รายงานการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรม ฉบับสมบูรณ์

(รหัสโครงการ 36-01-0113)

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปมังคุด

Research and Development on Improvement of Postharvesting and Processing Qualities of Mangosteen

โดย

นางไพรัตน์ โสภโณดร

นายไพศาล วุฒิจำนงค์

นายธงชัย สุวรรณสิชนณ์

น.ส.เย็นจิตต์ ปิยะแสงทอง

น.ส.อมรรัตน์ สวัสดิทัต

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่

เสนอต่อ

ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

สมอ

เลขหมู่ TP371.6 ร64 ว545 ฉ.1

Bib Key 223267

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปมังคุด มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาแนวทางการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ การพัฒนาเทคนิคการแปรรูปมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากเนื้อมังคุด ส่วนที่บริโภคได้จากผลมังคุดที่มีลักษณะไม่ครบตรงตามมาตรฐานมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผลเพื่อการส่งออก ได้แก่ มังคุดแช่เยือกแข็งแบบแยกชิ้น มังคุดกระป๋อง และมังคุดกึ่งแห้ง ให้มีความหลากหลายในระดับอุตสาหกรรม อันจะเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากผลผลิตมังคุดทั้งที่มีคุณภาพและด้อยคุณภาพมากขึ้น ผลการศึกษามีดังนี้

1. การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสด โดยการดัดแปลงบรรยากาศ ประกอบด้วย การคัดเลือกระดับสีผิวของผลมังคุดที่เหมาะสม กระบวนการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ ผลของสารจิบเบอเรลลินต่ออายุการเก็บรักษาผลมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ การพัฒนาการสุกของผลมังคุดภายหลังการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศแล้ว ตลอดจนการคัดเลือกบรรจุภัณฑ์ย่อยที่เหมาะสม พบว่า มังคุดที่เก็บเกี่ยวในระยะที่มีจุดประสีชมพูกระจัดกระจายสม่ำเสมอทั้งผล (ระดับสีที่ 3) เป็นระดับสีผิวที่เหมาะสม สามารถเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศในถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ หนา 40 ไมครอน ที่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน คือ แท่งชอล์กที่ดูดซึมสารละลายอิ่มตัวของโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตปริมาณ 4 กรัมต่อมังคุด 20 ผล (หนักประมาณ 80 กรัม/ผล) ที่อุณหภูมิ 10°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85±5 ได้นานที่สุดถึง 5 สัปดาห์ การใช้สารจิบเบอเรลลินที่ระดับความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงของผลมังคุด ก่อนการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่พัฒนาขึ้น ได้รับคะแนนการยอมรับสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการจุ่มสารจิมเบอเรลลิน

การเก็บเกี่ยวมังคุดระดับสีผิวที่ 1 แล้วนำมาเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศเป็นเวลา 5 สัปดาห์ สามารถนำมาบ่มเพื่อพัฒนาการสุกได้ด้วยก๊าซอะเซทิลีนที่อุณหภูมิห้องภายในเวลา 7 วัน และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าเมื่อเก็บเกี่ยวใหม่ ๆ แต่ส่วนของขั้วผลและกลีบเลี้ยงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จึงไม่เหมาะที่จะเก็บเกี่ยวมังคุดในระดับสีที่ 1 ส่วนการใช้บรรจุภัณฑ์ย่อยที่เหมาะสมคือ ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีหนา 20 ไมครอน ได้รับการยอมรับสูงกว่าการใช้ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีหนา 20 ไมครอน และกล่องพลาสติกพีวีซีหนา 160 ไมครอน

2. การพัฒนาเทคนิคการแปรรูปและบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง ประกอบด้วยการศึกษาแนวทางการป้องกันการเสื่อมคุณภาพของมังคุดแช่เยือกแข็ง เทคนิคการแปรรูป การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ และการประเมินต้นทุนการผลิต ผลการศึกษาพบว่า การแช่ผลมังคุดที่ผ่าเปิดผลแล้วในสารละลายผสมที่ประกอบด้วย กรดซิตริกร้อยละ 0.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 เป็นเวลาประมาณ 1 นาที ก่อนการปิดผลและแช่เยือกแข็ง สามารถป้องกันการเปลี่ยนสีและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งได้เป็นที่น่าพอใจ การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแบบเพลทสัมผัสที่อุณหภูมิของเครื่อง

ประมาณ -30°ซ จนกระทั่งจุดกึ่งกลางผลมังคุดมีอุณหภูมิ -18°ซ ใช้เวลา 220 นาที แต่เมื่อลดอุณหภูมิของมังคุดด้วยน้ำเย็นให้เหลือ 10°ซ และ 4°ซ ก่อนการแช่เยือกแข็ง สามารถลดเวลาในการแช่เยือกแข็งลงเหลือ 180 และ 175 นาที ตามลำดับ

การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งเป็นแบบทั้งผลและเปิดครึ่งผล พบว่า การยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับสูงกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล และมีกระบวนการผลิตที่มีความสะดวก รวดเร็ว และประหยัดวัสดุและแรงงานในขั้นตอนการปิดผลและพันเทปกาว อย่างไรก็ตามตลาดที่สำคัญคือประเทศญี่ปุ่นยังคงต้องการผลิตภัณฑ์แบบทั้งผลมากกว่า อาจเป็นเพราะว่ามังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผลยังคงรูปลักษณ์ของผลมังคุดสดได้มากกว่า

จากการประเมินต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง โดยพิจารณาจากต้นทุนการผลิต และต้นทุนบรรจุภัณฑ์ย่อย พบว่า มังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผลมีต้นทุนการผลิต 26.50 บาท/กิโลกรัม สูงกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลซึ่งมีต้นทุนประมาณ 18.34 บาท/กิโลกรัม (การคำนวณบนพื้นฐานว่าได้ผลผลิตรวม 100%) ส่วนต้นทุนบรรจุภัณฑ์ย่อยแต่ละชนิดมีราคาต่อหน่วยแตกต่างกัน เมื่อคำนวณต่อหน่วยการบรรจุที่เท่ากัน คือ จำนวนมังคุด 24 ผล (น้ำหนักประมาณ 1920 กรัม) บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยและกล่องกระดาษลูกฟูก มีราคาประมาณ 70-82 บาท/กล่อง สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล และ 55-67 บาท/กล่อง สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผล

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคดแช่เยือกแข็งแบบแยกชิ้น

การศึกษาพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์จากเนื้อมังคุดที่มีคุณภาพบริโภคได้ แต่ลักษณะผลมีคุณภาพไม่ครบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยนำมาแปรรูปด้วยการแช่เยือกแข็งแบบเป็นชิ้นหรือที่เรียกว่า ไอคิวเอฟ (IQF : Individual Quick Frozen) ได้ผลของกระบวนการผลิตที่เหมาะสม คือ การแยกเนื้อมังคุดออกเป็นกลีบย่อย นำไปแช่ในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยกรดซิตริกร้อยละ 0.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 ก่อนนำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสเพื่อดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง และช่วยเพิ่มรสชาติให้กับผลิตภัณฑ์ด้วย สภาวะที่เหมาะสมในการแช่น้ำเชื่อม คือ สารละลายซูโครส 30°บริกซ์ และ 40°บริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที สำหรับมังคุดกลีบเล็กและใหญ่ ตามลำดับ เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมังคุด

การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง Cryogenic Carbinet Freezer โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็นที่อุณหภูมิ -60°ซ พบว่าใช้เวลา 15 นาที และ 24 นาที สำหรับมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ตามลำดับ และเมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตจากต้นทุนทางตรงและทางอ้อมมีค่าประมาณ 212 บาท/กิโลกรัมของเนื้อมังคุด

4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเนื้อมังคุดด้วยวิธีออสโมซิส เป็นวิธีที่มีศักยภาพและความเหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากผลผลิต ช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ และความหลากหลายของ

ผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธี RSM (Resporse Surface Method) เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการออสโมซีส พบว่า การผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่เหมาะสม คือ การใช้สารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่มีความเข้มข้น 68°บริกซ์ อุณหภูมิ 62°ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สำหรับมังคุดกลีบเล็กและความเข้มข้น 63°บริกซ์ อุณหภูมิ 67°ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ หลังจากนั้นจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคเป็นอย่างดี และสามารถเก็บรักษาในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่อุณหภูมิห้องได้ไม่น้อยกว่า 2 เดือน

5. ผลิตภัณฑ์มังคุดในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง

การศึกษากระบวนการแปรรูปมังคุดบรรจุกระป๋อง แบ่งออกเป็น การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของกลีบมังคุด การพัฒนาสูตรน้ำเชื่อม และการกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน พบว่า สภาวะในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม ได้แก่ การแช่กลีบมังคุดในสารละลายผสมแคลเซียมแลคเตต ร้อยละ 0.75 และกรดซิตริก ร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 5 นาที สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.75 และกรดซิตริก ร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 10 นาที สำหรับมังคุดกลับใหญ่ ก่อนการบรรจุกระป๋องแล้วเติมน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสุดท้าย 30°บริกซ์ ผสมแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.2 และกรดซิตริก ร้อยละ 0.1 ปิดผนึกและทำการฆ่าเชื้อโดยการต้มในน้ำเดือด จนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ เป็นเวลา 20 นาที และ 23 นาที ซึ่งผลิตภัณฑ์มีค่า F (T=197 62°F , Z = 15°F) เท่ากับ 1.23 และ 1.10 สำหรับมังคุดกลับเล็กและกลีบใหญ่ตามลำดับ เมื่อประเมินอายุการเก็บรักษาโดยวิธี Q_{10} และกำหนดให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นดัชนีคุณภาพพบว่า ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 22 และ 105 สัปดาห์ สำหรับมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ตามลำดับ

Abstract

Research and development to improve the postharvesting and processing qualities of mangosteen were carried out with the main objecties of development on the shelf-life extending of fresh mangosteen by modified atmosphere packaging, improving the processing technique for frozen mangosteen and development of diversifed-new products from edible mangosteen segment separated from fresh mangosteen of under standard for imported frozen mangosteen, sush as frozen individual mangosteen segment, canned mangosteen in syrup and intermediate moisture mangosteen segment. The results of the studies are as follows :

1. Studies on extending the shelf-life of fresh mangosteen using modified atmosphere packaging were carried out including selection of an appropriate maturity stage (skin color) for modified atmosphere storage, effect of gibberrellin (GA) on the shelf-life of modified atmosphere stored mangosteen, and ripening of modified atmosphere stored mangosteen. It was shown that mangosteen harvested at the 3rd stage of maturity (uniform distribution of pink spots on the skin) tended to have a higher acceptability than the other stages. They could be stored in cardboard box with PE bag and ethylene absorbent which is potassium permanganate at the concentration of 4 g/20 mangosteen (80 g each) at 10°C, RH 85+5% for the longest time of 5 weeks. The most suitable retail package for fresh mangosteen under modified atmosphere condition is PS foam tray wrapped with LLDPE film of 20μ thickness. Use of gibberrellin (GA), plant hormone, at the level of 100 ppm could prolong the color changes of calyxs and improve the acceptance. Mangosteen harvested at the 1st stage of maturity and then stored under modified atmosphere condition for 5 weeks could be ripened with the application of acetylene at room temperature for 7 days and received the higher acceptance score than the freshly harvested mangosteen.

2. Development on processing of frozen mangosteen including chemical treatment to prevent browning reaction, processing technique, development on product appearance

and packaging. Soaking of the half-cut mangosteen in 0.5% citric acid and 0.25% $CaCl_2$ for 1 min prior to freezing by contact plate freezer could prevent the color changes and retain the firmness of mangosteen segment to the most acceptable product. Pre-cooling of mangosteen by soaking in iced-water until the core temperature of mangosteen reached 4°C and 10°C resulted in the decrease of freezing time from 220 min to 175 and 180 min, respectively.

Freezing of the half-rind mangosteen gave more highly significant accepted than the whole-rind mangosteen. The physical characteristics of the whole-rind frozen mangosteen were comparable to fresh mangosteen and yielding about 25-30% edible portion whereas the half-rind frozen mangosteen obtained about 40-47% edible portion calculated from the total weight of raw material.

Estimation on the production cost of frozen mangosteen showed that whole-rind mangosteen obtained about 26.50 Baht/kg, which was higher than the half-rind sample which cost about 18.34 Baht/kg because of the longer freezing time and the lower yield. When the calculations were based on the equal weight of the product, it showed the production cost including the cost of retail packages and cardboard box of about 70-80 Baht/box (1920 g. product) for the whole - rind frozen mangosteen and 55-67 Baht/box for the half-rind sample.

3. Production of frozen mangosteen segment by IQF was studied using mangosteen segment separated from under standard mangosteen. The results showed that soaking the mangosteen segment in 0.5% citric acid and 0.25% $CaCl_2$ before immersing in sucrose solution to partially dehydrate before freezing gave the increases in organoleptic quality. The most appropriate conditions were obtained for small and large segment at 30°Brix and 40°Brix sucrose solution for 30 min, respectively. Freezing by cryogenic cabinet freezer using liquid carbon dioxide at -60°C took about 15 min and 24 min for small and large mangosteen segment. The production cost of IQF mangosteen segment including direct and indirect cost was about 212 Baht/kg of product.

4. Development of intermediate moisture mangosteen by osmoltic dehydration in sugar solution were carried out. The optimum conditions for osmosis using RSM

(response surface methodolgy) were immersing the mangosteen segment for 8 h in sucrose and fructose solution of 68°Brix at 62°C for small segment and 63°Brix at 67°C for large segment. Then they were dehydrated in vacuum oven at 65°C until 20% moisture content in the product were obtained. The product could be kept in PE bag at room temperature for not less than 2 months.

5. Canned mangosteen in syrup could be produced by treating the fresh mangosteen segment in mixed solution of 0.75% calcium lactate and 0.5% citric acid for 5 min for small mangosteen segment and 0.75% calcium chloride and 0.5% citric acid for 10 min for large mangostcen segment. The treated segments were then packed in enamel can and filled with syrup 30°Brix (Brix cut out) containing 0.2% calcium chloride and 0.1% citric acid. Organoleptic evaluation of canned mangosteen showed that the most acceptable products were processed in boiling water for 20 and 23 min for small segment and large segment, respectively. The F value (T = 197.62°F , Z =15°F) were 1.23 for small mangosteen segment and 1.10 for large mangosteen segment. The shelf-life prediction by Q10 method indicated that the product could be kept safely at ambient temperature for 22 and 105 weeks for small and large segment, respectively.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	
บทคัดย่อ	i
Abstract	iv
สารบัญเรื่อง	vii
สารบัญตาราง	x
สารบัญภาพ	xv
บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	
วัตถุประสงค์	
แผนงานวิจัย	
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	
เนื้อเรื่อง	
1. การศึกษาการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ	5
หลักการและเหตุผล	
วัตถุประสงค์	
วิธีดำเนินการวิจัย	
ผลและวิจารณ์	
1.1 การคัดเลือกระดับสีผิวของผลมังคุดที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ	6
1.2 ผลการลดอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ	26
1.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการกระตุ้นให้มังคุดสุก	43
1.4 ผลของสารจิบเบอเรลลินต่ออายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ	44
1.5 การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ย่อยต่อการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ	63
สรุปผลการทดลอง	85
2. การพัฒนาเทคนิคการแปรรูปและบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง	86
หลักการและเหตุผล	
วัตถุประสงค์	
วิธีดำเนินการวิจัย	
ผลและวิจารณ์	

สารบัญเรื่อง(ต่อ) **หน้า**

2.1 การศึกษาแนวทางการป้องกันการเสื่อมคุณภาพมังคุดแช่เยือกแข็ง 87

2.2 การพัฒนาเทคนิคการแปรรูปมังคุดแช่เยือกแข็ง 98

2.3 การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง 101

2.4 การประเมินต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง 111

2.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษามังคุด
แช่เยือกแข็งในรูปแบบและบรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกัน 115

สรุปผลการทดลอง 125

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งโดยวิธีไอคิวเอฟ 126

หลักการและเหตุผล

วัตถุประสงค์

วิธีดำเนินการวิจัย

ผลและวิจารณ์

3.1 การศึกษาแนวทางการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและการรักษาความคงตัว
ของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง 127

3.2 การศึกษาการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุด 132

3.3 การศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดแบบไอคิวเอฟ 135

3.4 การประเมินต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ 138

สรุปผลการทดลอง 141

4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส 142

หลักการและเหตุผล

วัตถุประสงค์

วิธีดำเนินการวิจัย

ผลและวิจารณ์

4.1 การศึกษาสภาวะการออสโมซิสชิ้นมังคุด 143

4.2 การศึกษาสภาวะการอบแห้งชิ้นมังคุดที่ผ่านการออสโมซิส 159

4.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์
ชิ้นมังคุดกึ่งแห้ง 164

สรุปผลการทดลอง 168

5. การผลิตมังคุดในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง 169

หลักการและเหตุผล

วัตถุประสงค์

วิธีดำเนินการวิจัย

ผลและวิจารณ์

สารบัญเรื่อง(ต่อ) **หน้า**

5.1 การศึกษากระบวนการแปรรูปมังคุดบรรจุกระป๋อง 170

5.2 การตรวจสอบคุณภาพและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างเก็บรักษา มังคุดกระป๋อง 201

สรุปผลการทดลอง 208

สรุปและข้อเสนอแนะ 209

เอกสารอ้างอิง 214

สิ่งตีพิมพ์ สิทธิบัตร หรือผลงานอื่น ๆ 219

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 ชุดการทดลองทั้งหมดในการคัดเลือกระดับสีผิวของผลมังคุดที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ 7

1.2 ปริมาณผลเสียของมังคุดที่เก็บรักษาในสภาพการดัดแปลงบรรยากาศต่างกันที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง 15

1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศ ต่างกันที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง 17

1.4 ชุดการทดลองทั้งหมดในการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ 27

1.5 คะแนนระดับสีผิวของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา 30

1.6 คะแนนความสดของกลีบเลี้ยงผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา 31

1.7 การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดที่เก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา 32

1.8 ปริมาณผลเสียของผลมังคุดที่เก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา 33

1.9 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา 35

1.10 ชุดการทดลองทั้งหมดในการศึกษาผลของสารจิบเบอเรลลินที่มีต่ออายุการเก็บมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ 45

1.11 ปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 53

1.12 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 54

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง หน้า

1.13 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 55

1.14 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 56

1.15 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 57

1.16 ชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ย่อยต่ออายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ 64

1.17 ค่า L,a และ b ของสีผิวมังคุดที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอริลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็มที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาโนถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2) และกล่องพีวีซี (P3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 72

1.18 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอริลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงและเก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2) และกล่องพีวีซี (P3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5สัปดาห์ 74

1.19 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอริลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2) และกล่องพีวีซี (P3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 75

1.20 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอริลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2) และกล่องพีวีซี (P3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 76

1.21 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอริลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2) และกล่องพีวีซี (P3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 77

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง หน้า

1.22 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอริลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2) และกล่องพีวีซี(P3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 78

1.23 ปริมาณคลอโรฟิลส์ทั้งหมดในกลีบเลี้ยงของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอริลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2) และกล่องพีวีซี (P3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 79

2.1 ชุดการทดลองการใช้สารละลายผสมในการยับยั้งการเปลี่ยนสีและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด 92

2.2 ชุดการทดลองการใช้สารละลายผสมที่ปรับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกที่ระดับต่าง ๆ ในการยับยั้งการเปลี่ยนสีและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด 93

2.3 ผลของการแช่สารละลายผสมต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็ง 96

2.4 ผลของกรดแอสคอร์บิคต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็ง 97

2.5 ผลของการลดอุณหภูมิมังคุดก่อนการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็ง 100

2.6 ชุดการทดลองการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็ง 103

2.7 ผลการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็งในรูปแบบและบรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกัน 108

2.8 ต้นทุนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง 112

2.9 ต้นทุนบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง 112

2.10 ต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง 114

2.11 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส ของมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล 118

2.12 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส ของมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผล 119

2.13 องค์ประกอบทางเคมี จำนวนจลินทรีย์ของมังคดสดและมังคดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส 122

3.1 ชุดการทดลองการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของชิ้นเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็ง 128

3.2 คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัว 130

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
3.3	คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัว	131
3.4	ชุดการทดลองการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุด	132
3.5	ค่าคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่ผ่านการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง	134
3.6	การประมาณต้นทุนการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง	140
4.1	ชุดการทดลองการออสโมซิสโดยแบบแผน Box – Behnken	144
4.2	ค่าสูงสุดและต่ำสุดของ Water loss และ Solid gain ของชิ้นมังคุดกลีบเล็ก	147
4.3	ค่าสูงสุดและต่ำสุดของ Water loss และ Solid gain ของชิ้นมังคุดกลีบใหญ่	148
4.4	สภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสชิ้นมังคุด	156
4.5	ค่า Water loss และ Solid gain ที่ได้จากการทำนายเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง	157
4.6	คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านกาวออสโมซิสภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของน้ำตาลแต่ละชนิด	158
4.7	ค่า A_w ของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งจากการอบด้วยตู้อบลมร้อน และตู้อบสูญญากาศ	162
4.8	ค่าสีของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งจากการอบด้วยตู้อบลมร้อน และตู้อบสูญญากาศ	163
4.9	ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้ง	166
4.10	คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ระหว่างการเก็บรักษา	167
5.1	ชุดการทดลองผลของแคลเซี่ยมคลอไรด์ เวลาที่ใช้แช่ในสารละลายผสมและสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเพื่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัส	171
5.2	ผลของสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ เวลาการแช่และสภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก	173
5.3	ผลของสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ เวลาการแช่และสภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบใหญ่	174
5.4	ชุดการทดลองผลของแคลเซี่ยมแลคเตต เวลาที่ใช้แช่ในสารละลายผสมและสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อในการปรับปรุงเนื้อสัมผัส	179
5.5	ผลของสารละลายแคลเซี่ยมแลคเตต เวลาการแช่และสภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก	181
5.6	ผลของสารละลายแคลเซี่ยมแลคเตต เวลาการแช่และสภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบใหญ่	184
5.7	รายละเอียดการใช้แคลเซี่ยมคลอไรด์และแคลเซี่ยมแลคเตตต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของมังคุดกระป๋องกลีบเล็กและกลีบใหญ่	186

ตาราง	หน้า
5.8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องที่ผ่านการปรับปรุงเนื้อสัมผัสในสภาวะต่าง ๆ	187
5.9 ชุดการทดลองพัฒนาสูตรน้ำเชื่อม	189
5.10 อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำเชื่อม แคลเซี่ยมคลอไรด์ แคลเซี่ยมแลคเตต ต่อคุณภาพประสาทสัมผัสของมังคุดกระป๋องกลีบเล็กและกลีบใหญ่	191
5.11 อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำเชื่อม แคลเซี่ยมคลอไรด์ แคลเซี่ยมแลคเตต ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมังคุดกระป๋องกลีบเล็กและกลีบใหญ่	193
5.12 เวลาการฆ่าเชื้อและค่า F ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องบรรจุอยู่ในกระป๋องขนาด 307 x 409 ต้มฆ่าเชื้อที่สภาวะแตกต่างกัน จนกระทั่งจุดร้อนช้าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที	197
5.13 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน	197
5.14 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋อง	202
5.15 คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋อง	203
5.16 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน	206
5.17 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน	207

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1.1	ขั้นตอนการทดลองการคัดเลือกระดับสีผิวของผลมังคุดที่เหมะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ	8
1.2	คะแนนระดับสีผิวของผลมังคุด ระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ	10
1.3	คะแนนความสดของกลีบเลี้ยงผลมังคุด ระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่ 3 (C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ	12
1.4	การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุด ระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ	13
1.5	คะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อมังคุด ระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่ 3 (C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ	21
1.6	คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นของเนื้อมังคุด ระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ	22
1.7	คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อมังคุด ระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ	23
1.8	คะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวมของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ	24
1.9	ขั้นตอนการทดลองผลของการลดอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ	28
1.10	คะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อมังคุด ระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	39
1.11	คะแนนการยอมรับกลิ่นรสของเนื้อมังคุด ระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	40
1.12	คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อมังคุด ระดับสีที่1(A), ระดับสีที่ 2(B),ระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้สารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	41
1.13	คะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวม ระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B), ระดับสีที่3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	42

ภาพ หน้า

1.14 การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 48

1.15 คะแนนระดับสีผิวของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง (ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 49

1.16 คะแนนความสดของกลีบเลี้ยงผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง (ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 50

1.17 ความแข็งของเปลือกของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 51

1.18 คะแนนการยอมรับด้านสีของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง (ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 59

1.19 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง (ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 60

1.20 คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง (ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 61

1.21 คะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวมของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง (ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 62

1.22 ขั้นตอนการทดลองศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ย่อยต่อการเก็บรักษาผลมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ 65

1.23 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผลผลิตมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 67

ภาพ หน้า

1.24 ปริมาณก๊าซเอทธิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ย่อยผลมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลิน ความเข้มข้น100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 67

1.25 การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 68

1.26 คะแนนระดับสีผิวของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 69

1.27 คะแนนความสดของกลีบเลี้ยงผลมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 70

1.28 ความแข็งเปลือกของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 71

1.29 คะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินที่ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 81

1.30 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของเนื้อมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินที่ความเข้มข้น100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 82

1.31 คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินความเข้มข้น100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ 83

ภาพ		หน้า
1.32	คะแนนการยอมรับความชอบรวมของเนื้อมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลิน ที่ความเข้มข้น100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพลาสติกพีวีซี ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์	84
2.1	กระบวนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง	88
2.2	ลักษณะการผ่ามังคุด	89
2.3	การแช่มังคุดในสารละลายผสม	89
2.4	การพันเทปกาวตามรอยผ่า	90
2.5	การแช่เยือกแข็งมังคุดด้วยเครื่องแบบเพลทสัมผัส	90
2.6	อัตราการแช่เยือกแข็งมังคุดด้วยเครื่องแบบเพลทสัมผัส	94
2.7	อัตราการแช่เยือกแข็งมังคุดที่ผ่านการลดอุณหหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแบบเพลทสัมผัส	99
2.8	การผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง	102
2.9	มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและเปิดครึ่งผลที่บรรจุในถุงแอลดีพีอี	104
2.10	มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและเปิดครึ่งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี	104
2.11	มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและเปิดครึ่งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี	105
2.12	มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและเปิดครึ่งผลที่บรรจุในกล่องพีวีซี	105
2.13	มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและเปิดครึ่งผลที่บรรจุในกล่องพีเอส	106
2.14	อัตราการแช่เยือกแข็งมังคุดชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลด้วยเครื่องแบบเพลทสัมผัส	110
3.1	อัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่อุณหภูมิเครื่อง –40(ก) องศาเซลเซียส และ–60(ข) องศาเซลเซียส	136
3.2	อัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิเครื่อง –40(ก) องศาเซลเซียส และ–60(ข) องศาเซลเซียส	137
4.1	ขั้นตอนวิธีการทดลองในกระบวนการออสโมซิสมังคุด	145
4.2	Contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็ก ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่เวลา 8 ชั่วโมง	150
4.3	Contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่เวลา 8 ชั่วโมง	151

ภาพ		หน้า
4.4	Contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็ก ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟลุกโตส ที่เวลา 8 ชั่วโมง	152
4.5	Contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟลุกโตส ที่เวลา 8 ชั่วโมง	153
4.6	Contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็ก ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคส ที่เวลา 8 ชั่วโมง	154
4.7	Contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคส ที่เวลา 8 ชั่วโมง	155
4.8	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของชิ้นมังคุดกลีบเล็กที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน(ก) และตู้อบสูญญากาศ(ข) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส	160
4.9	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของชิ้นมังคุดกลีบใหญ่ที่ผ่านการออสโมซิสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน(ก) และตู้อบสูญญากาศ(ข) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส	161
4.10	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา	165
4.11	การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา	165
4.12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์และราของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา	166
5.1	ผลของความเข้มข้นของแคลเซี่ยมคลอไรด์ต่อคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบเล็ก	175
5.2	ผลของความเข้มข้นของแคลเซี่ยมคลอไรด์ต่อคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่	175
5.3	ผลของเวลาการแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกระป๋องกลีบเล็ก	177
5.4	ผลของเวลาในการแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกระป๋องกลีบใหญ่	177
5.5	ผลของสภาวะการฆ่าเชื้อต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบเล็ก	178
5.6	ผลของสภาวะการฆ่าเชื้อต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่	178
5.7	ผลของความเข้มข้นของแคลเซี่ยมแลคเตตต่อคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบเล็ก	182
5.8	ผลของความเข้มข้นของแคลเซี่ยมแลคเตตต่อคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่	182
5.9	ผลของเวลาในการแช่สารละลายแคลเซี่ยมแลคเตตต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบเล็ก	185

ภาพ หน้า

5.10 ผลของเวลาในการแช่สารละลายแคลเซี่ยมแลคเตตต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ 185

5.11 Lethality curve ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก(ก) และกลีบใหญ่(ข) บรรจุในกระป๋อง ขนาด 307x409 ต้มในหม้อนึ่งความดัน 106 องศาเซลเซียส จนกระทั้งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที 198

5.12 Lethality curve ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก(ก) และกลีบใหญ่(ข) บรรจุในกระป๋อง ขนาด 307x409 ต้มในน้ำเดือด จนกระทั้งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที 199

5.13 Lethality curve ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก(ก) และกลีบใหญ่(ข) บรรจุในกระป๋อง ขนาด 307x409 ต้มฆ่าเชื้อในน้ำอุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส จนกระทั้งจดร้อนช้ามีอณหภมิ 92 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที 200

5.14 ลักษณะผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง 202

5.15 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสีของมังคุดกระป๋องกลีบเล็กในระยะ 6 สัปดาห์ 205

5.16 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสีของมังคุดกระป๋องกลีบใหญ่ในระยะ 8 สัปดาห์ 205

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

มังคุดเป็นผลไม้เมืองร้อนที่ได้รับความนิยมสูงทั้งตลาดภายในและภายนอกประเทศ เนื่องจากมีลักษณะรูปทรงดีมีผลสวย รสหวานอมเปรี้ยว หอมอร่อย จนได้รับขนานนามว่า "ราชินีแห่งผลไม้" (Queen of Fruit) ปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตมังคุดได้มากที่สุดในโลก มากกว่า 1 แสนตันต่อปี ซึ่งฤดูกาลที่มังคุดออกผลผลิตก็มีช่วงนานกว่าประเทศอื่นๆ ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาพื้นที่ปลูกมังคุดขยายตัวอย่างรวดเร็วมาก เฉลี่ยร้อยละ 25 ต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพราะมังคุดเป็นไม้ผลที่ตลาดมีความต้องการสูง แหล่งปลูกมังคุดที่สำคัญจะอยู่ในภาคใต้และภาคตะวันออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคใต้มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด ในปี 2540 มีพื้นที่ปลูกทั้งหมด 176,590 ไร่ เป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้วร้อยละ 48 และมีผลผลิตประมาณ 94,080 ตัน นอกจากมังคุดจะเป็นไม้ผลที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรชาวสวนแล้วยังมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศทางด้านการส่งออก โดยในปี 2533-2537 มังคุดมีมูลค่าในการส่งออกเป็นอันดับ 5 ของมูลค่าไม้ผลที่ส่งออกและมีอัตราการการเจริญเติบโตในการส่งออกสูงถึงร้อยละ 78 ต่อปี การส่งออกมังคุดไปยังตลาดต่างประเทศจะอยู่ในรูปผลสดและแช่แข็งแต่ยังมีปริมาณการส่งออกน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้ในประเทศในแต่ละปี คือ มีปริมาณการส่งออกเพียงร้อยละ 2.6 ของมังคุดที่ผลิตได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ต่ำมาก ทำให้ประเทศสูญเสียโอกาสในการเจาะตลาดใหม่และสร้างรายได้เข้าประเทศ สาเหตุหลักที่สำคัญมีทั้งที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตซึ่งประกอบด้วยการผลิตของเกษตรกร การจัดการเก็บเกี่ยว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว และการพัฒนากระบวนการบรรจุและการแปรรูป

โดยทั่วไปมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผลเพื่อส่งไปยังตลาดญี่ปุ่น ต้องผ่านการคัดเลือกผลมังคุดที่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม คือ ขนาดผลสม่ำเสมอ น้ำหนักผลไมาต่ำกว่า 80 กรัมต่อผล ผิวผลสะอาดสีม่วงอมแดงตามธรรมชาติ เนื้อภายในมีสีขาว ไม่เป็นเนื้อแก้ว ยางซึม หรือเน่าเสีย แต่มังคุดที่ผลิตได้ในประเทศไทยมักพบปัญหาไม่ได้คุณภาพดังกล่าว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับการวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากเนื้อมังคุดที่บริโภคได้จากผลที่มีคุณภาพไม่ครบตามมาตรฐานให้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์จากผลผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสีย และช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

แนวทางในการพัฒนาการใช้ประโยชน์ผลผลิตมังคุดให้มีศักยภาพในการส่งออกสูงนั้นสามารถดำเนินการได้โดยใช้เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเก็บรักษาผลผลิตมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ การเลือกชนิดของบรรจุภัณฑ์และการบรรจุหีบห่อ เมื่อพิจารณาเทคโนโลยีการแปรรูปจะเป็นการพัฒนาเทคนิคของการแปรรูปทั้งผลผลิตที่มีคุณภาพ เช่น การพัฒนาเทคนิค

การผลิตมังคุดแช่เยือกแข็งแบบทั้งผลและเปิดครึ่งผล นอกจากนี้ได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่จากผลผลิตมังคุดที่ด้อยคุณภาพ เช่น การผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งแบบเป็นชิ้น การผลิตมังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส และมังคุดในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ซึ่งการพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์มังคุดให้มีความหลากหลายในระดับอุตสาหกรรมนี้เป็นแนวทางที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ผลผลิตมังคุดทั้งที่มีคุณภาพและด้อยคุณภาพและเป็นการเพิ่มมูลค่าทั้งของวัตถุดิบมังคุดและการส่งออกได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถลดปัญหาในเรื่องราคาผลผลิตมังคุดในประเทศตกต่ำอันเนื่องมาจากผลผลิตมังคุดล้นตลาด ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีในการผลิตเพื่อปรับปรุงและพัฒนาผลผลิตมังคุดนั้นเป็นก้าวสำคัญที่จะกระตุ้นและส่งเสริมให้เกิดการแปรรูปที่ครบวงจร ซึ่งก่อให้เกิดการขยายตลาดและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรในอนาคต

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. วิจัยและพัฒนาการปรับปรุงคุณภาพมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวโดยการดัดแปลงบรรยากาศและความเย็น รวมทั้งวิธีการบรรจุหีบห่อเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสด
2. พัฒนาเทคนิคการแปรรูปมังคุดแช่เยือกแข็งให้มีคุณภาพเพื่อการส่งออกตลาดต่างประเทศ
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์จากเนื้อมังคุดที่ถูกคัดแยกออกให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อเพิ่มมูลค่าและสนับสนุนการใช้ประโยชน์ผลผลิตให้มีประสิทธิภาพ

แผนงานวิจัย

การศึกษา วิจัยและพัฒนา เพื่อปรับปรุงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปมังคุด ได้แบ่งการดำเนินงานเป็น 3 แผนงานหลัก ดังนี้

แผน 1 การยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

การส่งออกผลมังคุดสดไปต่างประเทศ มักใช้การขนส่งทางเครื่องบินเพราะใช้เวลาสั้น แต่เสียค่าใช้จ่ายสูง หากสามารถขนส่งทางเรือหรือทางรถ จะชาวยลดค่าใช่จ่ายลงได้มาก แต่ยังพบปัญหาเนื่องจากมังคุดสดมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น มีการเปลี่ยนสภาพและสีผิวเร็วมาก เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เช่น มังคุดจะมีสีแดงเข้มถึงดำหากเก็บไว้ 1-2 วัน และเริ่มมีอาการเปลือกแข็ง เนื้อภายในเน่าเสียและเก็บได้ไม่เกิน 1 สัปดาห์ นอกจากนี้หากถูกกระทบกระเทือนในระหว่างการขนส่ง มีผลทำให้คุณภาพด้อยลง ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นจึงได้ศึกษา ระดับความแก่อ่อนโดยใช้ระดับสีผิวที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว เพื่อนำมาเก็บรักษาในสภาพการดัดแปลงบรรยากาศที่แตกต่างกัน รวมถึงการพัฒนาการสุกของผลมังคุดภายหลังจากการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศแล้ว ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็น

1.1 การคัดเลือกระดับสีผิวของผลมังคุดที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

1.2 ผลการลดอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

1.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการกระตุ้นให้มังคุดสุก

1.4 ผลของสารจิบเบอเรลลินต่ออายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

1.5การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ย่อยต่อการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

แผน 2 การพัฒนาเทคนิคการแปรรูปมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล

การแช่เยือกแข็งมังคุดทั้งผลเพื่อการส่งออก นิยมนำผลมังคุดที่ผ่านการคัดขนาด ตรวจสอบคุณภาพภายนอก และล้างทำความสะอาดแล้ว มาผ่าครึ่งผล (เปิดผล) โดยใช้มีดและคนที่มีความชำนาญ หลังจากนั้นจะทำการปิดผลด้วยเทบกาว แล้วทำการแช่เยือกแข็ง กระบวนการดังกล่าวต้องทำด้วยความรวดเร็วเพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีของเนื้อมังคุด และที่สำคัญมักทำในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิต่ำ (6-10 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นวิธีการทำงานที่ยุ่งยาก และไม่ปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานเป็นเวลานานๆ จึงได้ศึกษาเพื่อหาแนวทางในการรักษาและควบคุมคุณภาพและสีของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งให้คงอยู่ อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังได้มีแนวคิดในการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแตกต่างไปจากเดิม คือ ผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งแบบเปิดครึ่งผล รวมทั้งรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมด้วย การทดลองทั้งหมดแบ่งเป็น

2.1 การศึกษาแนวทางการป้องกันการเสื่อมคุณภาพมังคุดแช่เยือกแข็ง

2.2 การพัฒนาเทคนิคการแปรรูปมังคุดแช่เยือกแข็ง

2.3 การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง

2.4 การประเมินต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง

2.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษามังคุดแช่เยือกแข็งในรูปแบบและบรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกัน

แผน 3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากเนื้อมังคุดที่ไม่ได้มาตรฐานมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล

ผลผลิตมังคุดที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมด พบว่ามีปริมาณของผลที่มีลักษณะไม่ครบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด ประมาณร้อยละ 45-50 ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากส่วนเนื้อมังคุดเหล่านั้นจึงเป็นแนวทางที่สำคัญที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากผลผลิต ลดการสูญเสีย และช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ แนวทางการพัฒนาแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

3.1 มังคุดแช่เยือกแข็งแบบเป็นชิ้น (Semi IQF Product)

3.1.1 การศึกษาแนวทางการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและการรักษาความคงตัวของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

3.1.2 การศึกษาการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุด

3.1.3 การศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดแบบไอคิวเอฟ

3.1.4 การประเมินต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ

3.2 มังคุดบรรจุกระป๋อง (Canned Mangosteen in Syrup)

3.2.1 การศึกษากระบวนการแปรรูปมังคุดบรรจุกระป๋อง

3.2.2 การตรวจสอบคุณภาพและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างเก็บรักษามังคุดกระป๋อง

3.3 ผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Product)

