่ผ่านอุโมงค์ การเปลี่ยนสถานะโดยการดูดความร้อนของคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นผลให้อาหารแข็งตัวอย่างรวดเร็ว

การบรรจุ

การบรรจุเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต ที่พบว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อธุรกิจการค้าในปัจจุบัน ผลไม้แช่เยือกแข็งอาจมีการเสื่อมคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา เช่น การแห้งเนื่องจากการสูญเสียความชื้น หรือการเกิดสีน้ำตาล ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุผลไม้แช่เยือกแข็ง ควรมีคุณสมบัติที่เหมาะสม พลาสติกที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มากที่สุดคือ พลาสติกชนิดโพลิเอทธิลีน ทั้งในแง่ของปริมาณและขอบเขตการใช้งาน โดยเฉพาะพลาสติกแอลดีพีอี เป็นพลาสติกที่ไม่มีกลิ่นรส มีความปลอดภัย ดูดซึมน้ำได้น้อยมาก ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำ ใช้งานได้แม้มีอุณหภูมิต่ำถึง -80 องศาเซลเซียส (British Standards Institution, 1989) จากรายงานของรุจิรา กิจธารทอง (2534) เกี่ยวกับการเก็บมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยชนิดต่าง ๆ คือ กล่องพีเอส กล่องพีวีซี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี และถุงแอลดีพีอี ได้คะแนนการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อประเมินต้นทุน พบว่า การบรรจุในถุงแอลดีพีอีมีราคาต่ำที่สุด

มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิทัต (2533) กล่าวว่า แผ่นฟิล์มชนิดครัยโอแวค ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นพวกเอธิลีนไวนิลอะซิเตตประกบด้วยชั้นของโพลิไวนิดีนคลอไรด์สองชั้น สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีและอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนในฟิล์มชนิดนี้จะน้อยกว่าพวกโพลิเอทธิลีนมาก

การเก็บรักษา

การรักษาคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งได้ดีที่สุดอีกวิธีหนึ่งคือ การเก็บรักษาที่ดี โดยทั่วไปควรเก็บผลไม้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า และต้องรักษาอุณหภูมิของห้องเก็บให้สม่ำเสมอตลอดเวลา จะสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียยังคงเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า -18 องศาเซลเซียส เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหาร อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของห้องเก็บยิ่งต่ำมาก มีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสูงขึ้นด้วย (Borgstrom, 1968)

Venning และคณะ (1989) ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความคงตัวของผลกีวีแช่เยือกแข็ง พบว่า การใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี โดยการเก็บที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 54 สัปดาห์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี ในขณะที่การเก็บในอุณหภูมิ -18 และ -9 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษา จากรายงานของไพรัตน์ โสภโณดร และคณะ (2534) ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็ง พบว่า คะแนนการยอมรับเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษา แต่ยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อเก็บรักษาครบ 90 วัน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตและแนวทางการป้องกันการเสื่อมคุณภาพของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ

2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ

3. เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากชิ้นมังคุดให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสำหรับเป็นข้อมูลในการพัฒนาเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรม

CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

1. มังคุดสดจากตลาดในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และสวนของเกษตรกรในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีความสุกปานกลาง คือ สีผิวอยู่ในระดับ 4-5 ตามดรรชนีแสดงระดับสีของผลมังคุด (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2529) ขนาด 70-115 กรัมต่อผล
2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
   - -กรดซิตริก
   - -กรดดี-ไอโซแอสคอบิก หรือ กรดอีริธอร์บิก
   - -แอล-ซีสเตอีน
   - -แคลเซียมคลอไรด์
   - -สารละลายน้ำตาลซูโครส
3. ถุงพลาสติกชนิด พีอี ขนาด 4x6 นิ้ว
4. ถุงครัยโอแวค ขนาด 6x8 นิ้ว ความหนา 0.03 มิลลิเมตร

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง
   - 1.1 แท่นผ่ามังคุด ออกแบบโดย พรชัย ศรีไพบูลย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2533)
   - 1.2 ห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
   - 1.3 ห้องเย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

1.4 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic Cabinet Freezer รุ่น JE-C1D (ภาพที่ 6)

1.5 เทอร์โมคอปเปิ้ลและเครื่องบันทึกอุณหภูมิ รุ่น PRESICA 2001E

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 เครื่องชั่ง

2.2 เครื่องวัดสี JUKI รุ่น JP7100F

2.3 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Hand refractometer) รุ่น ATAGO-N1

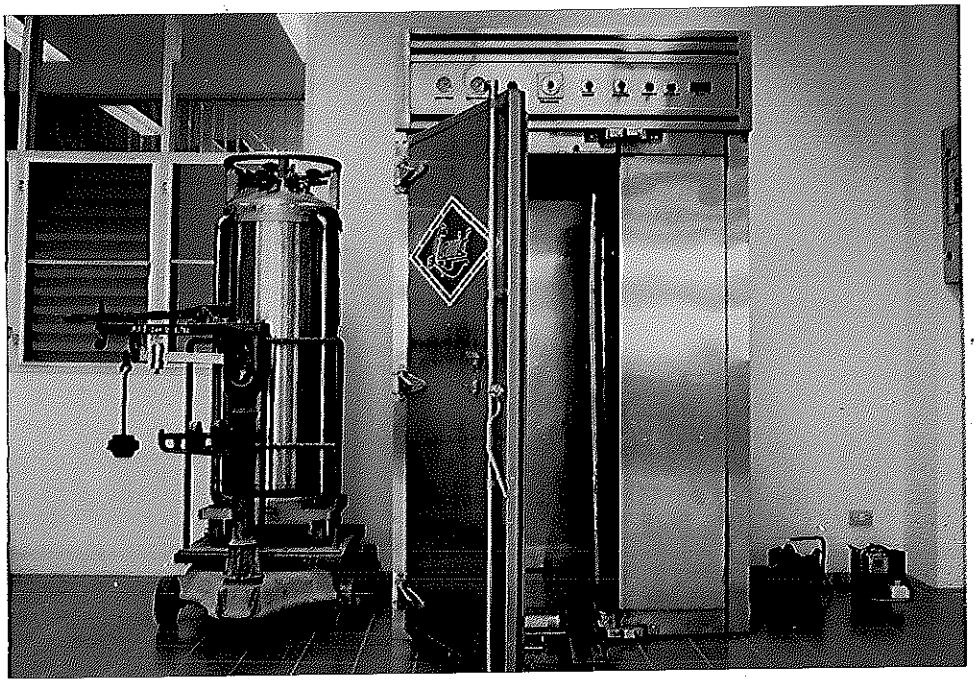
2.4 พีเอชมิเตอร์ รุ่น ACCUMET MODEL 5

2.5 อุปกรณ์และเคมีภัณฑ์สำหรับการวิเคราะห์

-คุณภาพทางเคมี

-คุณภาพทางประสาทสัมผัส

-คุณภาพทางจุลินทรีย์



ภาพที่ 6 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic Cabinet Freezer รุ่น JE-C1D

วิธีการ

1.การเตรียมและตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ

คัดเลือกมังคุดที่มีผิวสีน้ำตาลอมแดงจนถึงม่วง ลักษณะไม่เน่า มาล้างและทำความสะอาด ตัดส่วนที่ขั้วและกลีบเลี้ยงออก วางในตะกร้าให้สะเด็ดน้ำ ผ่ามังคุดโดยใช้แท่นผ่า เปิดเปลือกด้านท้ายออก ขณะเปิดผลควรบีบเบา ๆ แกะเอาส่วนที่เป็นเนื้อออกมาแยกเป็นชิ้นขนาดใหญ่และเล็ก ชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดจะเข้าสู่กระบวนการต่อไป สุ่มตัวอย่างชิ้นมังคุดขนาดใหญ่และขนาดเล็ก มาตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความชื้น (A.O.A.C., 1990) ค่าสีในระบบฮันเตอร์ในรูปของค่า L, a, b โดยใช้เครื่องวัดสี JUKI ของเนื้อมังคุด และคั้นส่วนที่เป็นน้ำเพื่อวิเคราะห์ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (A.O.A.C., 1990) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าพีเอชโดยใช้เครื่องวัดพีเอช

2.การศึกษาแนวทางยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

ศึกษาผลของการใช้สารเคมีในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาเนื้อสัมผัสของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง โดยการนำชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดจากการเตรียมวัตถุดิบในข้อ 1 แช่ในสารละลายผสมที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัยคือ

-กรดซิตริกผสมกับแคลเซียมคลอไรด์ (ร้อยละ 0 และ 0.5+0.25)

-กรดอีริธอร์บิก (ร้อยละ 0 และ 1)

-ซีสเตอีน (ร้อยละ 0, 0.3 และ 0.5)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCB) โดยจัดชุดการทดลองแบบ factorial design เป็น 12 ชุดการทดลองและชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย รวมทั้งหมดเป็น 13 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 2) เรียงชิ้นมังคุดลงในถาดสำหรับแช่เยือกแข็ง โดยพยายามให้แต่ละชิ้นแยกจากกัน วางถาดในเครื่องแช่เยือกแข็ง Cryogenic Cabinet Freezer ในลักษณะสลับถาดระหว่างชิ้นเล็กและชิ้นใหญ่ ตั้งอุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็งเป็น -60 องศาเซลเซียส และเปิดพัดลมในตัวเครื่องทั้ง 4 ตัว เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนอากาศเย็นอย่างสม่ำเสมอ เมื่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางชิ้นมังคุดเป็น -18 องศาเซลเซียส นำออกมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพีอี เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 อาศาเซลเซียส

หลังจากเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน นำมาวัดค่าสีตามระบบฮันเตอร์ (L, a, b) ด้วยเครื่องวัดสี JUKI และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนประมาณ 15 คน ใช้การทดสอบชิมแบบพรรณาเชิงปริมาณ (QDA) (Stone, *et al.*, 1974) คุณลักษณะที่ทำการประเมินคือ สี และเนื้อสัมผัส คะแนนการทดสอบที่ได้นำมาวิเคราะห์วาเรียนซ์ และความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองแบบ DMRT (Duncan's Multiple Range Test) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531) เพื่อคัดเลือกชุดการทดลองที่เหมาะสมในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 2 ชุดการทดลองการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของชิ้นเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลาย (ร้อยละ)		
	กรดซิตริก+แคลเซียมคลอไรด์	กรดอีริธอบิก	ซีสเตอีน
1	0	0	0
2	0	0	0.3
3	0	0	0.5
4	0	1	0
5	0	1	0.3
6	0	1	0.5
7	0.5+0.25	0	0
8	0.5+0.25	0	0.3
9	0.5+0.25	0	0.5
10	0.5+0.25	1	0
11	0.5+0.25	1	0.3
12	0.5+0.25	1	0.5
13a	-	-	-

a = ชุดควบคุม ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

3.การศึกษาการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุด

เตรียมชิ้นมังคุดตามข้อ 1 และแช่ในสารละลายตามชุดการทดลองที่เหมาะสมในข้อ 2 มาศึกษาผลของการดึงน้ำออกบางส่วนโดยวิธีออสโมซีสก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยการแช่ในสารละลายซูโครสที่ระดับความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง อัตราส่วนน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักสารละลายคือ 1:3 มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ

-ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส (30, 40 และ 50 องศาบริกซ์)

-เวลาที่ใช้ในการแช่สารละลาย (30, 60 และ 120 นาที)

วางแผนการทดลองแบบ RCB โดยจัดชุดการทดลองแบบ factorial design เป็น 9 ชุดการทดลอง และชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครส รวมทั้งหมด 10 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 3) หลังจากแช่ในสารละลายซูโครสตามความเข้มข้นและเวลาที่กำหนด นำชิ้นมังคุดมาแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง Cryogenic Cabinet Freezer เช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 2 นำชิ้นมังคุดที่เกิดการเยือกแข็งแล้วออกมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพีอี เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซียสเป็นเวลา 1 วัน

หลังจากเก็บรักษาที่ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน นำมาวัดสีด้วยเครื่อง JUKI วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณความชื้น และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนประมาณ 15 คน ใช้แบบทดสอบชิมในเชิงพรรณาปริมาณ คุณลักษณะที่ทำการประเมินคือ สี เนื้อสัมผัส และความหวาน คะแนนการทดสอบที่ได้นำมาวิเคราะห์วาเรียนซ์ และความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองแบบ DMRT เพื่อคัดเลือกชุดการทดลองที่เหมาะสมในการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 3 ชุดการทดลองการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุด

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของซูโครส (องศาบริกซ์)	เวลาที่ใช้ในการแช่ (นาที)
1	30	30
2	30	60
3	30	120
4	40	30
5	40	60
6	40	120
7	50	30
8	50	60
9	50	120
10a	-	-

a = ชุดควบคุม ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครส

4.การศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งของชิ้นมังคุดที่อุณหภูมิเครื่อง Cryogenic Cabinet Freezer แตกต่างกัน

เตรียมตัวอย่างตามสภาวะที่เหมาะสมตามข้อ 1, 2 และ 3 มาศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิเครื่องแช่เยือกแข็งแตกต่างกัน เรียงชิ้นมังคุดในถาดสำหรับแช่เยือกแข็ง พยายามไม่ให้ชิ้นมังคุดเกาะติดกัน แยกศึกษาระหว่างชิ้นมังคุดขนาดใหญ่และเล็ก ปรับอุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic Cabinet Freezer เป็น -60 และ -40 องศาเซลเซียส เลือกชิ้นมังคุดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ใช้เทอร์โมคอปเปิ้ลเสียบเข้าจุดกึ่งกลางของชิ้นมังคุด วางชิ้นมังคุดที่ถูกเสียบเทอร์โมคอปเปิ้ลตรงกลางถาดบนและล่าง บันทึกอุณหภูมิทุก 1 นาที จนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางเป็น -18 องศาเซลเซียส เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของชิ้นมังคุด

5.การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

ทำการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ ตามสภาวะที่เหมาะสมในข้อ 3 และ 4 โดยใช้อุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic Cabinet Freezer ที่อุณหภูมิ -60 และ -40 องศาเซลเซียส บรรจุในถุงครัยโอแวคปริมาณ 250 กรัมต่อถุง ปิดผนึกแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 เดือน สุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพทุกเดือนดังนี้

-ทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี JUKI และน้ำหนักที่สูญหาย

-ทางเคมี ได้แก่ ความชื้น พีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (A.O.A.C., 1990)

-ทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราโคลิฟอร์มและ *Escherichia coli* , *Staphyllococcus aureus* (Hasegawa, 1987; Speck, 1984)

-ทางประสาทสัมผัส คุณลักษณะที่ทำการประเมินคือ สี เนื้อสัมผัส รสชาติมังคุด และการยอมรับรวม ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 8-10 คน และทดสอบชิมแบบพรรณาเชิงปริมาณ

หมายเหตุ พีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (A.O.A.C., 1990) ตรวจสอบในตอนเริ่มต้นและสุดท้ายของการเก็บรักษา

7.การประเมินต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งได้คำนวณจากค่าวัสดุสิ้นเปลืองมีดังนี้

1. ต้นทุนทางตรง
   - วัตถุดิบมังคุดสด
   - สารเคมี
   - แรงงานตามอัตราแรงงานขั้นต่ำ
   - น้ำตาลซูโครส
   - ภาชนะบรรจุ
2. ต้นทุนทางอ้อม
   - พลังงานไฟฟ้า
   - ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลว
   - น้ำ

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1.การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ

ผลมังคุดสดที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นผลมังคุดที่มีระดับสีผิวอยู่ในระดับ 4-5 ซึ่งเมื่อวัดค่าสีเปลือกตามระบบฮันเตอร์ได้ค่า L =53.94, a = 3.28, b = 0.91 จากค่า a แสดงให้เห็นว่าค่าสีของเปลือกค่อนข้างไปทางสีแดง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อมังคุดสด (ตารางที่ 4) พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน คือ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำถึงร้อยละ 83.47±0.40 และ 77.88±0.60 เนื่องจากชิ้นมังคุดขนาดใหญ่มีส่วนประกอบที่เป็นเมล็ด ดังนั้นจึงมีปริมาณน้ำต่ำกว่าชิ้นมังคุดขนาดเล็ก องค์ประกอบรองลงมาคือ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 17.80±0.50 และ 17.40±0.10 องศาบริกซ์ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำตาลร้อยละ 17.60±0.05 และ 16.65±0.03 โดยมีน้ำตาลรีดิวซ์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 3.78±0.01 และ 4.45±0.02 ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าร้อยละ 0.76±0.01 และ 0.65±0.01 และความสว่างในรูปของค่า L มีค่า 33.83±1.69 และ 31.06±0.72 สำหรับชิ้นมังคุดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ตามลำดับ ความแปรปรวนจากการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ ส่งผลให้คุณภาพทางเคมีและกายภาพของเนื้อมังคุดทั้งสองขนาดแตกต่างกันเล็กน้อย จากค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดที่วัดได้ พบว่า มีความเป็นกรดสูง และเนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลสูง จึงส่งผลให้มังคุดมีรสหวานอมเปรี้ยว สัดส่วนของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่สูงบ่งบอกถึงความเข้มของกลิ่นรสในเนื้อผลไม้ จากการทดลองพบว่ามีค่า 23.2 และ 25.6 ในชิ้นมังคุดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของรุจิรา กิจธารทอง (2534) คุณภาพของชิ้นมังคุดขนาดเล็กและใหญ่จากการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของนฤมล พงษ์พิริยะเดชะ (2539), Department of Health, Nutrition Division (1992) และ Intengen และคณะ (1968) และที่ต่างกันเล็กน้อยอาจเนื่องมาจาก แหล่งวัตถุดิบ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และภูมิอากาศ เป็นต้น

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อมังคุดสด

องค์ประกอบ	ชิ้นมังคุดขนาดเล็ก	ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่
สี		
ค่า L	33.83 ± 1.69	31.06 ± 0.72
ค่า a	-0.40 ± 0.13	-0.18 ± 0.04
ค่า b	2.84 ± 0.36	1.46 ± 0.21
พีเอช	2.94 ± 0.05	3.11 ± 0.04
ความชื้น (ร้อยละ)	83.47 ± 0.40	77.88 ± 0.60
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	17.80 ± 0.50	17.40 ± 0.10
น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	17.60 ± 0.05	16.65 ± 0.03
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	3.78 ± 0.01	4.45 ± 0.02
กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	0.76 ± 0.01	0.65 ± 0.01
กรดแอสคอร์บิก (มก./100 มล.)	1.14 ± 0.10	1.23 ± 0.07

หมายเหตุ ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

2. การศึกษาแนวทางการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

2.1 ชิ้นมังคุดขนาดเล็ก

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง 2 คุณลักษณะคือ สีและเนื้อสัมผัส ซึ่งผ่านการแช่ในสารละลายผสมอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นเวลา 1 นาทีก่อนการแช่เยือกแข็ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5 โดยมีรายละเอียดดังนี้

สี ซึ่งมีคะแนนจาก 0 ถึง 10 (คะแนน 0 หมายถึง สีขาว, คะแนน 10 หมายถึงสีน้ำตาลอ่อน) พบว่า การแช่ชิ้นมังคุดก่อนแช่เยือกแข็งในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกซึ่งเป็นสารจับโลหะหนักที่จำเป็นสำหรับกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส และลดพีเอชไม่ให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งคลอไรด์อิออนสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ มีผลทำให้ชิ้นมังคุดขนาดเล็กมีสีค่อนมาทางขาวมากกว่า ($P<0.05$) ชุดควบคุมและการแช่ในน้ำเย็นโดยไม่มีการเติมสารเคมี ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2533) ที่พบว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกร้อยละ 0.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 มีผลต่อการยอมรับของสีมากกว่าการไม่ใช้สารละลายผสม