3.3.1 การศึกษาสภาวะการออสโมซิสชิ้นมังคุด

3.3.2 การศึกษาสภาวะการอบแห้งชิ้นมังคุดที่ผ่านการออสโมซิส

3.3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้ง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เทคโนโลยีและแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเนื้อมังคุด ที่ได้รับจากการวิจัยและพัฒนานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. แนวทางการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดให้เพิ่มขึ้น และมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
2. สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานที่สม่ำเสมอตามความต้องการของตลาด ลดปริมาณของเสีย
3. ส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์จากมังคุดให้มากที่สุดอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปสู่การขยายตลาด และช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นด้วย
4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ให้เป็นที่ยอมรับ และมีศักยภาพในการพัฒนาอุตสาหกรรมแปรรูปมังคุดของประเทศไทยให้มีความหลากหลาย

เนื้อเรื่อง

1. การศึกษาการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

หลักการและเหตุผล

มังคุดเป็นผลไม้เขตร้อนที่ได้รับความนิยมสูงชนิดหนึ่งของไทย จนได้สมญานามว่า "ราชินีแห่งไม้ผล" ในปัจจุบันมังคุดมีแนวโน้มการส่งออกมากขึ้น จึงถูกจัดให้เป็นสินค้าชนิดหนึ่งในกลุ่มไม้ผลเพื่อการส่งออก การส่งออกมังคุดมีทั้งในรูปผลสดและแช่เยือกแข็ง โดยมีตลาดที่สำคัญได้แก่ อังกฤษ เยอรมัน ไต้หวัน ญี่ปุ่น ฮ่องกง สำหรับการส่งออกมังคุดสดไปจำหน่ายยังประเทศที่ห่างไกล มักใช้การขนส่งทางเครื่องบิน ซึ่งใช้เวลาสั้นแต่เสียค่าใช้จ่ายสูง หากสามารถขนส่งทางเรือก็จะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้มาก แต่ยังมีปัญหาที่ผลมังคุดสดมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากผลมังคุดมีการเปลี่ยนแปลงสภาพและสีผิวเร็วมากเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เช่นมังคุดที่มีสีแดงเข้มถึงสีดำหากเก็บไว้ 1-2 วัน ก็จะเริ่มมีอาการเปลือกแข็งและเนื้อภายในเน่าเสียและเก็บรักษาได้ไม่เกิน 1 สัปดาห์ อีกทั้งถูกกระทบกระเทือนในระหว่างการลำเลียงขนส่งอาจทำให้คุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และสภาพการผลิตมังคุดในปัจจุบันยังพบปัญหา ได้แก่ ขนาดผลเล็กเกินไป ผิวผลกร้าน เปลือกแข็ง เนื้อภายในช้ำและเป็นเนื้อแก้ว ลักษณะดังกล่าวไม่เป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภค จึงเป็นข้อจำกัดสำหรับตลาดที่อยู่ห่างไกลที่ต้องใช้เวลาในการขนส่งนาน

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยว และหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อหาแนวทางยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดให้ได้ยาวนานและมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเสริมประสิทธิภาพของการเก็บรักษาผลมังคุด ลดอัตราการเสื่อมเสียและการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสีผิว การรักษาความแน่นเนื้อ การป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดให้นานยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถขนส่งทางเรือได้ในอนาคตซึ่งจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งมังคุด ทำให้สามารถส่งออกได้มากขึ้น

วัตถุประสงค์

1 เพื่อคัดเลือกระดับสีผิวของผลมังคุดที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว เพื่อการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ
2 เพื่อพัฒนากรรมวิธีการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ
3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษาของผลมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

1.1 การคัดเลือกระดับสีผิวของผลมังคุดที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 3 ปัจจัยคือ

1. ระดับสีผิวมังคุด 3 ระดับ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2529)
   - ระดับสีที่ 1 (เริ่มมีจุดประสีชมพูในบางส่วนของผล)
   - ระดับสีที่ 2 (มีจุดประสีชมพูกระจัดกระจายเกือบทั่วผล)
   - ระดับสีที่ 3 (มีจุดประสีชมพูกระจัดกระจายสม่ำเสมอทั่วผล)
2. วิธีการดัดแปลงบรรยากาศ 3 วิธี
   - กล่องกระดาษลูกฟูก
   - กล่องกระดาษลูกฟูกร่วมกับถุงพลาสติก
   - กล่องกระดาษลูกฟูกร่วมกับถุงพลาสติกและสารดูดก๊าซเอทธิลีน
3. อุณหภูมิในการเก็บรักษา 2 ระดับ
   - 10 องศาเซลเซียส
   - อุณหภูมิห้อง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด จำนวน 2 ซ้ำ โดยจัดชุดทดลองแบบแฟกตอเรียลซึ่งสามารถจัดเป็นชุดการทดลองได้ทั้งหมด 18 ชุดการทดลองดังแสดงในตาราง 1.1 ทำการทดลองตามขั้นตอนดังแสดงในภาพ 1.1 ประเมินผลการทดลองทุก ๆ 1 สัปดาห์เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ประกอบด้วย

- คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีผิว (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,2529) ความสดของกลีบเลี้ยง (วัลลภา ธีระภาวะ และคณะ, 2529) การสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณผลเสีย
- คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 1990)
- คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้ว จำนวน 10 คน ประเมินการยอมรับด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม โดยการให้คะแนนแบบ Hedonic scale ประกอบด้วย 9 ระดับคะแนน เมื่อระดับคะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด และระดับคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด (Larmond , 1977)

ตาราง 1.1 ชุดการทดลองทั้งหมดในการคัดเลือกระดับสีผิวของผลมังคุดที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

อุณหภูมิ (°ซ)	ระดับสีผิว	การดัดแปลงบรรยากาศ
(10 ± 2)	1	กล่อง
		กล่อง + ถุงพลาสติก
		กล่อง + ถุงพลาสติก + สารดูดก๊าซเอทธิลีน
	2	กล่อง
		กล่อง + ถุงพลาสติก
		กล่อง + ถุงพลาสติก + สารดูดก๊าซเอทธิลีน
	3	กล่อง
		กล่อง + ถุงพลาสติก
		กล่อง + ถุงพลาสติก + สารดูดก๊าซเอทธิลีน
ห้อง (28 ± 1)	1	กล่อง
		กล่อง + ถุงพลาสติก
		กล่อง + ถุงพลาสติก + สารดูดก๊าซเอทธิลีน
	2	กล่อง
		กล่อง + ถุงพลาสติก
		กล่อง + ถุงพลาสติก + สารดูดก๊าซเอทธิลีน
	3	กล่อง
		กล่อง + ถุงพลาสติก
		กล่อง + ถุงพลาสติก + สารดูดก๊าซเอทธิลีน

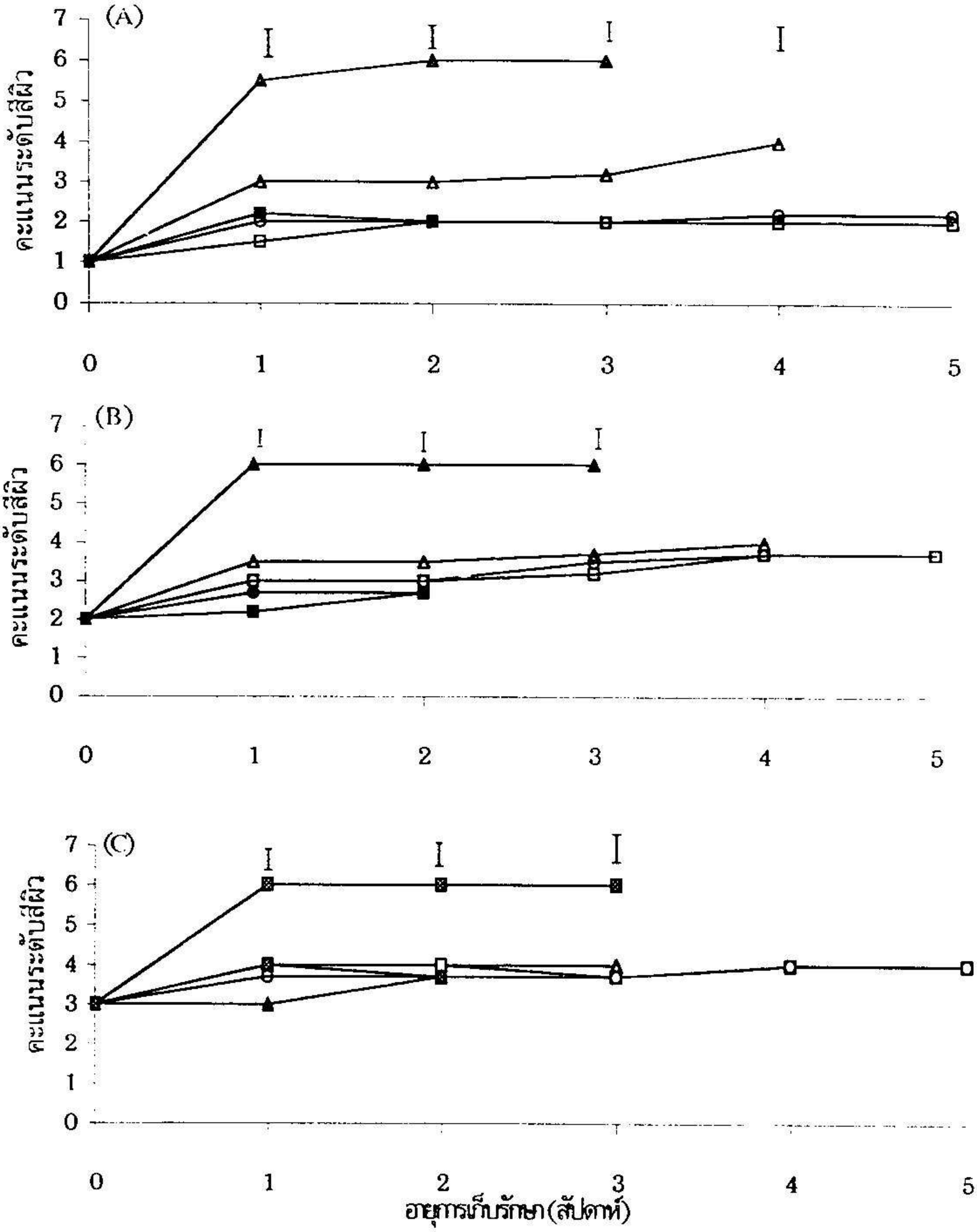
ภาพ 1.1 ขั้นตอนการทดลองการคัดเลือกระดับสีผิวของผลมังคุดที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว
เพื่อการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

ที่มา : ดัดแปลงจากคำแนะนำวิธีการปฏิบัติเพื่อให้ได้มังคุดที่มีคุณภาพเพื่อการส่งออก
(เกียรติ ลีละเศรษฐกุล และดารา พวงสุวรรณ, 2530 ; ชาติชาย พฤกษ์รัตนกุล และคณะ, 2532)

ผลและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงสีผิว พบว่า มังคุดทั้ง 3 ระดับสีที่เก็บรักษาโดยใช้กล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้อง มีการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้เร็วที่สุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) กับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ทุกสภาวะของบรรยากาศการเก็บรักษา (ภาพ 1.2) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูก สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวมังคุดได้ดีและเก็บรักษาได้นานที่สุด (5 สัปดาห์) ซึ่งเห็นได้จากการเก็บรักษาโดยใช้กล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้องมีผลให้มังคุดระดับสีที่ 1 เปลี่ยนเป็นระดับสีที่ 5.5 (ม่วงอมแดงถึงดำ) ในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และเปลี่ยนเป็นสีม่วงดำในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษาและสามารถเก็บรักษาได้นานเพียง 3 สัปดาห์ก็เกิดการเน่าเสีย ส่วนมังคุดระดับสีที่ 2 และ 3 เปลี่ยนเป็นสีม่วงดำ (ระดับสีที่ 6) ในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาและสามารถเก็บรักษาได้เพียง 3 สัปดาห์เช่นเดียวกัน ในขณะที่การเก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูก ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีผลให้มังคุดระดับสีที่ 1 เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนอมชมพู (ระดับสีที่ 2) เมื่อเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ ส่วนมังคุดระดับสีที่ 2 และ 3 เปลี่ยนเป็นสีแดง (ระดับสีที่ 4) เมื่อเก็บไว้นาน 5 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ถุงพลาสติกชนิดแอลดีพีอีสามารถจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนค่อย ๆ ลดลงในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนได-ออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อการลดการทำงานและการสังเคราะห์ก๊าซเอทธิลีน (สายชล เกตุษา, 2528 ; Zagory and Kader, 1988) ทำให้การทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์รงควัตถุแอนโธไซยานินลดลง (Riov *et al.*, 1969; Faragher and Brohier, 1984) ประกอบกับสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและปริมาณก๊าซออกซิเจนน้อย ช่วยลดอัตราการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (สายชล เกตุษา, 2528 ; Wills *et al.*,1981) เป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงสีผิวเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการเก็บรักษาโดยใช้กล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งให้ผลในทางตรงกันข้าม เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนสูง ทำให้การทำงานและการสังเคราะห์ก๊าซเอทธิลีนเป็นไปได้ดี มีผลให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโธไซยานินทำงานได้ดีด้วย (Riov *et al.*,1969 ; Faragher and Brohier, 1984) ประกอบกับสภาวะที่มีอุณหภูมิและปริมาณก๊าซออกซิเจนสูง จะเร่งการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ (สายชล เกตุษา, 2528 ; Wills *et al.*, 1981) ทำให้มังคุดมีการเปลี่ยนสีได้เร็วยิ่งขึ้น สำหรับการเก็บรักษาโดยการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้อง พบว่า สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมังคุดทั้ง 3 ระดับสีได้เช่นเดียวกันแต่มีการเน่าเสียเร็วกว่าการบรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูก คือ สามารถเก็บรักษาได้ไม่เกิน 2 สัปดาห์เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงซึ่งเหมาะต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ เช่นเชื้อรา (สายชล เกตุษา, 2528)



ภาพ 1.2 คะแนนระดับสีผิวของผลมังคุดระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B) และระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ :

—△— = กล่อง, 10°ซ —▲— = กล่อง, อุณหภูมิห้อง

—□— = กล่อง+ถุง, 10°ซ —■— = กล่อง+ถุง, อุณหภูมิห้อง

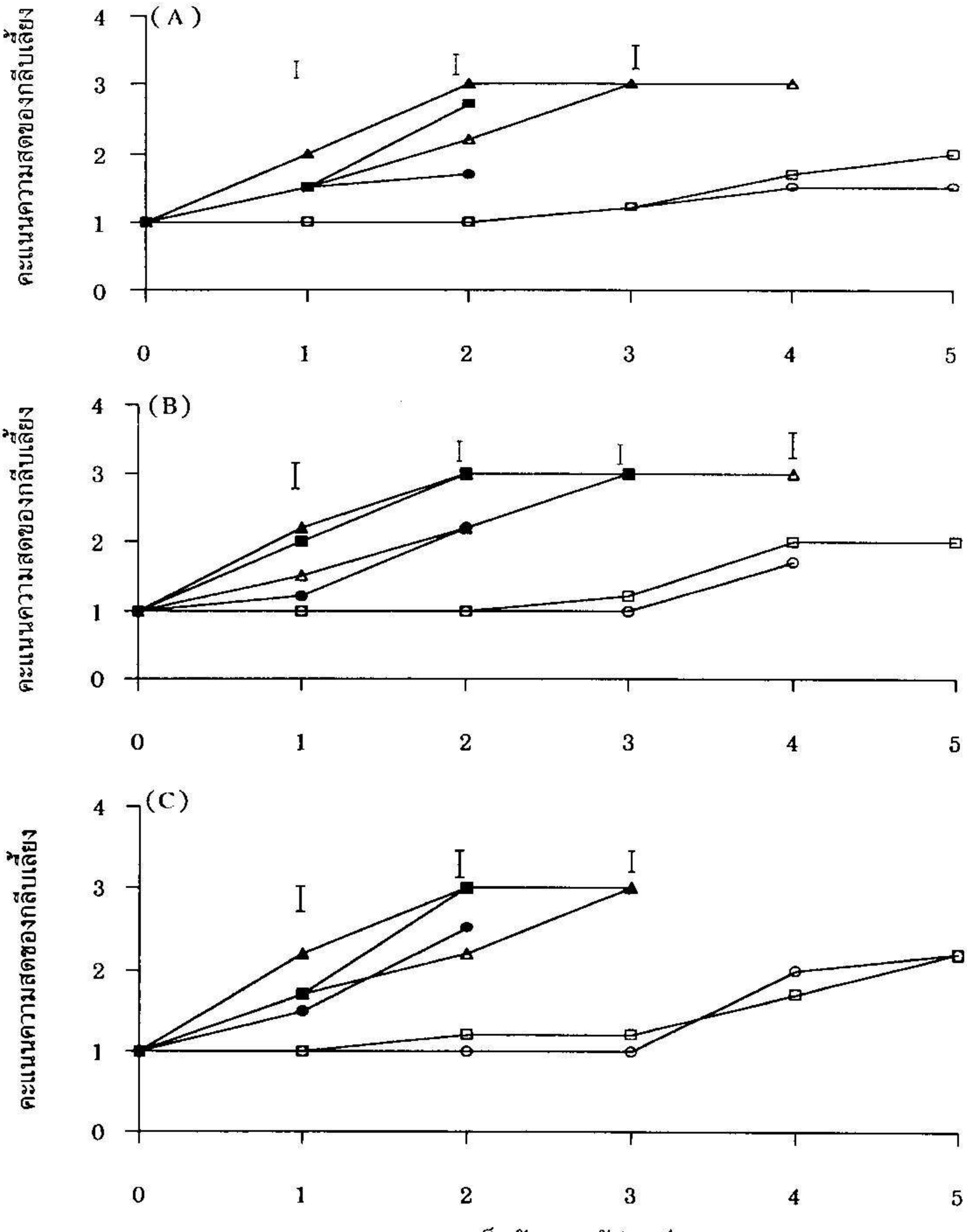
—○— = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, 10°ซ —●— = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4,อุณหภูมิห้อง

(คะแนน 0=ขาวอมเหลือง, 1=เหลืองอ่อนอมเขียว, 2=เหลืองอ่อนอมชมพู, 3=ชมพูสม่ำเสมอ, 4=แดงหรือน้ำตาลอมแดง, 5=ม่วงอมแดง, 6=ม่วงถึงดำ)

I = LSD 0.05

การเปลี่ยนแปลงความสดของกลีบเลี้ยงของมังคุดทั้ง 3 ระดับสี พบว่า การเก็บรักษาโดยการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถรักษาความสดของกลีบเลี้ยงได้ดีกว่าการเก็บรักษาโดยใช้กล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิเดียวกัน และการเก็บรักษาทุกรูปแบบที่อุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังภาพ 1.3 กล่าวคือ มังคุดทั้ง 3 ระดับสีที่เก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีคะแนนความสดของกลีบเลี้ยงอยู่ในระดับ 1-2 (ค่อนข้างสดถึงเหี่ยวเล็กน้อย) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 สัปดาห์ ในขณะที่การเก็บรักษาโดยใช้กล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้องมีคะแนนความสดของกลีบเลี้ยงอยู่ในระดับ 3 (เหี่ยวมาก) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาและการเก็บรักษาโดยการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้อง มีผลให้กลีบเลี้ยงของมังคุดทั้ง 3 ระดับสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและมีเส้นใยของเชื้อราปกคลุมอยู่ ทำให้คะแนนความสดของกลีบเลี้ยงมีค่า 2-3 ซึ่งใกล้เคียงกับการบรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูก

ส่วนผลของการสูญเสียน้ำหนักของมังคุดทั้ง 3 ระดับสี พบว่า มังคุดที่เก็บรักษาโดยการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูก มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าการใช้กล่องกระดาษลูกฟูกอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง($p<0.01$) ทั้งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิห้อง (ภาพ 1.4) นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทุกสภาวะของบรรยากาศมีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งเห็นได้ชัดเจนเมื่อเก็บรักษาในกล่องกระดาษลูกฟูก และการเก็บรักษาในกล่องกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 อุณหภูมิเป็นเวลานานขึ้นมีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น แต่การเก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 อุณหภูมิ มีการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อยและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นมีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งเห็นไม่ชัดเจน สำหรับเหตุผลที่การเก็บรักษาโดยการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ช่วยรักษาความสดของกลีบเลี้ยงและลดการสูญเสียน้ำหนักของมังคุดทั้ง 3 ระดับสีได้ดี เนื่องจากมีการใช้ถุงพลาสติกแอลดีพีอีซึ่งยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย จึงช่วยรักษาความชื้นในภาชนะบรรจุ (Zagory and Kader, 1988) เป็นการลดความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำที่ผิวผลไม้กับบรรยากาศรอบๆ ผลไม้ ทำให้ผลไม้สูญเสียน้ำน้อยลง และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำก็ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลไม้เช่นเดียวกัน (อนวัช สุวรรณกุล, 2531 ; Mitchell *et al.*, 1972 ; Berg and Lentz,1978) และมีผลในการรักษาความสดของกลีบเลี้ยงมังคุดด้วย ในทางตรงกันข้ามการเก็บรักษาในกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้อง ทำให้มังคุดทั้ง 3 ระดับสีมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดและกลีบเลี้ยงเหี่ยวอย่างรวดเร็วที่สุด เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและสามารถกีดขวางการเคลื่อนที่ของไอน้ำได้น้อยมากทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมาก



ภาพ 1.3 คะแนนความสดของกลีบเลี้ยงมังคุดระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B) และระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ :

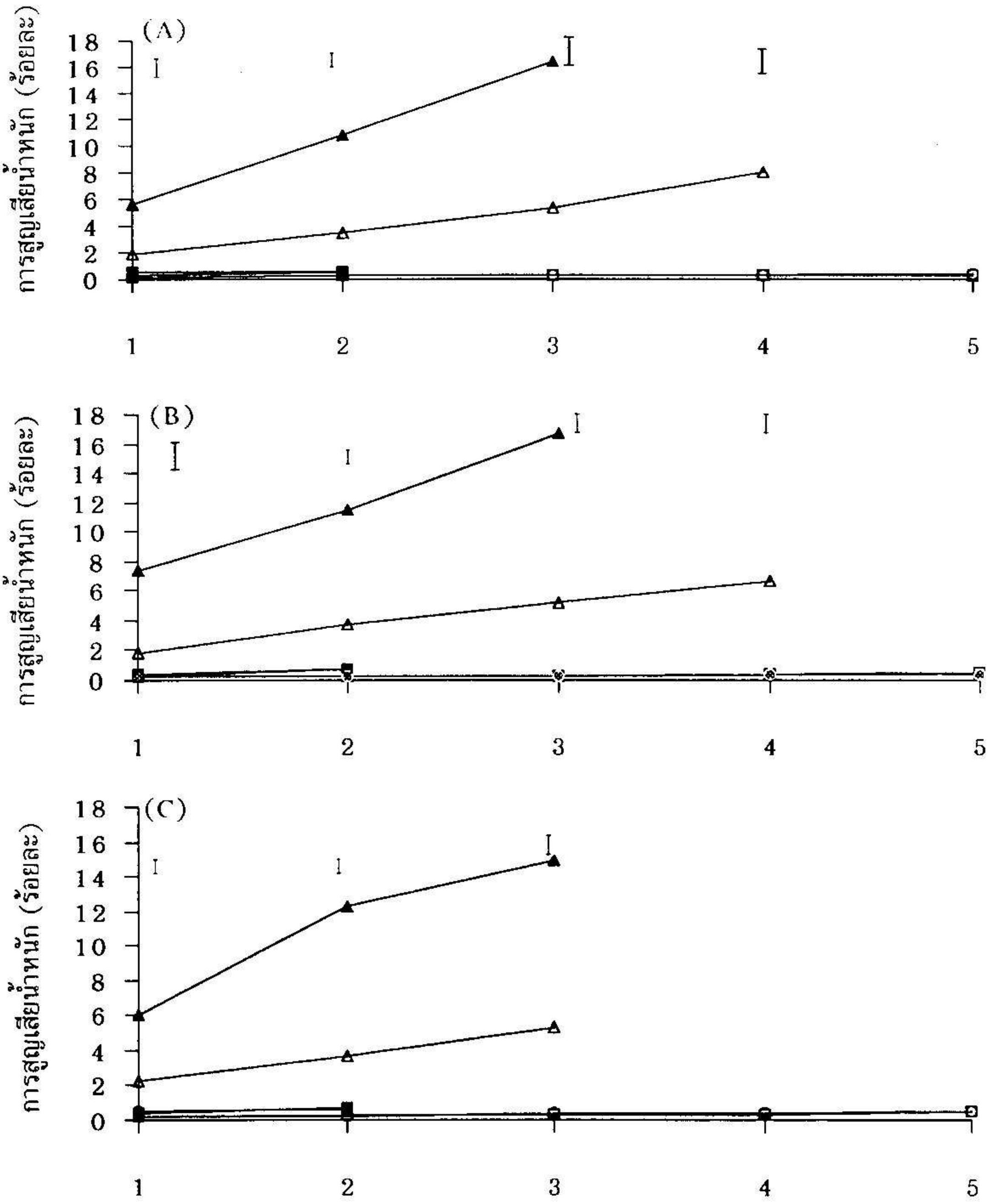
—△— = กล่อง, 10°ซ —▲— =กล่อง, อุณหภูมิห้อง

—□— = กล่อง+ถุง, 10°ซ —■— =กล่อง+ถุง, อุณหภูมิห้อง

—○— = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, 10°ซ —●— =กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4,อุณหภูมิห้อง

(คะแนน 1=เขียวหรือเขียวปนแดงค่อนข้างสด, 2=เขียวออกน้ำตาลเหี่ยวเล็กน้อย, 3=เขียวออกน้ำตาลหรือน้ำตาลเหี่ยวมาก)

I = LSD 0.05



ภาพ 1.4 การสูญเสียน้ำหนักผลมังคุดระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B) และระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ :

- =กล่อง, 10°ซ
- =กล่อง, อุณหภูมิห้อง
- =กล่อง+ถุง, 10°ซ
- =กล่อง+ถุง, อุณหภูมิห้อง
- =กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, 10°ซ
- =กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4,อุณหภูมิห้อง

I= LSD 0.05

สำหรับการเก็บรักษาโดยการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูกและการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้อง แม้ว่าช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ แต่ทำให้กลีบเลี้ยงของมังคุดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและมีเส้นใยของเชื้อราปกคลุมอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง ซึ่งเหมาะต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและยังเป็นการเร่งการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ด้วย (สายชล เกตุษา, 2528 ; Wills *et al.*, 1981)

การเกิดผลเสีย ในที่นี้ไม่รวมถึงผลเสียเริ่มต้นจากวัตถุดิบ ที่ไม่สามารถสังเกตได้จากภายนอก ได้แก่ อาการเนื้อแก้วและยางไหลภายในผล ซึ่งพบในปริมาณสูงถึงร้อยละ 50-55 แต่เป็นผลเสียที่เกิดจากความแตกต่างของสภาพบรรยากาศที่ใช้ในการเก็บรักษามังคุดทั้ง 3 ระดับสี พบว่ามังคุดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสโดยการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกเกิดผลเสียในปริมาณน้อยกว่าการเก็บรักษาโดยใช้กล่องกระดาษลูกฟูกอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และเก็บรักษาได้นานถึง 5 สัปดาห์ (ตาราง 1.2) ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูกและการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกเกิดผลเสียปริมาณมากกว่าการเก็บรักษาในกล่องกระดาษลูกฟูก และอายุการเก็บรักษาก็สั้นกว่าด้วย และเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นทุกชุดการทดลองมีปริมาณผลเสียเพิ่มมากขึ้น สำหรับผลเสียที่เกิดจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยการใช้กล่องกระดาษลูกฟูก พบว่า เกิดอาการเปลือกแข็งที่ผิวผล สีผิวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล กลีบเลี้ยงชีดเหี่ยวมีสีน้ำตาล ผ่าผลออกได้ยาก และหากผ่าออกจะพบเนื้อมีลักษณะเละและฉ่ำน้ำ มีกลิ่นรสผิดปกติ เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นจะมีอาการรุนแรงมากขึ้น ส่วนการเก็บรักษาโดยการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูกและการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบอาการที่เหมือนกัน คือเป็นจุดสีน้ำตาลที่เปลือกผลหรือขยายพื้นที่เป็นปื้นสีน้ำตาล และเกิดเปลือกแข็งเมื่ออาการรุนแรงขึ้น และหากผ่าออกจะพบเนื้อเน่าเละและฉ่ำน้ำมีกลิ่นผิดปกติเช่นเดียวกัน แต่รุนแรงน้อยกว่าการเก็บรักษาในกล่องกระดาษลูกฟูก จากอาการทั้งหมดนี้สันนิษฐานว่าเป็นการเกิด chilling injury ของผลมังคุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสุรพงษ์ โกสิยะจินดา (2531) ที่กล่าวว่า มังคุดที่เกิด chilling injury จะพบกลีบเลี้ยงมีสีน้ำตาลชีดเหี่ยว เปลือกผลเหี่ยวและมีสีน้ำตาลม่วงหมองคล้ำ เปลือกแข็ง และเนื้อมีรสชาติผิดปกติ สายชล เกตุษา (2528) ได้อธิบายถึงการเกิดเปลือกแข็งจากอาการ chilling injury ว่าเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของ lipoprotein ที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซล์ลจากลักษณะยืดหยุ่นไปเป็นลักษณะที่แข็งตัว นอกจากนี้การสูญเสียน้ำออกจากผลมากก็เป็นผลให้มังคุดเกิดอาการเปลือกแข็งได้เร็วขึ้น (Augustin and Azudin, 1986)

อย่างไรก็ยังพบว่า การใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกช่วยลดปริมาณผลเสียได้มากกว่า และมีอาการรุนแรงน้อยกว่าการใช้กล่องกระดาษลูกฟูกเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chaplin และคณะ (1986) ที่พบว่า การดัดแปลงบรรยากาศโดยใช้ถุงโพลิเอทิลีนเก็บรักษามะม่วง สามารถลดระดับความรุนแรงของการเกิด chilling injury ได้

ตาราง 1.2 ปริมาณผลเสียของมังคุดที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศต่างกันที่อุณหภูมิ 10 °ซ และอุณหภูมิห้อง

ระดับสีผิว	อุณหภูมิที่เก็บ	วิธีการดัดแปลงบรรยากาศ	ปริมาณผลเสีย* (ร้อยละ) ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)				
			1	2	3	4	5
1	10°ซ	กล่อง	0.0 a,y	12.5 c,x	17.5 b,x	77.5 a,w	-
		กล่อง+ถุงพลาสติก	0.0 a,y	0.0 d,y	0.0 c,y	15.0 b,x	47.5 a,w
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0.0 a,y	0.0 d,y	0.0 c,y	12.5 b,x	40.0 a,w
	ห้อง	กล่อง	0.0 a,y	22.5 b,x	40.0 a,w	-	-
	(28±1°ซ)	กล่อง+ถุงพลาสติก	0.0 s,x	35.0 a,w	-	-	-
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0.0 a,x	32.5 a,w	-	-	-
2	10°ซ	กล่อง	0.0 b,y	7.5 bc,y	22.5 ab,x	70.0 a,w	-
		กล่อง+ถุงพลาสติก	0.0 b,z	0.0 c,z	17.5 b,y	40.0 ab,x	67.5 a,w
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0.0 b,z	0.0 c,z	12.5 b,y	27.5 b,x	60.0 a,w
	ห้อง	กล่อง	2.5 b,x	17.5 b,x	40.0 a,w	-	-
	(28±1°ซ)	กล่อง+ถุงพลาสติก	22.5 a,x	60.0 a,w	-	-	-
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	20.0 a,x	55.0 a,w	-	-	-
3	10°ซ	กล่อง	0.0 b,y	17.5 b,x	57.5 a,w	-	-
		กล่อง+ถุงพลาสติก	0.0 b,y	0.0 c,y	7.5 b,y	20.0 a,x	50.0 a,w
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0.0 b,y	0.0 c,y	0.0 b,y	12.5 a,x	22.5 b,w
	ห้อง	กล่อง	2.5 b,x	15.0 b,x	50.0 a,w	-	-
	(28±1°ซ)	กล่อง+ถุงพลาสติก	20.0 a,w	-	-	-	-
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	12.5 ab,x	57.5 a,w	-	-	-

* ตัวอักษร a,b,c,d ในแนวตั้งของแต่ละระดับสีที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)
ตัวอักษร w,x,y,z ในแนวนอนของแต่ละชุดการทดลองที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)
-ไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดผลเสียหมดทุกผล

นอกจากนี้จะสังเกตุได้ว่า การเก็บรักษาโดยการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนมีแนวโน้มในการเกิดผลเสียน้อยกว่าการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งเห็นได้ชัดในมังคุดระดับสีที่ 3 เมื่อเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ ส่วนผลเสียที่เกิดจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องโดยการใช้กล่องกระดาษลูกฟูก พบว่า เกิดอาการเปลือกแข็งทั้งผล เปลือกผลและกลีบเลี้ยงเหี่ยวเป็นสีดำไม่สามารถผ่าผลออกได้ และยังพบเส้นใยของเชื้อราสีเทาและสีดำขึ้นปกคลุมบางส่วนของผลหรือทั้งผล สาเหตุเนื่องจากมังคุดมีการสูญเสียน้ำมากอย่างรวดเร็วและมีผลให้เนื้อภายในเสื่อมคุณภาพด้วย (อาชว์ เตาลานนท์, 2530) และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะเหมาะต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา (สายชล เกตุษา, 2528) สำหรับการเก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิห้องนั้น พบอาการเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อรา ซึ่งมีเส้นใยของเชื้อราขึ้นปกคลุมบริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง ทำให้กลีบเลี้ยงเน่าและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำ เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือม่วงเข้ม เมื่อผ่าออกจะพบเนื้อผลเน่าเป็นส่วนๆ มีการยุบตัวเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาล มีเส้นใยสีขาวและสีชมพูของเชื้อรา มีกลิ่นเน่าเหม็นและกลิ่นหมักเกิดขึ้น เนื่องจากเป็นสภาวะการเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง ซึ่งเหมาะต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เชื้อรา (สายชล เกตุษา, 2528) จึงเกิดการเน่าเสียเร็วกว่าการบรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศช่วยเสริมประสิทธิภาพของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำให้มีอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น แต่ไม่สามารถใช้ทดแทนอุณหภูมิต่ำได้

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1, 2 และ 3 หลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน(ตาราง1.3)มังคุดที่มีระดับสีแตกต่างกัน จะมีองค์ประกอบทางเคมีเริ่มต้นหลังการเก็บเกี่ยวที่ใกล้เคียงกัน และองค์ประกอบเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งมีปริมาณกรดแอสคอบิก 1.05-1.15 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเนื้อมังคุด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 15.0-17.9 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 0.51-0.72 ความเป็นกรดด่าง 3.35-3.96 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 3.6-5.7 และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีร้อยละ 12.7-16.8 โดยพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก และน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำตาลและกรดบางส่วนถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ (Patterson, 1970) สำหรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ซึ่ง Kawamata (1977) ให้เหตุผลว่า เกิดจากการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสในมังคุดโดยกระบวนการย่อยสลาย (hydrolysis) ได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตสเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์

ตาราง 1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศต่างกันที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้อง

ระดับสีผิว	อุณหภูมิที่เก็บรักษา	วิธีการดัดแปลงบรรยากาศ	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	กรดแอสคอบิก มก./100 กรัมเนื้อ	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o} บริกซ์)	กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	ความเป็นกรดด่าง (pH)	น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
1	10^{o}ซ	กล่อง	0	1.08 a*	15.6 a	0.61 a	3.72 a	3.7 b	14.3 a
			1	1.16 a	16.2 a	0.64 a	3.46 a	3.6 b	14.2 a
			2	1.07 a	16.7 a	0.63 a	3.66 a	4.6 ab	14.6 a
			3	1.06 a	16.0 a	0.59 a	3.54 a	5.7 a	14.3 a
		กล่อง+ถุงพลาสติก	0	1.08 a	15.6 a	0.61 ab	3.72 a	3.7 a	14.3 a
			1	1.11 a	15.4 a	0.64 a	3.53 a	3.7 a	14.1 a
			2	1.06 a	16.7 a	0.66 a	3.61 a	3.7 a	14.4 a
			3	1.05 a	15.7 a	0.61 ab	3.47 a	3.7 a	13.7 a
			4	1.07 a	15.9 a	0.58 b	3.65 a	4.0 a	14.3 a
			5	1.09 a	15.1 a	0.51 c	3.75 a	4.4 a	14.3 a
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0	1.08 a	15.6 a	0.61 b	3.72 a	3.7 a	14.3 bc
			1	1.10 a	15.6 a	0.62 ab	3.66 a	3.7 a	12.7 d
			2	1.06 a	17.2 a	0.63 ab	3.69 a	4.0 a	15.4 a
			3	1.08 a	16.7 a	0.62 ab	3.70 a	3.9 a	14.7 ab
			4	1.08 a	17.2 a	0.66 a	3.64 a	4.0 a	15.0 ab
			5	1.08 a	15.0 a	0.52 c	3.81 a	4.2 a	13.9 c
	ห้อง (28+1^{o}ซ)	กล่อง	0	1.08 a	15.6 a	0.61 a	3.72 a	3.7 a	14.3 a
			1	1.10 a	16.9 a	0.63 a	3.56 a	4.4 a	15.1 a
			2	1.08 a	16.6 a	0.60 a	3.53 a	4.6 a	15.2 a
		กล่อง+ถุงพลาสติก	0	1.08 a	15.6 a	0.61 a	3.72 a	3.7 a	14.3 a
			1	1.11 a	15.7 a	0.58 b	3.66 a	3.8 a	14.5 a
			2	1.07 a	17.0 a	0.60 a	3.70 a	3.6 a	15.0 a
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0	1.08 a	15.6 a	0.61 a	3.72 a	3.7 a	14.3 a
			1	1.08 a	16.1 a	0.63 a	3.56 a	3.7 a	14.4 a
			2	1.07 a	15.8 a	0.64 a	3.76 a	4.3 a	14.2 a

ตาราง 1.3 (ต่อ)

ระดับสีผิว	อุณหภูมิที่เก็บรักษา	วิธีการดัดแปลงบรรยากาศ	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	กรดแอสคอบิก มก./100 กรัมเนื้อ	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{O} บริกซ์)	กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	ความเป็นกรดด่าง (pH)	น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
2	10^{O}ซ	กล่อง	0	1.09 a	17.8 a	0.72 a	3.82 a	4.6 a	16.8 a
			1	1.15 a	17.0 a	0.71 a	3.35 a	4.2 a	16.2 ab
			2	1.08 a	17.0 a	0.65 ab	3.42 a	5.1 a	15.5 b
			3	1.07 a	15.9 a	0.59 b	3.46 a	5.9 a	13.9 c
		กล่อง+ถุงพลาสติก	0	1.09 a	17.8 a	0.72 a	3.82 a	4.6 a	16.8 a
			1	1.08 a	16.3 a	0.65 a	3.44 b	3.7 a	14.5 b
			2	1.08 a	16.7 a	0.64 a	3.49 b	3.7 a	14.7 b
			3	1.06 a	16.2 a	0.65 a	3.48 b	4.0 a	14.3 b
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0	1.09 a	17.8 a	0.72 a	3.82 a	4.6 a	16.8 a
			1	1.08 a	16.9 a	0.64 a	3.51 a	4.2 a	15.7 ab
			2	1.08 a	17.4 a	0.67 a	3.58 a	4.2 a	14.9 bc
			3	1.07 a	15.8 a	0.60 a	3.56 a	4.6 a	13.8 c
			4	1.07 a	15.3 a	0.61 a	3.60 a	5.2 a	13.9 c
	ห้อง (28±1^{O}ซ)	กล่อง	0	1.09 a	17.8 a	0.72 a	3.82 a	4.6 a	16.8 a
			1	1.11 a	16.2 a	0.60 b	3.53 a	4.6 a	14.6 b
			2	1.08 a	16.5 a	0.59 b	3.56 a	5.1 a	14.4 b
		กล่อง+ถุงพลาสติก	0	1.09 a	17.8 a	0.72 a	3.82 a	4.6 a	16.8 a
			1	1.11 a	15.4 a	0.57 b	3.71 a	3.7 a	13.9 b
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0	1.09 a	17.8 a	0.72 a	3.82 a	4.6 a	16.8 a
			1	1.11 a	16.1 a	0.62 a	3.65 a	4.2 a	14.5 a