นอกจากนี้ยังพบว่า การแช่ในสารละลายกรดอีริธอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1 และซีสเตอีนร้อยละ 0.3 และ 0.5 มีผลทำให้ชิ้นมังคุดขนาดเล็กมีสีค่อนมาทางขาวมากกว่า ($P<0.05$) ชุดควบคุมและการแช่ในน้ำเย็นโดยไม่มีการเติมสารเคมี และการแช่ในสารละลายซีสเตอีนทั้งสองความเข้มข้นไม่มีผลทำให้สีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแตกต่างกัน ($P>0.05$) กรดอีริธอร์บิกสามารถลดการเกิดสารควิโนนที่จะเปลี่ยนเป็นรงควัตถุสีน้ำตาลได้ และ Nicolas (1994) อธิบายว่า ซีสเตอีนสามารถทำปฏิกิริยากับสารควิโนนให้สารประกอบไม่มีสีที่มีความเสถียร ดังนั้นซีสเตอีนจึงมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล อย่างไรก็ตามพบว่า การใช้สารเคมีร่วมกันไม่แสดงผลให้ชิ้นมังคุดมีสีขาวขึ้นจนเห็นความแตกต่าง ซึ่งแสดงว่า การใช้สารเคมีชุดการทดลองเดียวก็เพียงพอแล้วในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

คะแนนค่าสีที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสอดคล้องกับค่าสีที่วัดได้จากเครื่องวัดสี JUKI ในระบบฮันเตอร์ ซึ่งค่า L หมายถึง ความสว่างของผลิตภัณฑ์ ถ้ามีค่ามากแสดงว่ามีความสว่างมาก จากการทดลองพบว่า ค่า L ของชุดควบคุมมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ($P<0.05$) แสดงว่า การใช้สารเคมีและน้ำเย็นมีผลทำให้สีของชิ้นมังคุดมีความสว่างขึ้น เนื่องมาจากสารเคมีและน้ำเย็นมีผลในการชลอและยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ แต่พบว่า การใช้กรดซิตริกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ กรดอีริธอร์บิก และซีสเตอีน เพียงชุดเดียวไม่มีผลทำให้ค่า L แตกต่างกัน ($P>0.05$) ค่า a ถ้ามีค่าเป็นบวกแสดงว่ามีสีค่อนไปทางสีแดง จากการทดลองพบว่า การ

ไม่ใช้สารเคมีมีผลให้สีของชิ้นมังคุดค่อนข้างไปทางสีแดงมากกว่าการใช้สารเคมี ($P<0.05$) ส่วนค่า b พบว่า ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่าง ($P>0.05$)

เนื้อสัมผัส ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งมีเนื้อสัมผัสแตกต่างไปจากมังคุดสด ทั้งนี้เพราะว่าชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งบริโภคในลักษณะที่เป็นน้ำแข็ง หรือเป็นน้ำแข็งบางส่วน มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายไอศครีม ซึ่งจัดเป็นการบริโภครูปแบบใหม่ และจากการทดลองการประเมินเนื้อสัมผัสของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง ในลักษณะของความแน่นเนื้อ โดยให้คะแนนจาก 0 ถึง 10 (คะแนน 0 หมายถึง แน่นน้อย, คะแนน 10 หมายถึง แน่นมาก) พบว่า การแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายทุกชุดการทดลองไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ($P>0.05$) แม้ว่าจะมีการใช้แคลเซียมคลอไรด์ อาจเนื่องมาจากความแน่นเนื้อของชิ้นมังคุดที่บริโภคในลักษณะแช่เยือกแข็งขึ้นกับผลึกน้ำแข็งมากกว่าโครงสร้างของเซลล์ที่เกิดจากแคลเซียมแพคเตต ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2533) ซึ่งพบว่า การแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายที่มีส่วนผสมของแคลเซียมคลอไรด์ ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส แต่อย่างไรก็ตามคะแนนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของทุกชุดการทดลองมีคะแนนค่อนไปทางแน่นมาก

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI พบว่า การใช้กรดซิตริกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ กรดอีริธอร์บิก และซีสเตอีน ทั้งการใช้ตัวเดี่ยว ๆ และใช้ร่วมกัน ล้วนแล้วแต่มีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งที่ไม่แตกต่างกัน แต่ไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัสเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ดังนั้นการเลือกใช้สารเคมีชุดเดียวก็เพียงพอแล้วในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล จึงเลือกชุดการทดลองที่มีการใช้กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.25 เป็นชุดการทดลองที่มีความเหมะสมในการทดลองต่อไป เนื่องจากมีราคาต่ำกว่ากรดอีริธอร์บิกและซีสเตอีน

ตารางที่ 5 คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัว

ชุดการทดลอง	สารละลาย (ร้อยละ)			คะแนนทางประสาทสัมผัส		ค่าสี		
	ซิตริก+แคลเซียมคลอไรด์	อีริธอร์บิก	ซีสเตอีน	สี	เนื้อสัมผัส	L	a	b
1	0	0	0	7.38 ^{b}	8.04 ^{ns}	27.95 ^{b}	0.28 ^{c}	2.79 ^{ns}
2	0	0	0.3	2.05 ^{a}	8.25	28.74 ^{bcd}	-0.19 ^{b}	2.79
3	0	0	0.5	1.21 ^{a}	8.19	29.18 ^{cde}	-0.29 ^{ab}	2.37
4	0	1	0	1.50 ^{a}	8.08	28.44 ^{bcd}	-0.24 ^{ab}	2.19
5	0	1	0.3	2.07 ^{a}	8.12	27.92 ^{bc}	-0.33 ^{a}	2.54
6	0	1	0.5	2.16 ^{a}	7.79	28.88 ^{bcde}	-0.48 ^{ab}	3.17
7	0.5+0.25	0	0	1.63 ^{a}	8.32	29.23 ^{cde}	-0.23 ^{ab}	2.63
8	0.5+0.25	0	0.3	0.76 ^{a}	8.20	28.58 ^{bcd}	-0.29 ^{a}	2.75
9	0.5+0.25	0	0.5	0.71 ^{a}	7.73	29.07 ^{bcde}	-0.48 ^{ab}	2.92
10	0.5+0.25	1	0	1.85 ^{a}	8.27	29.28 ^{de}	-0.42 ^{ab}	3.25
11	0.5+0.25	1	0.3	0.97 ^{a}	7.75	28.77 ^{bcd}	-0.29 ^{ab}	2.39
12	0.5+0.25	1	0.5	1.71 ^{a}	8.11	30.13 ^{e}	-0.49 ^{ab}	2.82
13*	-	-	-	8.53 ^{b}	7.61	25.53 ^{a}	0.56 ^{d}	2.89

* ชุดควบคุมไม่มีการแช่ในสารละลาย

ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

2.2 ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งด้านสีและเนื้อสัมผัส ซึ่งผ่านการแช่ในสารละลายผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6 โดยมีรายละเอียดดังนี้

สี ทุกชุดการทดลองที่มีการใช้สารเคมียับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและชุดการทดลองที่มีการแช่ในน้ำเย็นโดยไม่มีการเติมสารเคมีมีสีค่อนข้างไปทางสีขาวมากกว่า ($P<0.05$) ชุดควบคุม เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถชลอและยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลได้ระดับหนึ่ง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีแล้วพบว่า ชุดการทดลองที่มีการแช่ในน้ำเย็นโดยไม่มีการเติมสารเคมีมีสีค่อนไปทางสีน้ำตาลมากกว่าชุดการทดลองที่มีการใช้สารเคมี ($P<0.05$)

การแช่ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ในสารละลายกรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้ชิ้นมังคุดมีสีค่อนมาทางขาวมากกว่า ($P<0.05$) ชุดควบคุมและการแช่ในน้ำเย็นโดยไม่มีการเติมสารเคมี เช่นเดียวกับการแช่ในสารละลายกรดอีริธอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Santerre และคณะ (1988) ที่พบว่า การใช้กรดอีริธอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นแอปเปิ้ลแช่เยือกแข็งได้ ส่วนการใช้ซีสเตอีนมีผลทำให้ชิ้นมังคุดมีสีค่อนมาทางขาวมากกว่า ($P<0.05$) ชุดควบคุมและการแช่ในน้ำเย็นโดยไม่มีการเติมสารเคมี แต่ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันคือ ร้อยละ 0.3 และ 0.5 ไม่แสดงผลให้ค่าสีแตกต่างกัน ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่า การใช้สารเคมีร่วมกันไม่มีผลทำให้สีของชิ้นมังคุดขาวขึ้นอย่างชัดเจน ดังนั้นการใช้สารเคมีเพียงชุดการทดลองเดียวก็เพียงพอแล้วในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

คะแนนการประเมินค่าสีทางประสาทสัมผัสสอดคล้องกับค่าสีที่วัดด้วยเครื่องวัดสี JUKI ซึ่งพบว่าชุดการทดลองที่มีการใช้สารเคมีทุกชุดการทดลองมีความสว่างมากกว่า ($P<0.05$) ชุดควบคุม ส่วนการแช่ในน้ำเย็นที่ไม่มีการเติมสารเคมีให้ค่าความสว่างของชิ้นมังคุดน้อยกว่าชุดการทดลองที่มีการใช้สารเคมีเช่นกัน เนื่องจากสารเคมีและน้ำเย็นมีผลในการชลอและยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล แต่สารเคมีจะมีผลมากกว่า และพบว่า ชุดการทดลองที่ใช้กรดซิตริกกับแคลเซียมคลอไรด์เกือบทุกชุดการทดลองให้

ความสว่างมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใช้ แต่อย่างไรก็ตามผลร่วมของสารละลายไม่มีผลให้ความสว่างเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้สารเคมีชนิดเดียว ($P<0.05$) นอกจากนี้ค่า a ยังแสดงให้เห็นว่าชุดควบคุมมีสีค่อนข้างไปทางแดงมากกว่าทุกชุดการทดลอง ($P < 0.05$) ส่วนค่า b ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

เนื้อสัมผัส คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อสัมผัสของทุกชุดการทดลองค่อนข้างไปทางแน่นเนื้อมาก และชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ใช้สารเคมีเพียงชุดเดียวมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI พบว่า การใช้กรดซิตริกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ กรดอีริธอร์บิก และซีสเตอีน ทั้งการใช้ตัวเดี่ยว ๆ และการใช้ร่วมกันมีผลทำให้ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่มีสีค่อนมาทางขาวมากกว่าไม่ใช้และให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการใช้สารเคมีเพียงชุดเดียวก็เพียงพอแล้วในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ชุดการทดลองที่มีความเหมาะสมเพื่อทำการทดลองต่อไป คือ ชุดการทดลองที่มีการใช้กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.25 เนื่องจากมีราคาต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นที่มีการใช้สารเคมี

ตารางที่ 6 คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัว

ชุดการทดลอง	สารละลาย (ร้อยละ)			คะแนนทางประสาทสัมผัส		ค่าสี		
	ซิตริก+แคลเซียมคลอไรด์	อีริธอร์บิก	ซีสเตอีน	สี	เนื้อสัมผัส	L	a	b
1	0	0	0	4.43 ^{b}	7.70 ^{ab}	26.24 ^{b}	-0.30 ^{bc}	1.77 ^{ns}
2	0	0	0.3	0.72 ^{a}	8.00 ^{bc}	28.61 ^{cdef}	-0.34 ^{ab}	1.70
3	0	0	0.5	1.23 ^{a}	8.04 ^{bcd}	28.13 ^{cde}	-0.31 ^{abc}	1.56
4	0	1	0	1.16 ^{a}	8.11 ^{cd}	29.29 ^{efg}	-0.17 ^{bc}	1.56
5	0	1	0.3	1.92 ^{ab}	8.43 ^{d}	27.86 ^{cd}	-0.35 ^{ab}	1.80
6	0	1	0.5	1.28 ^{a}	8.01 ^{bc}	27.60 ^{bc}	-0.30 ^{abc}	1.70
7	0.5+0.25	0	0	0.90 ^{a}	8.14 ^{cd}	30.29 ^{g}	-0.46 ^{a}	1.20
8	0.5+0.25	0	0.3	0.94 ^{a}	7.90 ^{bc}	29.17 ^{defg}	-0.20 ^{bc}	1.57
9	0.5+0.25	0	0.5	0.71 ^{a}	7.71 ^{ab}	28.98 ^{cdefg}	-0.21 ^{bc}	1.87
10	0.5+0.25	1	0	1.23 ^{a}	8.17 ^{cd}	30.28 ^{g}	-0.27 ^{abc}	2.00
11	0.5+0.25	1	0.3	1.00 ^{a}	8.11 ^{cd}	27.76 ^{c}	-0.10 ^{c}	1.50
12	0.5+0.25	1	0.5	0.91 ^{a}	7.90 ^{bc}	29.73 ^{fg}	-0.45 ^{a}	2.03
13*	-	-	-	6.29 ^{c}	7.44 ^{a}	24.97 ^{a}	0.26 ^{d}	2.01

* ชุดควบคุมไม่มีการแช่ในสารละลาย

ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

3.การศึกษาการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

3.1 ชิ้นมังคุดขนาดเล็ก

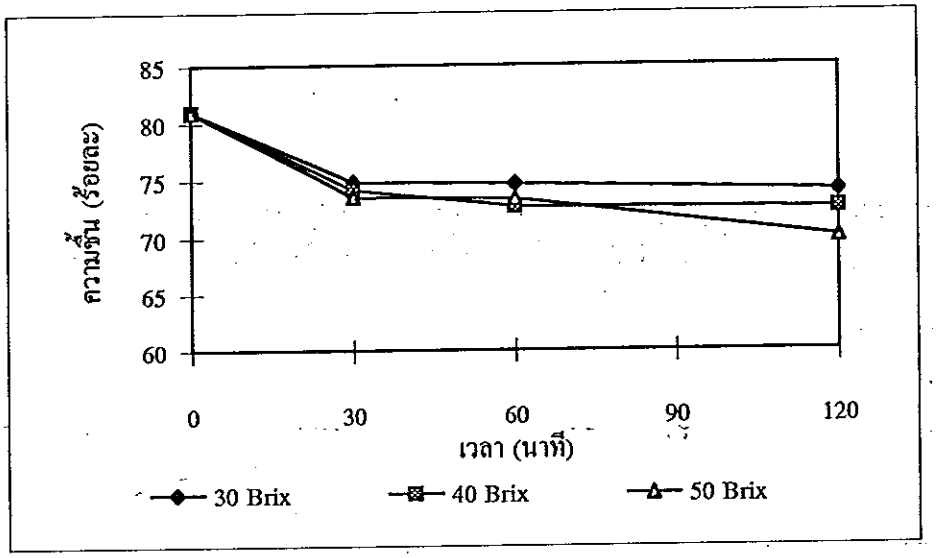
จากการศึกษาการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยการแช่ชิ้นมังคุดขนาดเล็กในสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่ระดับความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ กัน แล้ววิเคราะห์ความชื้น (ภาพที่ 7) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ภาพที่ 8) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยมีคุณลักษณะที่ประเมินคือ สี เนื้อสัมผัส และความหวาน วัดค่าสีชิ้นมังคุดหลังจากการแช่เยือกแข็งโดยเครื่องวัดสี JUKI (ตารางที่ 7) มีรายละเอียดดังนี้

ความชื้นและของแข็งที่ละลายได้

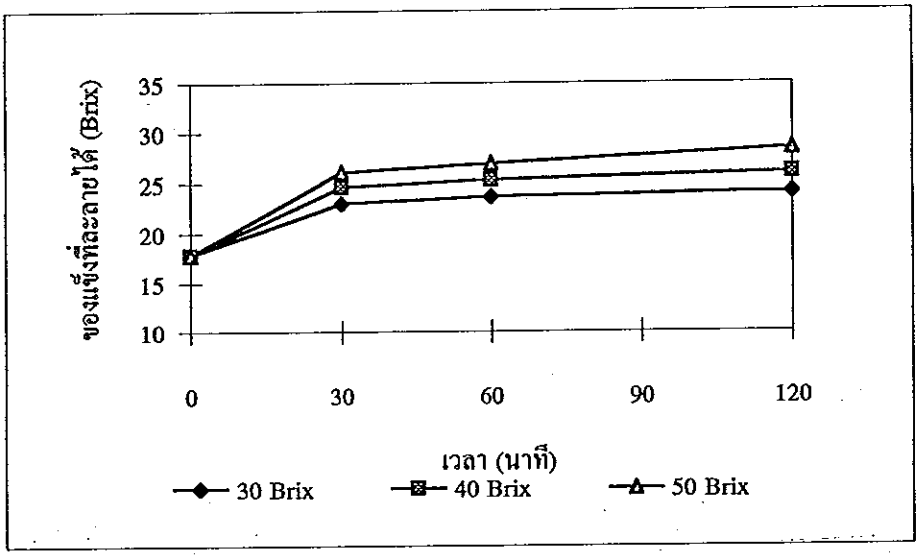
การแช่ชิ้นมังคุดชนาดเล็กในสารละลายซูโครสทั้งสามความเข้มข้น เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า ความชื้นหลังจากการแช่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน คือ มีปริมาณลดลงจากตอนเริ่มต้น (ชุดการทดลองที่ 10) อย่างชัดเจนในช่วง 30 นาทีแรกของการแช่ (ประมาณร้อยละ 6-8 โดยประมาณ) หลังจากนั้นความชื้นมีปริมาณลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น แสดงว่า อัตราเร็วของการสูญเสียน้ำจะสูงในช่วงแรก หลังจากนั้นอัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงในช่วง 30 นาทีแรกของการแช่ หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง และการแช่ชิ้นมังคุดขนาดเล็กในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นสูงกว่า มีผลทำให้ความชื้นลดลงมากกว่าและของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นสูงกว่าการแช่ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า

การที่อัตราการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ละลายได้สูงในช่วงแรกของการออสโมซีส คาดว่าเป็นเพราะในช่วงแรกความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่ใช้และความเข้มข้นของสารละลายภายในเนื้อมังคุดมีมาก ทำให้เกิดแรงดันในการถ่ายเทน้ำและน้ำตาลสูง โดยเฉพาะถ้าความเข้มข้นของน้ำตาลยิ่งสูง ความแตกต่างระหว่างความดันก็ยิ่งมาก แต่เมื่อน้ำได้ซึมผ่านออกและน้ำตาลซูโครสแพร่เข้า

ไปในเนื้อมังคุดแล้ว จะทำให้ความแตกต่างของความเข้มข้นดังกล่าวลดลง แรงดันในการถ่ายเทจึงลดลง ทำให้อัตราการถ่ายเทน้ำและน้ำตาลเพิ่มเพียงเล็กน้อย



ภาพที่ 7 ความชื้นของชิ้นมังคุดขนาดเล็กระหว่างการออสโมซีส



ภาพที่ 8 ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชิ้นมังคุดขนาดเล็กระหว่างการออสโมซีส

สี คะแนนค่าสีจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) และให้สีค่อนไปทางสีขาว ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI พบว่า ทั้งค่า L, a และ b ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การแช่ชิ้นมังคุดขนาดเล็กในสารละลายน้ำตาลซูโครสเพื่อทำการดึงน้ำออกบางส่วนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ อาจเนื่องมาจากการแช่ในสารละลายซูโครสเป็นการป้องกันการสัมผัสกับออกซิเจน และชิ้นมังคุดได้ผ่านกระบวนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมาก่อนแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสงวนศรี เจริญเหรียญ และวิชาญ วงศ์สิทธิ์ (2534) พบว่า การแช่และไม่แช่ชิ้นสับปะรดส่วนกลางผลในน้ำเชื่อม ไม่มีผลทำให้คะแนนค่าสีจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแตกต่างกัน

เนื้อสัมผัส จากปริมาณความชื้นที่ลดลงเมื่อผ่านการออสโมซีส เป็นการกำจัดน้ำอิสระที่สามารถเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งได้ ทำให้ปริมาณน้ำที่เกิดเป็นผลึกน้ำแข็งน้อยลง แต่จากการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำที่ลดลงส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัสยกเว้นชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 40 และ 50 องศาบริกซ์ นาน 120 นาที มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าชุดควบคุม (P<0.05) ซึ่งอาจเนื่องมาจากการทำลายเนื้อเยื่อระหว่างการออสโมซีสจากความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงและเวลานาน อย่างไรก็ตามลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กได้รับคะแนนการยอมรับที่ใกล้เคียงกัน โดยมีคะแนนค่อนไปทางแน่นเนื้อมาก

ความหวาน คะแนนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความหวาน แสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างคะแนนของตัวอย่างและคะแนนทางอุดมคติ ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้ค่าทางอุดมคติในระดับความหวานปานกลางคือ ให้คะแนนเท่ากับ 5.2 จากการทดลองพบว่า การแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายน้ำตาลซูโครสทุกชุดการทดลอง มีผลทำให้ความหวานไม่แตกต่างจากค่าทางอุดมคติ (P>0.05) ยกเว้นชุดการทดลองที่ไม่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสซึ่งมีความหวานน้อยกว่าค่าทางอุดมคติ (P < 0.05) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการไม่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสมีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสในลักษณะผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็ง ทำให้ความเข้ม

ข้นของตัวถูกละลายในเนื่อเยื่อสูงขึ้น จึงทำให้รสเปรี้ยวของชิ้นมังคุดเด่นขึ้น เมื่อมีการแช่ในสารละลายซูโครส ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีปริมาณสูงขึ้น ดังนั้นการแช่ในสารละลายซูโครสจึงมีการยอมรับรสหวานที่เข้าใกล้ค่าทางอุดมคติมากกว่าการไม่แช่ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสงวนศรี เจริญเหรียญ และวิชาญ วงศ์สิทธิ์ (2534) ที่พบว่า คะแนนการยอมรับรสชาติของชิ้นสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 90 นาทีมากกว่าชิ้นสับปะรดที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครส ($P<0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ จากการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณความชื้น การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI พบว่า การแช่ชิ้นมังคุดขนาดเล็กในสารละลายน้ำตาลซูโครสไม่มีผลต่อสี แต่มีผลทำให้ความหวานของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติ ดังนั้นชุดการทดลองที่มีความเหมาะสมในการทดลองต่อไปคือชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 30 องศาบริกซ์เป็นเวลา 30 นาที เนื่องจากใช้เวลาในการแช่และความเข้มข้นของน้ำตาลน้อยที่สุด เพราะถึงแม้ว่าการใช้ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่มากกว่าและเวลาในการออสโมซีสที่นานกว่า จะทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มมากขึ้น แต่เป็นการเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่สูงมากนัก และไม่มีผลทำให้ความหวานแตกต่างจากค่าทางอุดมคติ นอกจากนี้ระยะเวลาในการแช่ที่นานขึ้นอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 7 คะแนนคุณทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง	การทดลอง		คุณภาพทางประสาทสัมผัส			ค่าสี		
	ซูโครส(องศาบริกซ์)	เวลา(นาที)	สี	เนื้อสัมผัส	ความหวาน	L	a	b
1	30	30	3.79 ns	5.99 ab	0.92 bc	29.95 ns	-0.42 ns	2.69 ns
2	30	60	3.03	6.02 ab	0.88 b	30.45	-0.35	3.28
3	30	120	4.23	6.13 ab	1.05 cd	30.64	-0.44	3.27
4	40	30	3.38	6.48 b	1.04 bcd	30.03	-0.39	3.19
5	40	60	3.26	5.91 ab	1.06 cd	30.69	-0.42	3.62
6	40	120	5.17	5.70 a	1.07 cd	30.43	-0.46	3.10
7	50	30	4.18	6.15 ab	1.04 bcd	29.49	-0.39	3.07
8	50	60	3.96	6.07 ab	1.07 cd	30.39	-0.38	3.20
9	50	120	4.15	5.68 a	1.15 d	30.45	-0.41	3.16
10*	-	-	2.84	6.39 b	0.50 a	30.24	-0.33	2.95
ค่าทางอุดมคติ					1.00 bcd			

* ชุดควบคุมไม่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส

ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

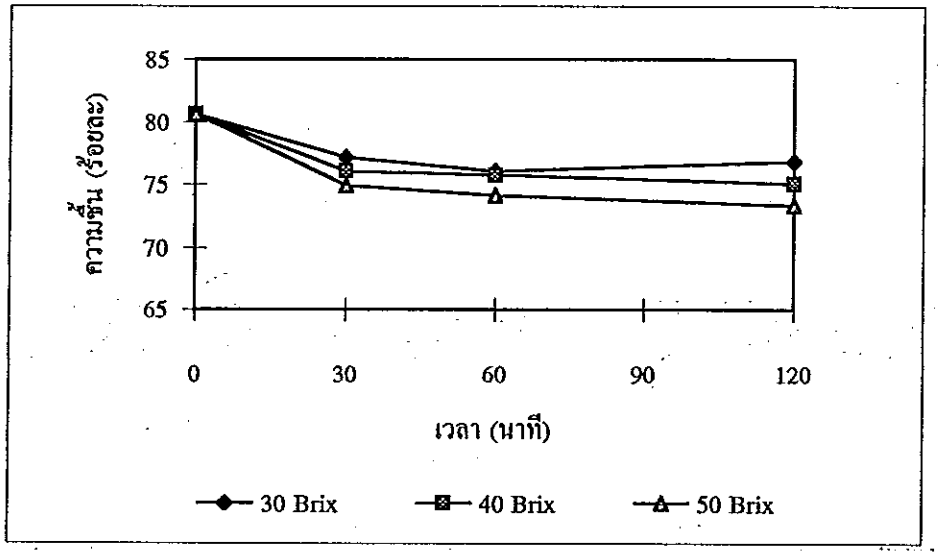
ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

3.2 ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่

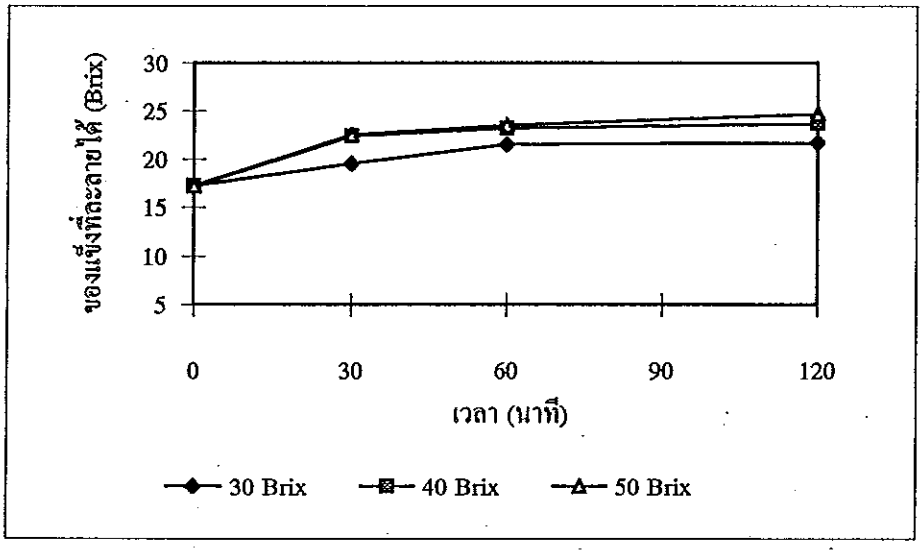
จากการศึกษาผลของการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งโดยการแช่ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้นและเวลาแตกต่างกัน แล้ววิเคราะห์ความชื้น (ภาพที่ 9) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ภาพที่ 10) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี JUKI (ตารางที่ 8) มีรายละเอียดดังนี้

ความชื้นและของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ความชื้นหลังจากการแช่ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ในสารละลายซูโครสทั้งสามความเข้มข้น เป็นเวลาแตกต่างกัน มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน พบว่า ในช่วง 30 นาทีแรก ความชื้นมีปริมาณลดลงจากตอนเริ่มต้น (ชุดการทดลองที่ 10) ค่อนข้างสูง หลังจากนั้นการลดลงของความชื้นต่ำลงเมื่อเวลาในการแช่นานขึ้น ในขณะเดียวกันปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วง 30 นาทีแรกของการแช่ หลังจากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างของแรงดันระหว่างสารละลายที่ใช้แช่กับสารละลายในเนื้อเยื่อมังคุด ทำให้เกิดการออสโมซีสของน้ำออกมาและน้ำตาลแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความแตกต่างของแรงดันลดลง ทำให้น้ำที่ออสโมซีสออกมาและน้ำตาลที่แพร่ผ่านเข้าไปเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่การแช่ที่ความเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ มีการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ละลายได้ค่อนข้างช้ากว่าที่ 40 และ 50 องศาบริกซ์



ภาพที่ 9 ความชื้นของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ระหว่างการออสโมซีส



ภาพที่ 10 ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ระหว่างการออสโมซีส

สี คะแนนค่าสีจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของทุกชุดการทดลองค่อนไปทางสีขาวและไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI พบว่า ค่า L, a และ b ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แสดงให้เห็นว่า การแช่ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายซูโครสเป็นการป้องกันการสัมผัสกับออกซิเจน และชิ้นมังคุดได้ผ่านการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมาก่อน

เนื้อสัมผัส คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อสัมผัสของทุกชุดการทดลองมีค่าค่อนไปทางแน่นเนื้อมากและไม่มีความแตกต่างกัน (P < 0.05) แสดงให้เห็นว่า การดึงน้ำออกโดยการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสก่อนการแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของสงวนศรี เจริญเหรียญ และวิชาญ วงศ์สิทธิ์ (2534) พบว่า การแช่ชิ้นสับปะรดในน้ำเชื่อมมีผลทำให้คะแนนการยอมรับเนื้อสัมผัสสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะของผลิตภัณฑ์และการบริโภคที่แตกต่างกัน

ความหวาน คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความหวานแสดงในรูปอัตราส่วนของคะแนนความหวานตัวอย่างต่อความหวานในอุดมคติ จากการทดลองพบว่าการแช่ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสมีผลทำให้ความหวานไม่แตกต่างกันกับค่าทางอุดมคติ (P>0.05) ยกเว้นชุดควบคุมและชุดการทดลองที่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที มีความหวานน้อยกว่าค่าทางอุดมคติ (P<0.05) อาจเนื่องมาจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ยังมีปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้ความหวานเข้าใกล้ค่าทางอุดมคติ และจากภาพที่ 10 ปริมาณของแข็งที่ละลายในชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่แช่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ มีการเพิ่มขึ้นค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับที่ 40 และ 50 องศาบริกซ์

เมื่อพิจาณาถึงปัจจัยต่าง ๆ จากการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความชื้น การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และค่าสีจากการวัดด้วยเครื่องวัดสี JUKI พบว่า การแช่ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสก่อนการแช่เยือกแข็ง ไม่มีผลต่อสี และเนื้อสัมผัส แต่มีผลความหวานของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นชุดการทดลองที่เหมาะสมในการคัดเลือกเพื่อศึกษาในขั้นต่อไปคือ ชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที เนื่องจากใช้เวลาในการแช่น้อยกว่า และการใช้สารละลายซูโครสที่เข้มข้นกว่าและเวลาในการออสโมซีสนานกว่าจะทำให้ปริมาณน้ำสูญเสียเพิ่มมากขึ้น แต่เป็นการเพิ่มในปริมาณที่ไม่สูงมากนัก และไม่มีผลให้ความหวานต่างไปจากค่าทางอุดมคติ

ตารางที่ 8 คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง	การทดลอง		คุณภาพทางประสาทสัมผัส			ค่าสี		
	ซูโครส(องศาบริกซ์)	เวลา(นาที)	สี	เนื้อสัมผัส	ความหวาน	L	a	b
1	30	30	3.52 ns	5.90 ns	0.80 b	27.91 ns	-0.24 ns	1.46 ns
2	30	60	4.07	5.52	0.86 bc	28.27	-0.23	1.51
3	30	120	3.25	6.00	0.93 bcd	30.31	-0.27	1.96
4	40	30	3.27	7.67	0.92 bcd	29.69	-0.31	1.98
5	40	60	3.59	6.18	0.92 bcd	29.82	-0.28	1.62
6	40	120	3.68	5.70	0.96 cd	29.66	-0.29	1.92
7	50	30	3.22	5.95	0.96 cd	30.69	-0.33	2.45
8	50	60	3.24	5.69	1.04 de	28.79	-0.25	1.76
9	50	120	3.65	5.77	1.11 e	29.93	-0.25	1.75
10*	-	-	2.89	6.46	0.56 a	28.53	-0.15	1.66
ค่าทางอุดมคติ					1.00 cde			

* ชุดควบคุมไม่มีการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส

ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

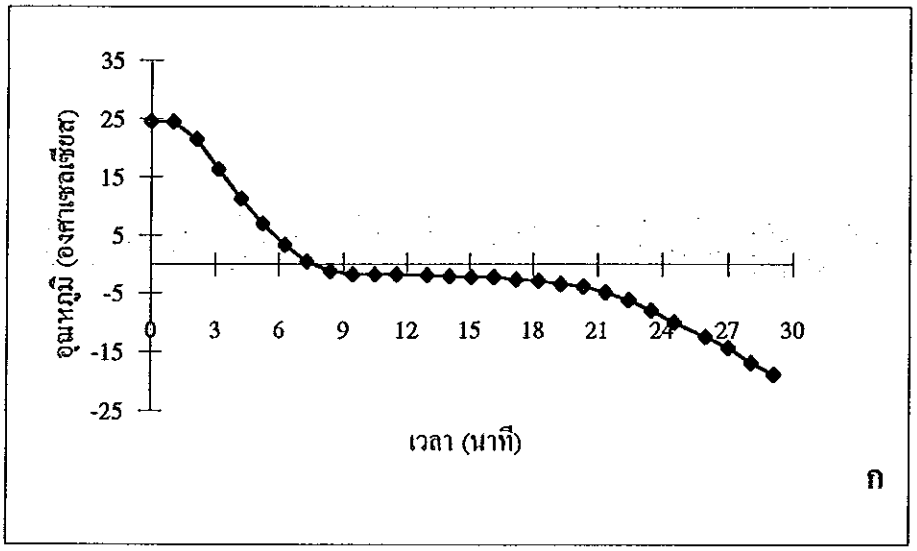
4.การศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งของชิ้นมังคุด

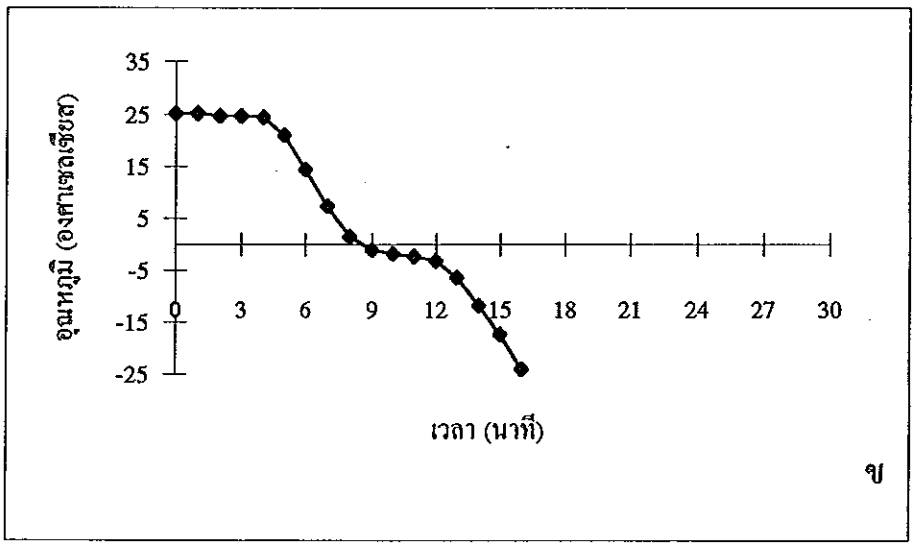
นำชุดการทดลองที่เหมาะสมจากข้อ 3 คือ ชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที สำหรับชิ้นมังคุดขนาดเล็กและชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 40 องศาบริกซ์นาน 30 นาที สำหรับชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ มาศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิด Cryogenic Cabinet Freezer โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็น ที่อุณหภูมิของเครื่องแตกต่างกันคือ -40 และ -60 °ซ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12 พบว่า จุดเยือกแข็งของชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดมีอุณหภูมิประมาณ -1.8 °ซ เนื่องจากในเนื้อเยื่อมังคุดมีตัวถูกละลายละลายอยู่ และมีการเพิ่มตัวถูกละลายในเนื้อเยื่อโดยการออสโมซีส ทำให้จุดเยือกแข็งของชิ้นมังคุดต่ำกว่า 0 °ซ

จากเส้นกราฟการแช่เยือกแข็งของชิ้นมังคุดขนาดเล็ก เมื่อแบ่งเส้นกราฟออกเป็นสามช่วง พบว่า ช่วงแรกเป็นการกำจัดความร้อนออกจากน้ำที่ยังไม่แข็งตัว เริ่มตั้งแต่เริ่มต้นแช่เยือกแข็ง จนกระทั่งอุณหภูมิจุดกึ่งกลางชิ้นมังคุดใกล้กับจุดเยือกแข็ง ซึ่งใช้เวลาใกล้เคียงกันทั้ง 2 อุณหภูมิของการแช่เยือกแข็ง และสังเกตุเห็นว่าก่อนที่อุณหภูมิจะเริ่มลดลงนั้น การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60 °ซ ใช้เวลานานกว่าที่ -40 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมิ -60 °ซ น้ำบริเวณรอบนอกชิ้นมังคุดจะเกิดการเยือกแข็งขึ้นก่อน ทำให้อัตราการส่งผ่านความร้อนช้าลงเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ -40 °ซ จึงใช้เวลานานกว่าในการทำให้อุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิเริ่มต้น (Borgstrom, 1968) ช่วงที่สองเป็นการกำจัดความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของน้ำเป็นน้ำแข็ง เป็นช่วงที่อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ และช่วงที่สามเป็นการกำจัดความร้อนออกจากน้ำแข็งจนมีอุณหภูมิเป็น -18 °ซ ซึ่งการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ ใช้เวลาในช่วงที่สองและสามนานกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60 °ซ เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสามารถกำจัดความร้อนได้เร็วกว่า จึงเป็นผลให้ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่า คือ ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็ง 29 และ 15 นาที ที่อุณหภูมิเครื่องแช่เยือกแข็ง -40 และ -60 °ซ ตามลำดับ

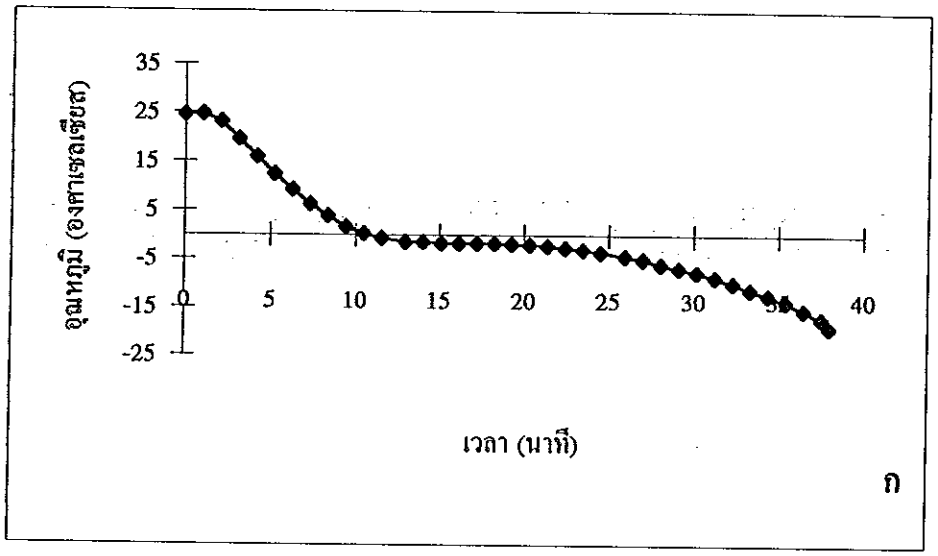
ส่วนชิ้นมังคุดขนาดใหญ่เส้นกราฟการแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน แต่ใช้เวลานานกว่าชิ้นมังคุดขนาดเล็ก คือ ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็ง 38 และ 24 นาที ที่อุณหภูมิเครื่องแช่เยือกแข็ง -40 และ -60 °ซ ตามลำดับ