ตาราง 1.3 (ต่อ)

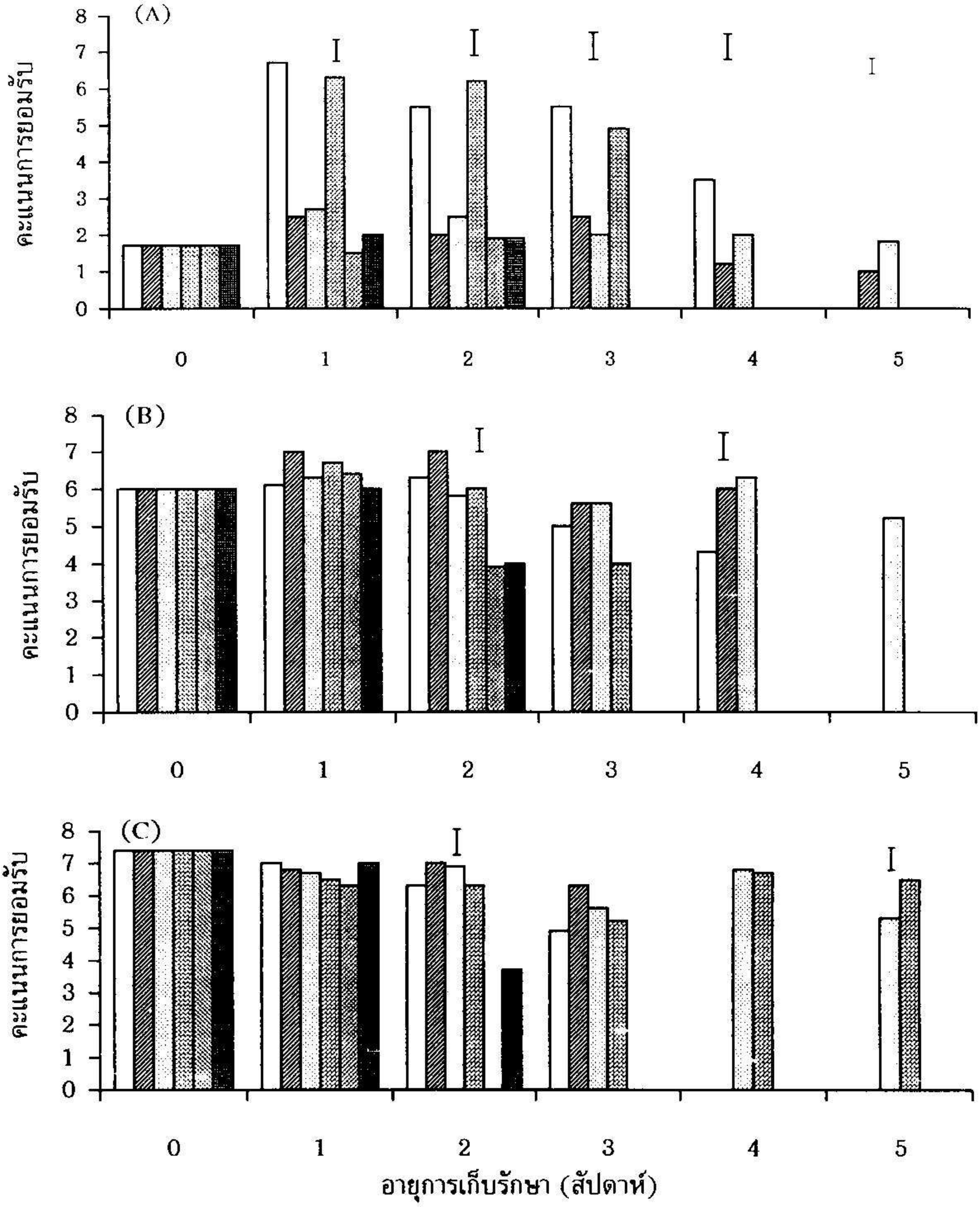
ระดับสีผิว	อุณหภูมิที่เก็บรักษา	วิธีการดัดแปลงบรรยากาศ	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	กรดแอสคอบิก มก./100 กรัมเนื้อ	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{0} บริกซ์)	กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	ความเป็นกรดด่าง (pH)	น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
3	10^{0}ซ	กล่อง	0	1.08 a	17.0 a	0.71 a	3.96 a	4.5 a	15.8 a
			1	1.15 a	17.9 a	0.60 a	3.59 a	3.9 a	14.8 a
			2	1.08 a	16.9 a	0.62 a	3.56 a	5.0 a	14.7 a
		กล่อง+ถุงพลาสติก	0	1.08 a	17.0 a	0.71 a	3.96 a	4.5 a	15.8 a
			1	1.08 a	16.7 a	0.66 a	3.53 b	4.4 a	14.9 a
			2	1.06 a	17.2 a	0.67 a	3.46 b	4.4 a	14.9 a
			3	1.07 a	16.7 a	0.65 a	3.43 b	4.6 a	15.0 a
			4	1.07 a	15.9 a	0.63 a	3.49 b	4.5 a	14.1 a
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0	1.08 a	17.0 a	0.71 a	3.96 a	4.5 a	15.8 a
			1	1.08 a	16.8 a	0.69 ab	3.44 c	3.9 a	15.3 a
			2	1.08 a	16.9 a	0.65 abc	3.54 bc	4.3 a	15.1 a
			3	1.08 a	16.1 a	0.60 c	3.56 bc	4.7 a	14.4 a
			4	1.08 a	15.7 a	0.62 bc	3.74 ab	4.5 a	14.3 a
			5	1.06 a	16.9 a	0.62 bc	3.76 ab	5.3 a	15.4 a
	ห้อง (28±1^{0}ซ)	กล่อง	0	1.08 a	17.0 a	0.71 a	3.96 a	4.5 a	15.8 a
			1	1.07 a	17.4 a	0.67 a	3.43 b	4.8 b	15.0 a
			2	1.07 a	17.1 a	0.61 a	3.52 b	5.1 a	14.4 a
		กล่อง+ถุงพลาสติก	0	1.08 a	17.0 a	0.71 a	3.96 a	4.5 a	15.8 a
			1	1.12 a	16.2 a	0.65 a	3.57 a	4.0 a	14.1 a
		กล่อง+ถุงพลาสติก+สารดูดเอทธิลีน	0	1.08 a	17.0 a	0.71 a	3.96 a	4.5 a	15.8 a
			1	1.09 a	15.4 a	0.61 a	3.71 a	4.3 a	14.4 a

* ค่าในสดมภ์เดียวกันของแต่ละชุดการทดลองที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

Central Library
Prince of Songkla University

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เนื่องจากดัชนีที่เป็นตัวบ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์หรือผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาได้นานเพียงใด คือการยอมรับของผู้บริโภคทั้งด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม โดยทั่วไปมักจะใช้ระดับคะแนนของคุณลักษณะรวมที่ > 5 (จากระดับคะแนน 1-9) ถือว่าเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อมังคุดภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่แตกต่างกัน ดังปรากฏในภาพ 1.5, 1.6, 1.7 และ 1.8 ซึ่งพบว่าหลังการเก็บเกี่ยวมังคุดระดับสีที่ 3 มีแนวโน้มของคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม สูงที่สุด คือ ชอบปานกลาง รองลงมาเป็นระดับสีที่ 2 คือ ชอบเล็กน้อย และระดับสีที่ 1 ต่ำสุดคือไม่ชอบมาก ทั้งนี้เนื่องจากมังคุดระดับสีที่ 1 ยังมีปริมาณยางในเปลือกมาก เมื่อผ่าออกทำให้ยางเปื้อนเลอะเนื้อผลได้ง่าย และเนื้อผลยังแข็งมาก แต่มังคุดระดับสีที่ 2 มีปริมาณยางในเปลือกปานกลาง เนื้อผลมีความนุ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังไม่ล่อนออกจากเปลือกอย่างชัดเจน และมังคุดระดับสีที่ 3 มีปริมาณยางในเปลือกน้อยถึงน้อยมาก เนื้อผลนุ่มสีขาวนวลและแยกออกจากเปลือกได้ชัดเจน เป็นผลให้ได้รับคะแนนการยอมรับทุกๆ ลักษณะสูงที่สุด เมื่อนำมาเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบต่างๆ พบว่าหลังการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ มังคุดระดับสีที่ 2 และ 3 ทุกสภาพบรรยากาศการเก็บรักษามีคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะร่วมไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่หลังจากเก็บรักษานาน 2 สัปดาห์จึงเริ่มเห็นความแตกต่าง ซึ่งพบว่าการเก็บรักษาโดยการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษามังคุดระดับสีที่ 2 และ 3 ได้นานที่สุด คือ 4 และ 5 สัปดาห์ ตามลำดับ โดยมีคะแนนการยอมรับคุณลักษณะรวม $\geq$ 5 แม้ว่าไม่เห็นผลชัดเจนในการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมังคุด แต่มีแนวโน้มในการช่วยรักษาความแน่นเนื้อ และลดความผิดปกติของเนื้อผลได้มากกว่าการไม่ใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ธนะชัย พันธ์เกษมสุข (2531) ที่พบว่ามะม่วงพันธุ์เขียวเสวยที่บรรจุในถุงพลาสติกเจาะรูที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน ให้ผลในการเปลี่ยนแปลงการสุกไม่แตกต่างกัน แต่การใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนมีผลต่อการช่วยรักษาความแน่นเนื้อและช่วยลดความผิดปกติของผลมะม่วง สำหรับมังคุดระดับสีที่ 1 ที่เก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูก และการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 5 สัปดาห์เช่นเดียวกัน แต่คะแนนการยอมรับในทุกๆ ลักษณะยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดังกล่าวมีผลต่อการชะลอการสุก อีกทั้งมังคุดระดับสีที่ 1 มีการพัฒนาสีผิวน้อยกว่ามังคุดระดับสีอื่นๆ ทำให้มังคุดระดับสีที่ 1 ไม่สามารถพัฒนากระบวนการสุกให้อยู่ในระดับที่บริโภคได้ ซึ่งยังมีปริมาณยางในเปลือกมากและเนื้อผลค่อนข้างแข็ง แต่การเก็บรักษาโดยใช้กล่องกระดาษลูกฟูกทั้งที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้อง พบว่ามังคุดระดับสีที่ 1 มีคะแนนการยอมรับสูงขึ้นจนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้โดยเฉพาะในช่วง 1-2 สัปดาห์หลังการเก็บรักษา เนื่องจากเป็นสภาวะการเก็บรักษาที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงแต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ จึงส่งเสริมการสังเคราะห์และการทำงานของก๊าซเอทธิลีนในการกระตุ้นการสุกของผลไม้ (Kader, 1986)



ภาพ 1.5 คะแนนการยอมรับทางด้านสีของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B) และระดับสีที่ 3 (C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ :

□ = กล่อง, 10°ซ

▨ = กล่อง+ถุง, 10°ซ

⊡ = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, 10°ซ

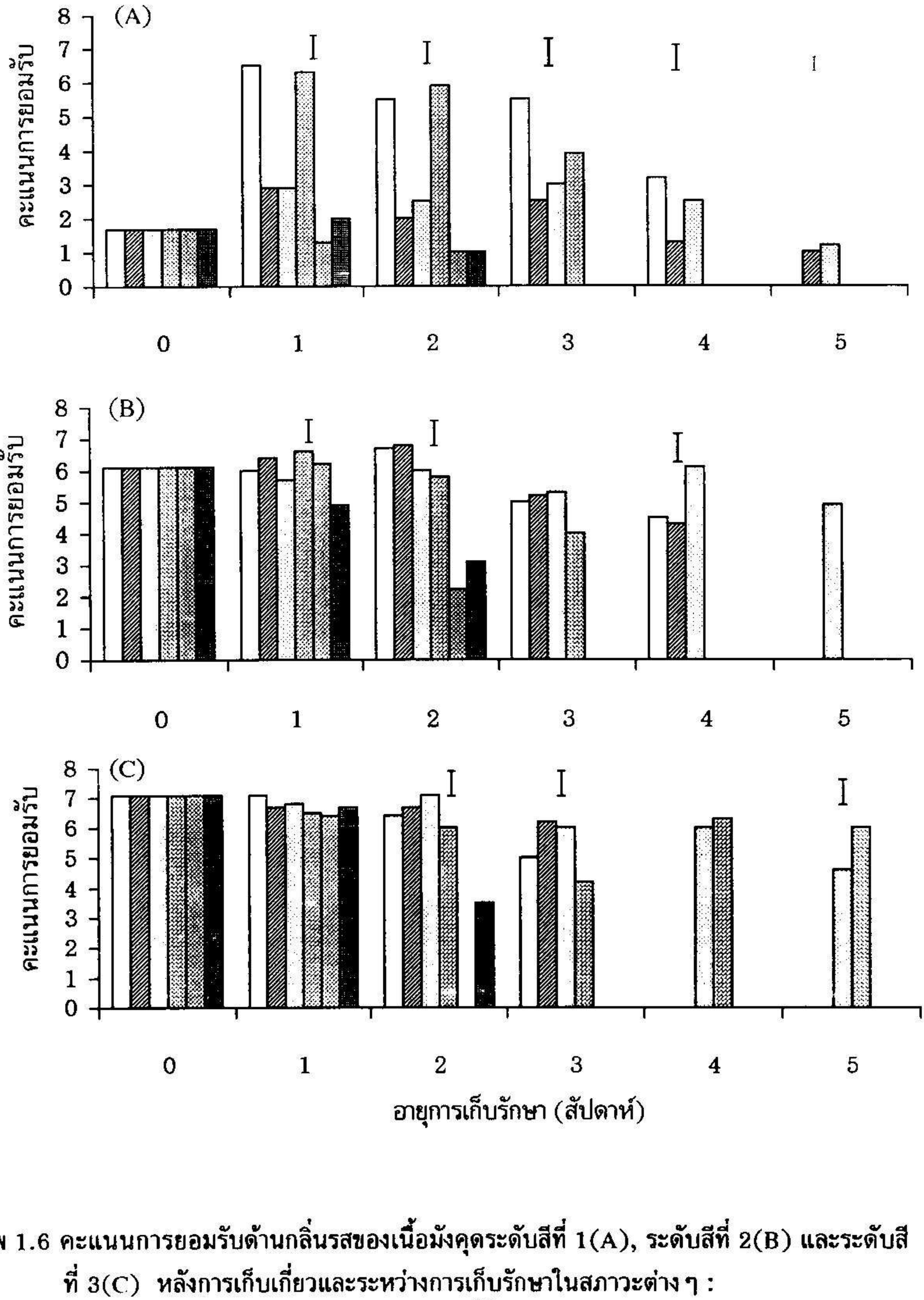
▧ = กล่อง, อุณหภูมิห้อง

▩ = กล่อง+ถุง, อุณหภูมิห้อง

▦ = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, อุณหภูมิห้อง

(คะแนนสูงสุดคือ 9=ชอบมากที่สุด ,.....,คะแนนต่ำสุดคือ 1=ไม่ชอบมากที่สุด)

I = LSD 0.05



ภาพ 1.6 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B) และระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ :

□ = กล่อง, 10°ซ

▨ = กล่อง+ถุง, 10°ซ

▩ = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, 10°ซ

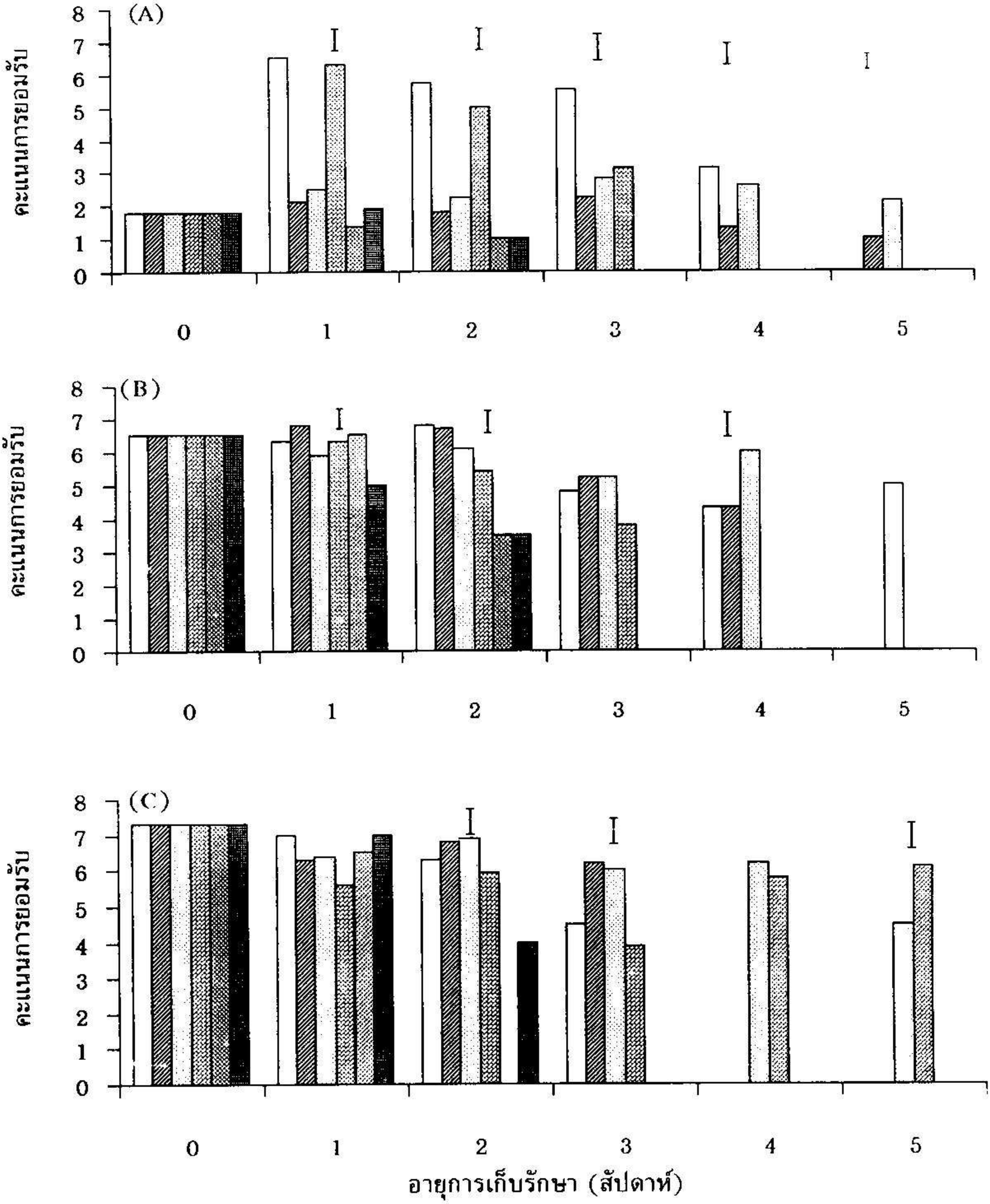
▨ = กล่อง, อุณหภูมิห้อง

▩ = กล่อง+ถุง, อุณหภูมิห้อง

▦ = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, อุณหภูมิห้อง

(คะแนนสูงสุดคือ 9=ชอบมากที่สุด ,.....,คะแนนต่ำสุดคือ 1=ไม่ชอบมากที่สุด)

I = LSD 0.05



ภาพ 1.7 คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B) และ ระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ :

□ = กล่อง, 10°ซ

▨ = กล่อง+ถุง, 10°ซ

▩ = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, 10°ซ

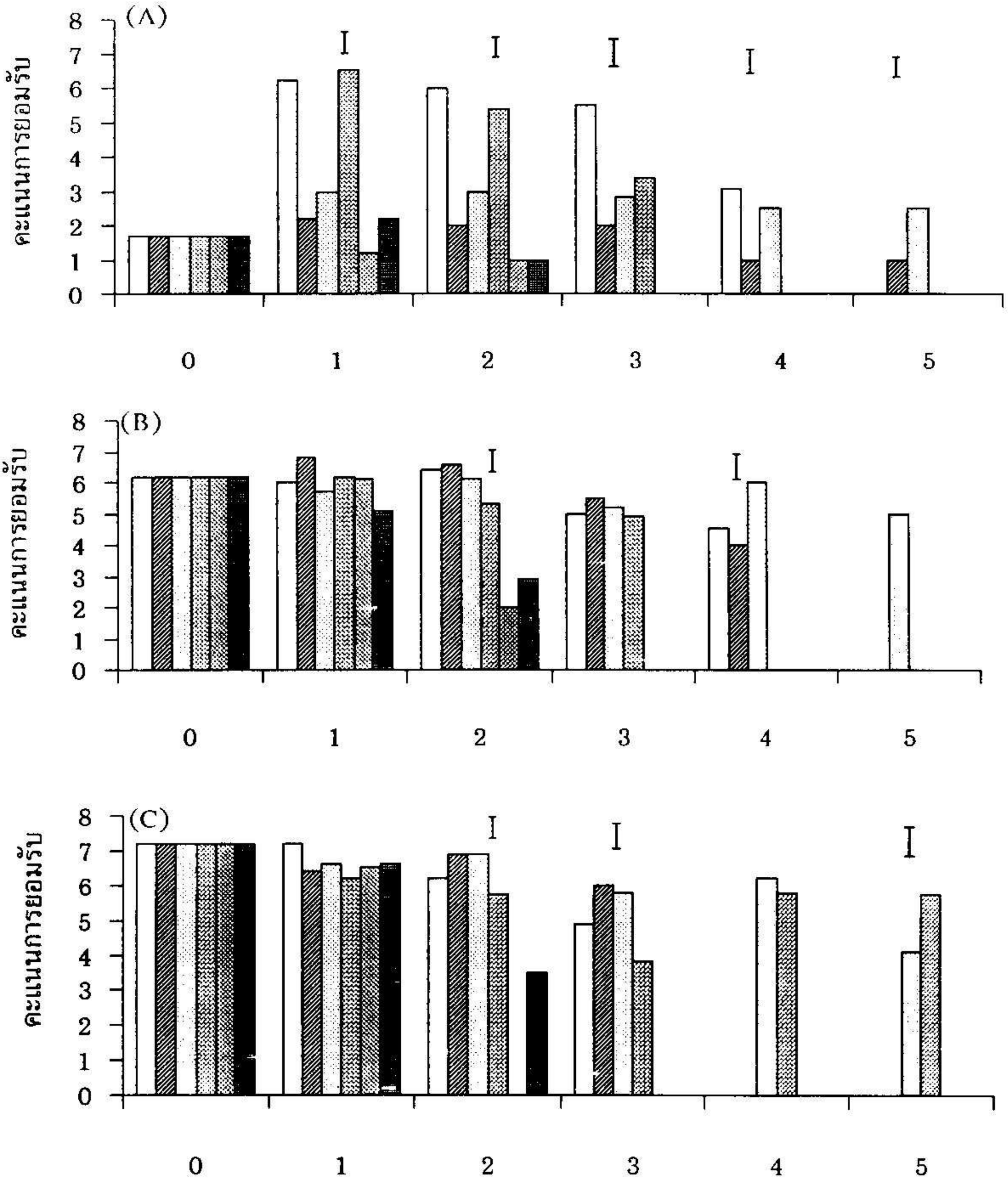
▨ = กล่อง, อุณหภูมิห้อง

▩ = กล่อง+ถุง, อุณหภูมิห้อง

▦ = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, อุณหภูมิห้อง

(คะแนนสูงสุดคือ 9=ชอบมากที่สุด ,.....,คะแนนต่ำสุดคือ 1=ไม่ชอบมากที่สุด)

I = LSD 0.05



ภาพ 1.8 คะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวมของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1(A), ระดับสีที่ 2(B) และระดับสีที่ 3(C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ :

□ = กล่อง, 10°ซ

▨ = กล่อง+ถุง, 10°ซ

▩ = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, 10°ซ

▨ = กล่อง, อุณหภูมิห้อง

▩ = กล่อง+ถุง, อุณหภูมิห้อง

▦ = กล่อง+ถุง+สารดูดC_2H_4, อุณหภูมิห้อง

(คะแนนสูงสุดคือ 9=ชอบมากที่สุด ,.....,คะแนนต่ำสุดคือ 1=ไม่ชอบมากที่สุด)

I = LSD 0.05

หลังจากนั้นคะแนนการยอมรับในทุก ๆ ลักษณะค่อย ๆ ลดลง จนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในทางตรงกันข้ามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามังคุดทั้ง 3 ระดับสีที่เก็บรักษาโดยการใช้ถุงพลาสติกร่วมกับกล่องกระดาษลูกฟูกและการใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด คือเก็บรักษาได้ไม่เกิน 1 สัปดาห์ เนื่องจากเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติขึ้น เพราะสภาวะการเก็บที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงเหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (สายชล เกตุษา, 2528) อีกทั้งสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงอาจเร่งการหายใจของมังคุดในช่วงแรกที่ยังมีปริมาณก๊าซออกซิเจนสูง ทำให้ก๊าซออกซิเจนเหลือน้อยมากจนเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นและเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ

นอกจากนี้ยังพบว่ามังคุดทั้ง 3 ระดับสีเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นในทุกสภาวะการเก็บรักษามีแนวโน้มของการยอมรับลดลงซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณภาพค่อย ๆลดลง เนื่องจากเป็นการเข้าสู่ระยะของการเสื่อมสลายหลังจากที่มีการสุกเกิดขึ้น อันเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติของผลไม้ (Gortner *et al.*, 1967; Wills *et al.*, 1981) และหากเปรียบเทียบคะแนนการยอมรับในทุก ๆ ลักษณะของมังคุดทั้ง 3 ระดับสีที่ผ่านการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์พบว่า มังคุดระดับสีที่ 3 มีแนวโน้มของการยอมรับสูงที่สุด

1.2 ผลการลดอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด จำนวน 2 ซ้ำ โดยจัดชุดการทดลองแบบแฟกตอเรียล ประกอบด้วย 3 ปัจจัยคือ

1 ระดับสีผิวมังคุด 3 ระดับ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2529)

- ระดับสีที่ 1 (เริ่มมีจุดประสีชมพูในบางส่วนของผล)
- ระดับสีที่ 2 (มีจุดประสีชมพูกระจัดกระจายเกือบทั่วผล)
- ระดับสีที่ 3 (มีจุดประสีชมพูกระจัดกระจายสม่ำเสมอทั่วผล)

2 การลดอุณหภูมิของผลมังคุดก่อนการเก็บรักษา 2 ระดับ

- ไม่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา
- ลดอุณหภูมิเหลือ 10 องศาเซลเซียส ก่อนการเก็บรักษา

3 ระดับความเข้มข้นของสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต 3 ระดับ

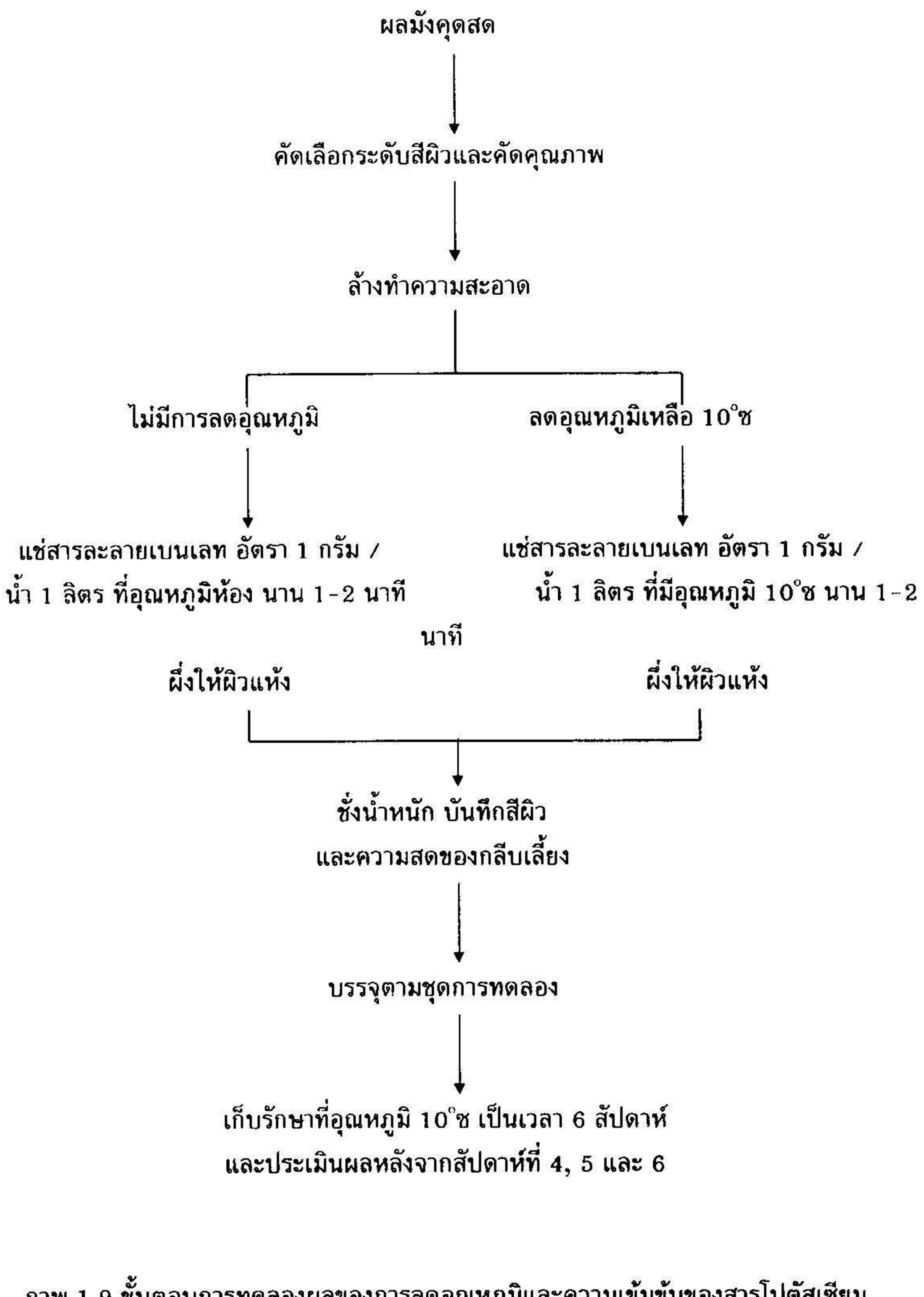
- 4 กรัม ต่อมังคุด 20 ผล
- 6 กรัม ต่อมังคุด 20 ผล
- 8 กรัม ต่อมังคุด 20 ผล

ซึ่งสามารถจัดเป็นชุดการทดลองได้ทั้งหมด 18 ชุด (ตาราง 1.4) และขั้นตอนการทดลองดังแสดงในภาพ1.9 ทุกชุดการทดลองจะบรรจุในถุงพลาสติกที่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนในปริมาณต่าง ๆ กัน มัดปากถุงให้แน่นด้วยยางเส้น แล้วบรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูก ทำ 2 ซ้ำในกล่องเดียวกัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ประเมินผลการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านระยะเวลาการเก็บรักษา 4, 5 และ 6 สัปดาห์ ประกอบด้วย

- คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีผิว (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2529) ความสดของกลีบเลี้ยง (วัลลภา ธีระภาวะ และคณะ, 2529) การสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณผลเสีย
- คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 1990)
- คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้ว จำนวน 10 คน ประเมินการยอมรับด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม โดยการให้คะแนนแบบ Hedonic scale ประกอบด้วย 9 ระดับคะแนน เมื่อระดับคะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด และระดับคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด (Larmond , 1977)

ตาราง 1.4 ชุดการทดลองทั้งหมดในการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	ระดับสีผิว	ปริมาณสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต (กรัม / มังคุด 20 ผล)
ไม่มีการลดอุณหภูมิ	1	4
		6
		8
	2	4
		6
		8
	3	4
		6
		8
ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	1	4
		6
		8
	2	4
		6
		8
	3	4
		6
		8



ภาพ 1.9 ขั้นตอนการทดลองผลของการลดอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารโปตัสเซียม เปอร์มังกาเนตต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

ผลและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงสีผิว พบว่ามังคุดแต่ละระดับสีที่เก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตในระดับต่างๆ กัน (4, 6 และ 8 กรัม ต่อมังคุด 20 ผล) ให้ผลการเปลี่ยนแปลงสีผิวไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 1.5) สำหรับการทดลองที่มีการลดและไม่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา โดยมังคุดระดับสีที่ 1 ทุกชุดการทดลองภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ยังมีสีผิวเป็นสีเหลืองอ่อนอมชมพู ในขณะที่มังคุดระดับสีที่ 2 ทุกชุดการทดลองเปลี่ยนเป็นสีชมพูสม่ำเสมอถึงแดง และมังคุดระดับสีที่ 3 ทุกชุดการทดลองเปลี่ยนเป็นสีแดงหมด ดังนั้นการใช้ความเข้มข้นของสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตในปริมาณ 4 กรัมต่อมังคุด 20 ผล จึงเป็นการเพียงพอในการดูดซับก๊าซเอทธิลีนส่วนเกินที่มังคุดผลิตออกมาและสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้ดี สำหรับการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมังคุดโดยส่วนใหญ่ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ต่ำเพียงพอกับการลดการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ก๊าซเอทธิลีนและการสังเคราะห์แอนโธไซยานินด้วย (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2531ก ; Riov *et al.*, 1969 ; Faragher and Brohier, 1984) จึงสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้โดยไม่ต้องมีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา

สำหรับความสดของกลีบเลี้ยงและการสูญเสียน้ำหนัก พบว่าการใช้ปริมาณโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตระดับต่างๆกันในบรรยากาศดัดแปลง มีผลต่อการรักษาความสดของกลีบเลี้ยงและการสูญเสียน้ำหนักของมังคุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 1.6,1.7) ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักถูกควบคุมโดยปัจจัยหลัก คืออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่านั้น (อนวัช สุวรรณกุล, 2531 ; Mitchell *et al.*, 1972 ; Berg and Lentz, 1978) และการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาก็ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักเช่นเดียวกัน แต่มีผลต่อความสดของกลีบเลี้ยง ซึ่งเห็นได้จากมังคุดที่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาพบว่ากลีบเลี้ยงมีรอยชีดข่วนสีน้ำตาล สันนิษฐานว่าเกิดจากความเย็นที่ใช้ในการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา ซึ่งมีผลต่อการทำลายเนื้อเยื่อเซล์ลที่ผิวผลและผิวกลีบเลี้ยง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เบญจมาส รัตนชินกร และคณะ (2527) ที่พบว่ามังคุดที่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาจะเกิดอาการ chilling injury สังเกตได้จากกลีบเลี้ยงของมังคุดเกิดเป็นจุดสีน้ำตาล นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นผลมังคุดมีความสดของกลีบเลี้ยงลดลงและสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ส่วนปริมาณผลเสีย พบว่ามังคุดทั้ง 3 ระดับสีที่มีการใช้โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตระดับต่างๆ ในบรรยากาศดัดแปลงไม่มีผลต่อปริมาณผลเสีย แต่การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณผลเสียของมังคุดทั้ง 3 ระดับสี (ตาราง 1.8) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในสัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่าชุดการทดลองที่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาของมังคุดทั้ง 3 ระดับสีเกิดผลเสียหมดทุกผล ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษามีผลเสียน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตาราง 1.5 คะแนนระดับสีผิวของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลง* ที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา

ระดับสีผิว	การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	ปริมาณโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนต (กรัม/มังคุด 20 ผล)	คะแนนระดับสีผิว** (0-6) ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์) 0	4	5	6
1	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	1.0 c,y	2.0 c,x	2.0 d,x	2.5 b,x
		6	1.0 c,y	2.0 c,x	2.0 d,x	2.5 b,x
		8	1.0 c,y	2.0 c,x	2.0 d,x	2.5 b,x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	1.0 c,y	2.0 c,x	2.0 d,x	2.5 b,x
		6	1.0 c,x	2.0 c,x	2.0 d,x	2.5 b,x
		8	1.0 c,x	2.0 c,x	2.0 d,x	2.5 b,x
2	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	2.0 b,y	3.0 b,x	3.5 b,x	3.5 a,x
		6	2.0 b,y	3.0 b,x	3.5 b,x	3.5 a,x
		8	2.0 b,z	3.0 b,y	3.5 b,xy	4.0 a,x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	2.0 b,z	2.5 bc,yz	3.0 c,xy	3.5 a,x
		6	2.0 b,z	2.5 bc,yz	3.0 c,xy	3.5 a,x
		8	2.0 b,y	3.0 b,x	3.0 c,x	3.5 a,x
3	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	3.0 a,y	4.0 a,x	4.0 a,x	4.0 a,x
		6	3.0 a,y	4.0 a,x	4.0 a,x	4.0 a,x
		8	3.0 a,y	4.0 a,x	4.0 a,x	4.0 a,x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	3.0 a,y	4.0 a,x	4.0 a,x	4.0 a,x
		6	3.0 a,y	4.0 a,x	4.0 a,x	4.0 a,x
		8	3.0 a,y	4.0 a,x	4.0 a,x	4.0 a,x

* บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

** ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)
ตัวอักษร x, y, z ในแนวนอนของแต่ละชุดการทดลองที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

คะแนน 0=ขาวอมเหลือง, 1=เหลืองอ่อนอมเขียว มีจุดประสีชมพูกระจัดกระจายในบางส่วนของผล, 2=เหลืองอ่อนอมชมพู มีจุดประสีชมพูกระจัดกระจายเกือบทั่วผล, 3=ชมพูสม่ำเสมอ จุดประสีชมพูขยายเข้ามารวมกัน, 4=แดงหรือน้ำตาลอมแดง, 5=ม่วงอมแดง, 6=ม่วงถึงดำ

ตาราง 1.6 คะแนนความสดของกลีบเลี้ยงผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลง* ที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา

ระดับสีผิว	การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	ปริมาณโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนต (กรัม/มังคุด 20 ผล)	คะแนนความสดของกลีบเลี้ยง** (1-3) ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)			
			0	4	5	6
1	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	1.0 a.y	1.5 b,y	2.0 ab,y	3.0 a,x
		6	1.0 a,y	1.0 c,y	1.5 bc,y	3.0 a,x
		8	1.0 a,y	1.0 c,y	1.3 c,y	3.0 a,x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	1.0 a,y	2.0 a,x	2.5 a,x	3.0 a,x
		6	1.0 a,x	2.0 a,x	2.5 a,x	3.0 a,x
		8	1.0 a,x	1.5 b,y	2.0 ab,y	3.0 a,x
2	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	1.0 a,x	1.5 b,x	1.5 bc,x	2.0 d,x
		6	1.0 a,x	1.5 b,x	1.5 bc,x	2.0 d,x
		8	1.0 a,x	1.5 b,x	2.0 ab,x	2.0 d,x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	1.0 a,x	2.0 a,y	2.3 a,y	3.0 a,x
		6	1.0 a,x	2.0 a,x	2.5 a,x	3.0 a,x
		8	1.0 a,x	2.0 a,y	2.3 a,y	3.0 a,x
3	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	1.0 a,x	1.5 b,x	1.5 bc,x	2.0 d,x
		6	1.0 a,x	1.5 b,x	2.3 a,x	2.3 c,x
		8	1.0 a,x	1.5 b,y	2.0 ab,xy	2.5 b,x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	1.0 a,z	2.0 a,y	2 0 ab,y	3.0 a,x
		6	1.0 a,z	2.0 a,y	2.0 ab,y	3.0 a,x
		8	1.0 a,z	2.0 a,y	2.0 ab,y	3.0 a,x

* บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

** ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)
ตัวอักษร x, y, z ในแนวนอนของแต่ละชุดการทดลองที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ระดับคะแนน 1 = กลีบเลี้ยงสีเขียวหรือเขียวปนแดง ค่อนข้างสด
2 = กลีบเลี้ยงสีเขียวออกน้ำตาล เหี่ยวเล็กน้อย
3 = กลีบเลี้ยงสีเขียวออกน้ำตาลหรือสีน้ำตาล เหี่ยวมาก

ตาราง 1.7 การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดที่เก็บรักษาโดยใช้ปริมาณโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนต แตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลง* ที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา

ระดับสีผิว	การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	ปริมาณโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนต (กรัม/มังคุด 20 ผล)	การสูญเสียน้ำหนัก** (ร้อยละ) ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์) 4	5	6
1	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	0.3 x	0.4 x	0.5 x
		6	0.2 x	0.3 x	0.4 x
		8	0.2 y	0.3 y	0.5 x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	0.3 y	0.5 x	0.6 x
		6	0.2 y	0.5 x	0.7 x
		8	0.2 y	0.4 xy	0.6 x
2	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	0.3 x	0.4 x	0.5 x
		6	0.3 x	0.4 x	0.4 x
		8	0.3 y	0.4 y	0.6 x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	0.3 y	0.3 y	0.5 x
		6	0.2 y	0.4 x	0.5 x
		8	0.2 y	0.3 y	0.5 x
3	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	0.3 x	0.4 x	0.5 x
		6	0.2 x	0.3 x	0.4 x
		8	0.2 y	0.3 y	0.5 x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	0.2 y	0.3 y	0.5 x
		6	0.2 y	0.3 y	0.6 x
		8	0.2 y	0.3 y	0.5 x

* บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

** ค่าในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)
ตัวอักษร x, y, ในแนวนอนของแต่ละชุดการทดลองที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตาราง 1.8 ปริมาณผลเสียของผลมังคุดที่เก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนต แตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลง* ที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา

ระดับสีผิว	การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	ปริมาณโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนต (กรัม/มังคุด 20 ผล)	ปริมาณผลเสีย** (ร้อยละ) ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)		
			4	5	6
1	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	15.0 a,z	47.5 b,y	72.5 b,x
		6	20.5 a,y	45.0 b,y	82.5 b,x
		8	17.5 a,z	50.0 b,y	77.5 b,x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	20.0 a,z	67.5 a,y	100.0 a,x
		6	22.5 a,z	67.5 a,y	100.0 a,x
		8	17.5 a,z	70.0 a,y	100.0 a,x
2	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	12.5 a,y	17.5 c,y	57.5 c,x
		6	17.5 a,y	25.0 c,y	55.0 c,x
		8	12.5 a,y	22.5 c,y	50.0 c,x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	17.5 a,y	22.5 c,y	100.0 a,x
		6	12.5 a,y	27.5 c,y	100.0 a,x
		8	12.5 a,y	27.5 c,y	100.0 a,x
3	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	10.0 a,y	12.5 c,y	52.5 c,x
		6	7.5 a,y	15.0 c,y	57.5 c,x
		8	17.5 a,y	17.5 c,y	60.0 c,x
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10°ซ	4	12.5 a,y	20.0 c,y	100.0 a,x
		6	15.0 a,y	17.5 c,y	100.0 a,x
		8	17.5 a,y	20.0 c,y	100.0 a,x

* บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

** ตัวอักษร a, b, c, d ในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)
ตัวอักษร x, y, z ในแนวนอนของแต่ละชุดการทดลองที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีสำคัญ ($p \geq 0.05$)

และเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นทุกชุดการทดลองมีปริมาณผลเสียเพิ่มขึ้น คือเป็นจุดสีน้ำตาลที่เปลือกผล และเกิดอาการเปลือกแข็งที่จุดสีน้ำตาลนั้นจนกระทั่งทั่วทั้งผลเมื่ออาการรุนแรงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษามังคุด โดยการสัมผัสกับความเย็นจากน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 1±1 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจต่ำเกินไปจนเกิดความเสียหายกับเนื้อเยื่อเซลล์ โดยสังเกตจากที่ผิวผลและกลีบเลี้ยงของมังคุดจะมีรอยขีดข่วนสีน้ำตาล หลังจากที่มีการลดอุณหภูมิให้เหลือ 10 องศาเซลเซียสก่อนการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นจะปรากฏอาการนี้ชัดเจนขึ้น และอาจจัดได้ว่าเป็นอาการของ chilling injury เช่นเดียวกัน (Morris, 1982) นอกจากนี้ยังพบว่ามังคุดระดับสีที่ 1 เกิด chilling injury ปริมาณสูงกว่ามังคุดระดับสีที่ 2 และ 3 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wang (1982) ที่ว่าผลไม้ที่มีอายุน้อยมักเกิดอาการ chilling injury ได้ง่ายกว่าผลสุกหรือผลที่มีอายุมากกว่า

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมังคุดทั้ง 3 ระดับสี หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้ปริมาณโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา ให้ผลดังตาราง 1.9 พบว่ามีค่าดังนี้คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก 1.26-1.40 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเนื้อมังคุด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 15.3-18.2 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 0.46-0.65 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 3.7-4.9 และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 14.3-17.4 และพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก และน้ำตาลทั้งหมดมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำตาลและกรดบางส่วนถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ (สายชล เกตุษา, 2528 ; Patterson, 1970) ในขณะที่น้ำตาลรีดิวซ์ปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเกิดการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสโดยกระบวนการย่อยสลายได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตสเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (Kawamata, 1977)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสของเนื้อมังคุดทั้ง 3 ระดับสีหลังการเก็บเกี่ยว พบว่ามังคุดระดับสีที่ 3 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและคุณลักษณะรวมสูงที่สุด รองลงมาคือระดับสีที่ 2 และระดับสีที่ 1 ตามลำดับ เมื่อนำมาเก็บรักษาโดยการใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตระดับต่างๆ ในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา พบว่ามังคุดระดับสีที่ 1 ทุกชุดการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกัน คือ ไม่มีการสุกเกิดขึ้น (สีผิวยังไม่พัฒนาถึงระดับที่สามารถรับประทานได้) มีปริมาณยางในเปลือกมาก เนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง ดังนั้นจึงนำมาบ่มต่อด้วยก๊าซอะเซทิลีนที่อุณหภูมิห้อง พบว่าสามารถเปลี่ยนสีผิวเป็นสีม่วงแดงสม่ำเสมอได้เมื่อบ่มไว้นาน 7 วัน ทำให้ยางภายในเปลือกลดลง เนื้อมีสีขาวนวลและนุ่มขึ้น แล้วจึงนำมาประเมินผลทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับมังคุดระดับสีที่ 2 และ 3 ที่เก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกัน ในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา

ตาราง 1.9 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมังคุดหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสารโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตแตกต่างกันในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา

ระดับสีผิว	การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	ปริมาณสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต (กรัม/มังคุด 20 ผล)	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	กรดแอสคอบิก มก./100 กรัมเนื้อ	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° บริกซ์)	กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
1**	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	0	1.32 a***	18.0 a	0.65 a	3.7 a	17.4 a
			4	1.27 a	15.4 b	0.58 a	4.3 a	15.4 b
			5	1.26 a	15.3 b	0.56 a	4.4 a	15.0 b
			6	1.30 a	15.4 b	0.56 a	4.5 a	15.1 b
		6	0	1.32 a	18.0 a	0.65 a	3.7 b	17.4 a
			4	1.29 a	15.4 b	0.55 b	4.6 a	15.6 b
			5	1.31 a	15.5 b	0.56 b	4.6 a	15.2 b
			6	1.33 a	15.3 b	0.53 b	4.9 a	14.7 b
		8	0	1.32 a	18.0 a	0.65 a	3.7 b	17.4 a
			4	1.34 a	15.4 b	0.58 b	4.2 ab	15.7 b
			5	1.29 a	15.3 b	0.55 b	4.6 a	15.6 b
			6	1.29 a	15.5 b	0.55 b	4.5 a	15.2 b
	ลดอุณหภูมิ 10°ซ	4	0	1.32 a	18.0 a	0.65 a	3.9 b	17.4 a
			4	1.31 a	15.5 b	0.55 b	4.6 a	15.3 b
			5	1.29 a	15.5 b	0.53 b	4.7 a	15.2 b
		6	0	1.32 a	18.0 a	0.65 a	3.9 a	17.4 b
			4	1.35 a	15.4 b	0.56 b	4.0 a	15.1 b
			5	1.31 a	15.3 b	0.54 b	4.1 a	15.1 b
		8	0	1.32 a	18.0 a	0.65 a	3.9 a	17.4 a
			4	1.33 a	15.9 b	0.58 b	4.4 a	15.5 b
			5	1.30 a	15.5 b	0.55 b	4.6 a	15.0 b

ตาราง 1.9 (ต่อ)

ระดับสีผิว	การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	ปริมาณสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต (กรัม/มังคุด 20 ผล)	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	กรดแอสคอบิก มก./100 กรัมเนื้อ	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° บริกซ์)	กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
2	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	0	1.34 a	18.1 a	0.64 a	3.7 c	17.1 a
			4	1.26 a	18.7 a	0.58 b	4.1 bc	16.0 b
			5	1.35 a	16.9 b	0.55 b	4.6 ab	15.8 b
			6	1.36 a	16.6 b	0.51 c	4.9 a	15.1 b
		6	0	1.34 a	18.1 a	0.64 a	3.7 c	17.1 a
			4	1.26 a	17.5 a	0.57 b	4.2 b	15.4 b
			5	1.35 a	16.9 a	0.53 b	4.3 b	15.0 b
			6	1.35 a	16.7 a	0.52 b	4.9 a	14.9 b
		8	0	1.34 a	18.1 a	0.64 a	3.7 b	17.1 a
			4	1.30 a	18.3 a	0.54 b	4.3 ab	15.7 b
			5	1.40 a	17.1 b	0.51 bc	4.5 a	15.2 b
			6	1.36 a	16.9 b	0.48 c	4.7 a	14.9 b
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10^{o}ซ	4	0	1.34 a	18.1 a	0.64 a	3.7 a	17.4 a
			4	1.35 a	17.6 ab	0.57 b	4.1 a	16.1 ab
			5	1.32 a	16.6 b	0.53 b	4.2 a	15.4 b
		6	0	1.34 a	18.1 a	0.64 a	3.7 b	17.1 a
			4	1.31 b	17.1 a	0.58 b	3.9 b	16.4 b
			5	1.30 b	16.6 a	0.53 c	4.6 a	15.3 c
		8	0	1.34 a	18.1 a	0.64 a	3.7 c	17.1 a
			4	1.30 a	17.3 a	0.55 b	4.3 b	16.9 a
			5	1.34 a	17.1 a	0.46 b	4.6 a	16.2 a

ตาราง 1.9 (ต่อ)

ระดับสีผิว	การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา	ปริมาณสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต (กรัม/มังคุด 20 ผล)	เวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	กรดแอสคอบิก มก./100 กรัมเนื้อ	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^{o} บริกซ์)	กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
3	ไม่มีการลดอุณหภูมิ	4	0	1.32 a	18.2 a	0.64 a	3.9 c	17.1 a
			4	1.27 a	17.6 a	0.59 ab	4.4 b	16.2 a
			5	1.35 a	17.5 a	0.56 b	4.7 ab	15.9 a
			6	1.37 a	17.2 a	0.54 b	4.8 a	15.3 a
		6	0	1.32 b	18.2 a	0.64 a	3.9 c	17.1 a
			4	1.39 a	17.3 b	0.55 b	4.5 a	15.7 a
			5	1.37 ab	16.8 c	0.54 b	4.5 a	15.6 a
			6	1.33 ab	16.7 c	0.52 b	4.8 a	15.4 a
		8	0	1.32 a	18.2 a	0.64 a	3.9 b	17.1 a
			4	1.33 a	16.9 b	0.54 b	4.0 c	16.1 ab
			5	1.37 a	16.6 b	0.54 ab	4.6 b	14.9 bc
			6	1.35 a	16.3 b	0.53 ab	5.0 a	14.3 c
	ลดอุณหภูมิเหลือ 10^{o}ซ	4	0	1.32 a	18.2 a	0.64 a	3.9 b	17.1 a
			4	1.33 a	17.7 a	0.56 b	4.6 a	16.5 a
			5	1.31 a	17.1 a	0.56 b	4.7 a	16.2 a
		6	0	1.32 a	18.2 a	0.64 a	3.9 a	17.1 a
			4	1.34 a	17.6 b	0.57 b	4.0 a	16.3 b
			5	1.32 a	17.3 b	0.56 b	4.1 a	15.3 c
		8	0	1.32 b	18.2 a	0.64 a	3.9 a	17.1 a
			4	1.38 a	17.1 b	0.59 b	4.4 a	15.9 b
			5	1.32 b	16.9 b	0.56 b	4.6 a	15.4 b

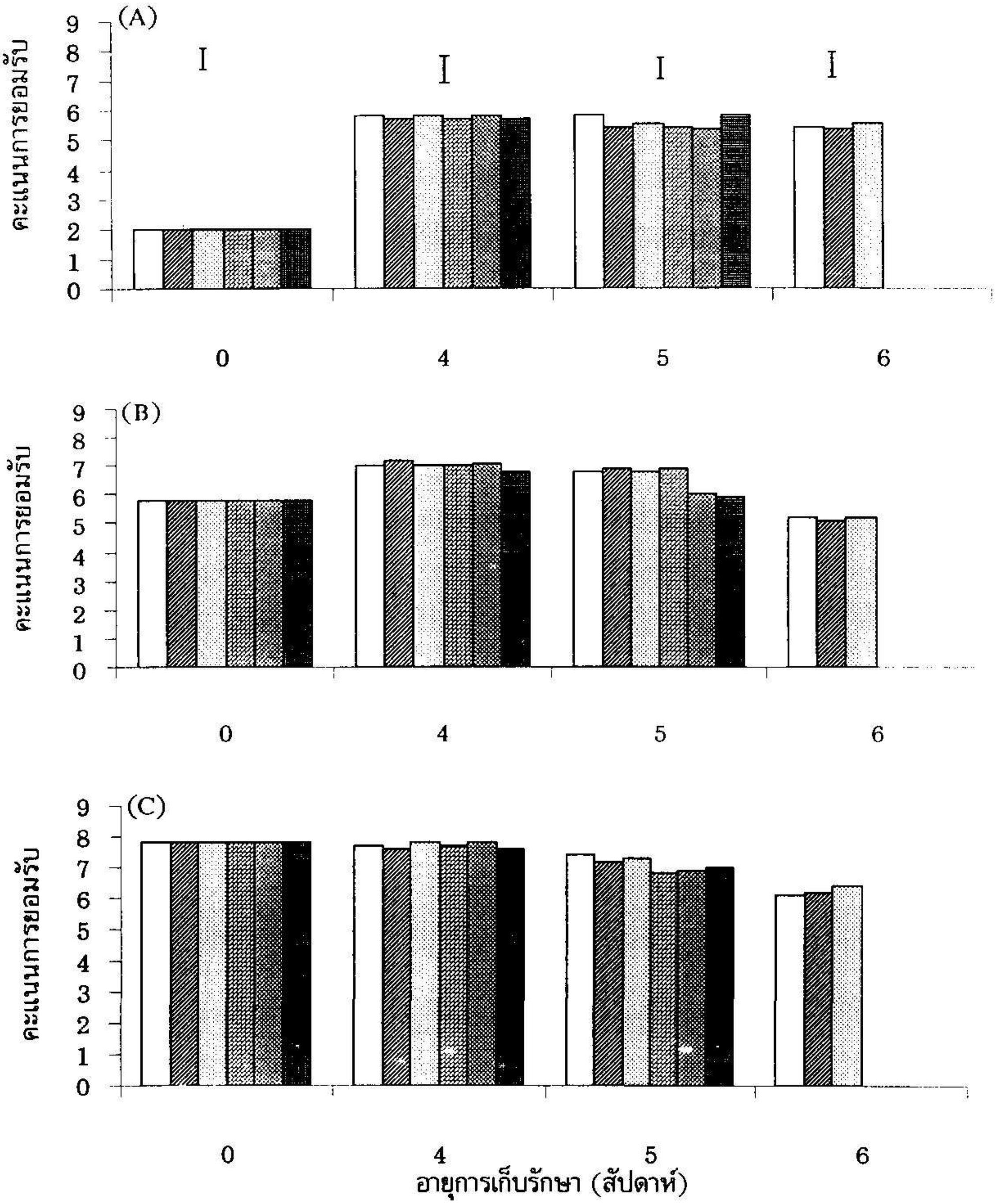
* บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีนร่วมกับถุงพลาสติกและกล่องกระดาษลูกฟูก ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

** บันทึกหลังจากเก็บรักษาและผ่านการบ่มด้วยก๊าซอะเซทิลีนที่อุณหภูมิห้อง

*** ค่าในสดมภ์เดียวกันของแต่ละชุดการทดลองที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ได้ผลดังภาพ 1.10, 1.11, 1.12 และ 1.13 ซึ่งพบว่าการใช้ปริมาณสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตระดับต่างๆ ในบรรยากาศดัดแปลงและการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวมของมังคุดทั้ง 3 ระดับสีในแต่ละสัปดาห์ โดยมังคุดระดับสีที่ 1 มีคะแนนการยอมรับในด้านต่างๆ อยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อยตลอดช่วงการเก็บรักษา 4-6 สัปดาห์เนื่องจากการบ่มช่วยให้มังคุดสามารถพัฒนาสีผิวจากระดับสีที่ 1 เป็นระดับสีที่ 5 ได้ ซึ่งสามารถรับประทานได้ แต่ในสัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษาในชุดการทดลองที่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาเกิดผลเสียหมดทุกผลจึงไม่สามารถประเมินผลทางประสาทสัมผัสได้ สำหรับมังคุดระดับสีที่ 2 หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มของคะแนนการยอมรับในทุกๆ ด้านสูงกว่าหลังการเก็บเกี่ยวเล็กน้อย คือ มีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง เนื่องจากมังคุดมีการสุกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากนั้นคะแนนการยอมรับในทุกๆ ด้านมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งคะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวมต่ำกว่า 5 ในสัปดาห์ที่ 6 นั่นคือสามารถเก็บรักษาได้เพียง 5 สัปดาห์ ยกเว้นชุดการทดลองที่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาเกิดผลเสียหมดทุกผลไม่สามารถประเมินผลได้เช่นเดียวกับมังคุดระดับสีที่ 1 ส่วนมังคุดระดับสีที่ 3 หลังจากเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์พบว่า ทุกชุดการทดลองยังมีคะแนนการยอมรับในทุกๆ ด้านใกล้เคียงกับมังคุดหลังการเก็บเกี่ยว คืออยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมากหลังจากนั้นคะแนนการยอมรับลดลงเพียงเล็กน้อยจนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 6 ชุดการทดลองที่ไม่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษายังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในขณะที่ชุดการทดลองที่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาไม่สามารถประเมินผลทางประสาทสัมผัสได้ เนื่องจากเกิดผลเสียหมดทุกผล

หากพิจารณาถึงคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคในทุกๆ ด้านของมังคุดทั้ง 3 ระดับสี พบว่ามังคุดระดับสีที่ 1 ทุกชุดการทดลองที่เก็บรักษาในช่วง 4-5 สัปดาห์ มีคะแนนการยอมรับต่ำกว่ามังคุดระดับสีที่ 2 และ 3 โดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่ 6 ของการเก็บรักษาพบว่ามังคุดระดับสีที่ 2 มีคะแนนการยอมรับต่ำที่สุด สำหรับมังคุดระดับสีที่ 3 พบว่า มีแนวโน้มของการยอมรับในทุกๆ ด้านสูงที่สุดในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามมังคุดระดับสีที่ 1 ทุกชุดการทดลองที่ไม่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาแม้ว่าสามารถเก็บรักษาได้นาน 6 สัปดาห์ แต่เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏภายนอก พบว่า หลังการบ่มให้สุกกลีบเลี้ยงของมังคุดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหมดทุกผลและมีเส้นใยของเชื้อราที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงเล็กน้อย อีกทั้งมีปริมาณผลเสียสูงกว่ามังคุดระดับสีอื่นๆ ส่วนมังคุดระดับสีที่ 3 ในชุดการทดลองที่ไม่มีการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาแม้ว่าเก็บรักษาได้นาน 6 สัปดาห์ แต่มีปริมาณผลเสียสูงถึงร้อยละ 50-60 จึงไม่เป็นการคุ้มค่าในการเก็บรักษาไว้นานถึง 6 สัปดาห์ จึงควรเก็บรักษาเพียง 5 สัปดาห์เท่านั้น



ภาพ 1.10 คะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1 (A), ระดับสีที่ 2 (B) และระดับสีที่ 3 (C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสาร $KMnO_4$ ระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา :

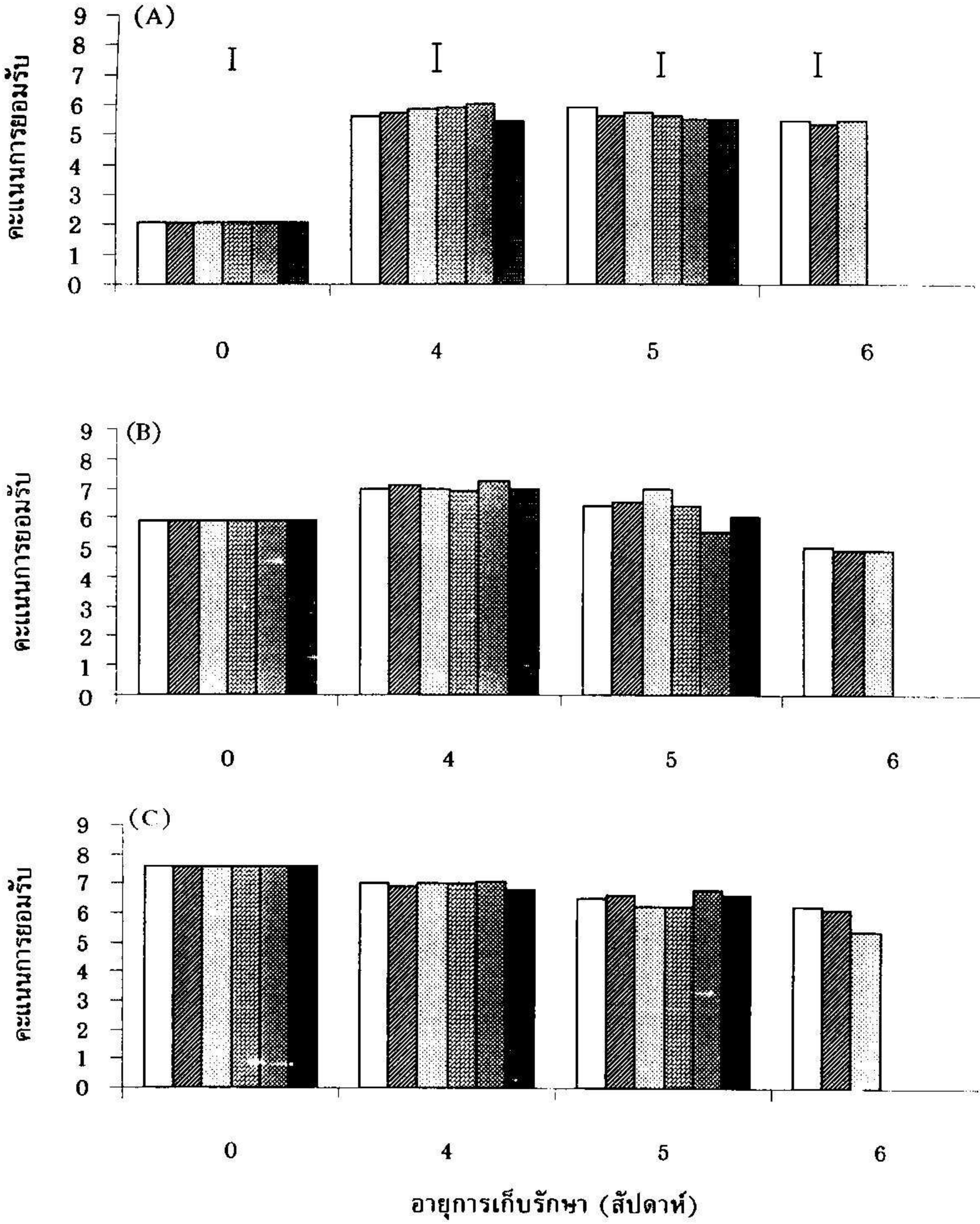
□ = 4 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▨ = 4 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

▨ = 6 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▩ = 6 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

▦ = 8 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▦ = 8 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

(คะแนนสูงสุดคือ 9 = ชอบมากที่สุด,....., คะแนนต่ำสุด คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)

I = LSD 0.05



ภาพ 1.11 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1 (A), ระดับสีที่ 2 (B) และระดับสีที่ 3 (C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสาร $KMnO_4$ ระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา :

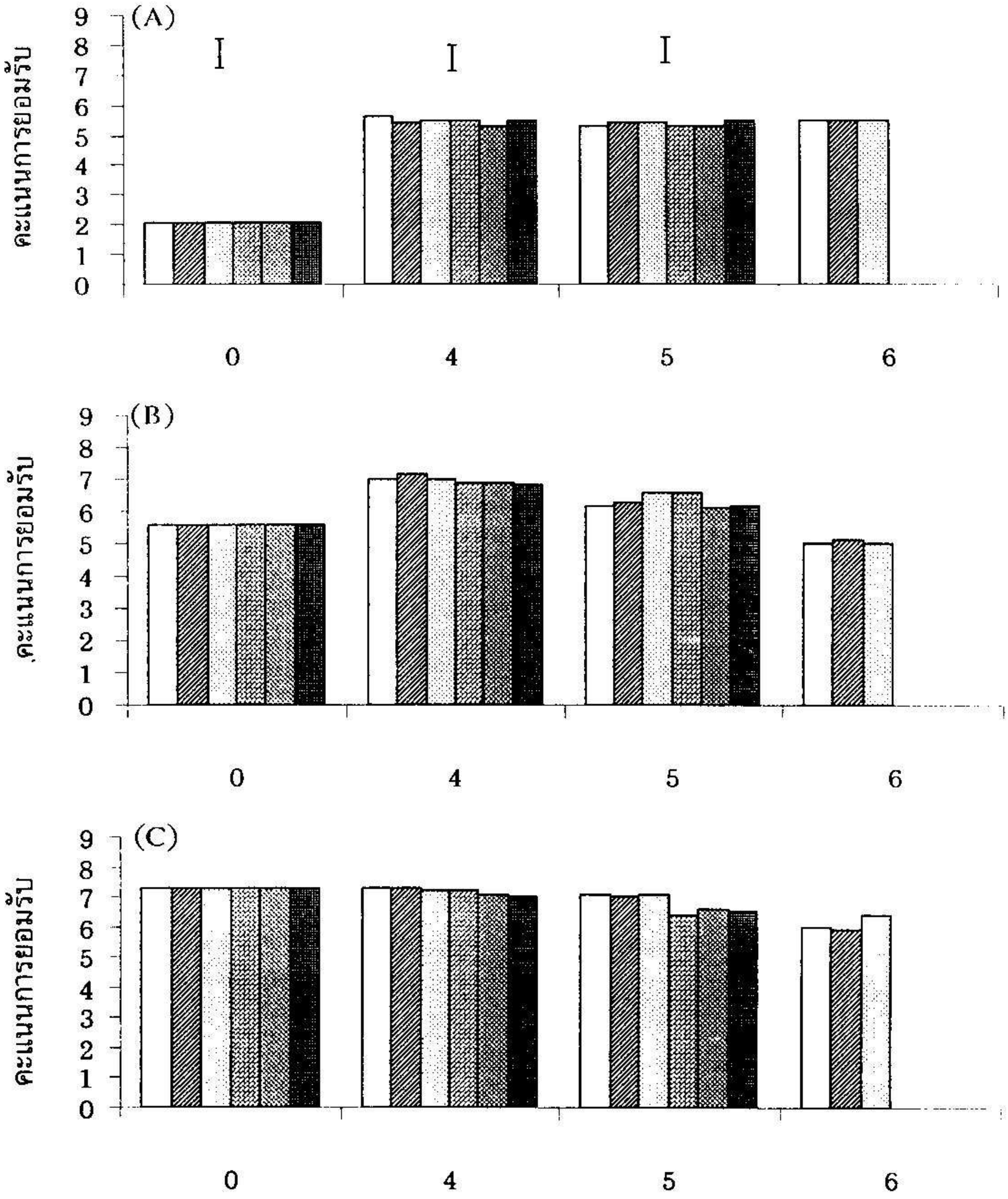
□ = 4 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▨ = 4 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

▨ = 6 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▩ = 6 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

▦ = 8 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▦ = 8 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

(คะแนนสูงสุดคือ 9 = ชอบมากที่สุด,.....,คะแนนต่ำสุด คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)

I = LSD 0.05



ภาพ 1.12 คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1 (A), ระดับสีที่ 2 (B) และระดับสีที่ 3 (C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณสาร $KMnO_4$ ระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา :

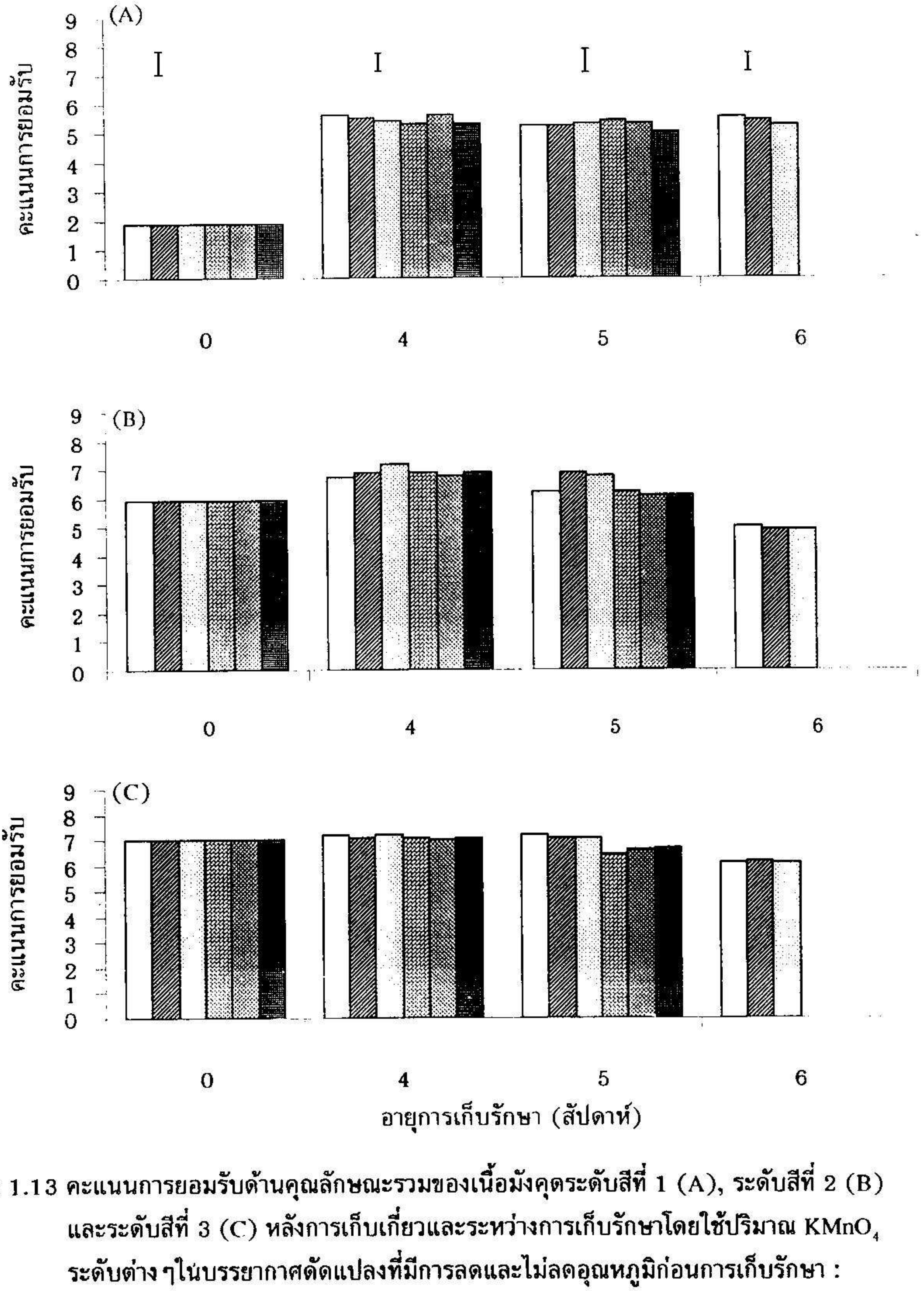
□ = 4 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▨ = 4 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

▨ = 6 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▩ = 6 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

▦ = 8 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▦ = 8 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

(คะแนนสูงสุดคือ 9 = ชอบมากที่สุด,.....,คะแนนต่ำสุด คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)

I = LSD 0.05



ภาพ 1.13 คะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวมของเนื้อมังคุดระดับสีที่ 1 (A), ระดับสีที่ 2 (B) และระดับสีที่ 3 (C) หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้ปริมาณ $KMnO_4$ ระดับต่าง ๆในบรรยากาศดัดแปลงที่มีการลดและไม่ลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา :

□ = 4 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▨ = 4 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

▨ = 6 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▩ = 6 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

▦ = 8 กรัม/มังคุด 20 ผล, ไม่ลดอุณหภูมิ ▦ = 8 กรัม/มังคุด 20 ผล, ลดอุณหภูมิ

(คะแนนสูงสุดคือ 9 = ชอบมากที่สุด,.....,คะแนนต่ำสุด คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)

I = LSD 0.05

1.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการกระตุ้นให้มังคุดสุก

วิธีดำเนินการวิจัย

เมื่อได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลมังคุดที่เก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา(5-6 สัปดาห์) สำหรับมังคุดที่ยังไม่สุก (สีผิวยังไม่พัฒนาถึงระดับที่สามารถรับประทานได้) จะนำมาศึกษาความเป็นไปได้ที่จะบ่มให้สุก โดยใช้ก๊าซอะเซทิลีนที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับความชื้นรอบๆ ผลมังคุดเป็นตัวกระตุ้นให้มีการสุก ในขั้นตอนการบ่มใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ปริมาณ 20 กรัมต่อมังคุด 1 กิโลกรัม ห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ วางในกล่องกระดาษลูกฟูกที่บรรจุมังคุด ซึ่งมีการรองพื้นกล่องด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ ในแต่ละกล่องจะบรรจุมังคุด 2 กิโลกรัม จึงใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ จำนวน 2 ห่อต่อ 1 กล่อง จากนั้นหุ้มผลมังคุดให้มิดชิดด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ ปิดฝากล่องนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งผิวสุกสม่ำเสมอ จึงนำออกมาประเมินผลเช่นเดียวกับข้อ (1.1)

ผลและวิจารณ์

มังคุดระดับสีที่ 1 เมื่อนำมาเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ ไม่สามารถพัฒนาสีผิวถึงระดับที่สามารถรับประทานได้ แต่เมื่อบ่มต่อด้วยก๊าซอะเซทิลีนที่อุณหภูมิห้อง พบว่าสามารถสุกได้ในเวลา 7 วัน ทำให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าหลังการเก็บเกี่ยว แต่ยังต่ำกว่ามังคุดระดับสีที่ 2 และ 3 ส่วนขั้วผลและกลีบเลี้ยงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและมีเส้นใยของเชื้อราปกคลุมอยู่เล็กน้อย ทำให้มังคุดระดับสีที่ 1 ไม่เหมาะที่จะเก็บเกี่ยวเพื่อเก็บรักษาโดยวิธีดัดแปลงบรรยากาศ

1.4 ผลของสารจิบเบอเรลลินที่มีต่ออายุการเก็บรักษาผลมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

นำผลมังคุดระดับสีผิวที่ 3 (ระยะสายเลือด) ตามดัชนีแสดงระดับสีของผลมังคุดของสถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2529) มาล้างทำความสะอาด แช่สารละลายเบนเลท อัตรา 1 กรัม/น้ำ 1 ลิตร เป็นเวลา 3 นาที ผึ่งให้ผิวแห้ง แล้วบรรจุตามชุดการทดลองซึ่งมีการวางแผนการ ทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยจัดชุดการทดลองแบบแฟกตอเรียล ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ดังนี้

1. ระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิน มี 3 ระดับ ได้แก่ 0, 100 และ 1000 พีพีเอ็ม
2. บริเวณที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินมี 2 ระดับได้แก่ ขั้วผล+กลีบเลี้ยง และบริเวณผิวผล
3. การใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีน ($KMnO_4$) มี 2 ระดับ ได้แก่

ไม่มี และมี ($KMnO_4$) ที่ระดับความเข้มข้น 4 กรัมต่อมังคุด 20 ผล

จาก 3 ปัจจัยสามารถจัดเป็นชุดการทดลองได้ทั้งหมด 12 ชุด ดังตาราง 1.10 แต่ละชุดทดลองนำมาบรรจุถุงพลาสติกโพลิเอทีลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (แอลดีพีอี) ที่มีความหนา 40 ไมครอน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85±5 ทำการประเมินผลโดยตรวจสอบคุณภาพของผลมังคุดสดทุก ๆ 1 สัปดาห์ ดังนี้คือ

1. คุณภาพทางกายภาพ
   - การสูญเสียน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักผลิตผลก่อนและหลังการทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาการสูญเสียน้ำหนัก
   - คะแนนการเปลี่ยนสีผิว ตามดัชนี 0-6 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2529)
   - คะแนนความสดของกลีบเลี้ยง 1-3 (วัลลภา ธีรภาวะ และคณะ, 2529)
   - ความแข็งของเปลือก โดยการใช้เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อ (Effegi)
2. คุณภาพทางเคมี
   - ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
   - ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand refractometer)
   - ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Titration method, AOAC, 1990)
   - ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด (Volumetric method ; AOAC, 1990)
3. คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อมังคุดเกี่ยวกับ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนแล้ว จำนวน 10 คน ให้คะแนนแบบ Hedonic scale ประกอบด้วย 9 ระดับคะแนน เมื่อระดับคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และระดับคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด (Larmond, 1977)

ตาราง 1.10 ชุดการทดลองทั้งหมดในการศึกษาผลของสารจิบเบอเรลลินที่มีต่ออายุการเก็บมังคุดสด โดยการดัดแปลงบรรยากาศ

บรรยากาศดัดแปลง ($KMnO_4$)	การได้รับสารจิบเบอเรลลิน	
	บริเวณของผลมังคุด	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)
ไม่มี $KmnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0
		100
		1000
	ผิวผล	0
		100
		1000
มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0
		100
		1000
	ผิวผล	0
		100
		1000

ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของสารจิบเบอเรลลิน ที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศภายใต้สภาวะที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน (แท่งชอล์คจุ่ม $KMnO_4$ ที่มีความเข้มข้น 4 กรัม/มังคุด 20 ผล) บรรจุในถุงพลาสติกโพลิเอทธิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำและมีความหนา 40 ไมครอน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 $\pm$ 5 ปรากฏผลดังนี้คือ

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ

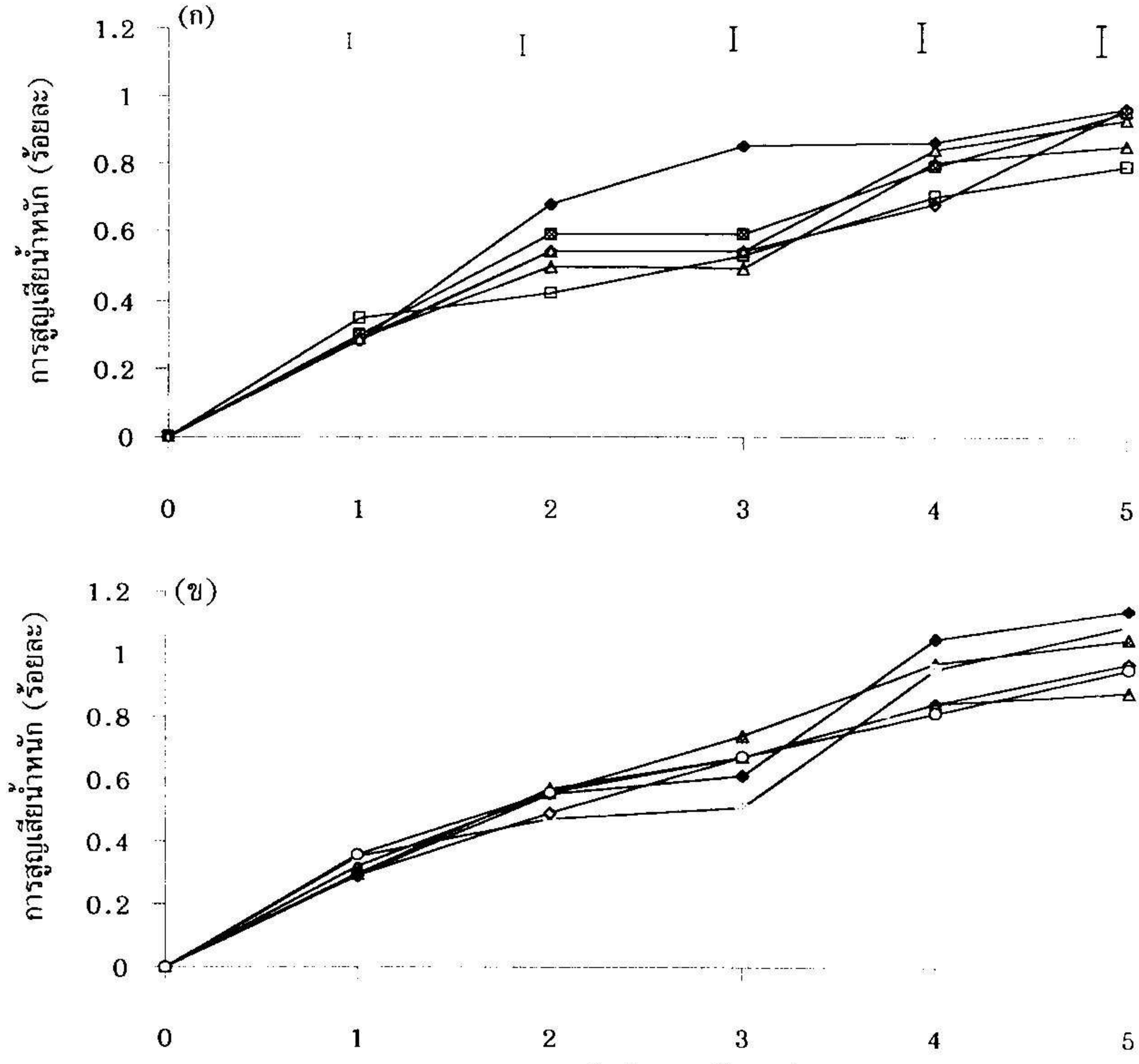
การสูญเสียน้ำหนัก การจุ่มผลมังคุดที่บริเวณขั้วผล+กลีบเลี้ยงและบริเวณผิวผล ในสารจิบเบอเรลลิน ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันที่ระดับ 0, 100 และ 1000 พีพีเอ็ม ไม่ทำให้การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดในทุกทรีตเมนต์แต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ภาพ 1.14) อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไปนานขึ้น ผลมังคุดมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นในทุกทรีตเมนต์ โดยที่การเก็บรักษาในสภาพที่มี $KMnO_4$ มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสภาพที่ไม่มี $KMnO_4$ สมโภชน์ น้อยจินดา (2535) ได้รายงานไว้ว่ามังคุดระดับสีที่ 3 (วัยสายเลือด) ภายหลังการเก็บเกี่ยวมาแล้วเป็นเวลา 1 วัน มีการผลิตก๊าซเอทธิลีนสูงถึง 10 ไมโครลิตร/ กิโลกรัม/ ชั่วโมง และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูงสุด (Climacteric peak) ในวันที่ 4 เป็น 15 ไมโครลิตร/กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งก๊าซเอทธิลีนมีบทบาทส่งเสริมให้มังคุดมีอัตราการ

หายใจสูงขึ้น และส่งผลให้ผลิตผลมีการคายน้ำมากขึ้น ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่า $KMnO_4$ ซึ่งทำหน้าที่ดูดซับก๊าซเอทธิลีน จึงมีผลช่วยชะลอการหายใจ ทำให้การสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นน้อยกว่าชุดการทดลองที่ไม่มี $KMnO_4$ สำหรับการใช้สารจิบเบอเรลลินที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันให้ผลดังนี้คือ ผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินที่ระดับความเข้มข้น 100 และ 1000 พีพีเอ็ม มีการสูญเสียน้ำหนักที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามังคุดที่ไม่ได้รับสารจิบเบอเรลลิน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fuchs และคณะ (1983) ที่รายงานว่า กรดจิบเบอเรลลิก สามารถลดอัตราการหายใจและการคายน้ำของผลิตผลได้ นอกจากนี้ในการทดลองนี้ยังพบว่าผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินที่บริเวณขั้วผล+กลีบเลี้ยง มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามังคุดที่ได้รับสารดังกล่าวที่บริเวณผิวผลในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้เนื่องมาจากกรดจิบเบอเรลลิกสามารถลดอัตราการคายน้ำ และชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ในขั้วผลและกลีบเลี้ยงของผลมังคุด ทำให้บริเวณดังกล่าวยังมีลักษณะเขียวสดอยู่ จากรายงานของ วัลลภา ธีรภาวะ และคณะ (2529) กล่าวว่า การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณกลีบเลี้ยง ดังนั้นการให้สารจิบเบอเรลลินที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง จึงมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าบริเวณผิวผล

การเปลี่ยนสีผิว ผลของการใช้สารจิบเบอเรลลินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่บริเวณขั้วผล+กลีบเลี้ยง และบริเวณผิวผลมังคุดที่เก็บรักษาภายใต้สภาพการดัดแปลงบรรยากาศ ที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน พบว่าไม่ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลมังคุดทุกชุดการทดลอง ในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมังคุดเริ่มต้นที่ระดับสีที่ 3 เปลี่ยนเป็นระดับสีที่ 4 (สีแดง) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ (ภาพ 1.15) และการใช้สารจิบเบอเรลลินที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันไม่มีผลต่อการชะลอการเปลี่ยนสีผิวของผลมังคุด อาจเป็นเพราะว่าเปลือก ของผลมังคุดมีการสร้างแอนโธไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุสีม่วงแดงขึ้นบดบังหรือข่มสีเขียวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีลักษณะด้อยกว่า

ความสดของกลีบเลี้ยง การใช้สารจิบเบอเรลลิน ที่ระดับความเข้มข้น 100 และ 1000 พีพีเอ็ม สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงความสดของกลีบเลี้ยงและสีเขียวของขั้วผลมังคุดได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้ใช้สารจิบเบอเรลลิน (ภาพ 1.16) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของกรดจิบเบอเรลลิก ที่สามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จึงทำให้บริเวณกลีบเลี้ยงมีความเขียวสดมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินที่บริเวณผิวผลมีการเหี่ยวของกลีบเลี้ยงมากกว่าชุดการทดลองที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของผิวเปลือกมังคุดมีไขปกคลุมอยู่ ซึ่งอาจทำให้การเคลื่อนที่ของกรดจิบเบอเรลลิกเป็นไปได้น้อยกว่าบริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง การเก็บรักษาผลมังคุดภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน ($KMnO_4$) จะช่วยทำให้สามารถรักษาความสดของกลีบเลี้ยง ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพที่ไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ $KMnO_4$ มีบทบาทในการชักนำเอนไซม์ Chlorophyllase ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Looney and Patterson, 1967 ; Shinnokawa *et al.*, 1978)

ความแข็งของเปลือก ผลการวัดค่าความแข็งของเปลือกผลมังคุด ที่ผ่านการจุ่มในสารละลายกรดจิบเบอเรลลิกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน แล้วนำมาเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน ($KMnO_4$) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 สัปดาห์ (ภาพ 1.17) พบว่า ความแข็งของเปลือกผลมังคุดทุกชุดการทดลองลดลงในช่วง 3 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย แต่ยังสามารถใช้มือบิดออกได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การเปลี่ยนแปลงของสารเพคตินในรูปไม่ละลายน้ำ ที่พบอยู่ในชั้นของ middle lamella ไปเป็นสารเพคตินในรูปที่ละลายน้ำได้ ทำให้เซลล์ที่เคยเกาะยึดกันแน่นในผลไม้ดิบ กลับมาอยู่ในสภาพที่เกาะกันอย่างหลวมๆ ในผลไม้สุก (Augustin and Azudin, 1986 ; Raynal *et al.*, 1989) นอกจากนี้ยังพบว่าผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลิน และเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มี $KMnO_4$ จะมีความแข็งของเปลือกต่ำกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้รับสารจิบเบอเรลลิน และไม่มี $KMnO_4$ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก $KMnO_4$ และกรดจิบเบอเรลลิก สามารถลดปริมาณหรืออัตราการผลิตก๊าซเอทธิลีน ซึ่งมีบทบาทส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคติน ได้แก่ polygalacturonase และ pectinesterase เป็นต้น จึงทำให้การอ่อนตัวของเปลือกช้าลง (Abeles, 1973)



ภาพ 1.14 การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล(ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 10°ซ

◆ = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

◇ = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

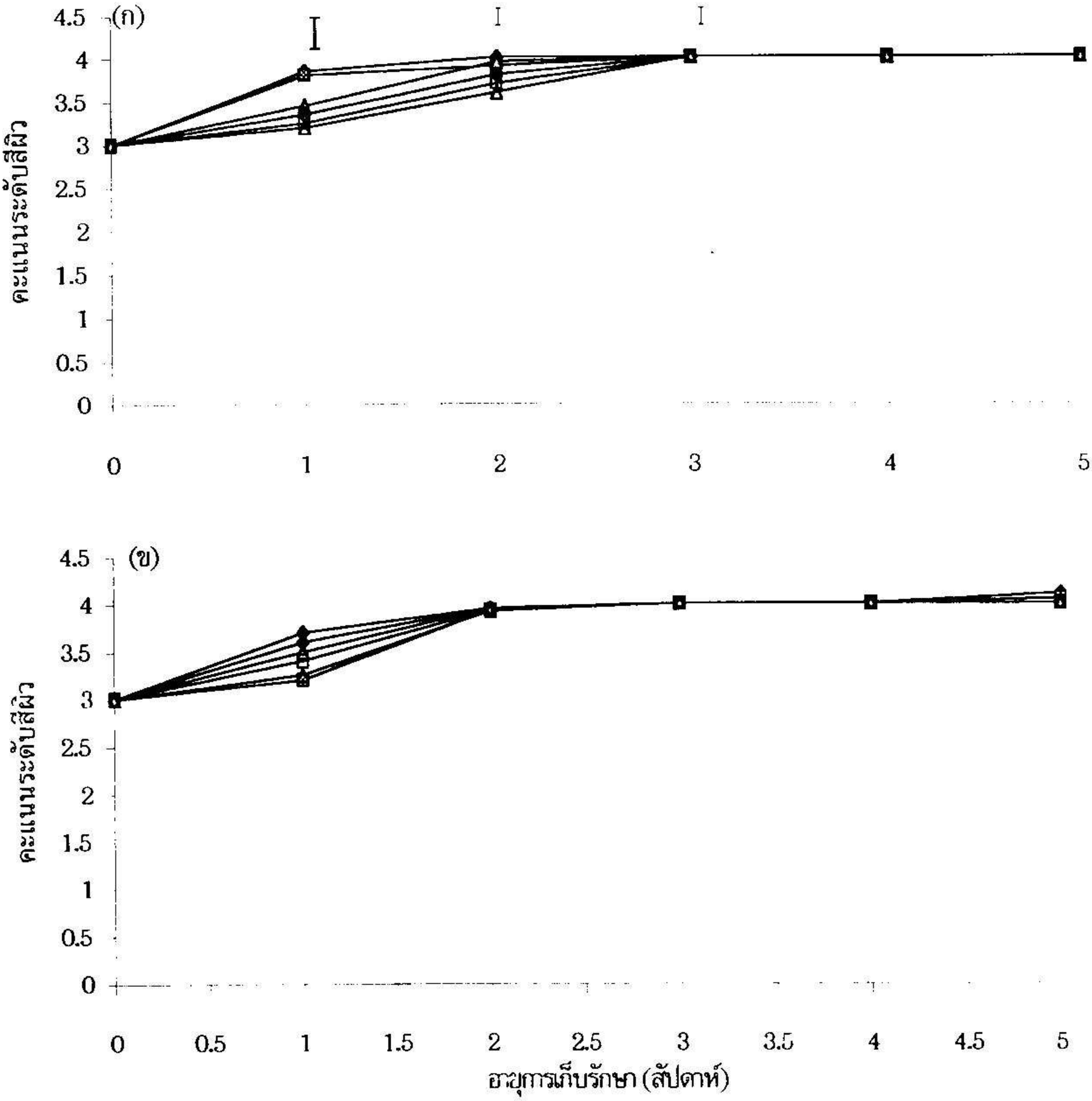
▲ = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

△ = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

● = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

○ = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

I = LSD 0.05



ภาพ 1.15 คะแนนระดับสีผิวของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล(ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 10°ซ

—◆— = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

—◇— = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

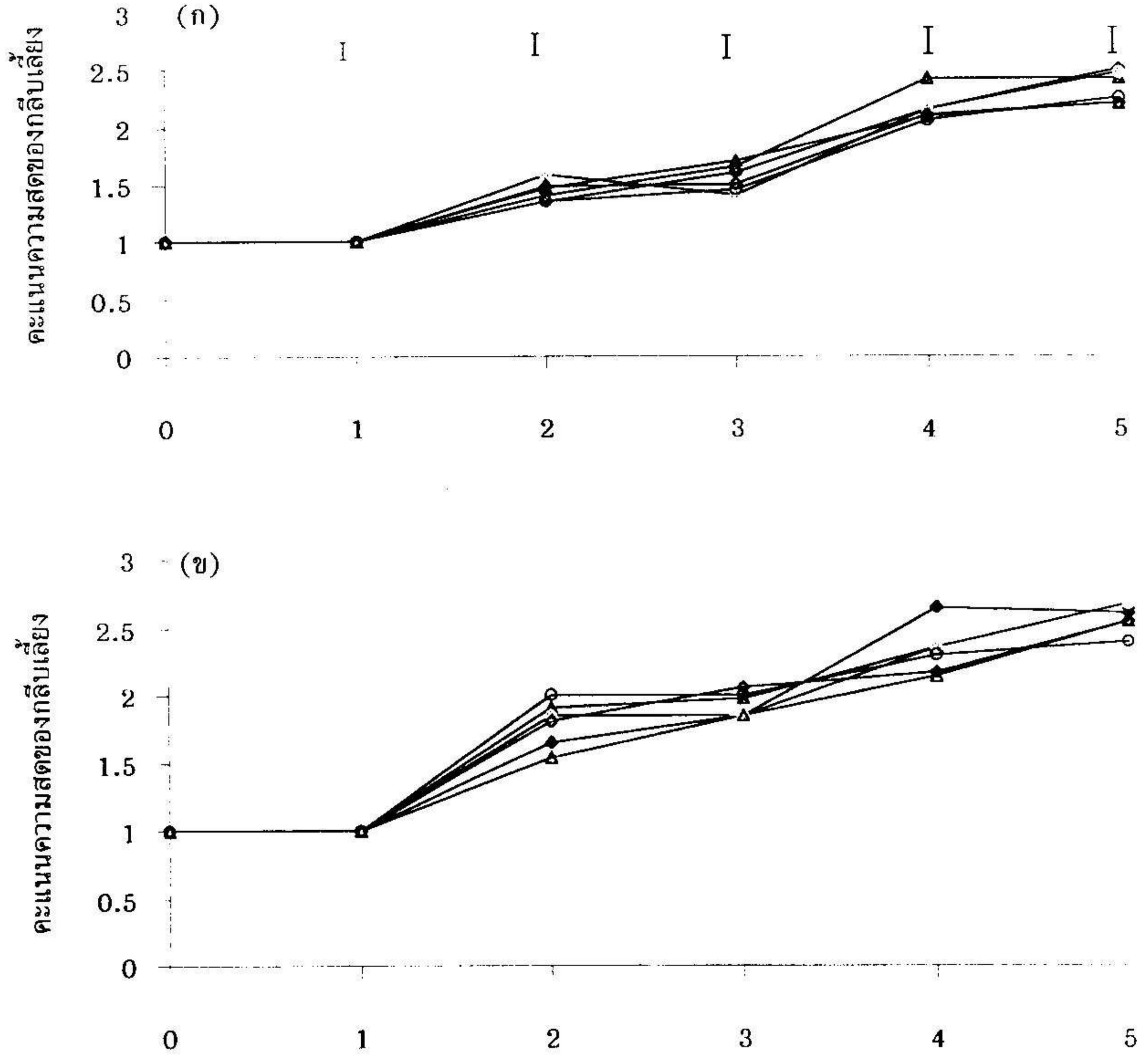
—▲— = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

—△— = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

—●— = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

—○— = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

I = LSD 0.05



ภาพ 1.16 คะแนนความสดกลีบเลี้ยงของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 10°ซ

—◆— = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

—◇— = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

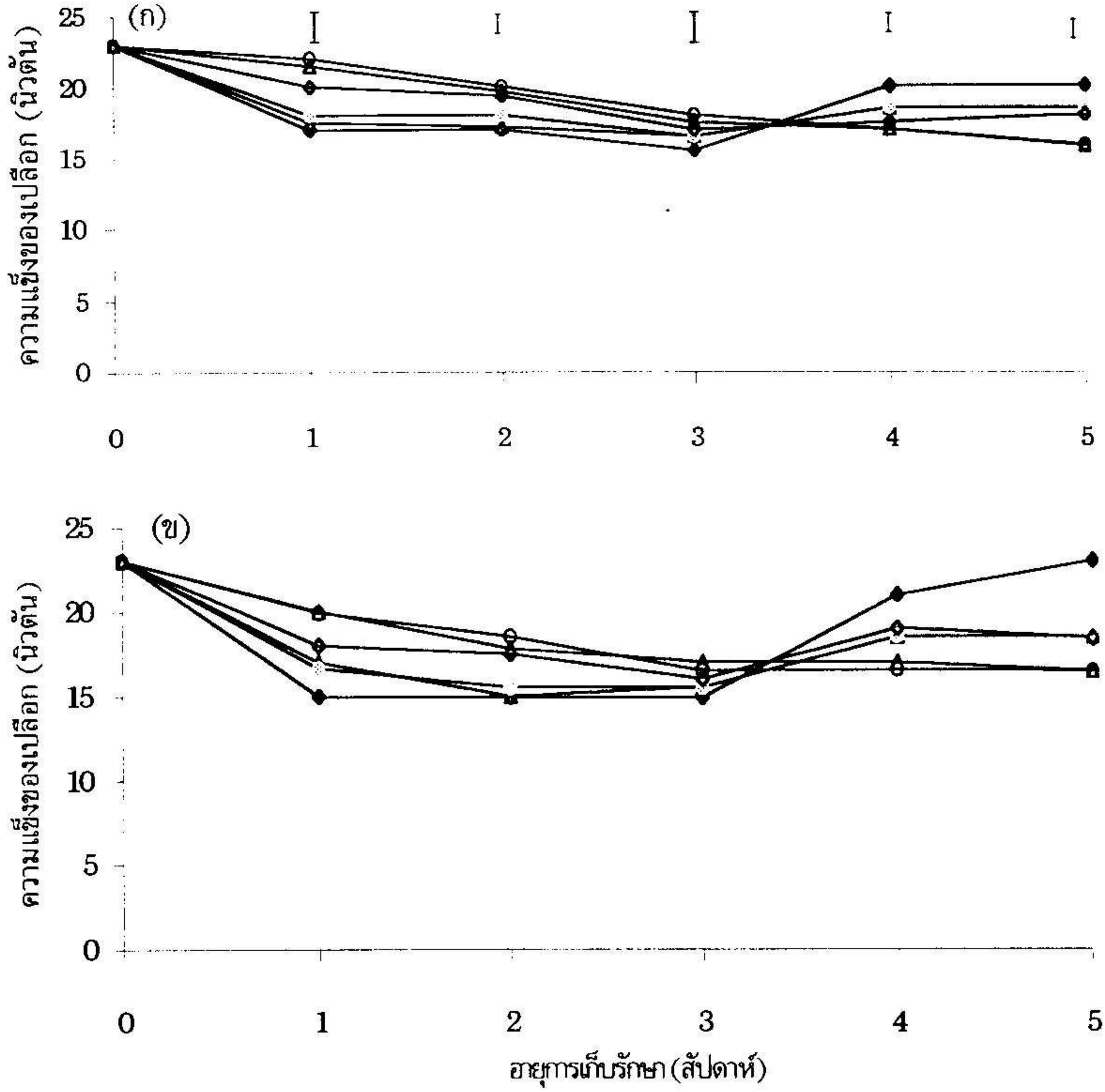
—▲— = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

—△— = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

—●— = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

—○— = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

I = LSD 0.05



ภาพ 1.17 ความแข็งของเปลือกของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 10°ซ

—◆— = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$ —◇— = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

—▲— = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$ —Δ— = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

—●— = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$ —○— = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

I = LSD 0.05

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลิน ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แล้วเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน ($KMnO_4$) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ (ตาราง 1.11-1.15) โดยพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีเพียงเล็กน้อย จนเกือบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลยโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณวิตามินซี (กรดแอสคอร์บิก) องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกอยู่ในช่วงร้อยละ 0.65-0.71 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีค่า 16.33-18.23 องศา บริกซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ในช่วงร้อยละ 15.11-21.36 และ 3.74-5.95 ตามลำดับ เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและน้ำตาลทั้งหมด มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำตาลและกรดบางส่วนถูกใช้ไปในการหายใจ ขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสในกระบวนการไฮโดรไลซีส ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตสซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น (Kawamata, 1977)

ตาราง 1.11 ปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนที่อุณหภูมิ 10°ซ

สภาพบรรยากาศดัดแปลง	การได้รับสารจิบเบอเรลลิน		ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)					
	บริเวณ	ความเข้มข้น พีพีเอ็ม	ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10°ซ สัปดาห์					
			0	1	2	3	4	5
ไม่มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	0.71^{ns}	0.71^{ns}	0.73^{ns}	0.69^{ns}	0.69	0.65 b
		100	0.71	0.71	0.73	0.69	0.67	0.70 a
		1000	0.71	0.74	0.74	0.69	0.70	0.71 a
	ผิวผล	0	0.71	0.69	0.72	0.67	0.66	0.66 b
		100	0.71	0.71	0.71	0.67	0.70	0.70 a
		1000	0.71	0.68	0.70	0.66	0.68	0.69 a
มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	0.71^{ns}	0.72^{ns}	0.71^{ns}	0.69^{ns}	0.70 a	0.66 b
		100	0.71	0.70	0.72	0.68	0.69 a	0.68 a
		1000	0.71	0.71	0.73	0.68	0.49 b	0.69 a
	ผิวผล	0	0.71	0.72	0.71	0.66	0.65 a	0.66 b
		100	0.71	0.72	0.70	0.67	0.68 a	0.68 a
		1000	0.71	0.70	0.70	0.66	0.67 a	0.66 b

*ค่าในสดมภ์เดียวกันของแต่สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตาราง 1.12 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกัน ระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนที่อุณหภูมิ 10°ซ

สภาพบรรยากาศดัดแปลง	การได้รับสารจิบเบอเรลลิน		ปริมาณกรดแอสคอบิก (ร้อยละ)					
	บริเวณ	ความเข้มข้น พีพีเอ็ม	ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10°ซ สัปดาห์					
			0	1	2	3	4	5
ไม่มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	0.64^{ns}	0.63^{ns}	0.63^{ns}	0.63^{ns}	0.63^{ns}	0.63^{ns}
		100	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
		1000	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
	ผิวผล	0	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
		100	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
		1000	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	0.64^{ns}	0.63^{ns}	0.63^{ns}	0.63^{ns}	0.63^{ns}	0.63^{ns}
		100	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
		1000	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
	ผิวผล	0	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
		100	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
		1000	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63

*ค่าในสดมภ์เดียวกันของแต่สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตาราง 1.13 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนที่อุณหภูมิ 10°ซ

สภาพบรรยากาศดัดแปลง	การได้รับสารจิบเบอเรลลิน		ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ร้อยละ)					
	บริเวณ	ความเข้มข้น พีพีเอ็ม	ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10°ซ สัปดาห์					
			0	1	2	3	4	5
ไม่มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	18.23^{ns}	17.07^{ns}	17.73^{ns}	17.47 a	17.33^{ns}	16.80^{ns}
		100	18.23	17.40	17.87	17.73 a	16.93	18.40
		1000	18.23	17.00	17.80	17.67 a	17.47	17.00
	ผิวผล	0	18.23	16.33	18.00	17.93 ab	17.53	16.80
		100	18.23	17.47	18.00	18.33 a	17.33	18.80
		1000	18.23	16.93	18.00	17.47 b	17.73	17.80
มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	18.23^{ns}	17.33^{ns}	17.40 a	17.13^{ns}	17.80 a	17.40^{ns}
		100	18.23	17.00	17.60 a	16.93	16.93 ab	18.00
		1000	18.23	16.80	17.53 a	17.73	16.80 b	16.40
	ผิวผล	0	18.23	17.67	18.47 a	17.33	17.40 a	18.00
		100	18.23	17.40	17.67 b	17.47	17.60 a	18.20
		1000	18.23	16.87	17.53 b	17.47	17.27 a	16.80

*ค่าในสดมภ์เดียวกันของแต่สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตาราง 1.14 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนที่อุณหภูมิ 10°ซ

สภาพบรรยากาศดัดแปลง	การได้รับสารจิบเบอเรลลิน		ปริมาณตาลทั้งหมด (ร้อยละ)					
	บริเวณ	ความเข้มข้น พีพีเอ็ม	ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10° สัปดาห์					
			0	1	2	3	4	5
ไม่มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	19.88^{ns}	17.80 a	17.77^{ns}	16.66 a	18.73 a	18.74^{ns}
		100	19.88	15.11 b	19.73	18.51 a	18.93 a	18.13
		1000	19.88	18.67 a	18.66	17.11 a	18.80 a	18.45
	ผิวผล	0	19.88	17.60 a	18.13	17.08 b	20.16 a	18.70
		100	19.88	18.01 a	19.15	18.73 ab	16.60 b	16.94
		1000	19.88	18.45 a	19.05	19.20 a	19.32 a	17.80
มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	19.88^{ns}	17.96^{ns}	21.36 a	17.85 ab	17.56^{ns}	18.31^{ns}
		100	19.88	18.27	16.91 b	18.13 a	18.39	18.45
		1000	19.88	16.46	14.91 b	15.95 b	18.50	17.53
	ผิวผล	0	19.88	18.87	19.85 a	19.05 a	21.13	16.69
		100	19.88	17.37	19.27 a	16.11 b	19.49	18.26
		1000	19.88	16.81	18.21 a	18.12 a	20.88	17.11

*ค่าในสดมภ์เดียวกันของแต่สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตาราง 1.15 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อมังคุดจากผลที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีนที่อุณหภูมิ 10°ซ

สภาพบรรยากาศดัดแปลง	การได้รับสารจิบเบอเรลลิน		ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)					
	บริเวณ	ความเข้มข้น พีพีเอ็ม	ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10°ซ สัปดาห์					
			0	1	2	3	4	5
ไม่มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	4.29^{ns}	4.93a	4.97^{ns}	4.92a	5.58a	5.27 a
		100	4.29	3.88 b	5.51	5.02 a	5.24 a	4.94 b
		1000	4.29	4.62 ab	5.95	5.32 a	5.55 a	4.33 c
	ผิวผล	0	4.29	4.84 a	5.04	4.36 b	5.21 a	5.05 a
		100	4.29	4.78 a	5.30	5.59 a	3.84 b	4.20 b
		1000	4.29	5.07 a	5.53	5.92 a	4.55 ab	3.73 c
มี $KMnO_4$	ขั้วผล+กลีบเลี้ยง	0	4.29^{ns}	4.53^{ns}	5.35^{ns}	5.41 a	5.15 a	4.43 b
		100	4.29	4.59	4.85	4.75 a	4.58 a	4.66 a
		1000	4.29	5.36	4.41	3.81 b	4.19 a	3.99 c
	ผิวผล	0	4.29	4.84	5.61	4.52 a	4.47 a	4.23 b
		100	4.29	4.51	5.07	3.74 a	4.09 a	4.53 a
		1000	4.29	4.21	4.98	3.97 a	4.66 a	3.79 c

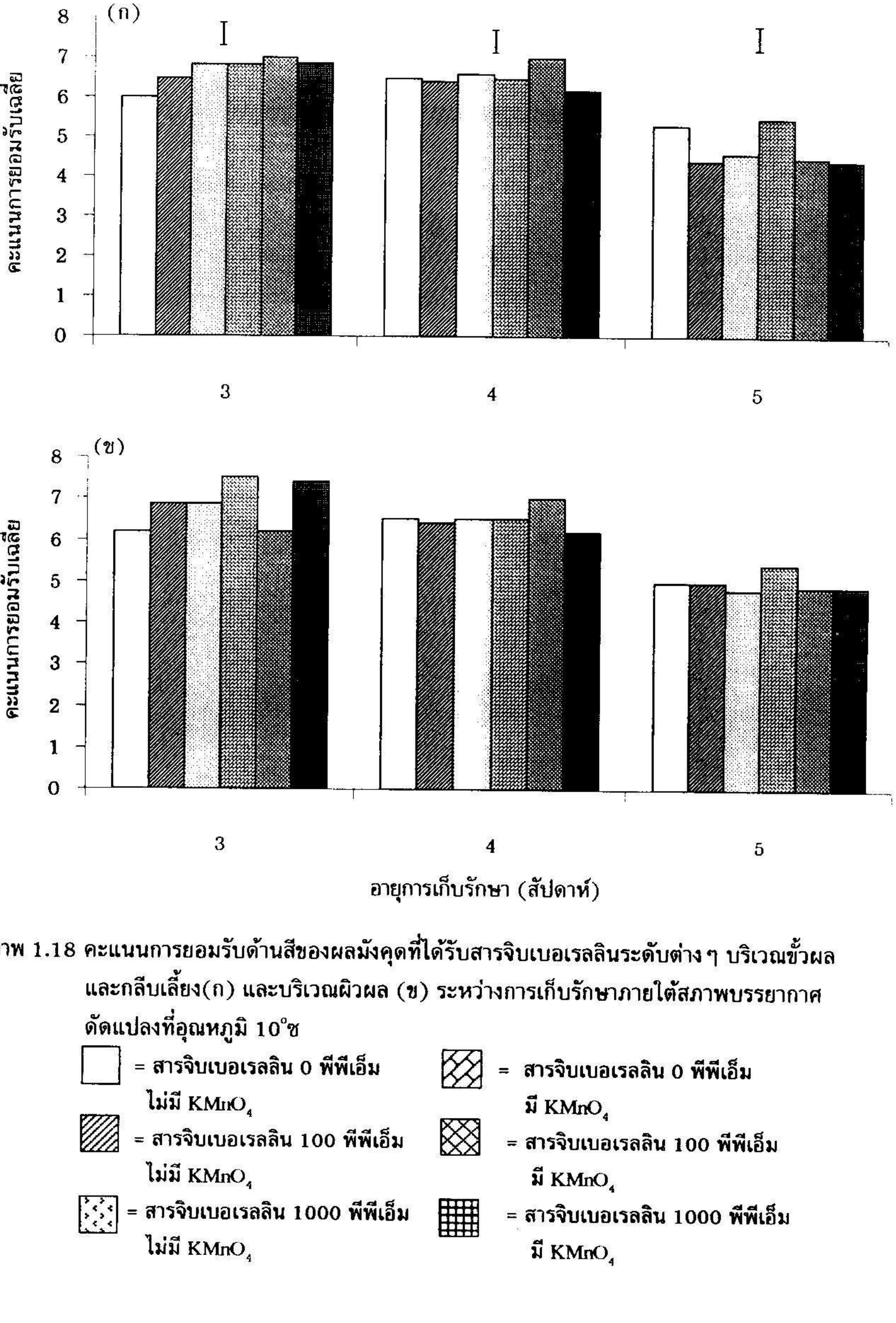
*ค่าในสดมภ์เดียวกันของแต่สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตผล ควรได้รับการประเมินการยอมรับของผู้บริโภคด้วย ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้ว 10 คน ระดับการยอมรับโดยทั่วไปมักใช้ระดับคะแนนที่ ≥ 5 (จากระดับคะแนน 1-9)

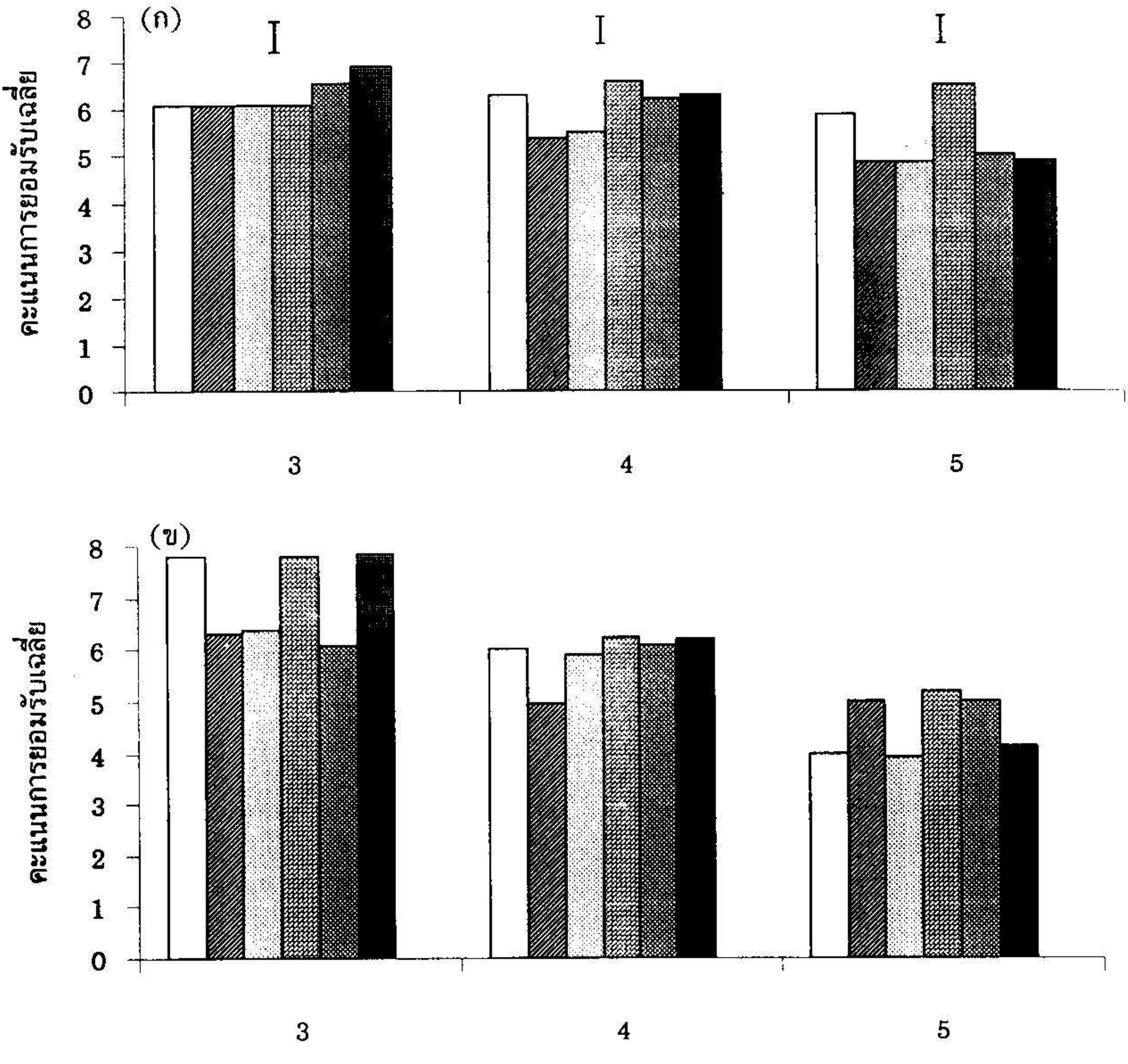
จากการศึกษาผลของสารจิบเบอเรลลินที่มีต่อการเก็บรักษาผลมังคุดโดยการดัดแปลงบรรยากาศในสภาพที่มีและไม่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน ($KMnO_4$) และอุณหภูมิ 10°ซ (ภาพ 1.18-1.21) การใช้สารจิบเบอเรลลินที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง และบริเวณผิวผล ไม่มีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดทุกชุดการทดลองในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษาแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามคะแนนการยอมรับมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จนถึง

สัปดาห์ที่ 5 คะแนนการยอมรับจะอยู่ที่ระดับ 4-6 ซึ่งจัดว่าผู้บริโภคยอมรับในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย หลังจากนั้น (สัปดาห์ที่ 6) ผู้บริโภคก็จะไม่ยอมรับ ดังนั้นจึงควรเก็บผลมังคุดได้เพียง 5 สัปดาห์เท่านั้น



ภาพ 1.18 คะแนนการยอมรับด้านสีของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผล และกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 10°ซ