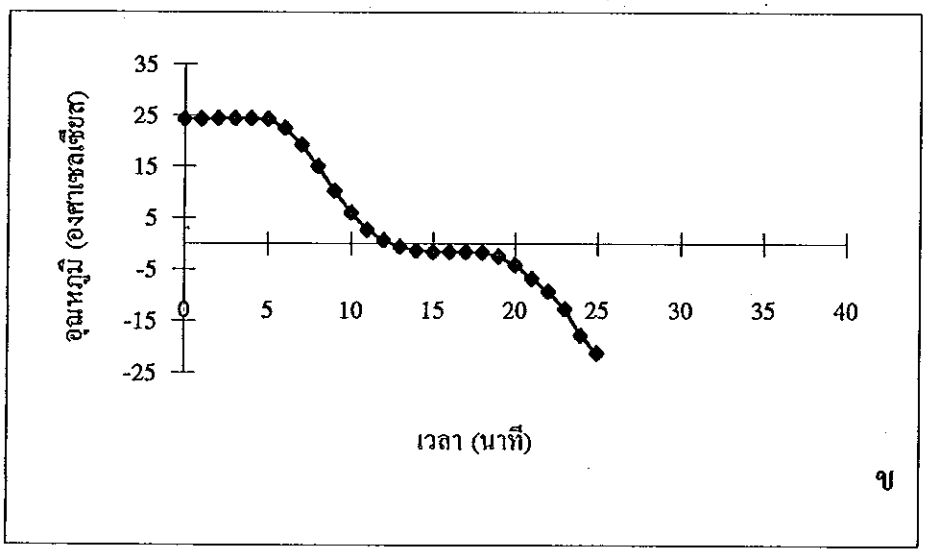
เมื่อเปรียบเทียบเวลาในการแช่เยือกแข็งระหว่างชิ้นมังคุดที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซีสในสารละลายซูโครสที่อุณหภูมิการแช่เยือกแข็ง -40 °ซ พบว่า ชิ้นมังคุดที่ผ่านการออสโมซีสใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าชุดที่ไม่ผ่านการออสโมซีส 3 และ 5 นาที สำหรับชิ้นมังคุดขนาดเล็กและใหญ่ตามลำดับ เนื่องจากการออสโมซีสเป็นการกำจัดน้ำอิสระออกจากเนื้อเยื่อมังคุด ทำให้ปริมาณน้ำอิสระที่จะเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งน้อยลง ดังนั้นจึงใช้เวลาน้อยลงในการทำให้ชิ้นมังคุดเกิดการเยือกแข็งขึ้น (Borgstrom, 1968)





ภาพที่ 11 อัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่อุณหภูมิเครื่อง -40 °ซ (ก) และ -60 °ซ (ข)





ภาพที่ 12 อัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิเครื่อง -40 °ซ (ก) และ -60 °ซ (ข)

5.การเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

ผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง โดยควบคุมอุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็งที่ 2 อุณหภูมิ คือ -40 และ -60 °ซ เมื่อนำมาบรรจุในถุงครัยโอแวค เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °ซ เป็นเวลา 5 เดือน ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ได้ผลดังนี้

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสและค่าสี

สี

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ (ตารางที่ 9 และภาพที่ 13) พบว่า ในช่วงเวลาการเก็บรักษา 2 เดือนแรกมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากนั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ($P<0.05$) ซึ่งหมายความว่า ชิ้นมังคุดมีสีขาวน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ชิ้นมังคุดขนาดเล็กยังคงมีสีค่อนมาทางขาว ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกับชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ -60 °ซ คือ มีสีขาวลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น สาเหตุที่สีขาวมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่คงที่ เมื่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เอนไซม์ที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีน้ำตาลทำงานได้ จึงเป็นเหตุให้ชิ้นมังคุดมีสีขาวลดลง แต่สียังคงค่อนไปทางขาวตลอดอายุการเก็บรักษา 5 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2533) ที่พบว่า มังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผลมีคะแนนการยอมรับค่าสีลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน คะแนนค่าสีอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

จากการวัดค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ ด้วยเครื่อง JUKI (ตารางที่ 10) โดยค่า L ซึ่งแสดงถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ พบว่า ชิ้นมังคุดมีความสว่างไม่แตกต่าง ($P>0.05$) จากตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา ตลอดอายุการเก็บรักษา 5 เดือน เช่นเดียวกับค่า a และค่า b ส่วนชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60 °ซ ความสว่างของชิ้นมังคุดมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บ

รักษาที่เพิ่มมากขึ้น และหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ชิ้นมังคุดมีความสว่างน้อยกว่า ($P<0.05$) ตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา ส่วนค่า a และค่า b ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา และชิ้นมังคุดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิมีสีไม่ต่างกันมากนัก

ตารางที่ 9 คะแนนทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง

อายุการเก็บรักษา (เดือน)	คะแนนทางประสาทสัมผัส			
	สี	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	การยอมรับรวม
ชิ้นมังคุดผ่านการแช่เยือกแข็งที่ -40 °ซ				
0	1.18 ^{a}	7.62 ^{bc}	7.27 ^{bc}	7.70 ^{cd}
1	1.58 ^{a}	8.85 ^{d}	8.03 ^{c}	8.18 ^{d}
2	1.11 ^{a}	8.25 ^{cd}	7.90 ^{c}	8.09 ^{d}
3	2.68 ^{b}	7.12 ^{ab}	6.32 ^{ab}	6.89 ^{bc}
4	3.67 ^{c}	7.08 ^{ab}	6.31 ^{ab}	6.41 ^{ab}
5	3.77 ^{c}	6.73 ^{a}	5.89 ^{a}	5.89 ^{a}
ชิ้นมังคุดผ่านการแช่เยือกแข็งที่ -60 °ซ				
0	1.52 ^{a}	7.69 ^{ab}	7.16 ^{bc}	7.93 ^{b}
1	1.14 ^{a}	8.61 ^{c}	7.70 ^{cd}	8.50 ^{b}
2	1.46 ^{a}	8.23 ^{bc}	8.28 ^{d}	7.99 ^{b}
3	3.03 ^{b}	7.10 ^{a}	6.17 ^{ab}	6.71 ^{a}
4	2.66 ^{b}	7.35 ^{a}	6.35 ^{ab}	6.68 ^{a}
5	3.34 ^{b}	7.16 ^{a}	6.0 ^{a}	6.32 ^{a}

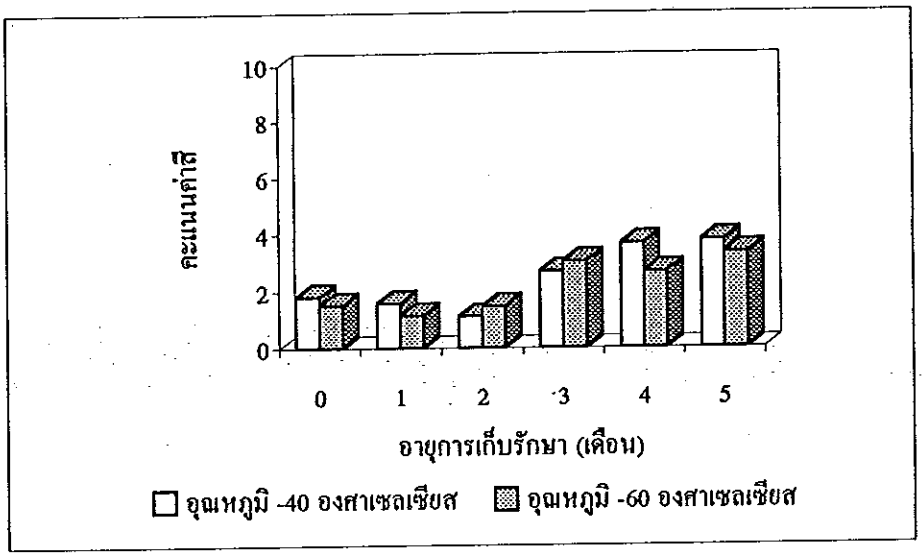
ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 10 ค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง

อายุการเก็บรักษา	ค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI					
	ค่า L		ค่า a		ค่า b	
	-40 องศาเซลเซียส	-60 องศาเซลเซียส	-40 องศาเซลเซียส	-60 องศาเซลเซียส	-40 องศาเซลเซียส	-60 องศาเซลเซียส
0	28.73 ab	30.25 b	-0.15 ns	-0.22 ns	2.44 ns	2.81 b
1	30.36 b	29.27 b	-0.24	-0.17	2.46	2.23 a
2	29.69 b	31.46 c	-0.24	-0.26	2.64	2.71 b
3	27.91 a	29.10 ab	-0.16	-0.23	2.11	2.41 ab
4	28.65 ab	28.91 a	-0.21	-0.18	2.14	2.09 b
5	28.68 ab	28.58 a	-0.15	-0.21	2.11	2.46 ab

ตัวอักษร a,b,c,...ที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)



ภาพที่ 18 คะแนนค่าสีทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งระหว่างเก็บรักษา

สำหรับชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -60 °ซ เป็นเวลา 5 เดือน เมื่อประเมินค่าสีทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 11 และภาพที่ 14) พบว่า สีขาวชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ ในช่วงสามเดือนแรกไม่แตกต่าง ($P>0.05$) จากตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง ($P<0.05$) เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ตลอดอายุการเก็บรักษา สีของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ ยังคงค่อนไปทางสีขาว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการเก็บรักษามีแนวโน้มเช่นเดียวกับชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60 °ซ โดยพบว่า ในสองเดือนแรกของการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์มีสีขาวไม่แตกต่างกับในตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา ($P>0.05$) หลังจากนั้นแนวโน้มของสีขาวจะลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มมากขึ้น และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ชิ้นมังคุดยังคงมี

สีค่อนมาทางสีขาว และในชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิมีค่าสีขาวที่ใกล้เคียงกัน สาเหตุที่ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งมีสีขาวลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นอาจเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในการเก็บรักษาทำให้เอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลสามารถทำงานได้ ผลิตภัณฑ์จึงมีสีขาวลดลง

จากการวัดค่าสีด้วยเครื่อง JUKI ดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่า ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ มีความสว่างไม่แตกต่างจากตอนเริ่มต้น ($P>0.05$) ตลอดระยะเวลา 5 เดือนของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับค่า a และ b ส่วนในชิ้นมังคุดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ -60 °ซ พบว่า ในช่วงสี่เดือนแรกของการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่มีความสว่างไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ในเดือนสุดท้ายชิ้นมังคุดขนาดใหญ่มีความสว่างน้อยกว่าตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา ในขณะที่ค่า a และ b ไม่แตกต่างกันตลอดอายุการเก็บรักษา ($P>0.05$)

ตารางที่ 11 คะแนนทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง

อายุการเก็บรักษา (เดือน)	คะแนนทางประสาทสัมผัส			
	สี	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	การยอมรับรวม
ชิ้นมังคุดผ่านการแช่เยือกแข็งที่ -40 °ซ				
0	1.55 [a]	7.44 [bc]	7.13 [c]	7.75 [c]
1	1.41 [a]	7.80 [c]	7.55 [c]	7.83 [c]
2	1.87 [a]	8.11 [c]	7.40 [c]	7.92 [c]
3	1.98 [a]	6.92 [b]	6.79 [c]	6.74 [b]
4	3.00 [b]	6.79 [b]	5.78 [b]	6.09 [ab]
5	4.32 [c]	5.18 [a]	4.77 [a]	5.51 [a]
ชิ้นมังคุดผ่านการแช่เยือกแข็งที่ -60 °ซ				
0	1.24 [a]	7.40 [cd]	7.48 [bc]	7.58 [b]
1	1.28 [a]	7.67 [cd]	7.80 [c]	8.09 [b]
2	1.54 [ab]	7.95 [d]	7.32 [bc]	7.61 [b]
3	2.68 [c]	6.89 [bc]	6.71 [b]	6.43 [a]
4	2.73 [c]	6.34 [ab]	5.73 [a]	6.07 [a]
5	2.45 [bc]	5.90 [a]	5.51 [a]	5.89 [a]

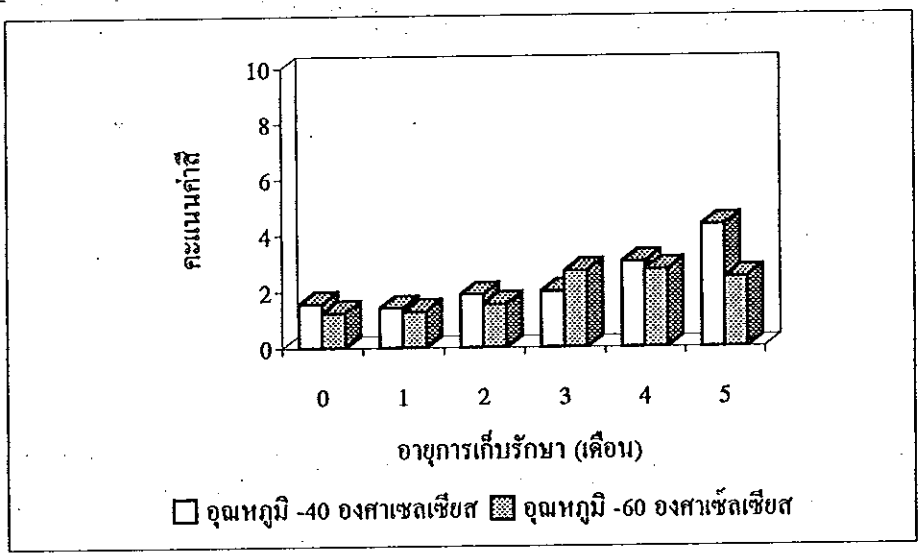
ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 12 ค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง

อายุการเก็บรักษา	ค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI					
	ค่า L		ค่า a		ค่า b	
	-40 องศาเซลเซียส	-60 องศาเซลเซียส	-40 องศาเซลเซียส	-60 องศาเซลเซียส	-40 องศาเซลเซียส	-60 องศาเซลเซียส
0	28.61 ns	31.54 b	-0.15 ns	-0.17 ns	1.64 ns	1.53 ns
1	28.84	28.85 ab	-0.17	-0.24	1.42	1.52
2	29.96	29.21 ab	-0.15	-0.14	1.70	1.30
3	28.96	28.82 ab	-0.06	-0.15	1.65	1.47
4	26.96	29.71 b	-0.13	-0.22	1.18	1.64
5	27.79	26.80 a	-0.12	-0.19	1.11	1.31

ตัวอักษร a,b,c,...ที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

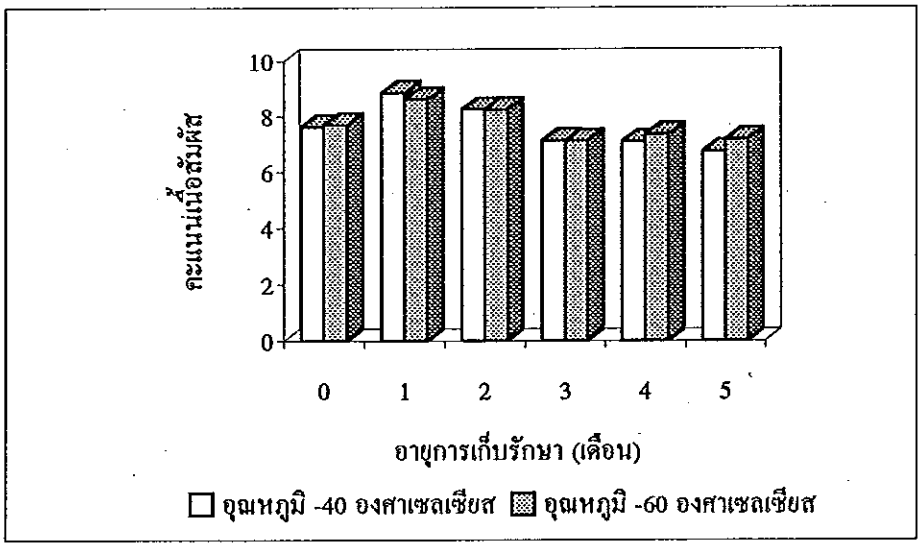
ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)



ภาพที่ 14 คะแนนค่าสีทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา

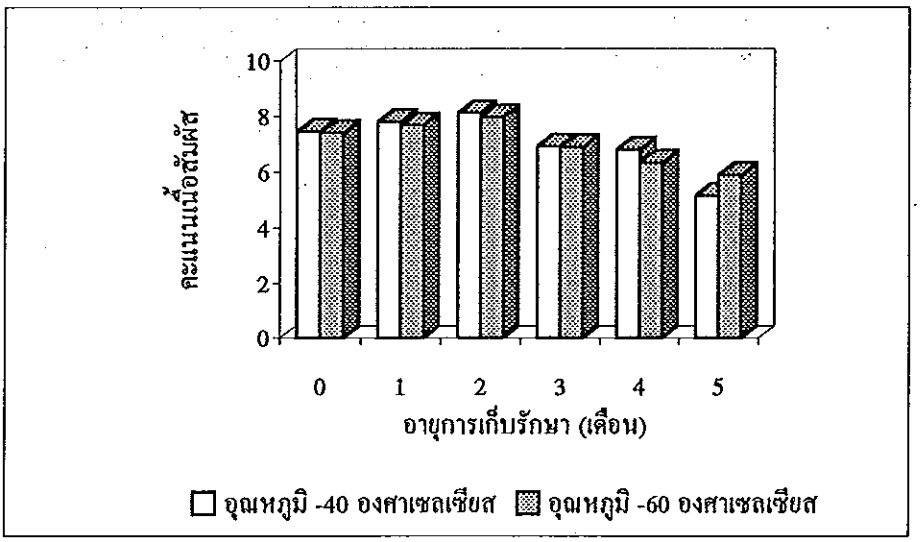
เนื้อสัมผัส

ความแน่นเนื้อของชิ้นมังคุดขนาดเล็ก (ตารางที่ 9 และภาพที่ 15) ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกันคือ ในช่วงสองเดือนแรกของการเก็บรักษาความแน่นเนื้อมีแนวโน้มมากขึ้น หลังจากนั้นมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่คงที่ในช่วงหลังของการเก็บรักษา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการละลายของน้ำแข็งบางส่วน เมื่อเก็บรักษาต่อไปทำให้เกิดการแช่เยือกแข็งซ้ำในอัตราที่ช้ากว่าครั้งแรก มีผลทำให้ความแน่นเนื้อลดลงเนื่องจากการทำลายเนื้อเยื่อจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นใหม่ อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิยังคงมีคะแนนความแน่นเนื้อค่อนไปทางแน่นมาก



ภาพที่ 15 คะแนนความแน่นเนื้อทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา