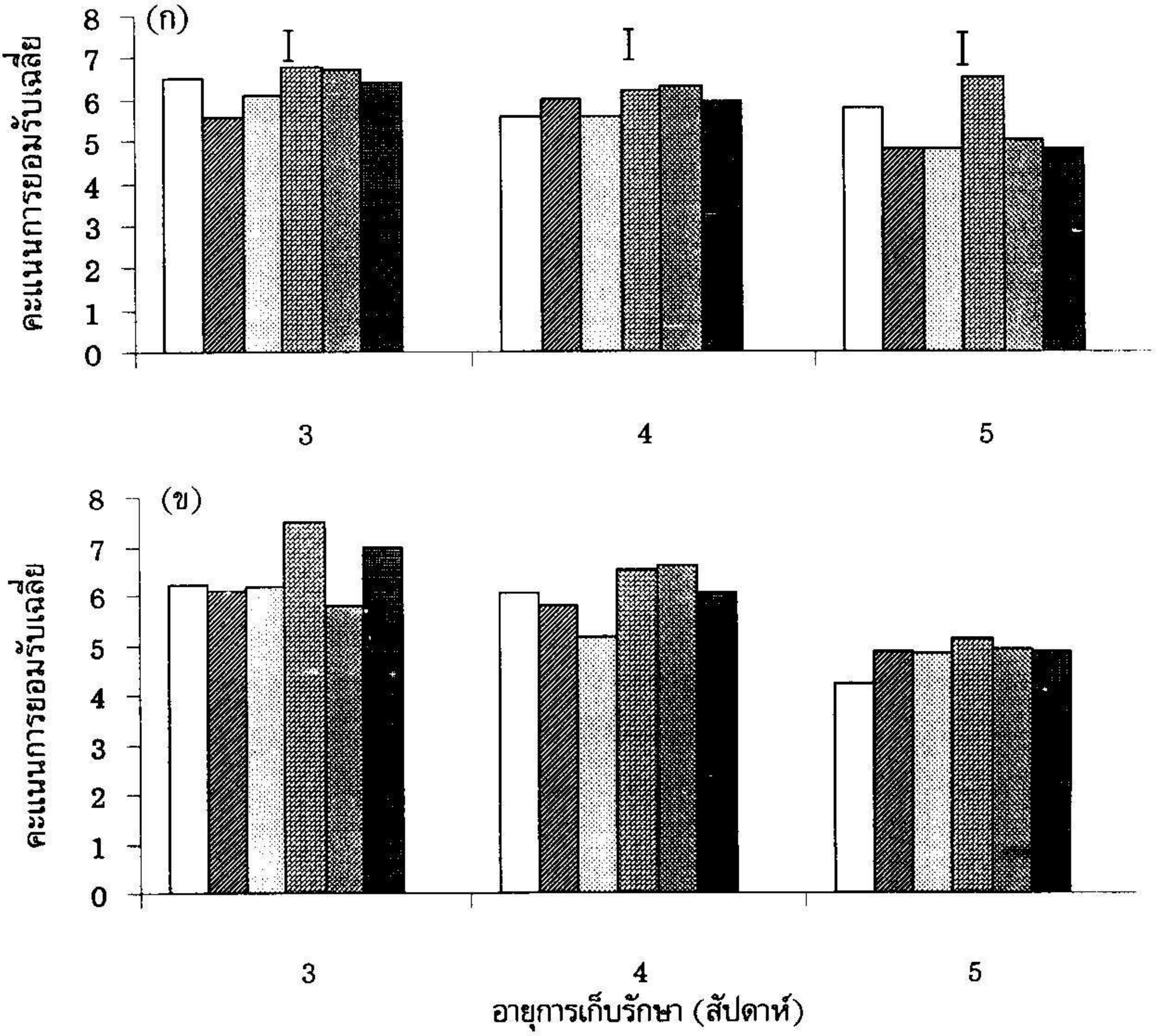
- = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$



ภาพ 1.19 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 10°ซ

- = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$
- = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

I = LSD 0.05



ภาพ 1.20 คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล(ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 10°ซ

□ =สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

▨ =สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

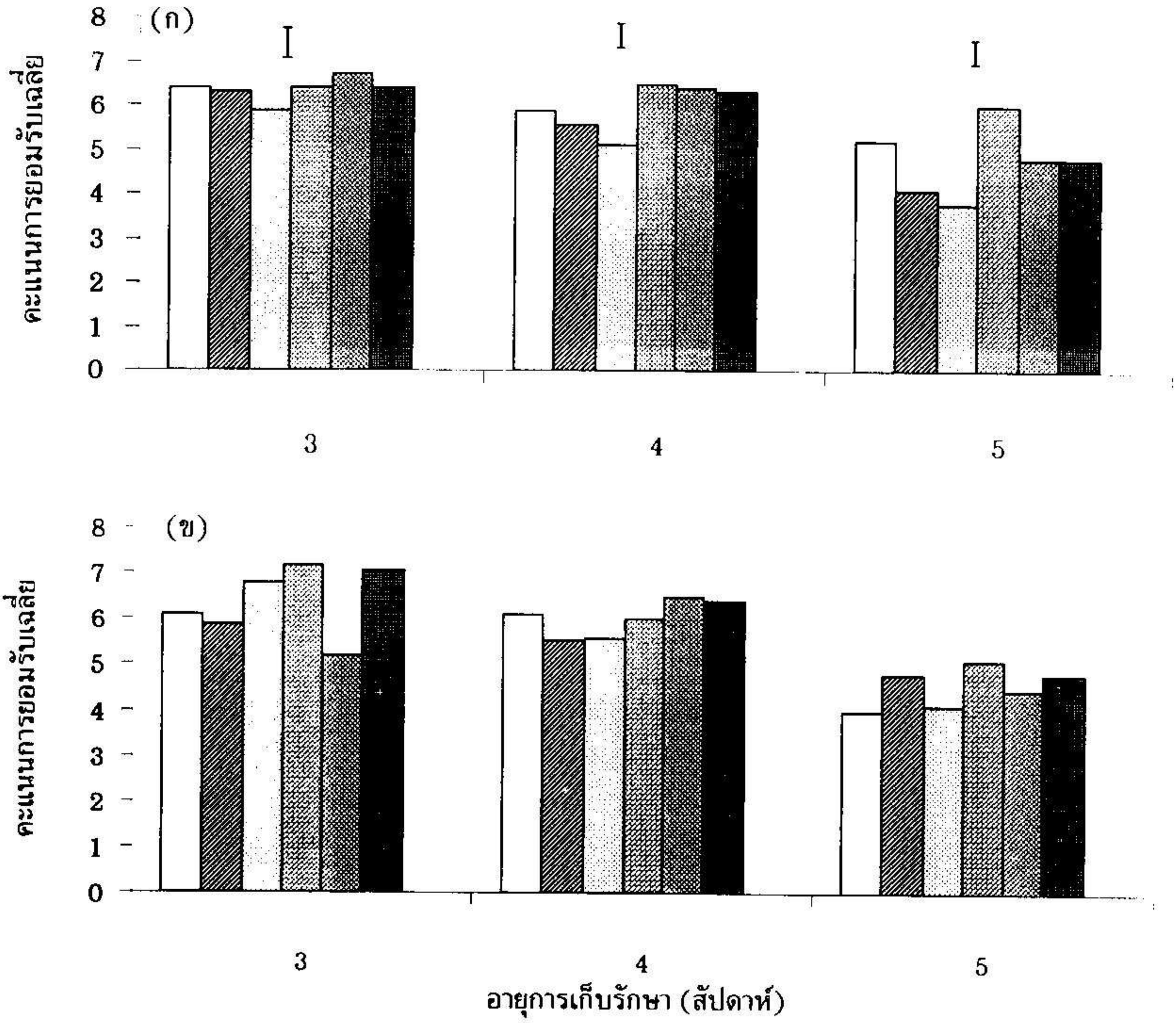
▩ =สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$

▨ = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

▩ = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

▦ = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

I = LSD 0.05



ภาพ 1.21 คะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวมของผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลินระดับต่าง ๆ บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง(ก) และบริเวณผิวผล (ข) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 10°ซ

- □ = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$
- ▨ = สารจิบเบอเรลลิน 0 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$
- ▨ =สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$
- ▨ = สารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$
- ▨ =สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม ไม่มี $KMnO_4$
- ▨ = สารจิบเบอเรลลิน 1000 พีพีเอ็ม มี $KMnO_4$

I = LSD 0.05

1.5 การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ย่อยต่อการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ย่อยต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศที่ได้พัฒนาแล้ว ปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย

1. การจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็มที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง
2. ชนิดของบรรจุภัณฑ์ย่อย
   - ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีที่มีความหนา 20 ไมครอน
   - ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีที่มีความหนา 20 ไมครอน
   - กล่องพลาสติกพีวีซีที่มีความหนา 160 ไมครอน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด และจัดชุดการทดลองแบบแฟกตอเรียล สามารถแบ่งชุดการทดลองออกได้เป็น 6 ชุด ดังแสดงในตาราง 1.16 ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ตามขั้นตอนดังแสดงในภาพ 1.22 และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมังคุดดังนี้

1. ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ย่อย

ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซจากแต่ละชุดการทดลองทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นเก็บทุก ๆ 7 วันจนครบ 5 สัปดาห์ ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเอทิลีน ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ที่งานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2. คุณภาพทางกายภาพของผลมังคุด

สุ่มตัวอย่างผลมังคุดจากแต่ละชุดการทดลองสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 1 บรรจุภัณฑ์ย่อยที่ประกอบด้วยมังคุด 6 ผล เพื่อตรวจสอบคุณภาพดังนี้

- การสูญเสียน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักผลิตผลก่อนและหลังการทดลองในแต่ละสัปดาห์ นำมาคำนวณการสูญเสียน้ำหนัก
- ค่าสีผิว โดยการใช้เครื่องวัดสี (JUKI Model JP 7001) และการให้คะแนนตามดัชนี

0-6 ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, (2529)

- ความสดกลีบเลี้ยง ให้คะแนนตามวิธีการของวัลลภา ธีรภาวะ และคณะ (2529)
- ความแข็งเปลือก โดยการใช้เครื่อง Fruit hardness tester

3. คุณภาพทางเคมีของเนื้อมังคุดและกลีบเลี้ยง

สุ่มตัวอย่างผลมังคุดแต่ละชุดการทดลองสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 1 บรรจุภัณฑ์ย่อยที่ประกอบด้วยมังคุด 6 ผล แยกเอากลีบเลี้ยงมารวมกันเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ (Whitham *et. al*, 1971) ส่วนของเนื้อมังคุดที่แยกได้นำมารวมกันเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี อย่างละ 2 ซ้ำ ดังต่อไปนี้

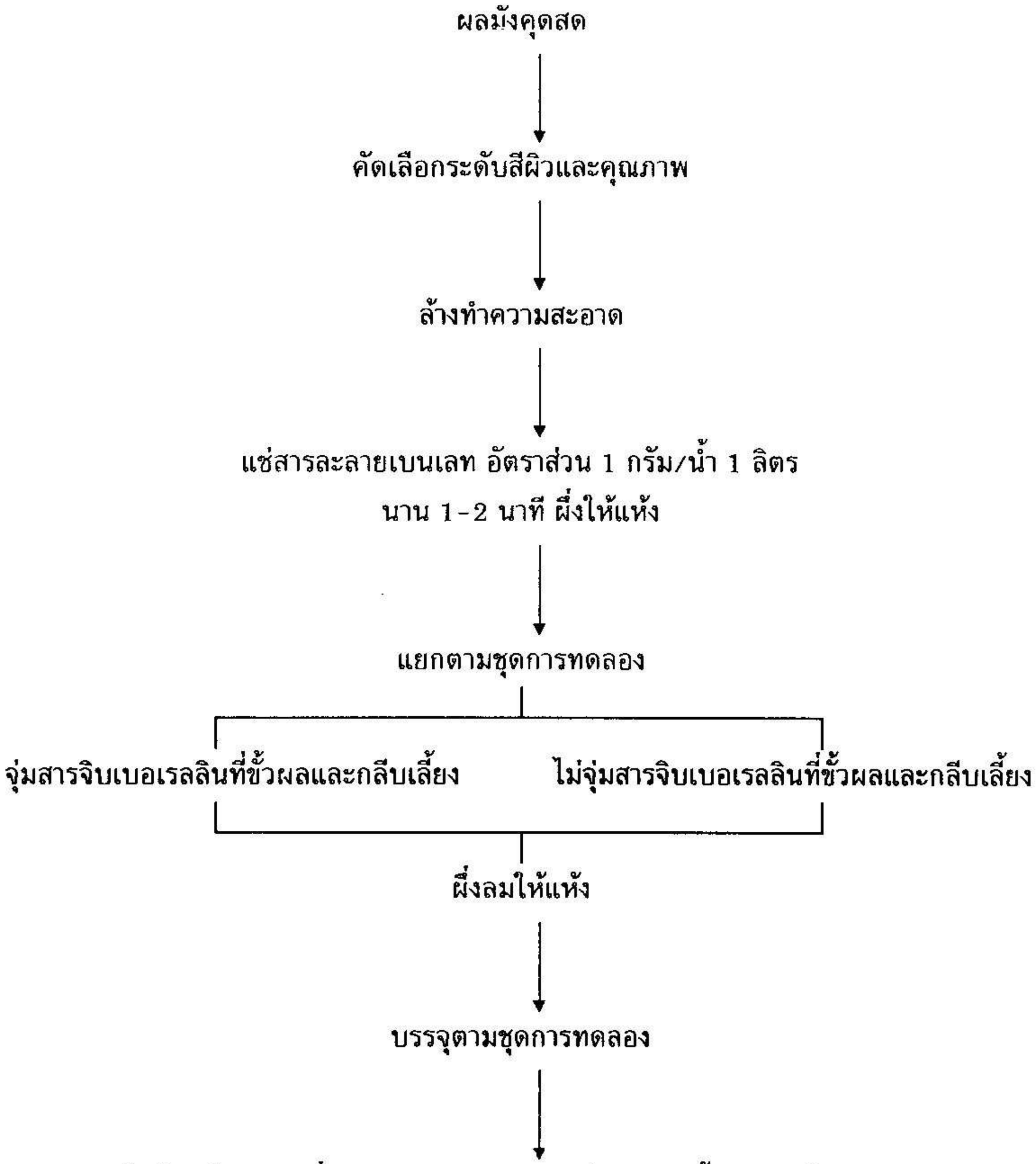
- ของแข็งที่ละลายได้ โดย Hand refractometer
- กรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก (Ranganna, 1977)
- กรดแอสคอร์บิก (Titration method; AOAC,1990)
- น้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ (Volumetric method ; AOAC 1990)

4. คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อมังคุดทุกชุดการทดลอง ในแต่ละสัปดาห์ของ การเก็บรักษา โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนแล้วจำนวน 10 คน ประเมินการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ Hedonic scale ที่ประกอบด้วย 9 ระดับคะแนน เมื่อระดับคะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด และระดับคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด (Larmond, 1977)

ตาราง 1.16 ชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ย่อยต่ออายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ

ชุดการทดลอง	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2
1	ไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลิน	ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี
2	ไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลิน	ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี
3	ไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลิน	กล่องพลาสติกพีวีซี
4	จุ่มสารจิบเบอเรลลิน	ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี
5	จุ่มสารจิบเบอเรลลิน	ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี
6	จุ่มสารจิบเบอเรลลิน	กล่องพลาสติกพีวีซี



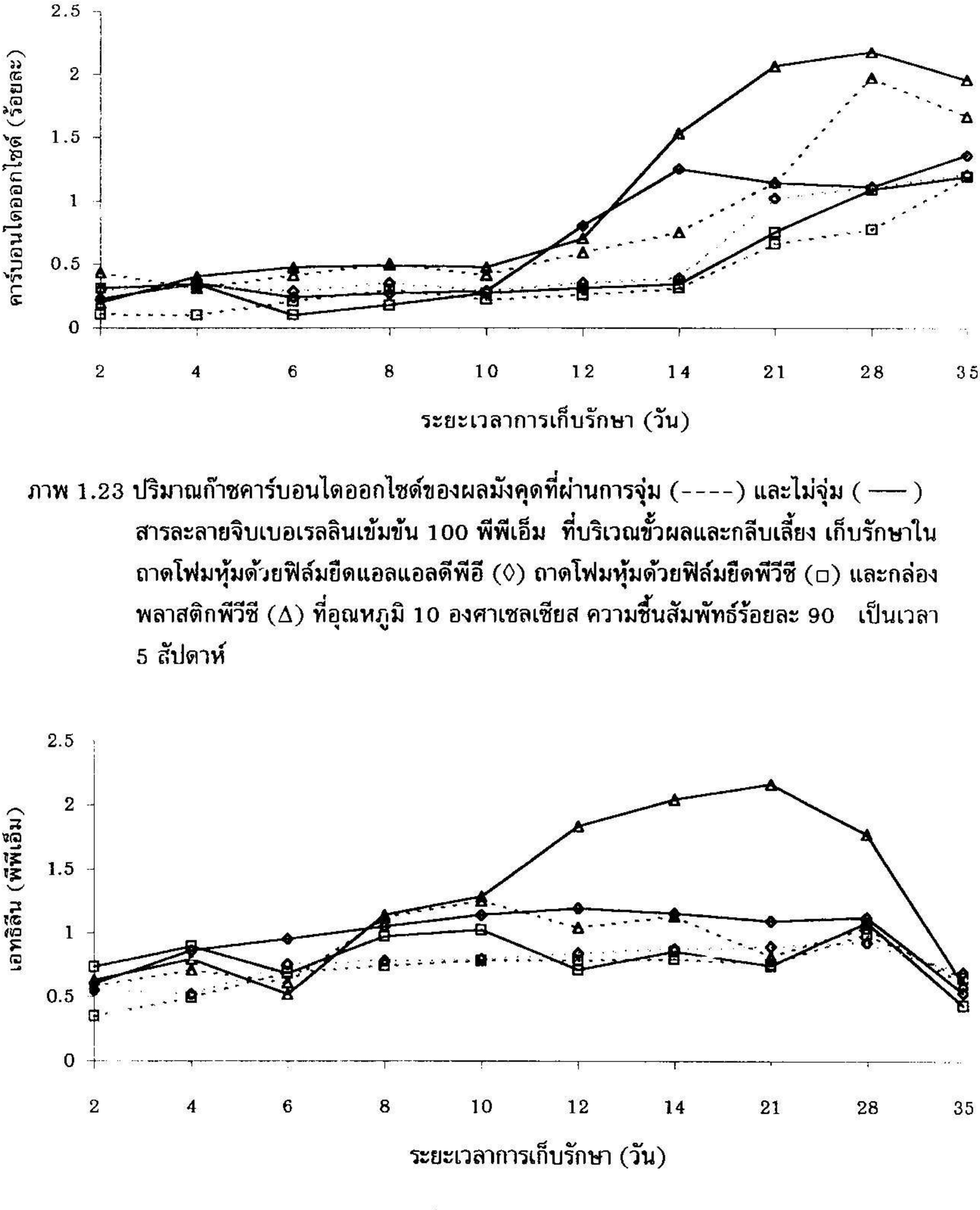
ภาพ 1.22 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ย่อยต่อการเก็บรักษาผลมังคุด โดยการดัดแปลงบรรยากาศ

ผลและวิจารณ์

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเอทิลีน (C_2H_4)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเอทธิลีนที่ผลมังคุดผลิตภายในบรรจุภัณฑ์ย่อยชนิดต่าง ๆ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผลมังคุดที่จุ่มขั้วผลและกลีบเลี้ยงด้วยสารจิบเบอเรลลิน เพิ่มสูงขึ้นในระดับที่ต่ำกว่าผลมังคุดที่ไม่ผ่านการจุ่มสารจิบเบอเรลลินเมื่อเปรียบเทียบในวิธีการบรรจุชนิดเดียวกัน ทั้งนี้เพราะสารจิบเบอเรลลินสามารถชะลอการหายใจของผลมังคุดได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสมโภชน์ น้อยจินดา (2535) ที่พบว่าผลมังคุดที่ได้รับสารจิบเบอเรลลิน 1,000 พีพีเอ็ม บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง มีระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นในระดับที่ต่ำกว่าผลมังคุดที่ไม่ผ่านการจุ่มสารจิบเบอเรลลิน นอกจากนี้ยังพบว่าผลมังคุดที่บรรจุในกล่องพลาสติกพีวีซี มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าผลมังคุดที่บรรจุถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี และถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี คือมีค่าร้อยละ 0.20-2.17, 0.23-1.36 และ 0.10-1.19 ตามลำดับ (ภาพ 1.23) ทั้งนี้เป็นเพราะกล่องพลาสติกพีวีซีมีความหนามากกว่าส่งผลให้มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนต่ำกว่าฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีและฟิล์มยืดพีวีซี ตามลำดับ (British Standard Institution, 1989) ทำให้ผลมังคุดใช้ก๊าซออกซิเจนที่บรรจุอยู่ภายในและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสะสมในภาชนะบรรจุเพิ่มขึ้น

ส่วนความเข้มข้นของก๊าซเอทธิลีนเป็นไปในทำนองเดียวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือพบว่าผลมังคุดที่จุ่มขั้วผลและกลีบเลี้ยงด้วยสารจิบเบอเรลลิน มีการสะสมก๊าซเอทธิลีนในระดับที่ต่ำกว่าผลมังคุดที่ไม่ผ่านการจุ่มสารจิบเบอเรลลินเมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกัน และผลมังคุดที่บรรจุในกล่องพลาสติกพีวีซีมีการสะสมก๊าซเอทธิลีนสูงกว่า ผลมังคุดที่บรรจุถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี และถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี คือมีค่า 0.52-2.04, 0.52-1.19 และ 0.35-1.08 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ภาพ 1.24) นอกจากนี้ยังพบว่า ผลมังคุดมีการสะสมก๊าซเอทธิลีนเพิ่มสูงขึ้นแล้วลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากผลมังคุดเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit (สมโภชน์ น้อยจินดา, 2535) มีระบบการผลิตก๊าซเอทธิลีนแบบ autocatalytic C_2H_4 producing คือสามารถผลิตก๊าซเอทธิลีนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลผลิตเข้าสู่กระบวนการสุก และลดลงหลังจากเข้าสู่ระยะ climacteric peak (สายชล เกตุษา, 2528)

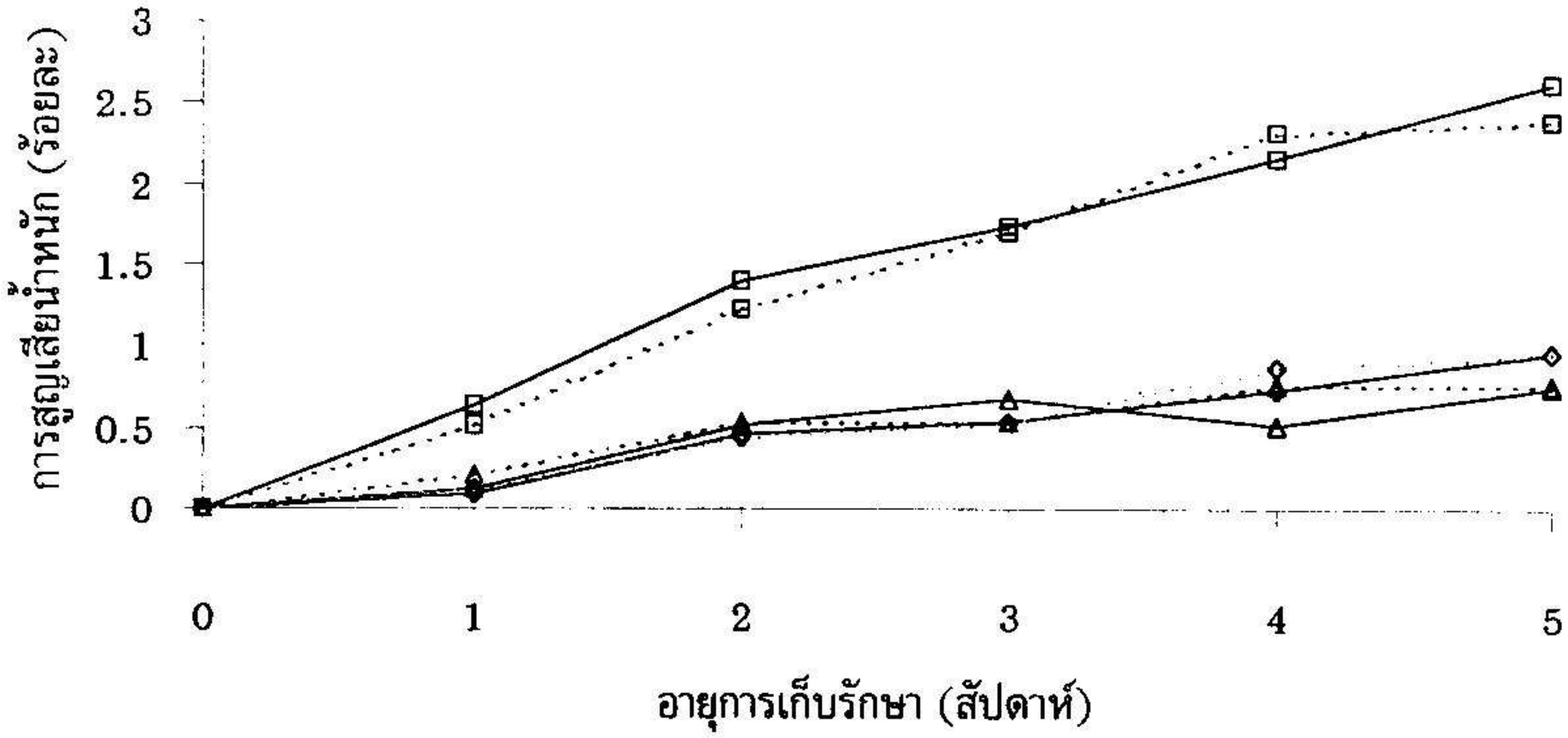


ภาพ 1.23 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่ม (----) และไม่จุ่ม (——) สารละลายจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (◊) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (□) และกล่องพลาสติกพีวีซี (Δ) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ภาพ 1.24 ปริมาณก๊าซเอทิลีนของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่ม (----) และไม่จุ่ม (——) สารละลายจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้ม ด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (◊) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (□) และกล่องพลาสติกพีวีซี (Δ) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

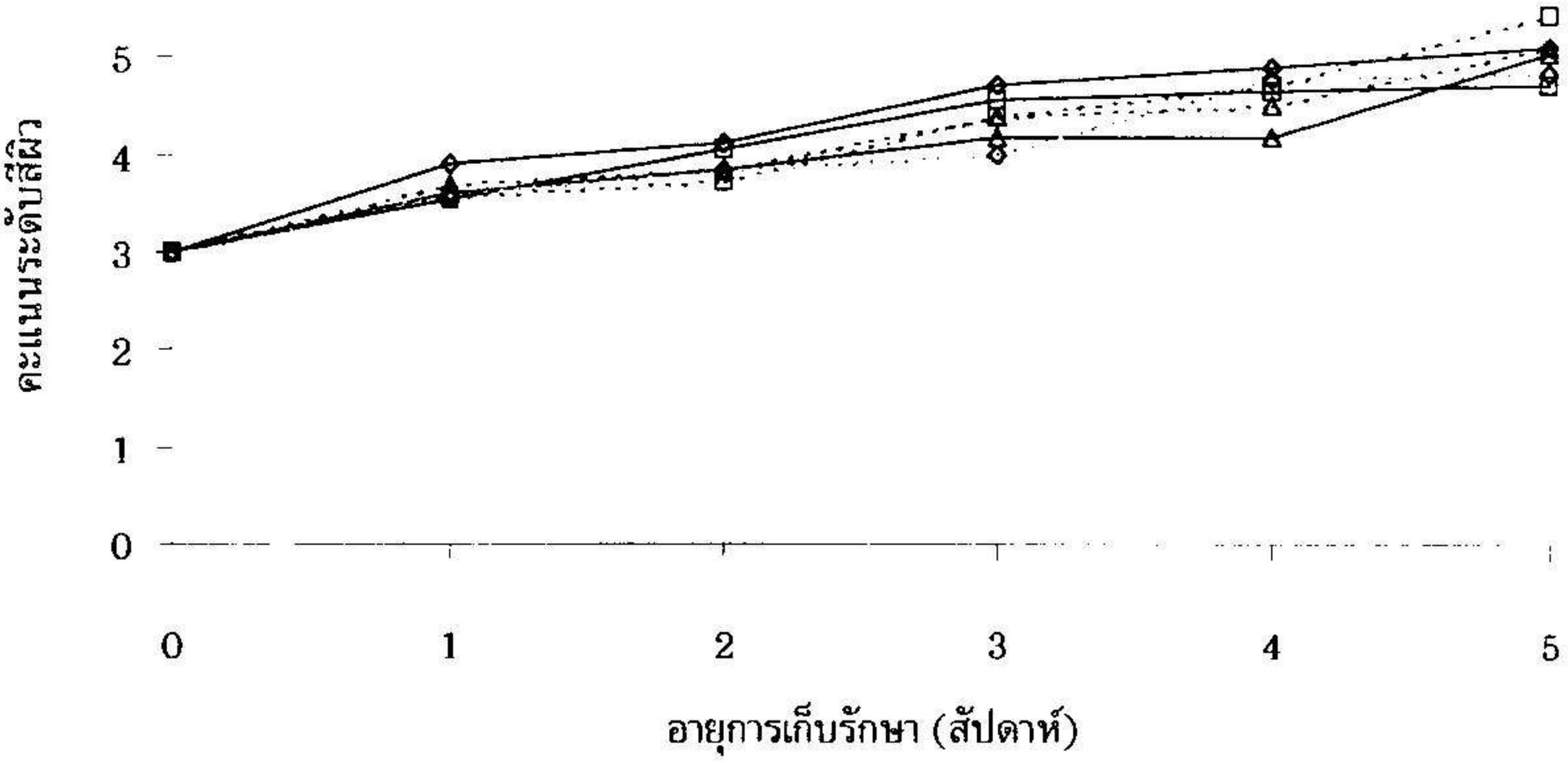
การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ

การสูญเสียน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นการสูญเสียน้ำหนักของมังคุดที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพ 1.25) และการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละสัปดาห์ของชุดการทดลองที่ใช้ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี ทั้งที่จุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินจะมีค่ามากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) จากชุดการทดลองที่ใช้ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีและกล่องพีวีซี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟิล์มยืดพีวีซีซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 30-40 กรัมต่อ 25 ไมครอน สูงกว่าฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีที่มีค่าเท่ากับ 15-20 กรัมต่อ 25 ไมครอนต่อตารางเมตรต่อวัน หากพิจารณาบรรจุภัณฑ์ที่ใช้วัสดุเดียวกันคือ กล่องพีวีซีและฟิล์มยืดพีวีซี พบว่าความหนาของแผ่นฟิล์มมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของมังคุด กล่าวคือ กล่องพีวีซีซึ่งมีความหนามากกว่าฟิล์มยืดพีวีซี อาจแสดงผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่า จึงทำให้การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดที่บรรจุในกล่องพีวีซีมีค่าน้อยกว่ามังคุดที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีในแต่ละสัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบผลของการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงของมังคุด ก่อนการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ พบว่าให้ผลการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษา ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกันมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการใช้สารจิบเบอเรลลิน



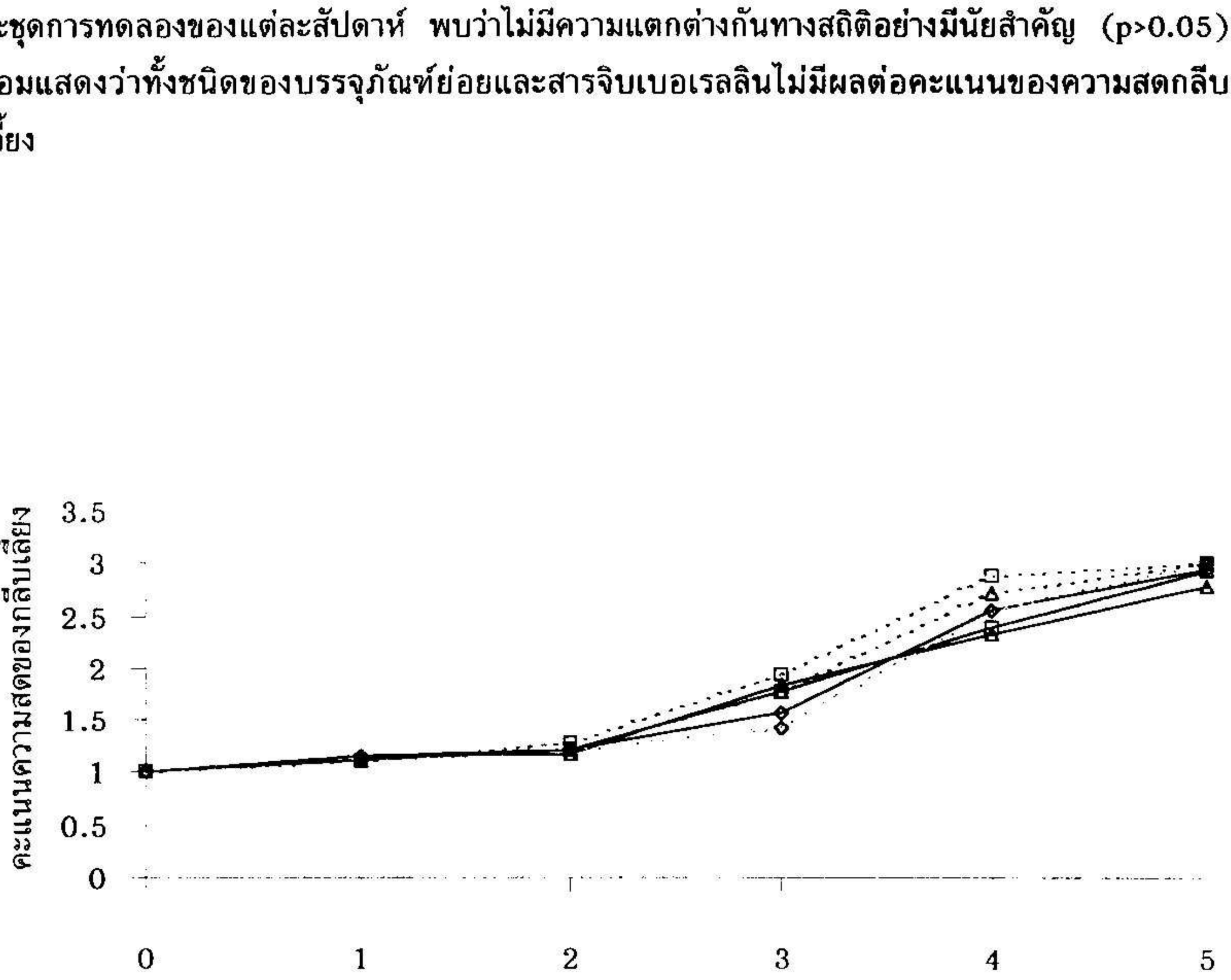
ภาพ 1.25 การสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่ม (----) และไม่จุ่ม (——) สารละลายจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (◊) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (□) และกล่องพลาสติกพีวีซี (Δ) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

การเปลี่ยนสีผิว จากผลการให้คะแนนระดับสีผิวของผลมังคุดที่จุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงของผลมังคุดก่อนการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกัน พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนสีผิวเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในทุกชนิดของบรรจุภัณฑ์ย่อย (ภาพ 1.26) เมื่อพิจารณาในแต่ละบรรจุภัณฑ์ย่อยพบว่าการเปลี่ยนสีผิวไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษา ส่วนการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงของมังคุด ก่อนการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ พบว่าแม้ว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ก็มีแนวโน้มว่า การจุ่มสารจิบเบอเรลลินมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากกรดจิบเบอเรลลิกมีผลทำให้การสลายตัวของคลอโรฟิลล์น้อยลง จึงทำให้การเปลี่ยนสีผิวของผลมังคุดเป็นไปอย่างช้าๆ ผลการให้คะแนนระดับสีผิวที่ได้ดังกล่าว สอดคล้องกับผลการวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง JUKI ที่พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่า L ซึ่งหมายถึงความสว่างของสีมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า a ซึ่งหมายถึงสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 3 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นจึงค่อยๆ ลดลงเนื่องจากสีผิวมีสีคล้ำลง ส่วนค่า b หมายถึงสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ตาราง 1.17)



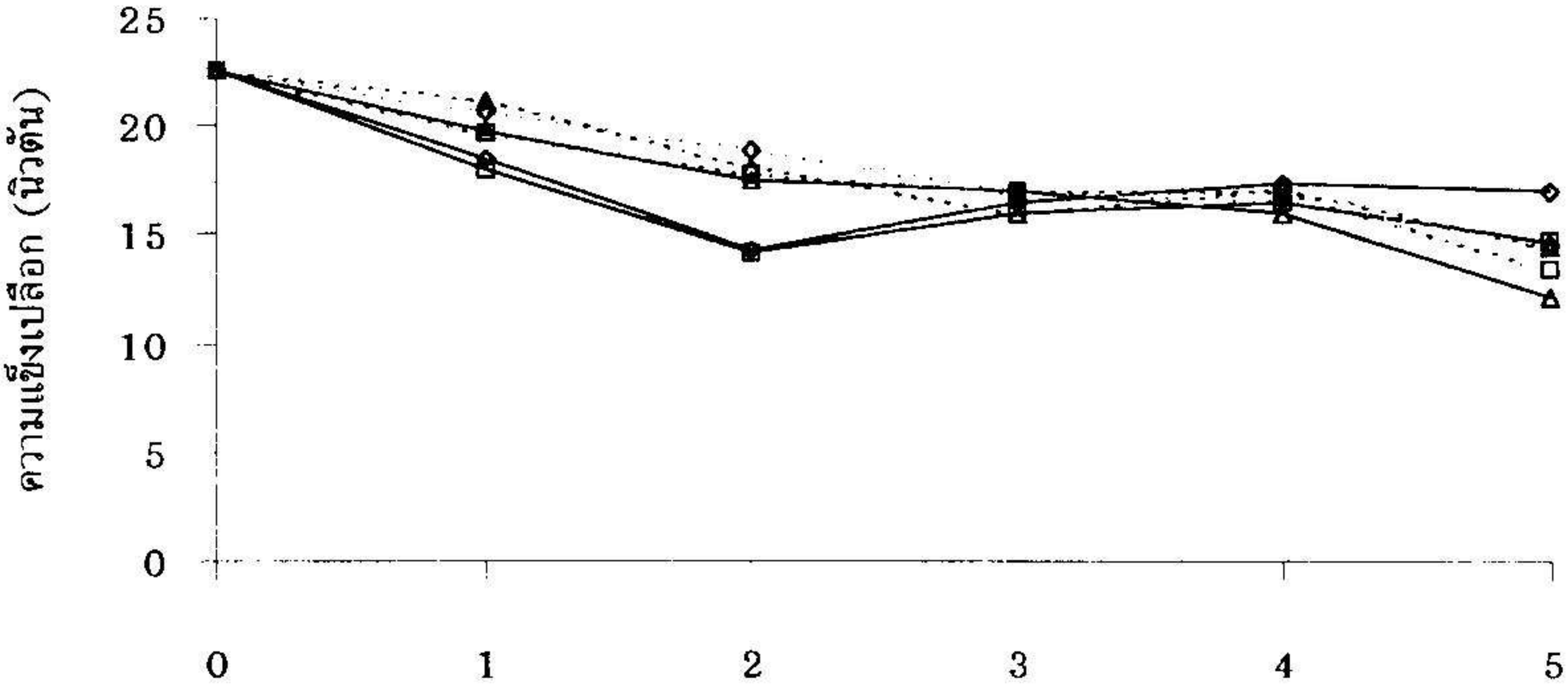
ภาพ 1.26 คะแนนระดับสีผิวของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่ม (----) และไม่จุ่ม (——) สารละลายจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (◊) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (□) และกล่องพลาสติกพีวีซี (Δ) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ความสดของกลีบเลี้ยง จากผลการให้คะแนนความสดกลีบเลี้ยงของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง แล้วเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยชนิดต่างกัน มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยใน 2 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งหมายถึงความสดของกลีบเลี้ยงมีลักษณะเหี่ยวเพิ่มมากขึ้นและมีสีเขียวออกน้ำตาลหรือสีน้ำตาล (ภาพ 1.27) เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละชุดการทดลองของแต่ละสัปดาห์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ย่อมแสดงว่าทั้งชนิดของบรรจุภัณฑ์ย่อยและสารจิบเบอเรลลินไม่มีผลต่อคะแนนของความสดกลีบเลี้ยง