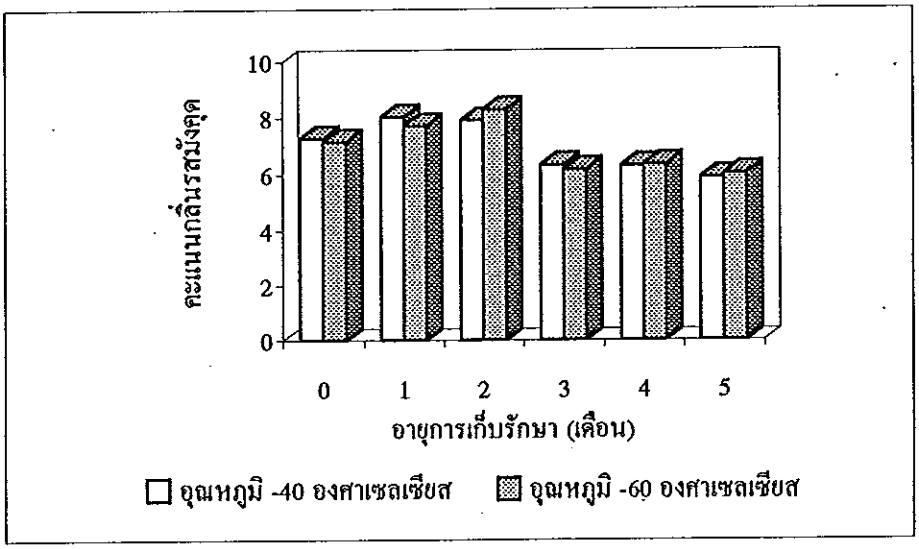
ความแน่นเนื้อในช่วงสองเดือนแรกของการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ (ตารางที่ 11 และภาพที่ 16) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิห้องเย็นระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เกิดการแช่เยือกแข็งซ้ำ ซึ่งเป็นการแช่เยือกแข็งในอัตราที่ช้ากว่าครั้งแรก ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่กว่าเดิม เป็นผลให้เกิดการสูญเสียความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ความแน่นเนื้อของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งค่อนมาทางแน่นมาก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของรุจิรา กิจธารทอง (2534) ที่พบว่า มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสเริ่มต้นในระดับชอบปานกลาง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 16 คะแนนความแน่นเนื้อทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา

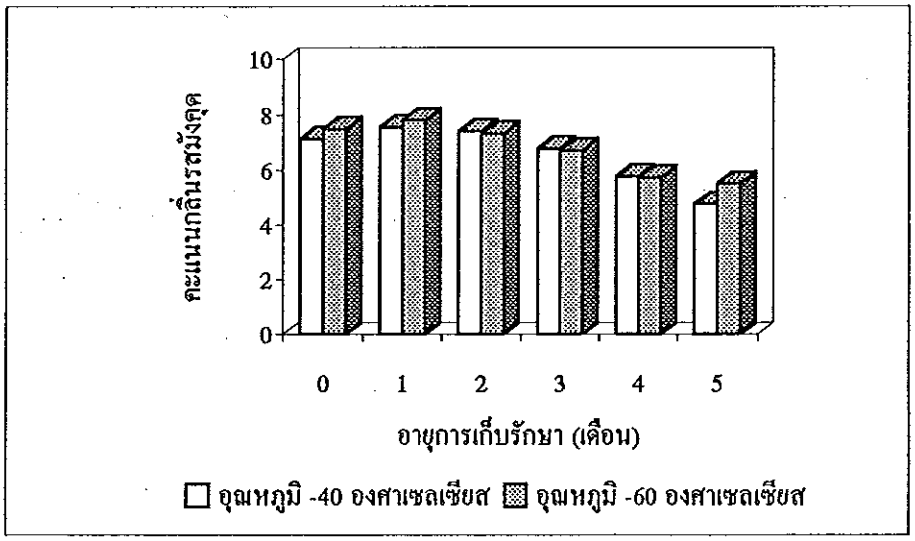
กลิ่นรสมังคุด

จากทดสอบทางประสาทสัมผัส กลิ่นรสมังคุดของชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน (ตารางที่ 9 และภาพที่ 17) โดยพบว่า เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ชิ้นมังคุดขนาดเล็กมีกลิ่นรสมังคุดไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ในเดือนสุดท้ายชิ้นมังคุดมีกลิ่นรสมังคุดลดลงจากตอนเริ่มต้น ($P<0.05$) แสดงว่า ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งจะให้กลิ่นหอมเฉพาะตัวจางลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิยังคงมีกลิ่นรสมังคุดเหลืออยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2533) ที่พบว่า คะแนนการยอมรับกลิ่นรสของมังคุดแช่เยือกแข็งลดลงตามอายุการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดเล็กไม่มีผลมากนักต่อกลิ่นรสมังคุด เนื่องจากชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิมีกลิ่นรสมังคุดที่ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 เดือน



ภาพที่ 17 คะแนนกลิ่นรสมังคุดทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา

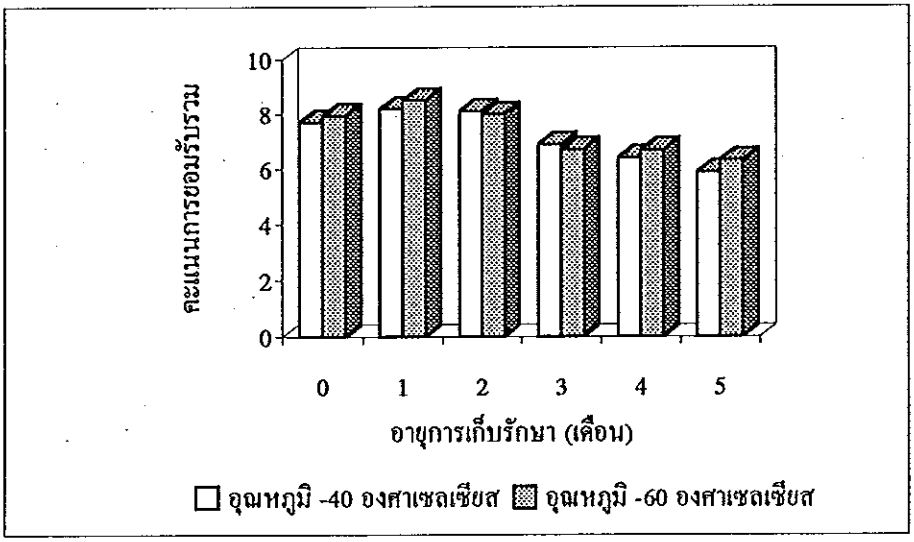
กลิ่นรสมังคุดของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 11 และภาพที่ 18) คือ ในช่วงสามเดือนแรกของการเก็บรักษา กลิ่นรสมังคุดไม่แตกต่างจากตอนเริ่มต้น ($P>0.05$) แต่เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้กลิ่นรสมังคุดจางกว่าตอนเริ่มต้น ($P<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของรุจิรา กิจธารทอง (2534) พบว่า มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้รับคะแนนการยอมรับกลิ่นรสในตอนเริ่มต้นระดับชอบมาก และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งไม่มีผลทำให้กลิ่นรสมังคุดของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แตกต่างกันมากนักตลอดระยะเวลา 5 เดือนของการเก็บรักษา



ภาพที่ 18 คะแนนกลิ่นรสมังคุดทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา

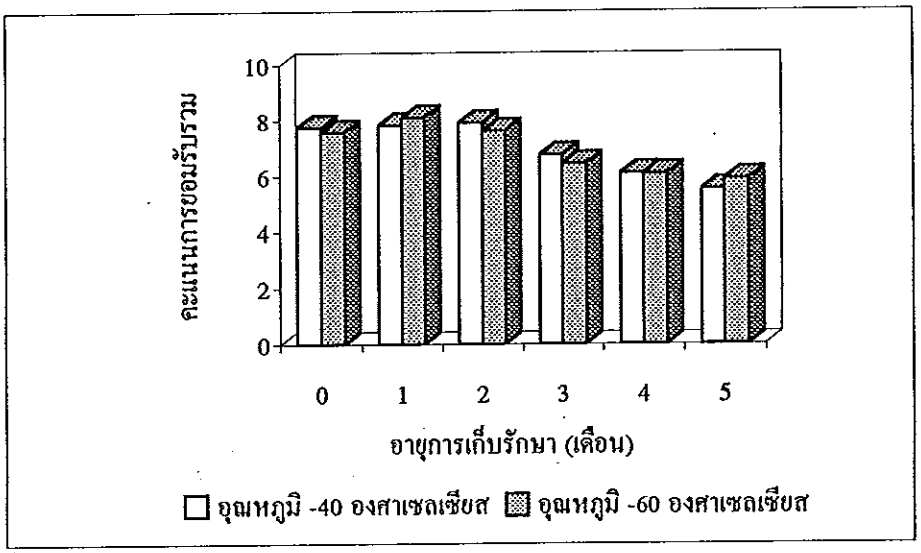
การยอมรับรวม

คะแนนการยอมรับรวมของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ (ตารางที่ 9 และภาพที่ 19) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน คือ การยอมรับรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น โดยลดลงจนแตกต่างจากตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา หลังจากการเก็บรักษาผ่านไปสามเดือน ($P<0.05$) คะแนนการยอมรับรวมมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มมากขึ้นเป็นผลเนื่องมากจากคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส และกลิ่นรสมังคุดที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน คะแนนการยอมรับรวมค่อนไปทางมาก ซึ่งอาจแสดงได้ว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาผ่านไป 5 เดือน ผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค



ภาพที่ 19 คะแนนการยอมรับรวมทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา

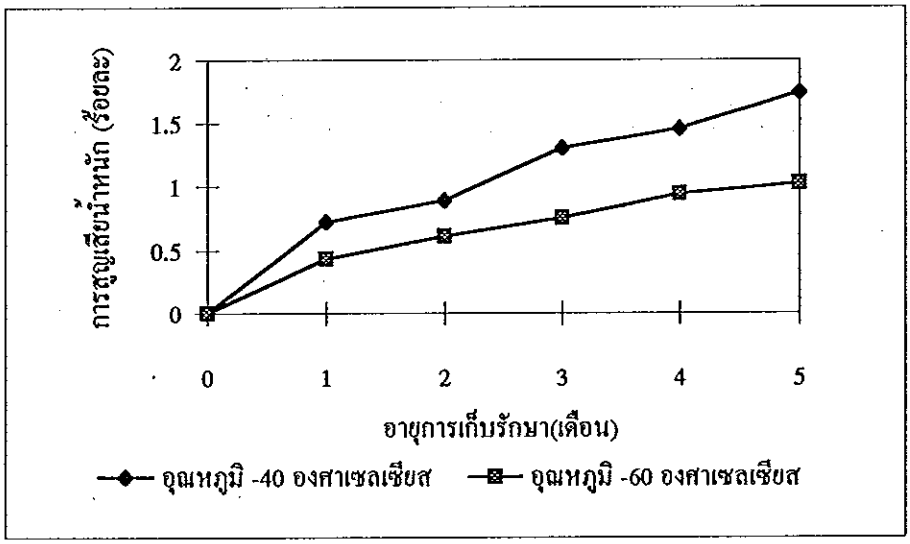
คะแนนการยอมรับรวมของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน (ตารางที่ 11 และภาพที่ 20) คือ ในสองเดือนแรกของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างจากตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา ($P>0.05$) แต่เมื่ออายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น คะแนนการยอมรับรวมมีแนวโน้มลดลงจนแตกต่างจากตอนเริ่มต้น ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการยอมรับรวมเป็นเช่นเดียวกับการกับการทดลองของรุจิรา กิจธารทอง (2534) ซึ่งพบว่า มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับรวมเริ่มต้นระดับชอบมาก และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น โดยมีการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาผ่านไป 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งในชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง แม้ว่าผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิ มีคะแนนการยอมรวมค่อนไปทางแน่นมาก แสดงว่าผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค



ภาพที่ 20 คะแนนการยอมรับรวมทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา

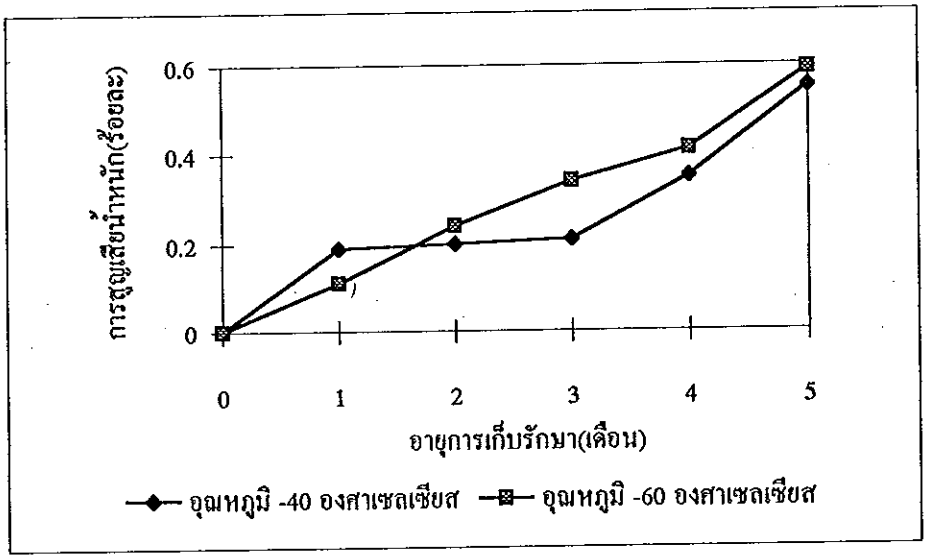
การสูญเสียน้ำหนัก

การตรวจสอบการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 21) พบว่า ชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อย โดยในเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ มีการสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 1.74 และชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60 °ซ มีการสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 1.02 เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ชนิดครัยโอแวคมีคุณสมบัติในการป้องการการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี อย่างไรก็ตามการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)



ภาพที่ 21 การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง

จากการตรวจสอบการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิ (ภาพที่ 22) พบว่า มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น และมีการสูญเสียน้ำหนักใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่มีสิ่งห่อหุ้มนอกเหนือจากภาชนะบรรจุ จึงเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักขึ้น อย่างไรก็ตามตลอดอายุการเก็บรักษาชิ้นมังคุดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิ มีการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อย โดยมีปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 1 เมื่อสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากถุงครัยโอแวคที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี

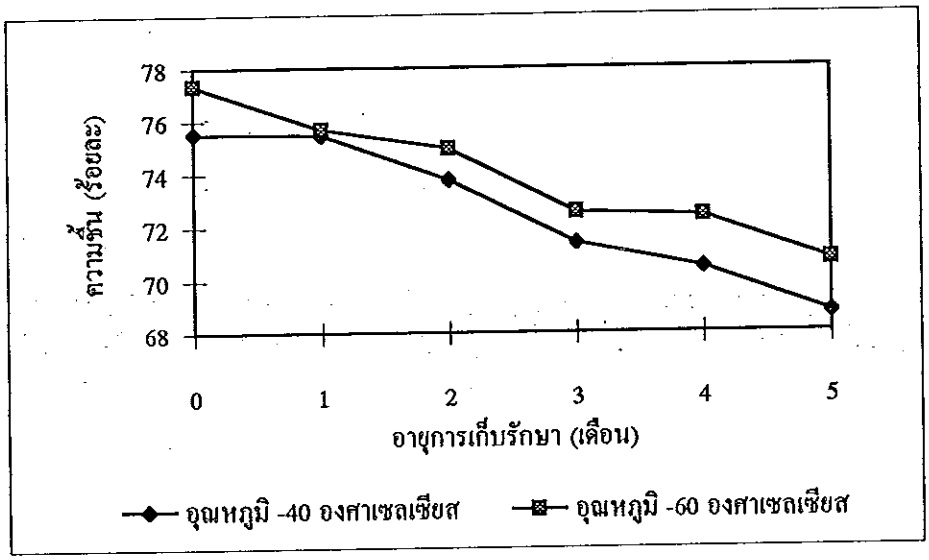


ภาพที่ 22 การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง

คุณภาพทางเคมี

ปริมาณความชื้นของชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 23) คือ ปริมาณความชื้นลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาผ่านไป 5 เดือน ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตทั้งสองอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกันคือ ลดลงร้อยละ 6.78 และ 6.59 จากเริ่มต้นของการเก็บรักษาสำหรับชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนัก แต่ความชื้นที่ลดลงมีปริมาณสูงกว่าน้ำหนักที่สูญหายมาก ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาสังเกตุพบเกล็ดน้ำแข็งเล็ก ๆ เกาะอยู่ภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งอาจเกิดจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่คงที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการละลายน้ำแข็งบางส่วน ทำให้น้ำสูญเสียออกนอกเซลล์ เมื่อเกิดการแช่เยือกแข็งซ้ำ ทำให้เกิดเกล็ดน้ำแข็งเกาะอยู่ภายในภาชนะบรรจุ จึงเป็นผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงมากกว่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษา

นอกจากนี้จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน คือ พีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 13) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของรุจิรา กิจธารทอง (2534) ส่วนกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณลดลงถึงร้อยละ 87 และ 84.7 ในชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ ตามลำดับ ทั้งนี้ Tannenbaum และคณะ (1984) อธิบายว่ากรดแอสคอร์บิกมีความไวต่อการเสื่อมสลาย ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสื่อมสลายของกรดแอสคอร์บิกได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ออกซิเจน เอนไซม์ โลหะหนัก และความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแอสคอร์บิก ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ในขณะที่น้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากสัดส่วนของน้ำตาลซูโครสต่อผลรวมของน้ำตาลฟรุคโตสและน้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากการย่อยสลายน้ำตาลซูโครสไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (Kawamata, 1977)



ภาพที่ 23 ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง

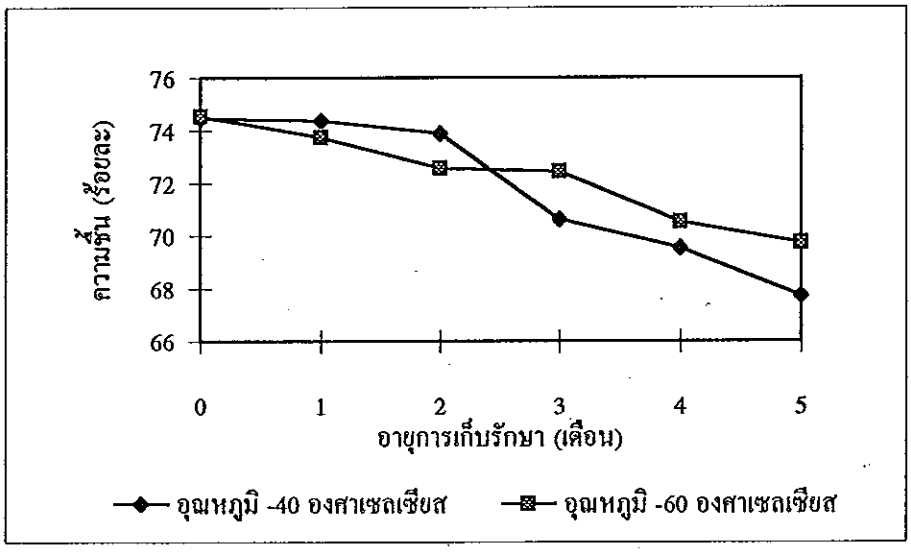
ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง

คุณภาพทางเคมี	อุณหภูมิการผลิต			
	-40 °ซ		-60 °ซ	
	เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย
พีเอช	3.17±0.04	3.21±0.07	3.13±0.04	3.12±0.04
กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	0.61±0.03	0.58±0.03	0.63±0.04	0.66±0.01
กรดแอสคอร์บิก(มก./100 มล.)	1.00±0.03	0.13±0.01	0.59±0.03	0.09±0.73
ของแข็งที่ละลายได้(บริกซ์)	20.4±0.49	20.3±0.14	19.9±0.14	20.6±0.07
น้ำตาลรีดิวซ์(ร้อยละ)	3.28±0.07	3.33±0.08	3.15±0.01	3.20±0.10
น้ำตาลทั้งหมด(ร้อยละ)	24.10±0.62	23.99±0.22	23,74±3.18	23.50±0.16

หมายเหตุ ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ความชื้นของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน มีแนวโน้มลดลงจากตอนเริ่มต้นใกล้เคียงกัน คือ ลดลงร้อยละ 6.71 และ 4.80 ตามลำดับ (ภาพที่ 24) แสดงว่า เมื่ออายุการเก็บรักษายาวนานขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่คงที่ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์ และเกิดเป็นเกล็ดน้ำแข็งเล็ก ๆ เกาะอยู่บริเวณภาชนะบรรจุ

ส่วนการเปลี่ยนแปลงพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งที่ผลิตทั้งสองอุณหภูมิ มีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 14) แสดงว่า การแช่เยือกแข็งมีผลต่อคุณภาพดังกล่าวน้อยมาก ส่วนกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณลดลงค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก กรดแอสคอร์บิกมีความไวต่อการเสื่อมสลายเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากการย่อยสลายน้ำตาลซูโครสไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ในระหว่างการเก็บรักษา (Kawamata, 1977)



ภาพที่ 24 ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง

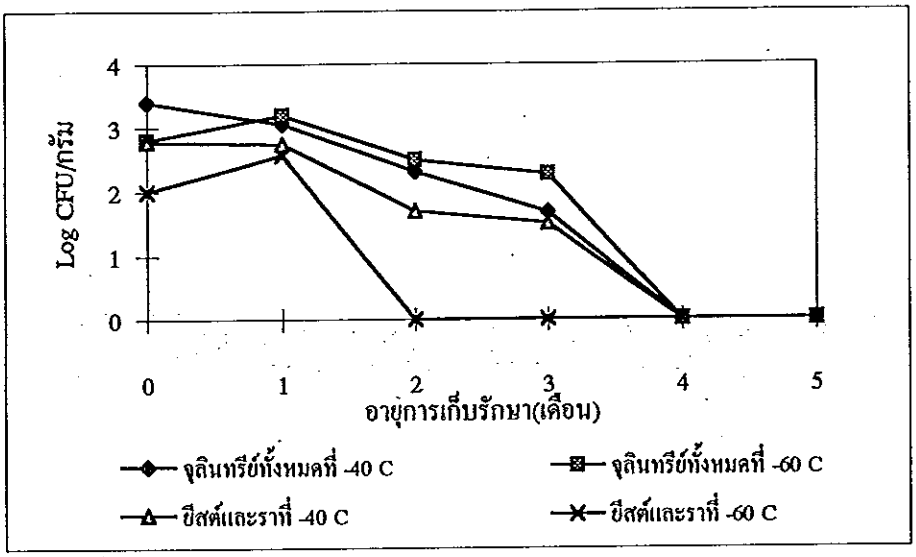
ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง

คุณภาพทางเคมี	อุณหภูมิการผลิต			
	-40 °ซ		-60 °ซ	
	เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สุดท้าย
พีเอช	3.52±0.10	3.59±0.05	3.63±0.13	3.57±0.04
กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	0.47±0.04	0.50±0.01	0.55±0.01	0.52±0.02
กรดแอสคอร์บิก(มก./100 มล.)	0.68±0.01	0.10±0.04	0.79±0.01	0.13±0.01
ของแข็งที่ละลายได้(บริกซ์)	19.6±0.28	20.0±0.14	19.1±0.14	19.5±0.71
น้ำตาลรีดิวซ์(ร้อยละ)	4.87±0.30	5.33±0.13	4.35±0.31	4.65±0.10
น้ำตาลทั้งหมด(ร้อยละ)	22.64±1.11	22.00±0.71	22.50±0.18	22.17±0.37

หมายเหตุ ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

คุณภาพทางจุลินทรีย์

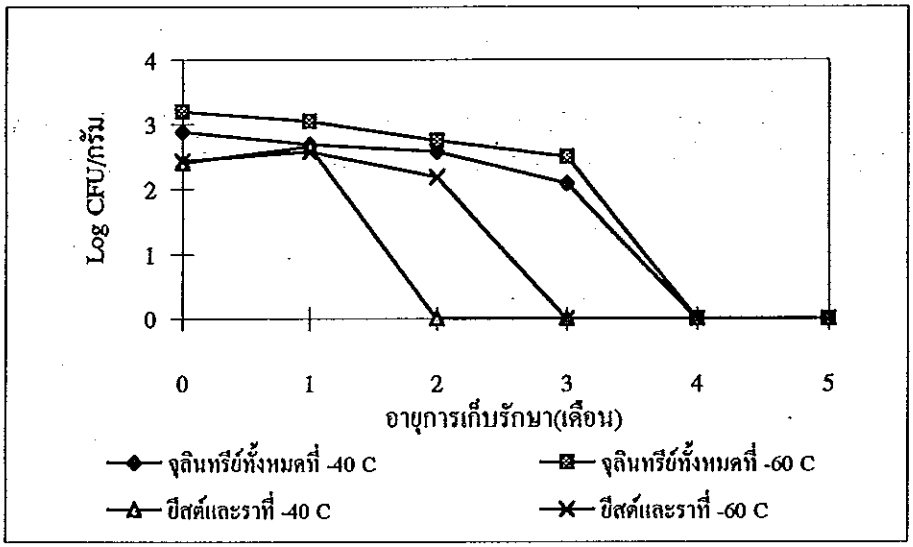
ปริมาณจุลินทรีย์ของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °ซ เป็นเวลา 5 เดือน (ภาพที่ 25) พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณใกล้เคียงกัน มีค่าระหว่าง $6.30x10^2$ - $2.45x10^3$ โคโลนี/กรัม ซึ่งมียีสต์และราอยู่ในช่วง $1.00x10^2$ - $6.02x10^2$ โคโลนี/กรัม เมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป จุลินทรีย์ทั้งหมดรวมทั้งยีสต์และรามีปริมาณลดลง ชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมดรวมทั้งยีสต์และรา ส่วนชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60 °ซ หลังจากเก็บรักษา 2 เดือนตรวจไม่พบยีสต์และรา และหลังจากเก็บรักษาครบ 4 เดือน ตรวจไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ซึ่ง Frazier และ Westhoff (1988) ได้อธิบายไว้ว่า จุลินทรีย์ไม่สามารถเพิ่มปริมาณได้ที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งและจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตจะมีจำนวนลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น จุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจพบในชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งมีปริมาณต่ำกว่าข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดแช่เยือกแข็ง ที่กำหนดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่อกรัม ไม่เกิน $3.00x10^6$ โคโลนี (มอก., 2525) จึงจัดว่าชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ที่ได้มาตรฐาน สำหรับจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคคือ โคลิฟอร์ม *E. coli* และ *S. aureus* ตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ทั้งสามชนิดนี้ แสดงว่า ไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคขึ้นในวัตถุดิบ ระหว่างกระบวนการผลิต และการบรรจุ



ภาพที่ 25 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราในระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็ง

ปริมาณจุลินทรีย์ในชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ (ภาพที่ 26) พบว่า ในตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด $1.55x10^3$ และ $7.58x10^2$ โคโลนีต่อกรัม มีปริมาณยีตส์และรา $2.51x10^2$ และ $2.69x10^2$ โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา มีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และหลังจากเดือนที่ 3 ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด ในขณะที่ปริมาณยีสต์และราตรวจไม่พบตั้งแต่เดือนที่ 2 และ 3 สำหรับชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากว่า จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง และมีจำนวนที่รอดชีวิตลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น จึงจัดว่าผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ที่ได้มาตรฐาน เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของสับปะรดแช่เยือกแข็ง (มอก., 2525) นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค คือ

โคลิฟอร์ม *E. coli* และ *S. aureas* ระหว่างการผลิต และการบรรจุ เนื่องจากตรวจไม่พบจุลินทรีย์เหล่านี้ตลอดเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน



ภาพที่ 26 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราในระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็ง

6. การประมาณต้นทุนการผลิต (ภาคผนวก จ)

จากการประมาณต้นทุนการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง พบว่า การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิเครื่อง -40 °ซ มีต้นทุนสูงกว่าการแช่เยือกแข็งที่ -60 °ซ โดยมีต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ คือ 220.43 และ 212.23 บาท ตามลำดับ และหากต้องการจำหน่ายให้ได้กำไรร้อยละ 15 ผลิตภัณฑ์มีราคาจำหน่ายคือ 260 และ 250 บาท สำหรับชิ้นมังคุดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ ตามลำดับ

บทที่ 4

สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งโดยวิธีไอคิวเอฟ ซึ่งมีคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็น โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นมังคุด สภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็ง การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และการประมาณต้นทุนการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง พบว่า

องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อมังคุดสด ทั้งขนาดเล็กและใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนใหญ่เป็นน้ำและของแข็งที่ละลายได้ที่อยู่ในรูปของน้ำตาล

การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมังคุดขนาดเล็กและใหญ่แช่เยือกแข็ง โดยการแช่ในสารละลายกรดซิตริกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ สารละลายกรดอีริธอร์บิก และสารละลายซีสเตอีน ก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่า สารละลายแต่ละชุดสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าไม่ใช้ แต่การใช้สารเคมีร่วมกันไม่แสดงผลให้ชิ้นมังคุดมีสีขาวมากขึ้นกว่าการใช้สารเคมีเพียงชุดเดียว และการใช้แคลเซียมไม่มีผลให้เนื้อสัมผัสของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งดีขึ้น ดังนั้นการใช้สารเคมีเพียงชุดเดียวก็เพียงพอในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล จึงคัดเลือกชุดการทดลองที่มีการใช้กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.25 เป็นชุดการทดลองที่เหมาะสมในการแช่ชิ้นมังคุดทั้งสองขนาด

หลังจากนั้นนำชิ้นมังคุดมาแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส เพื่อดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งโดยวิธีออสโมซีส มีผลทำให้ความชื้นลดลงและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในช่วง 30 นาทีแรก หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และมีผลทำให้การยอมรับรสหวานใกล้เคียงกับในอุดมคติมากกว่าการไม่แช่ แต่ไม่มีผลต่อสีและความแน่นของชิ้นมังคุดทั้งสองขนาด จึงคัดเลือกชุดการทดลองที่มีการแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายซูโครส 30 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที และ 40 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที สำหรับชิ้นมังคุดขนาดเล็กและใหญ่ ตามลำดับเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดด้วยเครื่อง Cryogenic Cabninet Freezer โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็น จนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางเป็น -18 °ซ พบว่า การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 °ซ มีผลให้ช่วงการเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นน้ำแข็งและลดอุณหภูมิน้ำแข็งจนถึง -18 °ซ ใช้เวลานานกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60 °ซ จึงส่งผลให้ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานกว่า โดยชิ้นมังคุดขนาดเล็กใช้เวลา 29 และ 15 นาที ส่วนชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ใช้เวลา 38 และ 24 นาที ที่อุณหภูมิเครื่องแช่เยือกแข็ง -40 และ -60 °ซ ตามลำดับ และการแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายซูโครสก่อนการแช่เยือกแข็ง มีผลให้ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าการไม่แช่

การแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดที่อุณหภูมิ -40 °ซ่ มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าที่ -60 °ซ โดยการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดที่ -40 และ -60°ซ มีต้นทุนการผลิต 220.43 และ 212.23 บาทต่อกิโลกรัมเนื้อมังคุด ดังนั้นการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดควรใช้อุณหภูมิเครื่องแช่เยือกแข็ง -60 °ซ

เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดทั้งขนาดเล็กและใหญ่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 และ -60 °ซ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกันคือ สีขาวมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความแน่น กลิ่นรสมังคุด และการยอมรับรวม และเมื่อเวลาการเก็บรักษาครบ 5 เดือน ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งสองขนาดยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ยกเว้นกรดแอสคอร์บิกที่มีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน ส่วนคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า จุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และมีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดแช่เยือกแข็งของไทย และตรวจไม่พบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งโดยวิธีการออสโมซีส นอกจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาแล้ว ควรศึกษาปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อการลดปริมาณน้ำ การเพิ่มขึ้นของของแข็ง และการยอมรับทางประสาทสัมผัส เช่น ชนิดของสารที่มีความดันออสโมติกสูง ๆ นอกเหนือจากน้ำตาลซูโครส อัตราการกวน อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ เป็นต้น

2. ควรมีการศึกษาการใช้ประโยชน์ของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งนอกเหนือจากการบริโภคสด เช่น ชิ้นมังคุดที่ใช้ในการแต่งหน้าไอศครีมหรือใส่ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต เป็นต้น

3.ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องภาชนะบรรจุให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2528. ความก้าวหน้าของวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชต่าง ๆ. เกษตรอุตสาหกรรม 1(48):6-8.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2531. สถิติการเพาะปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้นปีการเพาะปลูก 2528/29. เอกสารเผยแพร่. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

เกียรติ ลีละเศรษฐกิจและดารา พวงสุวรรณ. 2530. การปรับปรุงคุณภาพมังคุด. ว.เคหการเกษตร 11(127):72-75.

เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธิ์, มโนธรรม สัจจ์ถาวร, อดุลย์ พงศ์สุวรรณ, บรรณ บูรณะ และ ลิขิต เอียดแก้ว. 2530. มังคุด. กรุงเทพฯ : สหมิตรออฟเซท.

จิรา ณ หนองคาย. 2531. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผัก ผลไม้ และดอกไม้. กรุงเทพฯ : แมส พับลิชชิ่ง.

ชาคริต จุลกะเสวี. 2535. มังคุดไทยเพื่อการส่งออก. ว. ไทย 12(46):83-89.

ชาติชาย พฤกษ์รัตนกุล, ชนาภรณ์ ตั้งวิสุทธิจิต, รจนา โรจน์วิโรจน์, วสุ อมฤติสุทธิ และ อนันชัย กิตติศรันย์เลิศ. 2532. มังคุดเพื่อการส่งออก. ข่าวสารเกษตร-ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 34(4):62-69.

ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธ์กุล. 2533. การศึกษาการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

โชค บุญทรง. 2532. ชาวสวนยิ้มฉลองมังคุดออกรับทรัพย์เละ. หนังสือพิมพ์เดลินิวส์. 17 เมษายน 2532 หน้า 13.

ดารา พวงสุวรรณ. 2531. สถานการณ์การส่งออกผลไม้แช่เยือกแข็ง. ว. กสิกร 61:453-455.

ทวีศักดิ์ วัฒนกูล. 2532. มังคุด:ราชินีแห่งผลไม้. ว. ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร. เมษายน-กันยายน:28-51.

นฤมล พงษ์พิริยะเดชะ. 2539. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซีส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

ประสิทธิ์ อติวีระกุล. 2527. เทคโนโลยีของผักและผลไม้. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

ไพรัตน์ โสภโณเดร, ไพศาล วุฒิจำนงค์, อัญชลี ศิริโชติ และจิระ อิฐรัตน์. 2534. รายงานการวิจัย การพัฒนาการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2531. สถิติสำหรับการวิจัยเกษตร. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

มณเฑียร ประจวบดี. 2538. การประมาณต้นทุน. กรุงเทพฯ. : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิทัต. 2533.คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการหีบห่อ. ศูนย์การบรรจุหีบห่อ สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ.

มอก. 2525. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดแช่เยือกแข็ง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ

รุจิรา กิจธารทอง. 2534. การพัฒนารูปแบบบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

วิจิตร ครูปัญญามาตย์ และ อรรถชัย วรกุล. 2533. การเปรียบเทียบและพัฒนากระบวนการแช่เยือกแข็งมังคุดโดยใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัสแบบกระแสลมเป่า และการใช้ไนโตรเจนเหลว. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. วัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สงวนศรี เจริญเหรียญ และ วิชาญ วงค์สิทธิ์. 2534. ผลของการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของสับปะรดแช่เยือกแข็ง. วารสารวิจัยและส่งเสริมการเกษตร 8(3):44-52.

สมชาย กล้าหาญ. 2535. แนวทางการใช้ไนโตรเจนเหลวเก็บรักษามังคุดและลำไย. ว. กสิกร 65(2):171-174.

สมทรง ปวีณการณ์. 2530. ทุเรียนและผลไม้แช่แข็ง. ว.กสิกร 60(1):49-52.

สมทรง ปวีณการณ์ และ นิลวรรณ ลีอังกูรเสถียร. 2531. ผลไม้แปรรูป. เอกสารเผยแพร่งานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.หน้า 1-9.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2529. ดัชนีแสดงระดับสีผลมังคุด. เอกสารเผยแพร่. ห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวสถาบันวิจัยวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ.

หลวงบุเรศบำรุงการ. 2518. การปลูกมังคุดและละมุดฝรั่ง. กรุงเทพฯ : แพร่วิทยา

อ่อนรวี รัตนาพันธุ์. 2533. หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธี osmotic. อาหาร 20(4):5-11.

A.O.A.C. 1990. Offcial Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists 15thed. Virginia : The Association of Official Analytical Chemists, Inc.

Biswal, R.N., Bozorgmehr, K., Tompkins, F.D., and Liu, X. 1991. Osmotic concentration of green beans prior to freezing. J. Food Sci. 56(4):1008-1012.

Borgstrom, G. 1968. Freezing. In *Principle of Food Science.* p. 206-229. London : The Macmillan Company Collier-Macmillan Limited.

British Standard Institution. 1989. Packaging Code. In *Packaging on Plastics Containers*, p. 1-19. British Standard Institution ed. London.

Coronel, E.R. 1983. Promising Fruits of the Philippines. p. 307-321 College of Agriculture, Univ. of Philippines. Los. Banos, Philippines.

Department of Health, Nutrition Division. 1992. Nutritive Value of Thai Food, 1987. In *Thai Fruit Products*, p. 61. Horticultural Crop Promotion Division, Department of Agricultural Extension ed. Mtikaset Advertising and Marketing Co., Ltd.

Drake, S.R., and Fridlund, P.R. 1986. Apple quality as influenced by method of $CaCl_2$ application. J. Food Quality 9(2):121-128.

Farkas, F., and Lazar, M.E. 1969. Osmotic dehydration of apples : Effect of temperature and syrup and concentration on rates. Food Technol. 23(5):688-690.

FDA. 1986. Sulfiting agent ; Revocation of GRAS status for use on fruits and vegetables intended to be served or sold raw to comsumers. Food and Drug Admin.,Fed. Reg. 51:25021-25026.

Frazier, W.C. ,and Westhoff, D.C. 1988. Food Microbiology. New York : McGraw-Hill Pubblishing Co.

Garthwaite, G.A. 1992. Chilling and freezing of fish. In *Fish Processing Technology*. Hall, G.M. ed. New York : The USA and Cannada publishers, Inc.

Hasegawa, H. 1987. Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products. Marine Fisheries Research Department, Singapore : SEAFDEC.

Huxsol, C.C. 1982. Reducing the refrigeration load by partial concentration of food prior to freezing. Food Technol.36(5):98-102.

Intengan, C.L., *et al.* 1968. Food Composition Table Recommended for use in the Philippines. Food Nut. Res. Handb. 1. Nat. Sci. Dev. Board., Manilla. Cited by Coronel, E.R. 1983. Promising Fruits of the Philippines. College of Agriculture, Univ. of Philippines. Los. Banos. pp., Phillippines.

Kawamata, S. 1977. Studies on determining the sugar composition of fruits by GLC. Bull. Tokyo Agri. Expt. Stat. 10:53-67.

Kitson, J.A. 1970. A continuous process for dehydrofrozen apple. Can. Inst. Food Technol. J. 3(4):136.

Langdon, T.T. 1987. Preventing of browning in fresh prepared potatoes without the use of sulfiting agents. Food Technol. 5(4):64-67.