ภาพ 1.27 คะแนนความสดกลีบเลี้ยงของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่ม (----) และไม่จุ่ม (——) สารละลายจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (◊) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (□) และกล่องพลาสติกพีวีซี (Δ) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ความแข็งเปลือก เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นแนวโน้มความแข็งเปลือกของผลมังคุดทุกชุดการทดลองลดลงทุกสัปดาห์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสารเพคตินจากรูปที่ไม่ละลายน้ำซึ่งพบอยู่ในชั้นของ middle lamella ไปเป็นสารเพคตินในรูปที่ละลายน้ำได้ ทำให้เซลล์ที่เคยยึดเกาะกันอย่างเหนียวแน่นในผลไม้ดิบเปลี่ยนมาอยู่ในสภาพที่มีการยึดเกาะกันอย่างหลวมๆ ในผลไม้สุก (Augustin and Azudin, 1986 ; Raynal *et al.*, 1989) โดยชุดการทดลองที่จุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงของผลมังคุด ก่อนการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ มีแนวโน้มความ
แข็งเปลือกที่สูงกว่า อาจเป็นเพราะว่าชุดการทดลองที่มีการจุ่มสารจิบเบอเรลลินต้องผ่านขั้นตอนการปฏิบัติที่มากกว่า ส่งผลให้ได้รับการกระทบกระเทือนมากกว่า (ภาพ 1.28)



ภาพ 1.28 ความแข็งเปลือกของผลมังคุดที่ผ่านการจุ่ม (----) และไม่จุ่ม (——) สารละลายจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (◊) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (□) และกล่องพลาสติกพีวีซี (Δ) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ตาราง 1.17 ค่า L, a และ b ของสีผิวมังคุดที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลิน 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2) และกล่องพีวีซี (P3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ความเข้มข้นจิบเบอเรลลิน (พีพีเอ็ม)	บรรจุภัณฑ์ย่อย	ค่าสีผิวมังคุด	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
			0	1	2	3	4	5
0	P1	L	17.66*	18.44	18.18	18.27	17.93	17.46
		a	1.78	2.07	2.16	2.25	2.16	1.87
		b	1.37	1.07	0.99	0.86	0.82	0.78
	P2	L	17.66	18.34	18.56	18.86	18.07	17.86
		a	1.78	2.35	1.51	2.03	2.35	2.05
		b	1.37	1.00	1.25	1.15	0.94	0.90
	P3	L	17.66	18.66	18.80	18.65	18.27	17.67
		a	1.78	2.02	2.30	2.25	2.48	1.70
		b	1.37	1.18	1.34	0.91	1.09	0.65
100	P1	L	17.66	18.94	18.72	18.56	18.09	18.20
		a	1.78	2.08	2.17	2.55	2.24	2.26
		b	1.37	1.21	1.29	1.20	0.94	0.84
	P2	L	17.66	18.54	18.77	18.56	17.99	17.63
		a	1.78	1.78	2.11	2.43	1.84	1.86
		b	1.37	1.10	1.29	1.14	0.81	0.73
	P3	L	17.66	18.83	18.80	18.31	18.23	18.01
		a	1.78	2.23	2.13	2.15	2.27	1.68
		b	1.37	1.32	1.32	0.92	0.95	0.94

*ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากเครื่องวัดสี JUKI ของมังคุด 6 ผล

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมังคุด จากผลมังคุดที่ไม่จุ่มและจุ่มสารละลายจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงก่อนการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยที่ต่างกัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเพียงเล็กน้อย (ตาราง 1.18-1.23) องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่กรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกมีค่าร้อยละ 0.57-0.83 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่า 15.2-17.6 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าร้อยละ 14.71-16.99 และ 3.08-4.77 ตามลำดับ

เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และน้ำตาลทั้งหมดลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำตาลและกรดบางส่วนถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ สำหรับกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.55-0.66 เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีความไวต่อการเสื่อมสลายซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสลายของกรดแอสคอร์บิก ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ก๊าซออกซิเจน เอนไซม์ ทองแดง เหล็ก และความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (Tennenbaum *et al.*, 1984) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่ง Kawamata (1977) ได้ให้เหตุผลไว้ว่าเกิดจากการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสในมังคุดด้วยกระบวนการย่อยสลาย (hydrolysis) ได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ในส่วนของกลีบเลี้ยงพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากปฏิกริยาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และการจุ่มสารจิบเบอเรลลินสามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าการไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลิน สังเกตุได้จากปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่คงเหลืออยู่ในชุดการทดลองที่ผ่านการจุ่มสารจิบเบอเรลลินมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการจุ่มสารจิบเบอเรลลิน แต่การใช้บรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกันไม่แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษา

ตาราง 1.18 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริกของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็มที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง และเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2) และกล่องพลาสติกพีวีซี (P3) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ความเข้มข้นจิบเบอเรลลิน (พีพีเอ็ม)	ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)					
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
		0	1	2	3	4	5
0							
	P1	0.72^{ns*}	0.74 b	0.77 a	0.71^{ns}	0.65 b	0.62 a
	P2	0.72	0.79 a	0.77 a	0.72	0.71 a	0.59 b
	P3	0.72	0.72 b	0.72 b	0.70	0.60 c	0.64 a
100							
	P1	0.72^{ns}	0.74 a	0.77 b	0.71^{ns}	0.69 ab	0.57 b
	P2	0.72	0.70 b	0.83 a	0.72	0.67 a	0.57 b
	P3	0.72	0.75 a	0.71 c	0.70	0.69 b	0.63 a

* ค่าในสดมภ์เดียวกันของการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P≥0.05)

ตาราง 1.19 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง และเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2)และกล่องพลาสติกพีวีซี (P3) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ความเข้มข้นจิบเบอเรลลิน (พีพีเอ็ม)	ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ) ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
		0	1	2	3	4	5
0							
	P1	0.56^{ns*}	0.57^{ns}	0.64^{ns}	0.66^{ns}	0.55^{ns}	0.55^{ns}
	P2	0.56	0.57	0.64	0.66	0.55	0.55
	P3	0.56	0.57	0.64	0.66	0.55	0.55
100							
	P1	0.56^{ns}	0.57^{ns}	0.64^{ns}	0.66^{ns}	0.55^{ns}	0.57^{ns}
	P2	0.56	0.57	0.64	0.66	0.55	0.57
	P3	0.56	0.57	0.64	0.66	0.55	0.57

* ค่าในสดมภ์เดียวกันของการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P≥0.05)

ตาราง 1.20 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณ ขั้วผลและกลีบเลี้ยง และเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2)และกล่องพลาสติกพีวีซี (P3) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ความเข้มข้นจิบเบอเรลลิน (พีพีเอ็ม)	ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
		0	1	2	3	4	5
0							
	P1	16.58^{ns*}	17.00 b	17.20 a	17.60 a	16.20 b	15.60^{ns}
	P2	16.58	17.20 a	16.80 b	16.80 b	16.20 b	15.20
	P3	16.58	16.55 c	16.60 c	16.60 b	16.40 a	15.60
100							
	P1	16.58^{ns}	17.20 a	17.20 a	17.00 b	17.40 a	15.60 b
	P2	16.58	17.00 b	16.88 b	17.00 b	16.50 c	15.30 b
	P3	16.58	16.90 b	16.40 c	17.20 a	16.80 b	16.00 a

* ค่าในสดมภ์เดียวกันของการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P≥0.05)

ตาราง 1.21 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง และเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2)และกล่องพลาสติกพีวีซี (P3)ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ความเข้มข้นจิบเบอเรลลิน (พีพีเอ็ม)	ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เฉลี่ย(ร้อยละ) ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
		0	1	2	3	4	5
0							
	P1	3.17^{ns*}	3.18 b	3.75 a	3.75 b	4.52 a	4.19 a
	P2	3.17	3.34 a	3.34 b	3.65 b	4.08 b	4.02 b
	P3	3.17	3.27 a	3.44 b	3.90 a	3.96 b	4.17 a
100							
	P1	3.17^{ns}	3.38 a	3.50 a	3.78 a	4.31 b	4.32 a
	P2	3.17	3.08 c	3.24 b	3.40 b	4.75 a	3.78 b
	P3	3.17	3.31 b	3.15 b	3.67 a	4.77 a	3.78 b

* ค่าในสดมภ์เดียวกันของการจุ่มและไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลินที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P≥0.05)

ตาราง 1.22 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อมังคุดจากผลที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผล และกลีบเลี้ยงและเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2)และกล่องพลาสติกพีวีซี (P3) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ความเข้มข้นจิบเบอเรลลิน (พีพีเอ็ม)	ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย (ร้อยละ)					
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
		0	1	2	3	4	5
0							
	P1	15.48^{ns*}	16.66 ab	16.18 b	15.83 b	16.15 b	15.11 b
	P2	15.48	16.50 b	16.28 b	16.38 a	16.96 a	14.99 b
	P3	15.48	16.83 a	16.77 a	16.19 ab	15.40 c	15.44 a
100							
	P1	15.48^{ns}	16.99 a	16.59 a	16.25 b	16.34 a	15.03^{ns}
	P2	15.48	15.28 b	15.25 b	15.30 c	15.41 c	14.71
	P3	15.48	16.69 a	16.38 a	16.67 a	15.97 b	14.99

* ค่าในสดมภ์เดียวกันของการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P≥0.05)

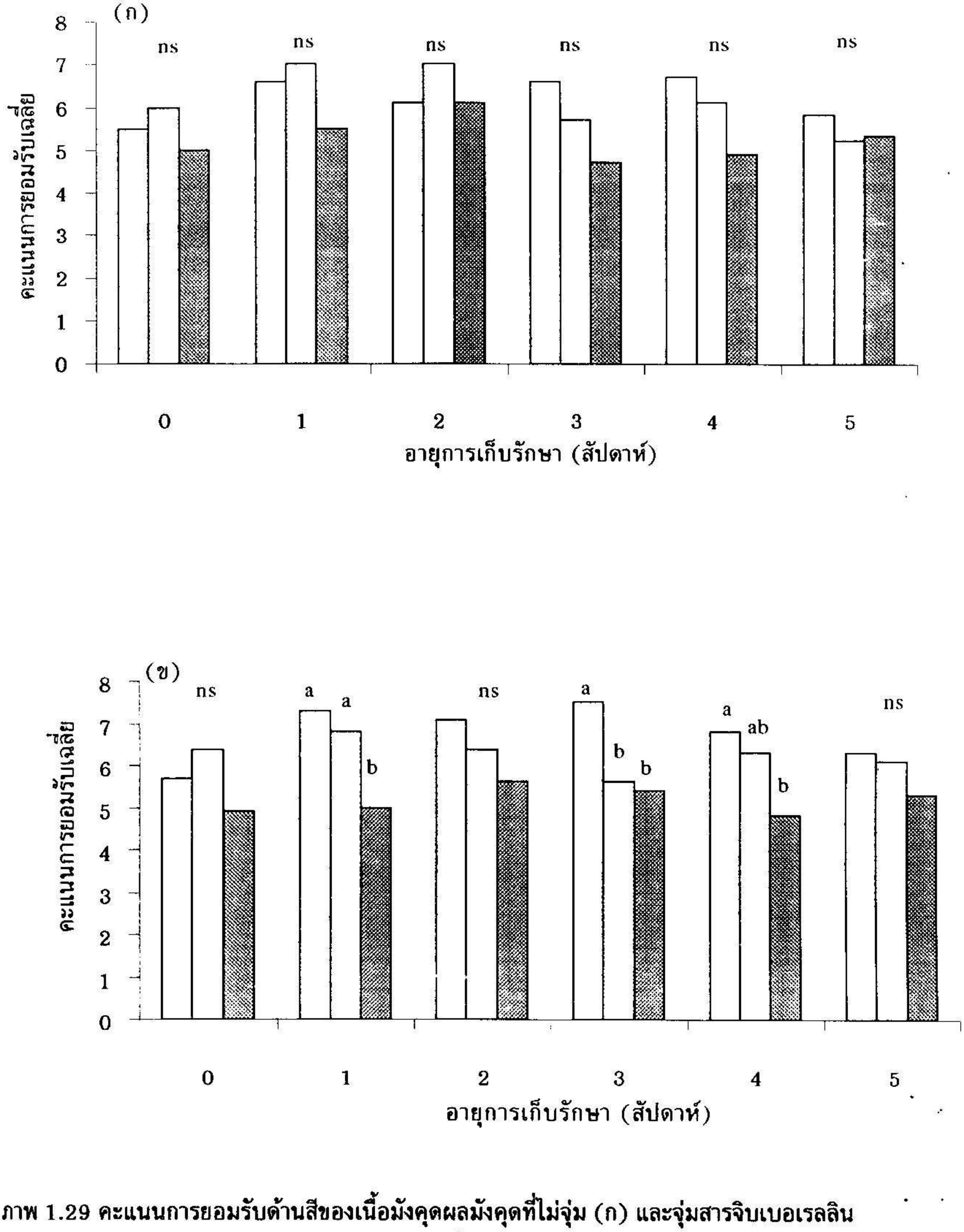
ตาราง 1.23 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในกลีบเลี้ยงของมังคุดที่ผ่านการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง และเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (P1) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (P2)และกล่องพลาสติกพีวีซี (P3) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

ความเข้มข้นจิบเบอเรลลิน (พีพีเอ็ม)	ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเฉลี่ย (ร้อยละ)					
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
		0	1	2	3	4	5
0							
	P1	0.97^{ns*}	1.08^{ns}	1.09^{ns}	0.54^{ns}	0.39^{ns}	0.21^{ns}
	P2	0.97	0.87	0.74	0.42	0.39	0.34
	P3	0.97	0.73	0.64	0.50	0.39	0.35
100							
	P1	0.97^{ns}	1.04^{ns}	0.95^{ns}	0.85^{ns}	0.72^{ns}	0.66^{ns}
	P2	0.97	0.92 b	0.88	0.73	0.70	0.64
	P3	0.97	1.04 b	0.84	0.74	0..69	0.57

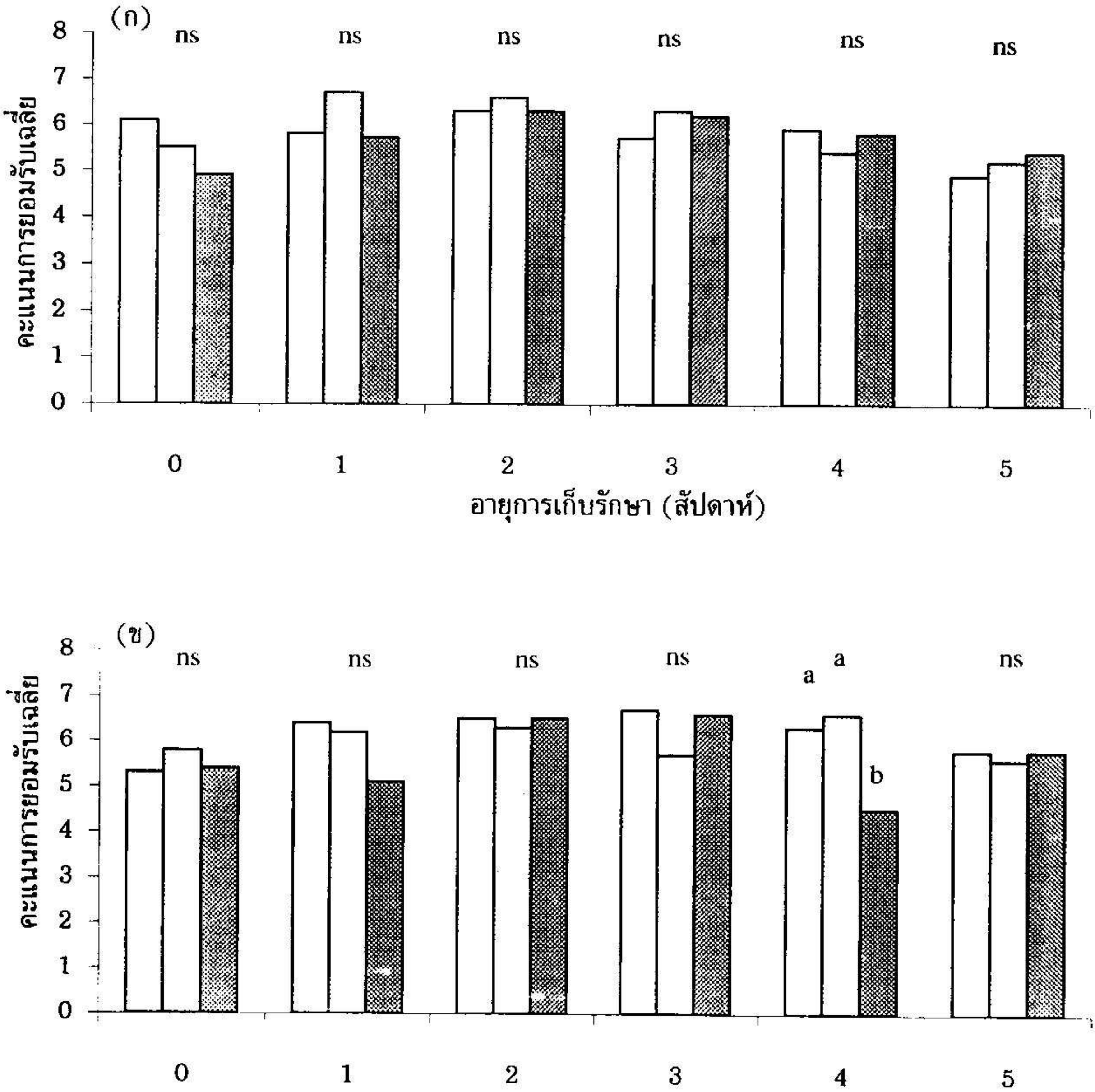
* ค่าในสดมภ์เดียวกันของการไม่จุ่มและจุ่มสารจิบเบอเรลลินที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส

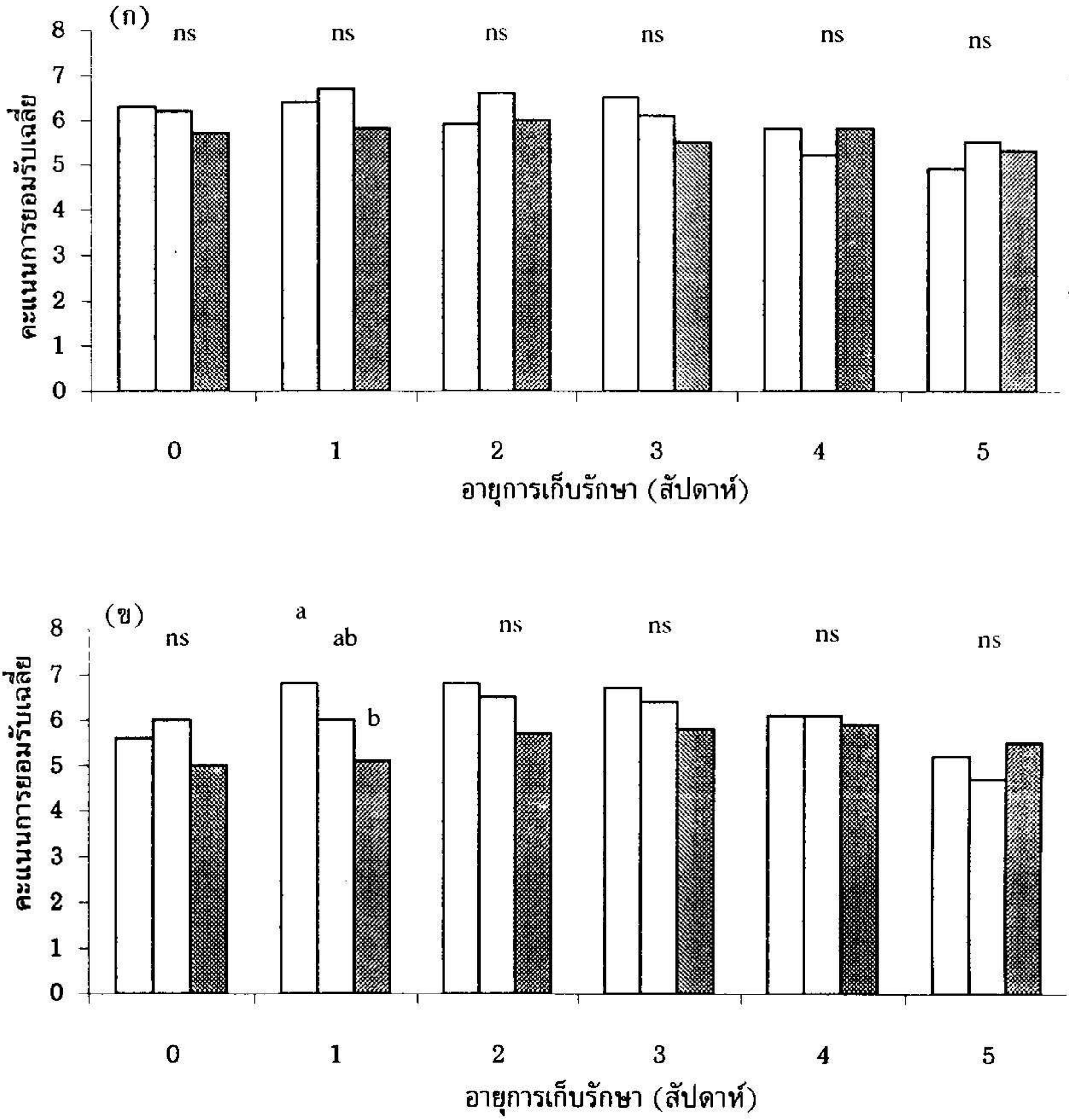
ผลการทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม ของผลมังคุดที่เก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้ว 10 คน (ภาพ 1.29-1.32) พบว่าการไม่จุ่มสารจิบเบอเรลลิน ให้ผลคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในทุกคุณลักษณะของมังคุดที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิด ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในแต่ละสัปดาห์ของการเก็บรักษา ส่วนการจุ่มสารจิบเบอเรลลินแสดงผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย แต่เมื่อสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์ที่ 5) พบว่ามังคุดที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกัน ให้ค่าการยอมรับที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในแต่ละคุณลักษณะ ซึ่งมีระดับความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ชอบเล็กน้อย และพบว่าการเก็บรักษาผลมังคุดในบรรจุภัณฑ์ย่อยถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีมีแนวโน้มคะแนนการยอมรับสูงกว่าการใช้บรรจุภัณฑ์ย่อยถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีและกล่องพลาสติกพีวีซี อย่างไรก็ตามคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมังคุดที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นจึงลดลง



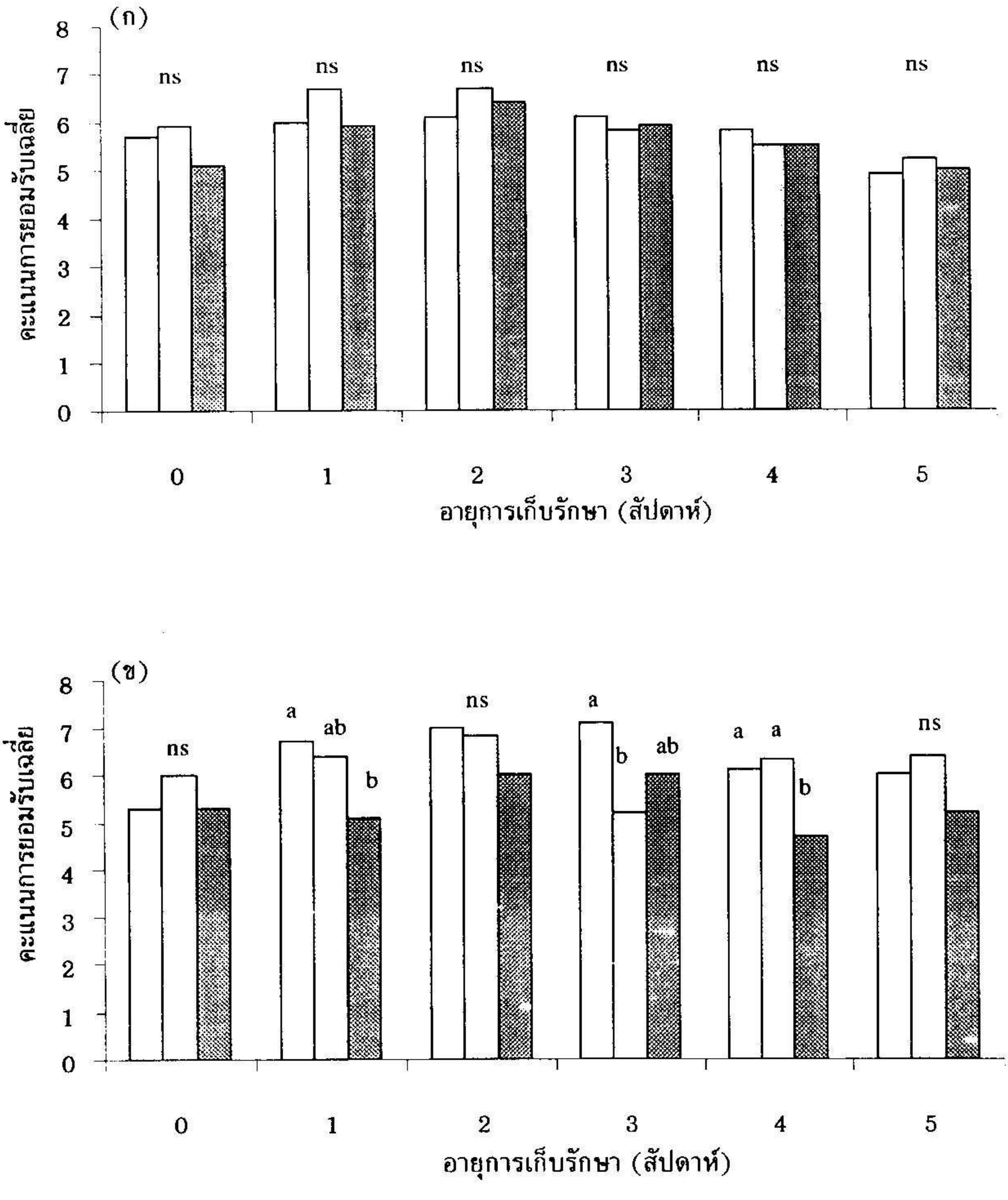
ภาพ 1.29 คะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อมังคุดผลมังคุดที่ไม่จุ่ม (ก) และจุ่มสารจิบเบอเรลลิน (ข)ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (□) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (▨) และกล่องพลาสติกพีวีซี (⊠) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์



ภาพ 1.30 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของเนื้อมังคุดจากผลที่ไม่จุ่ม (ก) และจุ่มสารจิบเบอเรลลิน (ข) ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟม หุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (▢) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (▩) และกล่องพลาสติกพีวีซี (▩) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์



ภาพ 1.31 คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อมังคุดที่ไม่จุ่ม (ก) และจุ่มสารจิบเบอเรลลิน (ข) ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (□) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (▨) และกล่องพลาสติกพีวีซี (▩) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์



ภาพ 1.32 คะแนนการยอมรับด้านความชอบรวมของเนื้อมังคุดจากผลที่ไม่จุ่ม (ก) และจุ่มสารจิบเบอเรลลิน (ข) ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยง เก็บรักษาในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี (□) ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี (▨) และกล่องพลาสติกพีวีซี (▩ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

สรุปผลการทดลอง

มังคุดที่เก็บเกี่ยวในระยะที่มีจุดประสีชมพูกระจัดกระจายสม่ำเสมอทั่วผล (ระดับสีที่ 3) เป็นระดับสีผิวที่เหมาะสม สามารถเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีสารดูดก๊าซเอทธิลีน (แท่งชอล์กที่ดูดซับสารละลายอิ่มตัวของโปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนตปริมาณ 4 กรัม ต่อมังคุด 20 ผล) ในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่มีความหนา 40 ไมครอน ที่อุณหภูมิ 10°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85±5 ได้นานที่สุดถึง 5 สัปดาห์ ส่วนการลดอุณหภูมิผลมังคุดโดยการแช่น้ำเย็นจนกระทั่งผลมังคุดมีอุณหภูมิ 10°ซ ก่อนการบรรจุเพื่อเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีผิวและการสูญเสียน้ำหนัก แต่มีผลต่อความสดของกลีบเลี้ยง นอกจากนี้ยังพบว่ามีผลเสียและอายุการเก็บรักษาสั้นลง ดังนั้นการลดอุณหภูมิผลมังคุดก่อนการบรรจุเพื่อเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศจึงไม่จำเป็น

เมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลมังคุดที่มีระดับสีผิวที่ 1 ภายหลังการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศเป็นเวลา 5 สัปดาห์ สามารถนำมาบ่มต่อให้สุกได้ด้วยก๊าซอะเซทิลีนที่อุณหภูมิห้องภายในเวลา 7 วันและทำให้มีคะแนนยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงขึ้นกว่าเมื่อหลังเก็บเกี่ยวใหม่ๆ แต่พบว่าส่วนของขั้วผลและกลีบเลี้ยงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ดังนั้นมังคุดระดับสีที่ 1 จึงไม่เหมาะที่จะทำการเก็บเกี่ยวมาเพื่อเก็บรักษาโดยวิธีการดัดแปลงบรรยากาศ

การใช้สารจิบเบอเรลลินที่มีระดับความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงของผลมังคุด แล้วเก็บรักษาในสภาพที่มีสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ปริมาณ 4 กรัม ต่อมังคุด 20 ผล ในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่มีความหนา 40 ไมครอน ที่อุณหภูมิ 10°ซ และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85±5 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดได้ดีที่สุด โดยเก็บรักษาความสดของกลีบเลี้ยงไว้ได้นานเป็นเวลา 5 สัปดาห์

การเก็บผลมังคุดสดที่ผ่านการจุ่มจิบเบอเรลลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ที่บริเวณขั้วผลและกลีบเลี้ยงก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85±5 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการจุ่มสารจิบเบอเรลลิน ส่วนการใช้บรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีที่มีความหนา 20 ไมครอน ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีที่มีความหนา 20 ไมครอน และกล่องพลาสติกพีวีซีที่มีความหนา 160 ไมครอน พบว่ามังคุดที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี มีแนวโน้มว่าได้รับการยอมรับสูงกว่าถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีและกล่องพลาสติกพีวีซี สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 10°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85±5

2. การพัฒนาเทคนิคการแปรรูปและบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง

หลักการและเหตุผล

การถนอมรักษาผลไม้โดยการแช่เยือกแข็ง เป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2463 เป็นต้นมา ทั้งนี้จากการพัฒนากรรมวิธีและเครื่องมือในการแช่เยือกแข็ง ตลอดจนภาชนะบรรจุ ทำให้การแช่เยือกแข็งสามารถรักษาคุณภาพของผลไม้ โดยเฉพาะในด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสได้ดีกว่ากรรมวิธีการบรรจุกระป๋องหรือทำแห้ง จึงเหมือนมีผลไม้สดบริโภคตลอดปี การแช่เยือกแข็งสามารถยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลไม้เสื่อมเสีย ลดอัตราเร็วของปฏิกิริยาเอนไซม์ และปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่พึงประสงค์ อันเนื่องมาจากผลของการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ร่วมกับการลดปริมาณน้ำในอาหารลง โดยเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง ทำให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์มีน้อยลง ผลไม้หลายชนิดจากประเทศไทย ได้ทำการผลิตในลักษณะการแช่เยือกแข็งไปจำหน่ายยังต่างประเทศแต่ยังมีปริมาณไม่สูงมากนัก

สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็งได้เริ่มต้นผลิตโดยโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีห้องเย็นอยู่แล้ว การผลิตในโรงงานนั้น ในขั้นตอนการผ่ามังคุดจะทำในห้องเย็นอุณหภูมิต่ำ (6-10° ซ) เนื่องจากการผ่าที่อุณหภูมิห้องนั้นจะทำให้เนื้อมีสีคล้ำลงได้ง่าย แต่การปฏิบัติงานที่อุณหภูมิต่ำเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและไม่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานเป็นเวลานาน สำหรับมังคุดที่ใช้เป็นวัตถุดิบควรเป็นผลมังคุดที่ใกล้สุก หรือใกล้เคียงกับการบริโภคสด ซึ่งจะมีกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด และคุณภาพของมังคุดต้องสดขณะเข้าโรงงาน และทำการแช่เยือกแข็งทันที จะได้มังคุดแช่เยือกแข็งที่มีคุณภาพดี นอกจากวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีแล้ว การปฏิบัติก่อนการแช่เยือกแข็งก็มีความสำคัญ หากมีการแปรรูปและการปฏิบัติที่ไม่ถูกต้องจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็ว

วัตถุประสงค์

1 เพื่อศึกษาคุณภาพและแนวทางป้องกันการเสื่อมคุณภาพของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็ง
2 เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง
3 เพื่อวิเคราะห์คุณภาพการยอมรับและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง

2.1 การศึกษาแนวทางการป้องกันการเสื่อมคุณภาพมังคุดแช่เยือกแข็ง

วิธีดำเนินการวิจัย

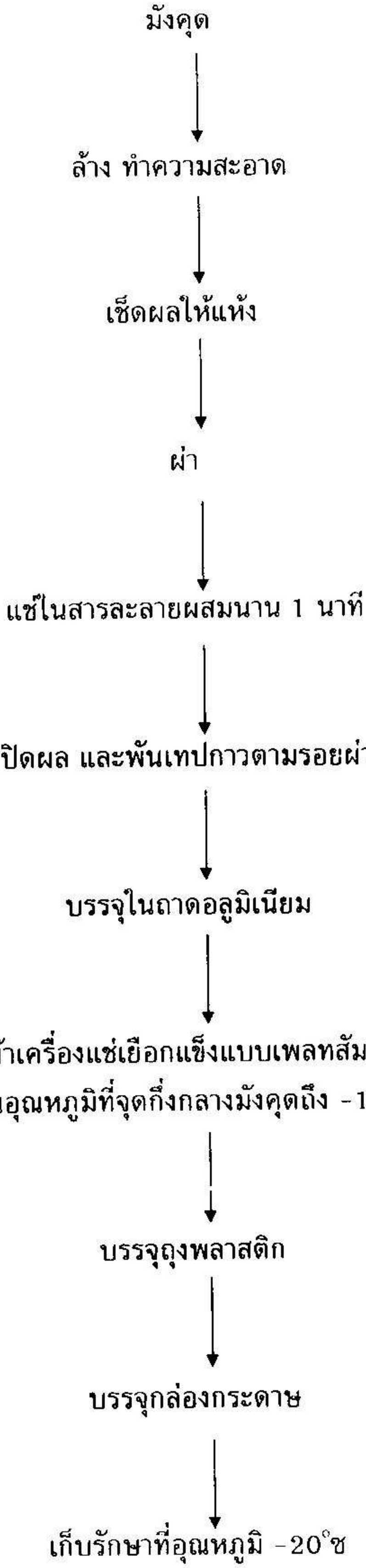
2.1.1 กรรมวิธีการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง กระบวนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง ดังแสดงในภาพ 2.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- การเตรียมวัตถุดิบ คัดเลือกมังคุดที่มีผิวสีม่วงอมแดง ซึ่งจัดอยู่ในสีที่ 5 ตามดัชนีแสดงระดับสีของผลมังคุด (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2529) ในกรณีที่มังคุดไม่ได้แปรรูปในวันที่ซื้อมังคุด จะเก็บไว้ที่ห้องอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวและการเสื่อมเสียที่อาจทำให้คุณภาพลดลง นำมังคุดมาล้างและทำความสะอาด กรณีที่มีมดดำหรือใยแมงมุมอยู่ใต้กลีบเลี้ยงให้ใช้น้ำฉีดออก ถ้ามียางเปื้อนที่ผลให้ใช้มีดเล็กขูดออกเบาๆ จากนั้นนำมาเป่าพัดลมให้แห้ง จัดแบ่งมังคุดเป็น 2 ขนาดคือ ขนาดเล็กมีน้ำหนักระหว่าง 70-85 กรัมต่อผล และขนาดใหญ่น้ำหนักระหว่าง 90-115 กรัมต่อผล ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการจัดระดับใบมีดของแท่นผ่า

- การผ่าและการตัดแต่ง การผ่าผลมังคุดผ่าให้เป็นแนวตรงตามแนวกลางผล หมุนตามร่องในลักษณะเข้าหาตัวคนผ่า (ภาพ 2.2) เมื่อผ่าแล้วต้องได้รอยเดียว รอยผ่าเรียบและสม่ำเสมอ และควรระวังไม่ให้ใบมีดถูกเนื้อภายใน เมื่อผ่ามังคุดรอบผลแล้วเปิดเปลือกด้านก้นออก ขณะเปิดผลควรบีบเบาๆ ไม่ให้แรงกดกระทบถึงเนื้อภายใน ส่วนเนื้อก็จะติดอยู่กับเปลือกด้านที่ขั้วผลและกลีบเลี้ยงอยู่ สำหรับผลที่มีเปลือกติดอยู่กับเนื้อ ให้ใช้มีดปลายแหลมเขี่ยและแต่งเศษเปลือกที่อยู่ตามร่องกลีบเนื้อให้ดูเรียบร้อย จากนั้นนำไปแช่สารละลายผสมเป็นเวลา 1 นาที (ภาพ 2.3)

- การปิดผล และพันเทปกาวเมื่อผ่านการแช่สารละลายผสมแล้ว นำขึ้นมาสะเด็ดน้ำประกบฝาให้ตรงตามรอยเดิม เช็ดผลให้แห้งและพันเทปกาวพลาสติกที่สามารถยืดหยุ่นได้ดี ให้จับผลมังคุดด้วยมือซ้ายในลักษณะหันเข้าหาตัว ต้องดึงเทปให้ตึงและแนบสนิทกับผิวผล บีบผลเบาๆ ในขณะพันเทป เพื่อป้องกันไม่ให้เปลือกแยกออกจากกันให้แนวที่ผ่าอยู่กึ่งกลางตลอดแนวแผ่นเทป โดยให้จุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายเลื่อมกันประมาณ 1 ซม. (ภาพ 2.4)