Luh, B.S. ,and Lorenzo, M.C. 1988. Freezing Vegetables. In *Commercial Vegetables Processing*. Luh, B.S. ,and Woodroof, J.G. eds. Westport, Conn. : The AVI Publishing Co.,Inc.

Martin, F.W. 1980. Durain and Mangosteen. In *Tropical and Subtropical Fruits*, p. 407-411. Nagy, S. and Shaw, P.E. eds. Westport, Conn. : The AVI Publishing Co., Inc.

Monar-Perl,I., and Friedman, M. 1990. Inhibition of browning by sulfur amino acid. 3. Apples and potatoes. J. Agric. Food Chem. 38(8):1652-1656.

Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-Canovas, G.V., Cavalieri, R.P., Mcevily, A.J., and Iyengar, R. 1993. Control of browning during storage of apple slices preserved by combined methods. 4-hexylresorcinol as anti-browning agent. J. Food Sci. 58(4):797-800.

Nicolas, J.J. 1994. Enzymatic browning reaction in apple and apple products. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 32(2):109-157.

Nicoli, M.C., Anese, M., and Severini, C. 1994. Combined effects in preventing enzymatic browning reactions in minimally processed fruit. J. Food Quality 17(3):221-229.

Ochse, J.J., Soule, M.J., Dijkman, M.J., and Wehburg, C. 1961. Tropical and Subtropical Agriculture. New York : MacMillan Co.

Ponting, J.D., Watters, G.G., Forry, R.R., Jackson, R. and Stanley, W. L. 1966. Osmotic dehydration of fruit. Food Technol. 20(10):125-128.

Pruthi, J.J. 1994. Quick frozen food industries-a global overview. Indian Food Packer 2(3):47-58.

Santerre, C.R., Cash, J.N., and Vannorman, D.J. 1988. Ascorbic acid/citric acid combinations in the processing of frozen apple slices. J. Food Sci. 53(6):1713-1716.

Sapers, G.M. 1993. Browning of food:Control by sulfites ,antioxidant and other means. Food Technol. 46(10):75-84.

Sapers, G.M., and Miller, R.L. 1992. Enzymatic browning control in potato with ascorbic acid-2-phosphates. J. Food Sci. 57(5):1132-1135.

Sapers, G.M., and Ziolkowski, M.A. 1987. Comparison of erythorbic and ascorbic acids as inhibitors of enzymatic browning in apple. J. Food Sci.. 52(6):1732-1733.

Sayavedrasoto, L.A., and Montgomery, M.W. 1986. Inhibition of polyphenol oxidase by sulfite. J. Food Sci. 51(6):1531-1536.

Smith, D.B., and Walters, A.H. 1967. Introductory Food Science. London : Harrison and Sons Ltd.

Speck, M.L. 1984. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. 2nd. Washington D.C.:American Publish Health Assosiation.

Stone, J., Sidel, J., Oliver, S., and Woolsey, A. 1974. Sensory evaluation by quanlitative descriptive analysis. Food Technol. 28(11):24-34.

Tannenbaum, S.R., Young, V.R., and Archer, M.C. 1984. Vitamins and Minerals. In *Food Chemistry*, p. 477-493. Fennema, O.R., and Marcel, D. eds. New York and Basel, Inc.

Taylor, S.L., Higley, N.A., and Bush, R.K. 1986. Sulfite in food: Uses, analytical methods, residues, fate, exoposure assessment, metabolism, toxicity and hypersensivity. Adv. Food Res. 30:1-76.

Vamos-Viggazo, L. 1981. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables.CRC. Crit. Rev. Food Sci. Nutri. 15:49-127.

Venning, J.A., Burns, D.J., Hoskin, K.M., Nguyen, T., and Stec, M.G.H. 1989. Factors influencing the stability of kiwifruit pulp.J. Food Sci.54(2):393-400.

Woolrich, W.R., and Novak, A.F. 1968. Refrigeration Technology. In *Fundamentals of Food Freezing*, p. 23-80. Desrosier, N.W., and Tressler, D.K. eds. Westport, Connecticut : AVI Publishing Company, Inc.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1.ปริมาณน้ำตาลรีดิ๊วซ์และน้ำตาลทั้งหมด โดย Lane and Eynon volumetric method (A.O.A.C., 1990)

อุปกรณ์

1.ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.ปิเปตขนาด 5 และ10 มิลลิลิตร

3.บูเรตต์ขนาด 50 มิลลิลิตร

4.ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร

5.เตาให้ความร้อน

6.กระดาษกรอง

สารเคมีและการเตรียม

1.สารละลายเฟ-ลิง A

ชั่งคอปเปอร์ซัลเฟต เพนตาไฮเดรต ($CuSO_4.5H_2O$) 69.28 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4

2.สารละลายเฟ-ลิง B

ชั่งโปตัสเซียมโซเดียมทาเทรต เตตราไฮเดรต ($KNaC_4H_4O_6.4H_2O$) 346 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

3.เมทธิลีน บลู เข้มข้นร้อยละ 1

ละลายเมทธิลีน บลู 1 กรัมในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

4.สารละลายนิวตรัล เลด อะซิเตต เข้มข้นร้อยละ 10

ละลายนิวตรัล เลด อะซิเตต 50 กรัม และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

5.สารละลายโปตัสเซียม ออกซาเลต เข้มข้นร้อยละ 10

ละลายโปตัสเซียม ออกซาเลต 50 กรัมในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

6.สารละลายเด็กโตรสมาตรฐาน

ชั่งเด็กโตรสที่ปราศจากน้ำให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 3 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

วิธีการ

1.การหาค่ามาตรฐานของสารละลายเฟ-ลิง

การหาค่ามาตรฐานใช้ Incremental method หรือ Preliminary method และ Standard method หรือ Accurate method ดังนี้

1.1 Preliminary method

-ไปเปตสารละลายเฟ-ลิง A และ B มาอย่างละ 5 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร

-ใส่สารละลายเด็กโตรสประมาณ 15 มิลลิลิตรจากบูเรตต์ เขย่าให้เข้ากันและต้มให้เดือดโดยเร็ว นาน 15 วินาที

-เติมเมทธิลีน บลู 2-3 หยด (ถ้าไม่มีสีน้ำเงินเกิดขึ้นแสดงว่า เด็กโตรสมากเกินไป) ไตเตรตจนสีน้ำเงินหายไป ขณะไตเตรตสารละลายภายในฟลาสก์ต้องเดือดและเขย่าให้เข้ากันตลอดเวลา บันทึกปริมาณสารละลายน้ำตาลเด็กโตรสที่ใช้ไป

1.2 Accurate method

-ไปเปตสารละลายเฟ-ลิง A และ B มาอย่างละ 5 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร

-ปล่อยสารละลายเด็กโตรสลงในฟลาสก์ให้ปริมาตรน้อยกว่าจุดยุติประมาณ 1 มิลลิลิตร

-เขย่า ต้มให้เดือดโดยเร็วและสม่ำเสมอนาน 2 นาที เติมเมทธิลีนบลู 2-3 หยด

-ไตเตรตโดยปล่อยสารละลายเด็กโตรสครั้งละ 2-3 หยดให้ถึงจุดยุติภายใน 1 นาที (ขณะไตเตรตสารละลายในฟลาสก์ต้องเดือดตลอดเวลาและเขย่าให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ บันทึกปริมาณสารละลายเด็กโตรสที่ใช้ (ไตเตอร์)

คำนวณค่า Factor ของสารละลายดังนี้

Factor (F) = ไตเตอร์ x กรัมของเด็กโตรสในสารละลาย 1 มิลลิลิตร

2.การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด

2.1 การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

-ไปเปตน้ำมังคุดที่กรองแล้วมา 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเล็กน้อย ต้มในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

-เติมสารละลายนิวตรัล เลด อะซิเตต 2 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

-เติมสารละลายโปตัสเซียม ออกซาเลต 0.9 มิลลิลิตร

-ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 250 มิลลิลิตร

-กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 (ตัวอย่างที่กรองได้แบ่งไว้ส่วนหนึ่งสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด)

-นำไปไตเตรตตามวิธีในข้อ 1 บันทึกปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้

2.2 การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

-ไปเปตตัวอย่างที่กรองได้จากข้อ 2.1 มา 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

-เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 50 ลงไป 5 มิลลิลิตร

-นำไปต้มในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

-ทำให้เย็นและทำให้เป็นกลางด้วย 1 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร

-นำไปไตเตรตตามวิธีในข้อ 1 บันทึกปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้

การคำนวณ

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์,น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)

= F x ปริมาณเจือจาง x 100 / ไตเตอร์ x ปริมาตรตัวอย่าง

2.การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (A.O.A.C., 1990)

วิธีการ

ดูดน้ำมังคุดให้ได้ปริมาตรที่แน่นอน (ประมาณ 5 มิลลิลิตร) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 25 มิลลิลิตร ไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานความเข้นข้น 0.1 N คำนวณปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกจากสูตร

ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก(ร้อยละ) = ไตเตอร์ x N x 0.07 x 100 / W

เมื่อ N = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)

W = ปริมาตรของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

3.การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (A.O.C.A., 1990)

หลักการ

กรดแอสคอร์บิกจะรีดิวซ์อินดิเคเตอร์ dye (2,6 Dichlorophenol) ให้เป็นสารที่ไม่มีสีที่จุดยุติ 2,6 Dichlorophenol ที่เหลือจะปรากฏเป็นสีชมพูในสารละลายกรดแอสคอร์บิกโดยรักษาความเป็นกรดของปฏิกิริยา และหลีกเลี่ยงการเกิด antioxidation ของกรดแอสคอร์บิกที่พีเอชสูง ๆ

อุปกรณ์

1.ปีเปตขนาด 5 มิลลิลิตร

2.ฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.ไมโครบูเรตต์ขนาด 10 มิลลิลิตร

สารเคมีและการเตรียม

1.สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก

ละลาย HPO_3 15 กรัม ในกรดอะซิติกปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500 มิลลิลิตร กรองผ่านกระดาษกรอง

2.สารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ชั่งกรดแอสคอร์บิกให้ได้น้ำหนักแน่นอน 50 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริกเป็น 50 มิลลิลิตร เตรียมทันทีก่อนใช้

3.สารละลายอินโดฟีนอลมาตรฐาน

ละลาย 2,6 dichloroindophenol (เกลือโซเดียม) ในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร ที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 42 มิลลิกรัมหลังจากละลายแล้วปรับปริมาตรเป็น 200 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นแล้วกรองผ่านกระดาษกรอง เก็บในตู้เย็นไม่ให้ถูกแสง ปรับมาตรฐานใหม่ทุกครั้งที่ใช้

วิธีการ

1.การปรับมาตรฐานสี

-ปิเปตสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน 2 มิลลิลิตรในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร

-เติมสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก 5 มิลลิลิตร

-ไตเตรตอย่างรวดเร็วด้วยสารละลายอินโดฟีนอลจนได้สีชมพูอ่อนคงตัวอยู่มากกว่า 5 วินาที

-บันทึกปริมาตรสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้

-คำนวณหา dye factor (F) คือ มิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายอินโดฟีนอล 1 มิลลิลิตร

2.การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในตัวอย่างน้ำมังคุด

-ปิเปตตัวอย่างน้ำมังคุดที่กรองแล้วปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร

-เติมสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก 2.5 มิลลิลิตร

-ไตเตรตด้วยสารละลายอินโดฟีนอลจนได้สีชมพูคงตัวมากกว่า 5 วินาที

-ไตเตรต blank โดยใช้สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริกแทนตัวอย่าง

การคำนวณ

ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/มิลลิลิตรตัวอย่าง)

$$= \frac{(\text{ไตเตอร์-blank}) \times F \times \text{ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง} \times \text{ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการไตเตรต}}$$

4.การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย Hand Refractometer

นำตัวอย่างมังคุดที่ผ่านการคั้น และกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาเส้นใยออก วัดด้วย Hand Refractometer อ่านปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในหน่วยองศาบริกซ์

5.การหาปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ (A.O.A.C., 1990)

อุปกรณ์

1.ตู้อบสุญญากาศ

2.ภาชนะหาความชื้น

3.เดสิเคเตอร์

4.เครื่องชั่ง

วิธีการ

1.อบภาชนะหาความชื้นในตู้อบประมาณ 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์ประมาณครึ่งชั่วโมง ชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน

2.ใส่ตัวอย่างในภาชนะหาความชื้น ชั่งให้ได้น้ำหนักแน่นอน โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 3 กรัม

3.นำภาชนะหาความชื้นใส่ในตู้อบสุญญากาศ ลดความดันลงช้า ๆ จนเหลือประมาณ 100 มิลลิเมตรปรอท อบประมาณ 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

4.ทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

ความชื้น (ร้อยละ) = (M1-M2) x 100 / (M1-M0)

เมื่อ M0 = น้ำหนักภาชนะหาความชื้น (กรัม)

M1 = น้ำหนักตัวอย่างและภาชนะหาความชื้นก่อนอบ (กรัม)

M2 = น้ำหนักตัวอย่างและภาชนะหาความชื้นหลังอบ (กรัม)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ

1.การวัดค่าพีเอช ด้วยพีเอชมิเตอร์

วิธีการ

นำตัวอย่างน้ำมังคุดที่ผ่านการคั้นและกรองด้วยผ้าขาวบาง วัดพีเอชด้วยพีเอชมิเตอร์ที่ผ่านการปรับด้วยสารละลายบัพเฟอร์มาตรฐาน พีเอช 4.0 และ 7.0

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางจุลินทรีย์

1.การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Variable Count) โดยวิธี pour plate (Hasegawa, 1987)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1.Plate Count Agar (PCA)

2. 0.85 % normal saline solution

วิธีการ

1.การเตรียมตัวอย่าง

-ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ลงในจานเพาะเชื้อที่ปราศจากเชื้อ

-เติมสารละลาย normal saline 90 มิลลิลิตร แล้วปั่นด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 1 นาที

-เจือจางจนได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม 3 ระดับ (สามารถนับเชื้อได้ในช่วง 30-300 โคโลนีต่อจานเพาะเชื้อ)

2.การตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์

-ดูดตัวอย่างที่เจือจางเหมาะสมมา 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้ว

-เททับด้วยอาหาร PCA ประมาณ 15 มิลลิลิตร

-หมุนจานเพาะเชื้อเบา ๆ แล้วตั้งทิ้งให้วุ้นแข็งตัวประมาณ 15 นาที

-อบเพาะเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียสในลักษณะคว่ำจานเพาะเชื้อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

-ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนประมาณ 30-300 โคโลนี รายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง (CFU/g)

2.การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา โดยวิธี spread plate (Hasegawa, 1987;Speck, 1984)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1.Potato Dextrose Agar (PDA)

2. 0.85 % normal saline solution

วิธีการ

1.ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม เติมสารละลายน้ำเกลือ 90 มิลลิลิตร

2.ปั่นด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 1 นาที แล้วเจือจางให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมในการนับเชื้อ 3 ระดับ

3.ปิเปตตัวอย่างอาหารระดับความเจือจางละ 0.1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ ใช้แท่งแก้วงอที่ผ่านการฆ่าเชื้อ เกลี่ยจนผิวหน้าแห้ง

4.บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

5.ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนประมาณ 30-300 โคโลนี รายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง (CFU/g)

3.การวิเคราะห์ปริมาณโคลิฟอร์มและ *Escherichia coli* (Hasegawa, 1987;Speck, 1984)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1.Lauryl Sulphate Tryptone Broth (LST)

2.EC medium

3.Levine's Eosin Methylene Blue Agar (EMB)

4.Lactose broth

วิธีการ

1.Presumtive test

ใช้ตัวอย่างที่เตรียมเช่นเดียวกับการหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยใช้ปิเปตดูดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดสอบที่มี LST พร้อม Durham tube ตัวอย่างละ 3 ระดับความเจือจาง ความเจือจางละ 3 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจผลหลอดทดสอบที่เกิดก๊าซ

2.confirmed test

เลือกหลอดที่เกิดก๊าซมาทดสอบโดยเขี่ยเชื้อใส่ในอาหาร EC บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจวิเคราะห์หลอดที่เกิดก๊าซ อ่านผลเป็นโคลิฟอร์มในรูปของ MPN

3.complete test

เลือกหลอดที่เกิดก๊าซจากข้อ 2 เขี่ยเชื้อลงบนจานอาหาร EMB บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจผลโคโลนีที่มีสีเขียวเหลือบมันที่มีสีเข้มตรงกลาง ใส่ในหลอดทดสอบที่มี Lactose broth ที่มี Durham tube บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจผลหลอดที่เกิดก๊าซ แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีเพื่อตรวจหา *E. coli*

4.การวิเคราะห์ *Staphyllococcus aureus* (Hasegawa, 1987;Speck, 1984)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1.Baird-Parker Medium (BP)

2.Brain Heart Infusion Broth (BHI)

3.Rabbit Plasma

วิธีการ

1.การเตรียมตัวอย่าง

ทำเช่นเดียวกับการหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

2.การตรวจหา *S. aureus*

-ดูดตัวอย่างจากระดับความเจือจางที่เหมาะสมจำนวน 0.1 มิลลิลิตรลงบน BP agar จำนวน 2 ซ้ำ

-ใช้แท่งแก้วที่ปราศจากเชื้อเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วจาน

-บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

-ตรวจสอบลักษณะโคโลนี เมื่อครบ 30 ชั่วโมง เลือกนับโคโลนีที่มีสีดำขอบขาว แวววาว และบริเวณรอบโคโลนีมีบริเวณใส (clear zone) เลือกจานที่มีปริมาณเชื้อ 30-300 โคโลนี

-ทำเครื่องหมายตำแหน่งโคโลนีที่มีลักษณะดังกล่าว แล้วนำจานไปบ่มต่ออีก 18 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่มีสีดำแวววาวที่มีหรือไม่มีขอบขาวและไม่มีบริเวณใสด้วย

-ถ่ายโคโลนีที่คาดว่าจะเป็น *S. aureus* ลงใน BHI บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

-ดูดตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดสอบ แล้วเติม rabbit plasma 0.3 มิลลิลิตร

-บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ตรวจผลการแข็งตัวของพลาสมาหลังจาก 4 ชั่วโมง ถ้าพลาสมายังไม่แข็งตัวให้เก็บหลอดไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วตรวจผลอีกครั้งหลังจากทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง

ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

1.แบบทดสอบชิมเชิงพรรณาปริมาณ

ขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและการรักษาความคงตัว

ชื่อผู้ทดสอบชิม..... วันที่..... เวลา.....

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและขีดเส้นตั้งฉากกับเส้นของแต่ละปัจจัยพร้อมรหัสตัวอย่าง ตรงบริเวณที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

สี

ขาว น้ำตาลอ่อน

เนื้อสัมผัส

แน่นน้อย แน่นมาก

ข้อเสนอแนะ.....

ขอบคุณ

2.แบบทดสอบชิมเชิงพรรณาปริมาณ

ขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

ชื่อผู้ทดสอบชิม..... วันที่..... เวลา.....

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและขีดเส้นตั้งฉากกับเส้นของแต่ละปัจจัยพร้อมรหัสตัวอย่าง ตรงบริเวณที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด และขีดเส้น I ตรงบริเวณที่ตรงกับความรู้สึกที่ท่านต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะดังกล่าวมากที่สุด(ค่าทางอุดมคติ เฉพาะปัจจัยความหวาน) กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

สี

ขาว น้ำตาลอ่อน

เนื้อสัมผัส

แน่นน้อย แน่นมาก

ความหวาน

หวานน้อย หวานมาก

ข้อเสนอแนะ.....

ขอบคุณ

3.แบบทดสอบชิมเชิงพรรณาปริมาณ

ขั้นตอนศึกษาอายุการเก็บรักษา

ชื่อผู้ทดสอบชิม..... วันที่..... เวลา.....

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและขีดเส้นตั้งฉากกับเส้นของแต่ละปัจจัยพร้อมรหัสตัวอย่าง ตรงบริเวณที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

สี

ขาว น้ำตาลอ่อน

เนื้อสัมผัส

แน่นน้อย แน่นมาก

รสชาติมังคุด

น้อย มาก

การยอมรับรวม

น้อย มาก

ข้อเสนอแนะ.....

ขอบคุณ

ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและการรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
Replication(R)	1	0.0572	0.0572	<1
Treatment(T)	12	29.6108	204682	8.3461 **
Error	12	3.5109	0.2926	
Total	25	33.1861		
ค่า a				
Replication(R)	1	0.0011	0.0011	<1
Treatment(T)	12	2.2372	0.1864	14.6470 **
Error	12	0.1527	0.0127	
Total	25	2.3910		
ค่า b				
Replication(R)	1	0.2385	0.2385	3.1013 ns
Treatment(T)	12	2.2441	0.1870	2.4321 ns
Error	12	0.9227	0.0769	
Total	25	3.4052		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและการรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด

SV	DF	SS	MS	F
สี				
Replication(R)	1	0.0924	0.0924	<1
Treatment(T)	12	146.0260	12.1688	25.2997 **
Error	12	5.7718	0.4810	
Total	25	151.8902		
เนื้อสัมผัส				
Replication(R)	1	0.8424	0.8424	9.2682 *
Treatment(T)	12	1.3497	0.1125	1.2374 ns
Error	12	1.0907	0.0909	
Total	25	3.2828		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและการรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
Replication(R)	1	0.0081	0.0081	<1
Treatment(T)	12	55.4991	4.6249	14.2329 **
Error	12	3.8994	0.3249	
Total	25	56.4066		
ค่า a				
Replication(R)	1	0.0158	0.0158	2.0144 ns
Treatment(T)	12	0.8132	0.0678	8.6657 **
Error	12	0.0938	0.0078	
Total	25	09228		
ค่า b				
Replication(R)	1	0.0630	0.0630	1.1290 ns
Treatment(T)	12	1.3548	0.1129	2.0227 ns
Error	12	0.6698	0.0558	
Total	25	2.0876		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและการรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด

SV	DF	SS	MS	F
สี				
Replication(R)	1	0.7446	0.7446	1.2350 ns
Treatment(T)	12	58.5708	4.8809	8.0955 **
Error	12	7.2350	0.6029	
Total	25	66.5504		
เนื้อสัมผัส				
Replication(R)	1	0.9010	0.9010	33.9764 **
Treatment(T)	12	1.5138	0.1261	4.7571 **
Error	12	0.3182	0.0265	
Total	25	2.7330		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
Replication(R)	1	3.4445	3.4445	10.3674 *
Treatment(T)	9	2.3799	0.2644	<1
Error	9	2.9902	0.3322	
Total	19	8.8146		
ค่า a				
Replication(R)	1	0.0061	0.0061	1.2325 ns
Treatment(T)	9	0.0280	0.0031	<1
Error	9	0.0447	0.0050	
Total	19	0.0789		
ค่า b				
Replication(R)	1	0.0061	0.0061	<1
Treatment(T)	9	0.0338	0.1149	1.1557 ns
Error	9	0.8945	0.0994	
Total	19	1.9345		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

SV	DF	SS	MS	F
สี				
Replication(R)	1	1.2301	1.2301	1.7398 ns
Treatment(T)	9	8.6978	0.9664	1.3667 ns
Error	9	6.3640	0.7071	
Total	19	16.2919		
เนื้อสัมผัส				
Replication(R)	1	0.0020	0.0020	<1
Treatment(T)	9	1.8089	0.2010	4.2443 *
Error	9	0.4262	0.0474	
Total	19	2.2371		
ความหวาน				
Replication(R)	1	0.0969	0.0969	19.8900 **
Treatment(T)	10	0.6191	0.0619	12.7100 **
Error	10	0.0487	0.0049	
Total	21	0.7647		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง JUKI ของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
Replication(R)	1	0.3458	0.3458	<1
Treatment(T)	9	15.4057	1.7117	2.0745 ns
Error	9	7.4263	0.8251	
Total	19	23.1779		
ค่า a				
Replication(R)	1	0.0211	0.0211	3.1003 ns
Treatment(T)	9	0.1421	0.0047	<1
Error	9	0.0613	0.0068	
Total	19	0.1246		
ค่า b				
Replication(R)	1	0.1248	0.1248	1.0701 ns
Treatment(T)	9	1.4762	0.1640	1.4062 ns
Error	9	1.0498	0.1166	
Total	19	2.6508		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

SV	DF	SS	MS	F
สี				
Replication(R)	1	3.2967	3.2967	21.8603 **
Treatment(T)	9	1.9607	0.2179	1.4446 ns
Error	9	1.3573	0.1508	
Total	19	6.6147		
เนื้อสัมผัส				
Replication(R)	1	0.6845	0.6845	1.0751 ns
Treatment(T)	9	6.8699	0.7633	1.1989 ns
Error	9	5.7303	0.6367	
Total	19	13.2847		
ความหวาน				
Replication(R)	1	0.0473	0.0473	13.3200 **
Treatment(T)	10	0.4082	0.0408	11.5000 **
Error	10	0.0355	0.0036	
Total	21	0.4910		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางภาคผนวกที่ 9 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งที่ผลิตที่ -40 องศาเซลเซียส

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
Replication(R)	5	11.7863	2.3573	1.34 ns
Treatment(T)	5	22.9555	4.5911	2.62 *
Error	25	43.8184	1.7527	
Total	35	78.5602		
ค่า a				
Replication(R)	5	0.0685	0.0137	<1
Treatment(T)	5	0.0493	0.0099	<1
Error	25	0.3566	0.0143	
Total	35	0.4745		
ค่า b				
Replication(R)	5	1.9054	0.3811	1.37 ns
Treatment(T)	5	1.5481	0.3096	1.12 ns
Error	25	6.9393	0.2776	
Total	35	10.9329		
สี				
Replication(R)	15	26.8050	1.7870	1.66 ns
Treatment(T)	2	99.7531	19.9506	18.54 **
Error	75	80.7119	1.0762	
Total	95	207.2700		

SV	DF	SS	MS	F
เนื้อสัมผัส				
Replication(R)	15	21.0333	1.4022	1.15 ns
Treatment(T)	5	51.9846	10.3969	8.55 **
Error	75	91.1654	1.2155	
Total	95	164.1833		
กลิ่นรสมังคุด				
Replication(R)	15	24.4499	1.6300	<1
Treatment(T)	5	65.3734	13.0747	6.67 **
Error	75	147.0307	1.9604	
Total	95	236.8541		
การยอมรับรวม				
Replication(R)	15	15.9009	1.0601	<1
Treatment(T)	5	71.0691	14.2138	9.66 **
Error	75	110.3865	1.4718	
Total	95	197.3566		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 10 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งที่ผลิตที่ -60 องศาเซลเซียส

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
Replication(R)	5	2.9381	0.5876	<1
Treatment(T)	5	34.4110	6.8822	6.81 **
Error	25	25.2813	1.0113	
Total	35	62.6305		
ค่า a				
Replication(R)	5	0.0777	0.0155	<1
Treatment(T)	5	0.0354	0.0071	<1
Error	25	0.4581	0.0183	
Total	35	0.5712		
ค่า b				
Replication(R)	5	1.9807	0.3961	3.13 *
Treatment(T)	5	2.2490	0.4498	3.55 *
Error	25	3.1679	0.1267	
Total	35	7.3976		
สี				
Replication(R)	15	23.0798	1.5387	1.62 ns
Treatment(T)	2	69.3323	13.8665	14.62 **
Error	75	71.1584	0.9488	
Total	95	163.5705		

SV	DF	SS	MS	F
เนื้อสัมผัส				
Replication(R)	15	19.9325	1.3288	1.04 ns
Treatment(T)	5	30.1736	6.0347	4.71 **
Error	75	96.0152	1.2802	
Total	95	146.1212		
กลิ่นรสมังคุด				
Replication(R)	15	12.7389	0.8493	<1
Treatment(T)	5	66.5567	13.3113	7.05 **
Error	75	141.5112	1.8868	
Total	95	220.8068		
การยอมรับรวม				
Replication(R)	15	16.0950	1.0730	<1
Treatment(T)	5	63.6465	12.7293	11.56 **
Error	75	82.5589	1.1008	
Total	95	162.3004		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 11 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งที่ผลิตที่ -40 องศาเซลเซียส

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
Replication(R)	5	15.1775	3.0.55	1.10 ns
Treatment(T)	5	32.0594	6.4119	2.31 ns
Error	25	69.2799	2.7712	
Total	35	116.5168		
ค่า a				
Replication(R)	5	0.0416	0.0083	1.22 ns
Treatment(T)	5	0.0413	0.0083	1.21 ns
Error	25	0.1701	0.0068	
Total	35	0.2530		
ค่า b				
Replication(R)	5	1.2975	0.2595	1.60 ns
Treatment(T)	5	1.9525	0.3905	2.41 ns
Error	25	4.0527	0.1621	
Total	35	7.0327		
สี				
Replication(R)	15	14.7969	0.9865	<1
Treatment(T)	2	99.0194	19.8039	15.92 **
Error	75	93.2860	1.2438	
Total	95	207.1023		

SV	DF	SS	MS	F
เนื้อสัมผัส				
Replication(R)	15	22.4399	1.4960	1.22 ns
Treatment(T)	5	86.6584	17.3317	14.12 **
Error	75	92.0482	1.2273	
Total	95	201.1466		
กลิ่นรสมังคุด				
Replication(R)	15	9.0983	0.6066	<1
Treatment(T)	5	93.5967	18.7193	10.47 **
Error	75	134.1506	1.7887	
Total	95	236.8456		
การยอมรับรวม				
Replication(R)	15	6.6121	0.4408	<1
Treatment(T)	5	83.5593	16.7119	13.56 **
Error	75	92.4332	1.2324	
Total	95	182.6046		

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 12 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งที่ผลิตที่ -60 องศาเซลเซียส

SV	DF	SS	MS	F
ค่า L				
Replication(R)	5	8.0310	1.6062	<1
Treatment(T)	5	70.4526	14.0905	2.91 *
Error	25	121.0055	4.8402	
Total	35	199.4891		
ค่า a				
Replication(R)	5	0.0600	0.0120	1.40 ns
Treatment(T)	5	0.0450	0.0090	1.05 ns
Error	25	0.2139	0.0086	
Total	35	0.3189		
ค่า b				
Replication(R)	5	0.4668	0.0934	<1
Treatment(T)	5	0.5466	0.1093	<1
Error	25	3.7222	0.1489	
Total	35	4.7357		
สี				
Replication(R)	15	14.3316	0.9554	<1
Treatment(T)	2	39.9308	7.9862	4.50 **
Error	75	132.9750	1.7730	
Total	95	187.2374		

SV	DF	SS	MS	F
เนื้อสัมผัส				
Replication(R)	15	17.8483	1.1899	<1
Treatment(T)	5	50.6679	10.1336	5.99 **
Error	75	126.9625	1.6928	
Total	95	195.4787		
กลิ่นรสมังคุด				
Replication(R)	15	20.1258	1.3417	<1
Treatment(T)	5	72.7274	14.5455	9.54 **
Error	75	114.3451	1.5246	
Total	95	207.1983		
การยอมรับรวม				
Replication(R)	15	20.2625	1.3508	1.13 ns
Treatment(T)	5	68.8586	13.7717	11.57 **
Error	75	89.3052	1.1907	
Total	95	178.4262		

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ภาคผนวก ง การประมาณต้นทุนการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

ต้นทุนในการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งประกอบด้วยต้นทุนทางตรงและต้นทุนทางอ้อม

1. ต้นทุนทางตรง ประกอบด้วย

-ผลมังคุดสด ราคาโดยเฉลี่ยกิโลกรัมละ	15 บาท
-ค่าแรงงานขั้นต่ำ ชั่วโมงละ	16 บาท
(สอบถามจากกรมแรงงาน จังหวัดสงขลา)	
-สารเคมี ได้แก่	
แคลเซียมคลอไรด์ กิโลกรัมละ	783 บาท
กรดซิตริก กิโลกรัมละ	222 บาท
-น้ำตาลทราย กิโลกรัมละ	13 บาท
-ถุงครัยโอแวค ราคาถุงละ	0.85 บาท

2. ต้นทุนทางอ้อม เป็นค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับกิจกรรมการผลิต เนื่องจากเป็นการผลิตในระดับห้องทดลอง ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการผลิตจึงวิเคราะห์เฉพาะค่าใช้จ่ายผันแปรบางค่า คือ

-ค่าไฟฟ้า สำหรับกิจการขนาดเล็กมีอัตราดังนี้

35 หน่วยแรกหรือน้อยกว่า	94	บาท
115 หน่วยต่อไป หน่วยละ	1.14	บาท
250 หน่วยต่อไป หน่วยละ	2.22	บาท
เกินกว่า 400 หน่วยขึ้นไป	2.53	บาท
ค่าไฟฟ้าต่ำสุดเดือนละ	94	บาท

(ข้อมูลจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พศ. 2538)

-ค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลว กิโลกรัมละ	5 บาท
-ค่าน้ำ ลูกบาศก์เมตรละ	3 บาท

การคำนวณ

1. ต้นทุนทางตรง

1.1 วัตถุดิบมังคุดสด 80 กิโลกรัม กิโลกรัมละ 15 บาท คิดเป็น 1200 บาท (ได้เนื้อมังคุด 9.2 กิโลกรัม)

1.2 ต้นทุนแรงงาน ใช้แรงงานคน 3 คน ทำงานคนละ 3 ชั่วโมง ดังนั้นชั่วโมงการทำงานทั้งหมดเท่ากับ 9 ชั่วโมง ค่าแรงงานชั่วโมงละ 16 บาท คิดเป็นต้นทุนแรงงานทั้งหมด 144 บาท

1.3 สารเคมี สารเคมีที่ใช้คือ แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 และกรดซิตริกร้อยละ 0.5 ใช้ในอัตรส่วน 1 ต่อ 2 (เนื้อมังคุดต่อสารละลาย) จากเนื้อมังคุด 9.2 กิโลกรัม ต้องใช้สารละลาย 18.4 กิโลกรัม ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 46 กรัม คิดเป็นเงิน 36.01 บาท และกร์ดซิตริก 92 กรัม คิดเป็นเงิน 20.42 บาท รวมค่าสารเคมี 56.53 บาท

1.4 น้ำตาลซูโครส ใช้แช่ชิ้นมังคุดในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 (น้ำหนักเนื้อต่อสารละลาย)

น้ำหนักชิ้นเล็ก 4.5 กิโลกรัม ใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ 13.5 กิโลกรัม เพราะฉะนั้นต้องใช้น้ำตาลซูโครส 4.05 กิโลกรัม

น้ำหนักชิ้นใหญ่ 4.7 กิโลกรัม ใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ 14.1 กิโลกรัม เพราะฉะนั้นต้องใช้น้ำตาลซูโครส 5.64 กิโลกรัม

ใช้น้ำตาลซูโครสทั้งหมด 9.69 กิโลกรัม ราคากิโลกรัมละ 13 บาท คิดเป็นเงิน 125.97 บาท สารละลายน้ำตาลสามารถนำกลับมาใช้ใหม่อีกประมาณ 2 ครั้ง เพราะฉะนั้นต้นทุนของน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 41.99 บาท

1.5 บรรจุภัณฑ์ บรรจุชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งในถุงครัยโอแวคน้ำหนัก 250 กรัมต่อถุง เนื้อมังคุดทั้งหมด 9.2 กิโลกรัม ใช้ถุงทั้งหมด 37 ถุง ราคาถุงละ 0.85 บาท คิดเป็นเงิน 31.45 บาท

2. ต้นทุนทางอ้อม

2.1 ค่าไฟฟ้า สำหรับกิจการขนาดเล็ก แบ่งค่าไฟฟ้าตามอุณหภูมิการผลิตดังนี้

-ที่ -40 องศาเซลเซียส ชิ้นเล็กใช้ไฟฟ้า 0.3 กิโลวัตต์ชั่วโมง ชิ้นใหญ่ใช้ไฟฟ้า 0.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง รวมใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 0.8 หน่วย (1 กิโลวัตต์ชั่วโมงเท่ากับ 1 หน่วย) เนื่องจากน้อยกว่า 35 หน่วย จึงคิดเป็นเงิน 94 บาท

-ที่ -60 องศาเซลเซียส ชิ้นเล็กใช้ไฟฟ้า 0.25 กิโลวัตต์ชั่วโมง ชิ้นใหญ่ใช้ไฟฟ้า 0.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง รวมใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 0.65 หน่วย เนื่องจากน้อยกว่า 35 หน่วย จึงคิดเป็นเงิน 94 บาท

2.2 ค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลว มีความแตกต่างตามอุณหภูมิการผลิตดังนี้

-ที่ -40 องศาเซลเซียส ชิ้นเล็กใช้ก๊าซไป 42 กิโลกรัม ชิ้นใหญ่ใช้ก๊าซไป 47 กิโลกรัม รวมใช้ไป 89 กิโลกรัม ราคากิโลกรัมละ 5 บาท คิดเป็น 445 บาท

-ที่ -60 องศาเซลเซียส ชิ้นเล็กใช้ก๊าซไป 34 กิโลกรัม ชิ้นใหญ่ใช้ก๊าซไป 40 กิโลกรัม รวมใช้ไป 74 กิโลกรัม ราคากิโลกรัมละ 5 บาท คิดเป็น 370 บาท

2.3 ค่าน้ำที่ใช้ในการล้างมังคุดและเตรียมสารละลายน้ำตาล 5 ลูกบาศก์เมตร ๆ ละ 3 บาท คิดเป็น 15 บาท

ตารางภาคผนวกที่ 18 การประมาณต้นทุนการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

คำนวณจากมังคุดสด 80 กิโลกรัม หลังจากปอกเปลือก ได้เนื้อมังคุด 9.2 กิโลกรัม ใช้แรงงานคน 3 คน ทำงานคนละ 3 ชั่วโมง คิดเป็นอัตราการผลิต 1 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์ต่อชั่วโมง

รายการ	อุณหภูมิผลิต -40 °ซ (บาท)	อุณหภูมิผลิต -60 °ซ (บาท)
1.ต้นทุนทางตรง		
-มังคุดสด	1200	1200
-แรงงาน	144	144
-บรรจุภัณฑ์	31.45	31.45
-สารเคมี	56.53	56.53
-น้ำตาลซูโครส	41.99	41.99
2.ต้นทุนทางอ้อม		
-ค่าไฟฟ้า	94	94
-คาร์บอนไดออกไซด์เหลว	445	370
-ค่าน้ำ	15	15
รวม	2027.97	1952.97
ต้นทุนต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)	220.43	212.23

หมายเหตุ การประมาณราคาขาย (ต้องการกำไรร้อยละ 15)

จากต้นทุนต่อหน่วย หากต้องการกำไรร้อยละ 15 สามารถคำนวณราคาขายที่ต้องการได้ดังนี้

ราคาขาย = ต้นทุนการผลิต + กำไรร้อยละ 15 ของราคาขาย

ราคาขาย = ต้นทุนการผลิต + (0.15 x ราคาขาย)

ราคาขาย = ต้นทุนการผลิต/0.85 (มณเฑียร ประจวบดี, 2538)

-ชิ้นมังคุดที่ผลิตที่ -40 องศาเซลเซียส

ราคาขายที่ต้องการ = 220.43/0.85

= 260 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์

-ชิ้นมังคุดที่ผลิตที่ -60 องศาเซลเซียส

ราคาขายที่ต้องการ = 212.23/0.85

= 250 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายพรพงษ์ สุทธิรักษ์

วัน เดือน ปีเกิด 11 มีนาคม 2515

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2536