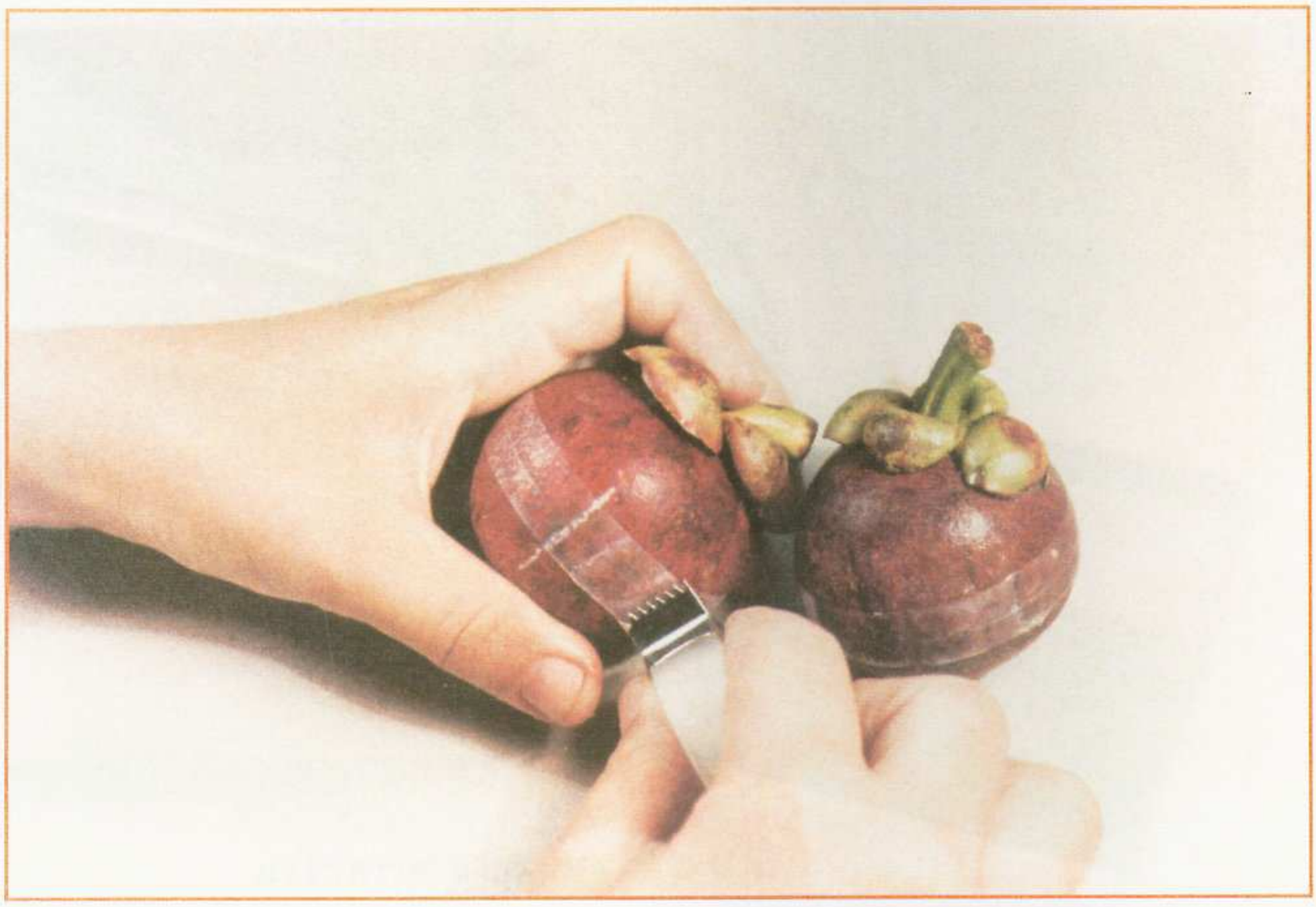
- การแช่เยือกแข็ง เรียงมังคุดในถาดอลูมิเนียมขนาด 14 x 17.5 x 6 ซม. โดยวางผลในลักษณะตะแคง จัดให้เต็มถาด แล้วนำเข้าเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัสอุณหภูมิ -30°ซ (ภาพ 2.5) บันทึกอุณหภูมิในระหว่างการแช่เยือกแข็ง โดยใช้เทอร์โมคอบเปิลเสียบให้ปลาย probe อยู่กึ่งกลางผล อ่านอุณหภูมิจากเทอร์โมคอปเปิลทุกๆ 5 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง -18°ซ นำมาบรรจุถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน ผนึกปากถุงและบรรจุกล่องกระดาษ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°ซ



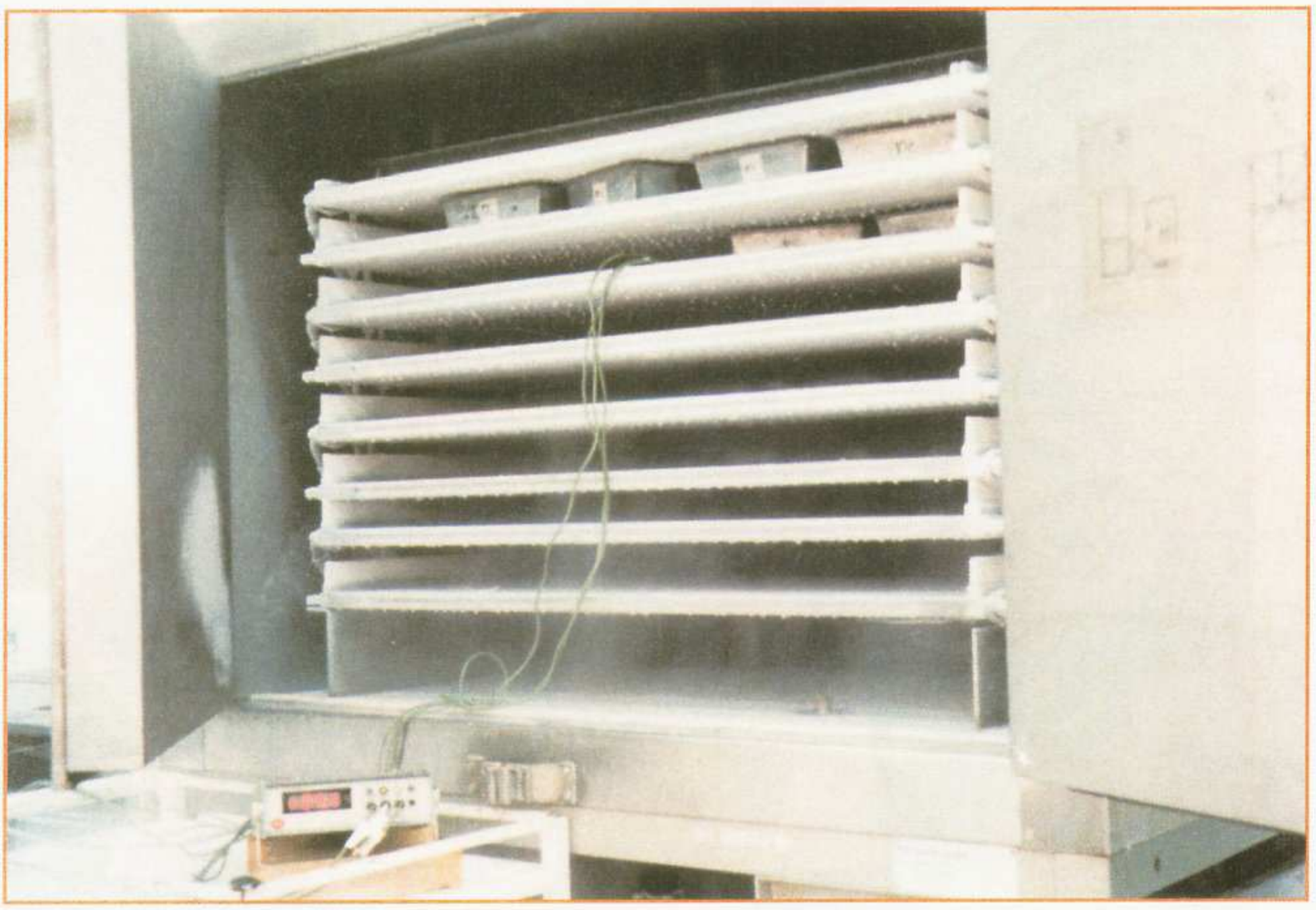
ภาพ 2.1 กระบวนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง

ภาพ 2.2 ลักษณะการผ่ามังคุด

ภาพ 2.3 การแช่มังคุดในสารละลายผสม



ภาพ 2.4 การพันเทปกาวตามรอยผ่า



ภาพ 2.5 การแช่เยือกแข็งมังคุดด้วยเพลทสัมผัส

2.1.2 การใช้สารละลายผสมในการยับยั้งการเปลี่ยนสี และรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด

(1) มังคุดที่ผ่านกระบวนการแปรรูป จะต้องผ่านขั้นตอนในการแช่สารละลายผสมซึ่งประกอบด้วยสารเคมี 3 ชนิดคือ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และแคลเซี่ยมคลอไรด์ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD=Completely Randomzed Design) โดยจัดชุดการทดลองแบบ factorial design ที่มีระดับความเข้มข้น 3 x 3 x 2 ระดับตามลำดับ (ตาราง 2.1) รวมทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง โดยใช้มังคุดการทดลองละ 25 ผล ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

(2) ผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งหลังจากเก็บรักษาที่ -20°ซ เป็นเวลา 1 วัน นำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 15 คน ก่อนทดสอบให้นำตัวอย่างมังคุดแช่เยือกแข็งผ่านน้ำเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้น้ำแข็งส่วนที่เปลือกเกิดการละลายและทำให้เปิดสะดวกยิ่งขึ้น ทั้งนี้ให้ทดสอบครั้งละไม่เกิน 6 ตัวอย่าง การทดสอบดูการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง โดยมีการให้คะแนนเป็นแบบ hedonic scale ประกอบด้วย 9 ระดับคะแนน เมื่อระดับคะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุดและระดับคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด (Larmond, 1977) คะแนนการทดสอบที่ได้นำมาวิเคราะห์วาเรียนซ์ (ANOVA = analysis of variance) และความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองแบบ DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531)

(3) การใช้กรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสม คัดเลือกชุดการทดลองที่เหมาะสมจากข้อ (2) มา 1 ชุดเพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมที่สุดอีกครั้งหนึ่ง โดยจัดความเข้มข้นตั้งแต่ ร้อยละ 0-0.5 (ตาราง 2.2) แล้วทดสอบคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเดียวกับข้อ (2)

ตาราง 2.1 ชุดการทดลองการใช้สารละลายผสมในการยับยั้งการเปลี่ยนสีและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด

ชุดการทดลอง	ส่วนประกอบของสารละลายผสม (ร้อยละ)		
	แคลเซี่ยมคลอไรด์	กรดแอสคอร์บิก	กรดซิตริก
1	-	-	-
2	-	-	0.3
3	-	-	0.5
4	-	0.3	-
5	-	0.3	0.3
6	-	0.3	0.5
7	-	0.5	-
8	-	0.5	0.3
9	-	0.5	0.5
10	0.25	-	-
11	0.25	-	0.3
12	0.25	-	0.5
13	0.25	0.3	-
14	0.25	0.3	0.3
15	0.25	0.3	0.5
16	0.25	0.5	-
17	0.25	0.5	0.3
18	0.25	0.5	0.5

ตาราง 2.2 ชุดการทดลองการใช้สารละลายผสมที่ปรับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกที่ระดับต่าง ๆ ในการยับยั้งการเปลี่ยนสีและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด

ชุดการทดลอง	ส่วนประกอบของสารละลายผสม (ร้อยละ)		
	แคลเซี่ยมคลอไรด์	กรดซิตริก	กรดแอสคอร์บิก
1	0.25	0.5	-
2	0.25	0.5	0.1
3	0.25	0.5	0.2
4	0.25	0.5	0.3
5	0.25	0.5	0.4
6	0.25	0.5	0.5

ผลและวิจารณ์

2.1.1 กรรมวิธีการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง

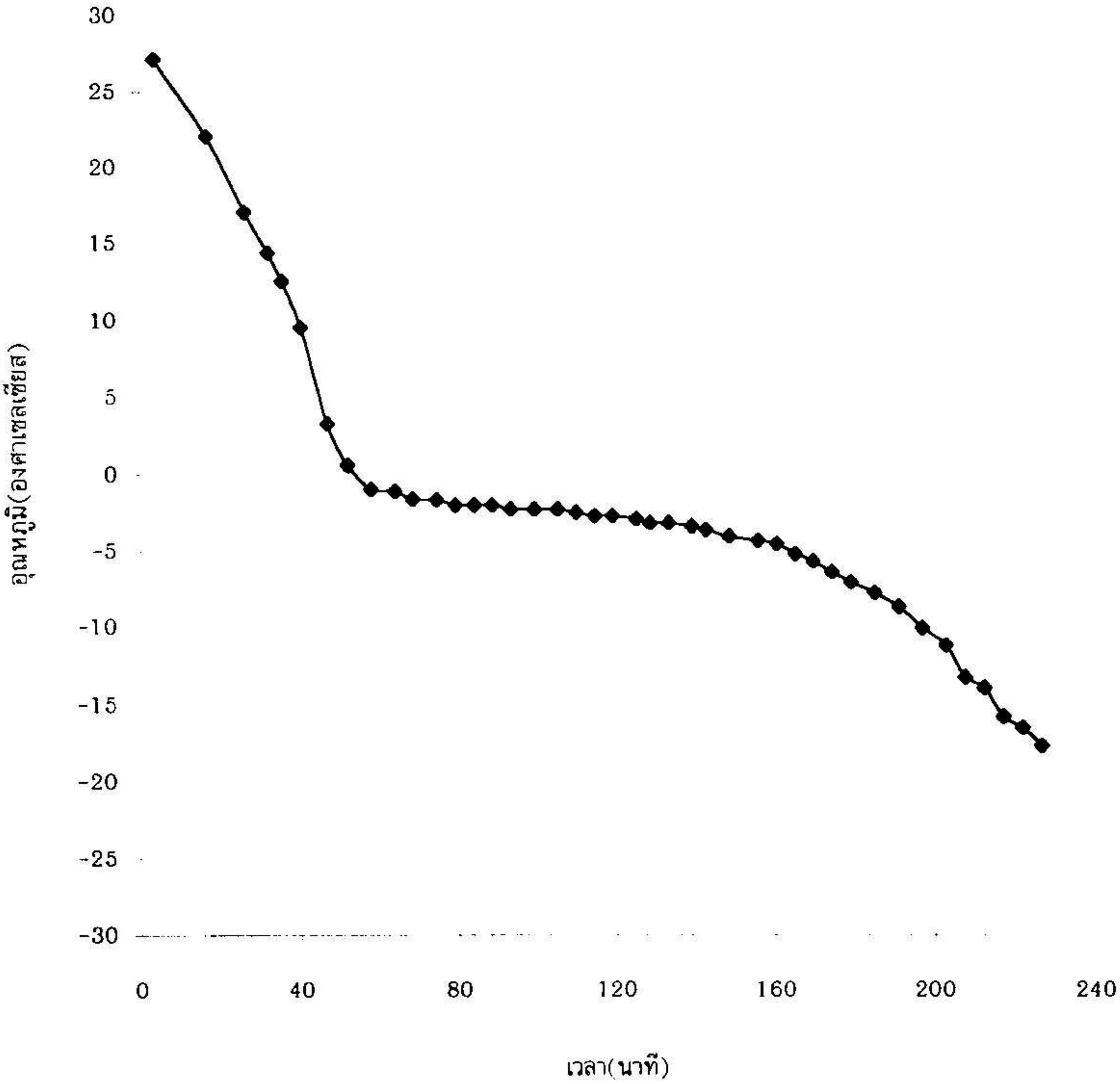
มังคุดที่ซื้อจากตลาดหากไม่ได้แปรรูปโดยทันที จะนำไปเก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 4°ซ เพราะที่อุณหภูมิ 4°ซ สามารถเก็บรักษามังคุดไว้ได้นาน 44 วัน โดยมีผลที่สามารถยอมรับได้ ร้อยละ 63 (Augustin and Azudin, 1986) สำหรับขั้นตอนการผลิต เช่น การผ่า การปิดผลและพันเทปกาว พบว่าเทคนิคต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีผลต่อคุณภาพ และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ เมื่อศึกษาถึงอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งพบว่ามังคุดที่แช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแบบเพลทสัมผัสที่อุณหภูมิของเครื่องประมาณ -30°ซ จนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางผลถึง -18°ซ ใช้เวลาประมาณ 220 นาที (3 ชั่วโมง 40 นาที) โดยมีจุดเยือกแข็งที่อุณหภูมิ -1.5°ซ (ภาพ 2.6)

2.1.2 ผลของการใช้สารละลายผสมในการยับยั้งการเปลี่ยนสี และรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด เพื่อเป็นการทดสอบสภาพความสมบูรณ์ภายในของผลมังคุดก่อนนำไปเข้าเครื่องแช่เยือกแข็ง จึงต้องทำการผ่าผลมังคุด ขณะที่เปิดเปลือกมังคุดออกพบว่าเนื้อที่สัมผัสกับอากาศจะเกิดการเปลี่ยนสีทำให้เนื้อมังคุดมีสีคล้ำลง (browning) ฉะนั้นเพื่อรักษาสีของเนื้อมังคุดให้มีสีขาวเหมือนเดิม จึงได้ทำการศึกษาผลของการแช่มังคุดในสารละลายผสมก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง ซึ่งได้ผลดังนี้คือ

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยประเมินคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นเวลา 1 นาที ก่อนการแช่เยือกแข็ง ได้ผลแสดงในตาราง 2.3

สี พบว่าการแช่มังคุดในสารละลายผสมก่อนการแช่เยือกแข็งมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ต่อการยอมรับสีของเนื้อมังคุดคือยังมีสีขาวนวล โดยตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมทุกชุดการทดลอง



ภาพ 2.6 อัตราการแช่เยือกแข็งมังคุดด้วยเครื่องแบบเพลทสัมผัส

ที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมคลอไรด์ (ชุดการทดลองที่ 10 ถึง 18) ได้คะแนนการยอมรับด้านสีในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก และอยู่ในระดับที่สูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมที่ไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ทั้งหมด (ชุดการทดลองที่ 1 ถึง 9) ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ เพราะที่ผิวหน้าของมังคุดมีลักษณะเละ ไม่คงตัว และมีสีน้ำตาล ในขณะเดียวกันชุดการทดลองที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก และ/หรือกรดซิตริก (ชุดการทดลองที่ 11 ถึง 18) พบว่าได้คะแนนการยอมรับสูงกว่าชุดการทดลองที่มีแคลเซียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว (ชุดการทดลองที่ 10)

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อการยับยั้งการเปลี่ยนสี รวมทั้งการรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุด และการใช้แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับกรดซิตริก แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก และแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับกรดซิตริกและแอสคอร์บิก พบว่าได้คะแนนการยอมรับด้านสีดีขึ้นเป็นลำดับ

กลิ่นรส พบว่าการแช่มังคุดในสารละลายผสมทุกชุดการทดลองก่อนการแช่เยือกแข็ง ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรส ($P<0.05$) คือเนื้อมังคุดยังคงมีรสหวานอมเปรี้ยว แต่จะสังเกตเห็นว่าคะแนนการยอมรับกลิ่นรสมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบเริ่มต้น เช่น ระดับความสุกและขนาดผล มากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการแช่ในสารละลายผสม โดยมีคะแนนการยอมรับอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (ตาราง 2.3)

เนื้อสัมผัส มังคุดแช่เยือกแข็งจะมีเนื้อสัมผัสแตกต่างไปจากมังคุดสด ทั้งนี้เพราะว่ามังคุดแช่เยือกแข็งจะรับประทานในลักษณะที่เป็นน้ำแข็งหรือเป็นน้ำแข็งบางส่วน ซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายไอศครีม จึงจัดเป็นการบริโภคในรูปแบบใหม่ซึ่งผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ และจากการทดลองแช่มังคุดในสารละลายผสมทุกชุดการทดลองก่อนการแช่เยือกแข็งพบว่าไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส ($P<0.05$) เช่นเดียวกับกลิ่นรส (ตาราง 2.3) แม้ว่าชุดการทดลองที่มีแคลเซียมคลอไรด์ส่วนใหญ่จะมีคะแนนการยอมรับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคะแนนการยอมรับระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

คุณลักษณะรวม เพื่อพิจารณาถึงคะแนนของการยอมรับคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าการแช่มังคุดในสารละลายผสมก่อนการแช่เยือกแข็ง มีผลต่อคุณลักษณะรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีการเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับใกล้เคียงกับคะแนนการยอมรับด้านสี คือชุดการทดลองที่มีแคลเซียมคลอไรด์ทั้งหมด ได้คะแนนการยอมรับสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ (ตาราง 2.3) ฉะนั้นคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์จึงขึ้นอยู่กับคุณภาพด้านสีเป็นปัจจัยหลัก ซึ่งมีคะแนนการยอมรับระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางเช่นเดียวกัน

ตาราง 2.3 ผลของการแช่สารละลายผสมต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง	สารละลายผสม (%)			คะแนนการยอมรับเฉลี่ย*			
	แคลเซียมคลอไรด์	กรดแอสคอร์บิก	กรดซิตริก	สี	กลิ่นรส^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	คุณลักษณะรวม
1	-	-	-	4.9±1.5def	6.3±1.2	6.7±0.8	5.9±1.3bc
2	-	-	0.3	4.9±1.8def	6.1±1.3	6.7±1.2	5.9±1.3bc
3	-	-	0.5	4.4±1.6ef	6.3±1.0	6.7±0.9	5.8±1.2bc
4	-	0.3	-	5.2±1.8def	6.4±1.0	7.1±0.7	6.3±1.4abc
5	-	0.3	0.3	4.3±1.7ef	6.0±1.3	6.5±1.0	5.5±1.5c
6	-	0.3	0.5	4.9±1.8def	6.3±1.3	6.8±1.0	6.0±1.2bc
7	-	0.5	-	4.2±1.4f	6.3±1.0	6.8±1.0	5.7±1.6c
8	-	0.5	0.3	4.4±2.0ef	6.5±1.5	6.7±1.2	5.5±1.8c
9	-	0.5	0.5	4.7±2.1ef	6.3±1.4	6.5±1.4	5.4±2.0c
10	0.25	-	-	5.7±1.9cde	6.9±1.1	7.3±0.9	6.6±1.5abc
11	0.25	-	0.3	6.1±1.8bcd	6.5±1.3	7.0±1.0	6.5±1.3abc
12	0.25	-	0.5	6.8±1.4abc	6.7±1.1	7.0±1.1	7.0±1.3ab
13	0.25	0.3	-	6.9±1.2abc	6.6±1.5	7.0±1.1	7.0±1.3ab
14	0.25	0.3	0.3	7.1±1.3ab	7.0±1.2	7.1±1.2	7.3±1.3a
15	0.25	0.3	0.5	7.7±0.8a	6.9±1.1	7.3±0.8	7.4±0.9a
16	0.25	0.5	-	7.7±1.0a	6.7±1.6	7.5±0.9	7.3±1.3a
17	0.25	0.5	0.3	7.5±1.2a	6.9±1.3	7.4±1.1	7.0±1.4ab
18	0.25	0.5	0.5	7.9±1.0a	6.5±1.5	7.2±1.0	7.5±1.8a

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผู้ทดสอบ 15 คน
(คะแนนสูงสุดคือ 9 = ยอมรับมากที่สุด,.....,คะแนนต่ำสุดคือ 1 = ไม่ยอมรับมากที่สุด)
ค่าในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลของกรดแอสคอร์บิก

จากตาราง 2.3 สรุปว่าแคลเซียมคลอไรด์มีผลช่วยรักษาสีและความคงตัวของเนื้อมังคุด ซึ่งมีกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิกเป็นตัวเสริมช่วยรักษาสี และความคงตัวให้ดีขึ้น แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของกรดซิตริกและ/หรือกรดแอสคอร์บิกไม่แสดงความแตกต่างในเรื่องสีและคุณลักษณะรวมอย่างชัดเจน ทำให้ไม่อาจตัดสินได้ว่าควรใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นใดจึงจะเหมาะสม และเหตุผลสำคัญที่พิจารณาว่า อาจไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายผสมที่ประกอบด้วยกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นสูงมาก เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีราคาแพงกว่าสารเคมีอีก 2 ชนิดมาก เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้กรดแอสคอร์บิก และลดต้นทุนในการผลิต จึงได้คัดเลือกชุดการทดลองที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 กรดซิตริก ร้อยละ 0.5 และศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0-0.5 ดังตาราง 2.4 เมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยประเมินคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม พบว่าคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีคะแนนการยอมรับเฉลี่ยอยู่ระหว่างชอบปานกลางถึงชอบมาก (ตาราง 2.4)

ฉะนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง จึงได้คัดเลือกชุดการทดลองที่ประกอบด้วย แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 กับกรดซิตริกร้อยละ 0.5 เป็นชุดการทดลองที่เหมาะสมเพื่อนำไปศึกษาวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

ตาราง 2.4 ผลของกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็ง

ลำดับชุดการทดลอง	สารละลายผสม (%)			คะแนนการยอมรับเฉลี่ย*			
	แคลเซียมคลอไรด์	กรดซิตริก	กรดแอสคอร์บิก	สี^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	คุณลักษณะรวม^{ns}
1	0.25	0.5	-	7.4±1.1	7.3±1.1	7.7±0.8	7.3±1.2
2	0.25	0.5	0.1	7.7±1.0	7.4±1.2	7.6±0.9	7.5±1.2
3	0.25	0.5	0.2	8.0±0.9	7.8±1.2	7.9±0.7	7.7±1.0
4	0.25	0.5	0.3	8.1±1.0	7.6±1.2	7.9±0.9	7.5±1.2
5	0.25	0.5	0.4	7.9±1.0	7.7±0.9	7.9±0.8	7.7±1.0
6	0.25	0.5	0.5	8.0±1.1	7.8±1.3	7.8±1.0	7.7±1.2

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผู้ทดสอบ 15 คน
(คะแนนสูงสุดคือ 9 = ยอมรับมากที่สุด,.....,คะแนนต่ำสุดคือ 1 = ไม่ยอมรับมากที่สุด)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

2.2 การพัฒนาเทคนิคการแปรรูปมังคุดแช่เยือกแข็ง

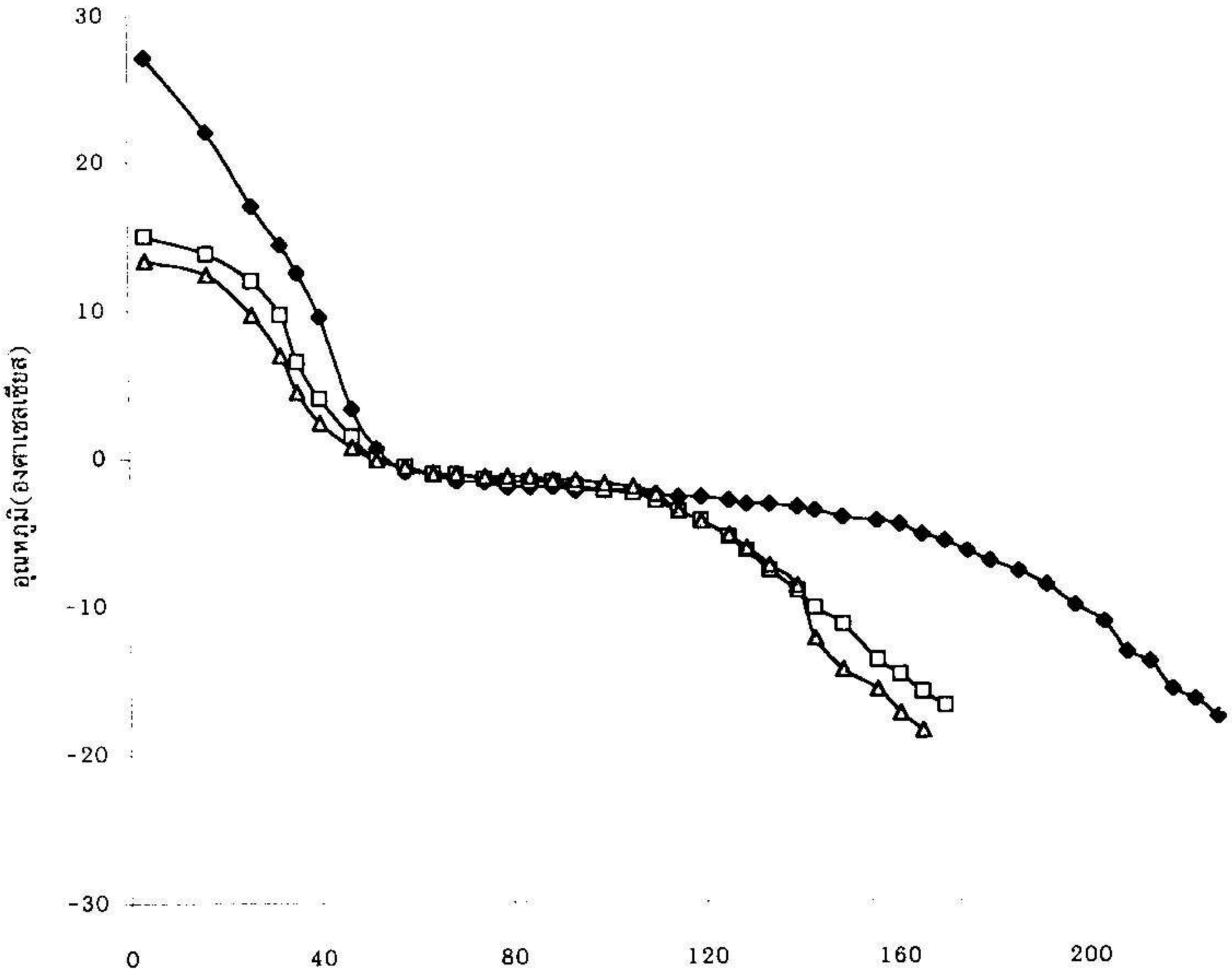
วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิ (pre-cooling) ของมังคุดต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยแช่มังคุดทั้งผลในน้ำผสมน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิคงที่ (1±0.5°ซ) จนกระทั่งอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผลมังคุดลดลง 2 ระดับคือ 10 และ 4°ซ จากนั้นทำการผ่าและแช่ในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 กับกรดซิตริกร้อยละ 0.5 ปฏิบัติตามกระบวนการผลิต ดังภาพ 2.1 เปรียบเทียบกับการผลิตตามปกติคือไม่มีการลดอุณหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°ซ เป็นเวลา 1 วัน ก่อนนำมาประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม โดยการให้คะแนนแบบ hedonic scale ประกอบด้วย 9 ระดับคะแนน เมื่อระดับคะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุดและระดับคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด (Larmond, 1977) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์วาเรียนซ์ (ANOVA) และความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองโดยวิธี Turkey test (Larmond, 1977) เพื่อคัดเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

ผลและวิจารณ์

ผลของการลดอุณหภูมิของผลมังคุดก่อนการผ่า เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อมังคุดทางหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจาก Satjawatcharaphong และคณะ (1983) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ โพลีฟีนอลออกซิเดส คือ 30°ซ และประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์จะลดลงเมื่อมีอุณหภูมิลดลง จากการทดลองแช่ผลมังคุดในน้ำผสมน้ำแข็งซึ่งรักษาอุณหภูมิคงที่ (1± 0.5 °ซ) โดยให้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผลมังคุดลดลงที่ 2 ระดับ คือ 10 และ 4°ซ ก่อนทำการผ่ามังคุดนั้น มีอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 27.4, 14.1 และ 12.5 °ซ ตามลำดับ และเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางผลมังคุดลดลงถึง -18°ซ คือ 220, 180 และ 175 นาที ตามลำดับ (ภาพ 2.7) สำหรับอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งมังคุด จะเห็นได้ว่ามังคุดที่ผ่านการลดอุณหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็งสามารถช่วยลดเวลาในการแช่เยือกแข็งให้สั้นลง

มังคุดที่ผ่านการลดอุณหภูมิ (4 และ 10°ซ) และไม่ได้ลดอุณหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็ง เมื่อนำมาผ่าและแช่ในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 กับกรดซิตริกร้อยละ 0.5 ผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งที่ได้นำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการลดอุณหภูมิของมังคุดก่อนการแช่เยือกแข็ง มีผลต่อคะแนนการยอมรับสี และคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อกลิ่นรส และเนื้อสัมผัส (ตาราง 2.5) โดยตัวอย่างที่มีการลดอุณหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็ง มีคะแนนการยอมรับด้านสีและคุณลักษณะรวมสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ลดอุณหภูมิ ส่วนระดับอุณหภูมิที่ลดลงนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อกลิ่นรส และเนื้อสัมผัส (ตาราง 2.5) โดยตัวอย่างที่มีการลดอุณหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็ง จะมีคะแนนการยอมรับด้านสีและคุณลักษณะรวมสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ลดอุณหภูมิ ส่วนระดับอุณหภูมิที่ลดลงนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)



ภาพ 2.7 อัตราการแช่เยือกแข็งมังคุดที่ผ่านการลดอุณหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแบบเพลทสัมผัส

—◆— ไม่ได้ลดอุณหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็ง

—□— ลดอุณหภูมิถึง 10°ซ ก่อนการแช่เยือกแข็ง

—△— ลดอุณหภูมิถึง 4°ซ ก่อนการแช่เยือกแข็ง

ในด้านการยอมรับสี นอกจากคุณลักษณะรวมเท่านั้นพบว่าตัวอย่างที่ลดอุณหภูมิถึง 4°ซ ก่อนการแช่เยือกแข็งนั้น ได้คะแนนการยอมรับสูงกว่าตัวอย่างที่ลดอุณหภูมิถึง 10°ซ ก่อนการแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิมังคุดก่อนการแช่เยือกแข็งช่วยปรับปรุงคุณภาพสีและคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์ ส่วนระดับอุณหภูมิที่ลดลงที่ให้ผลดีที่สุดคือ 4°ซ ดังนั้นก่อนการผ่ามังคุดจึงได้ทำการลดอุณหภูมิมังคุดลงถึง 4°ซ แล้วจึงผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งเพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ต่อไป

ตาราง 2.5 ผลของการลดอุณหภูมิมังคุดก่อนการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็ง

มังคุดแช่เยือกแข็ง	คะแนนการยอมรับเฉลี่ย*			
	สี	กลิ่นรส^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	คุณลักษณะรวม
ที่ไม่ได้ลดอุณหภูมิ	7.3 ± 1.3 b	7.3 ± 0.8	7.7 ± 0.7	7.3 ± 0.8 c
ที่ลดอุณหภูมิถึง 10°ซ	7.8 ± 0.9 a	7.4 ± 0.9	7.5 ± 0.7	7.6 ± 0.9 b
ที่ลดอุณหภูมิถึง 4°ซ	7.9 ± 0.9 a	7.7 ± 1.2	7.7 ± 0.8	8.1 ± 0.9 c

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผู้ทดสอบ 15 คน
(คะแนนสูงสุดคือ 9 = ยอมรับมากที่สุด,.....,คะแนนต่ำสุดคือ 1 = ไม่ยอมรับมากที่สุด)
ค่าในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

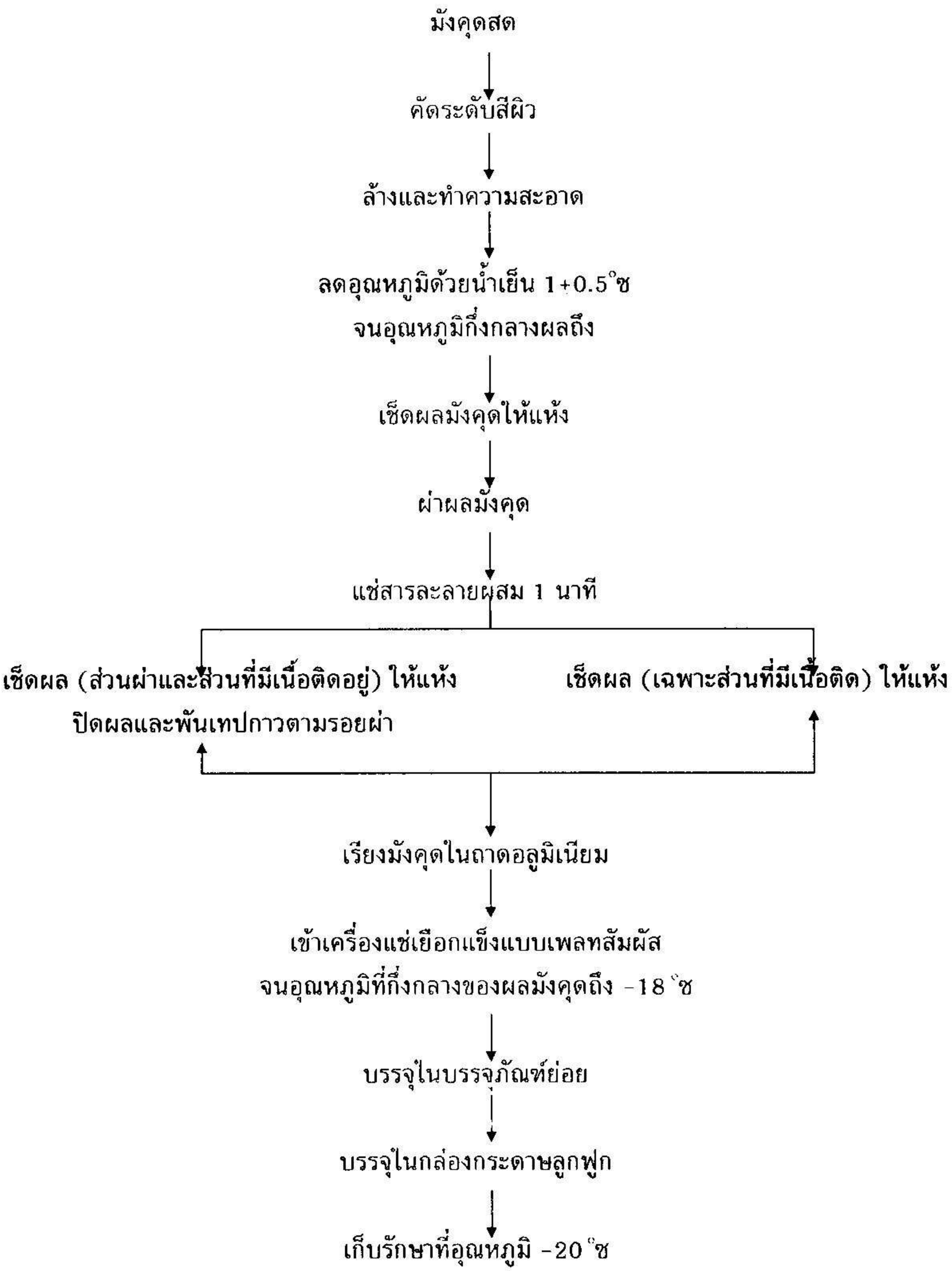
2.3 การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็ง

วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการทดลองตามขั้นตอนดังแสดงในภาพ 2.8 และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 12 คน ประเมินคุณภาพการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม โดยการให้คะแนนแบบ hedonic scale ประกอบด้วย 9 ระดับคะแนน เมื่อคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด (Larmond, 1977) ปัจจัยที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย

- รูปแบบผลิตภัณฑ์ 2 รูปแบบ คือ มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล และชนิดเปิดครึ่งผล
- บรรจุภัณฑ์ย่อย ประกอบด้วย 5 ชนิด คือ
  - ก. ถุงแอลดีพีอี
  - ข. ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี
  - ค. ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี
  - ง. กล่องพีวีซี
  - จ. กล่องพีเอส

เมื่อจัดชุดการทดลองแบบแฟกตอเรียล จะได้รวมทั้งหมด 10 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตาราง 2.6 เนื่องจากไม่สามารถหาบรรจุภัณฑ์ย่อยที่มีขนาดบรรจุเท่ากันทุกชนิด จึงทำให้จำนวนผลมังคุดต่อบรรจุภัณฑ์ย่อยแต่ละชนิดแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจำนวนผลมังคุดรวมที่บรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูกมีจำนวนเท่ากันทุกชุดการทดลอง



ภาพ 2.8 การผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง

ที่มา : ดัดแปลงจาก ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธ์กุล (2533)

ตาราง 2.6 ชุดการทดลองการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลองที่	ชนิดมังคุดแช่เยือกแข็ง	ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	จำนวนผลต่อบรรจุภัณฑ์ย่อย	จำนวนบรรจุภัณฑ์ย่อยต่อกล่องกระดาษลูกฟูก
1	ทั้งผล	ถุงแอลดีพีอี	4	6
2	ทั้งผล	ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี	4	6
3	ทั้งผล	ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี	4	6
4	ทั้งผล	กล่องพีวีซี	6	4
5	ทั้งผล	กล่องพีเอส	6	4
6	เปิดครึ่งผล	ถุงแอลดีพีอี	4	6
7	เปิดครึ่งผล	ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี	4	6
8	เปิดครึ่งผล	ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี	4	6
9	เปิดครึ่งผล	กล่องพีวีซี	6	4
10	เปิดครึ่งผล	กล่องพีเอส	6	4

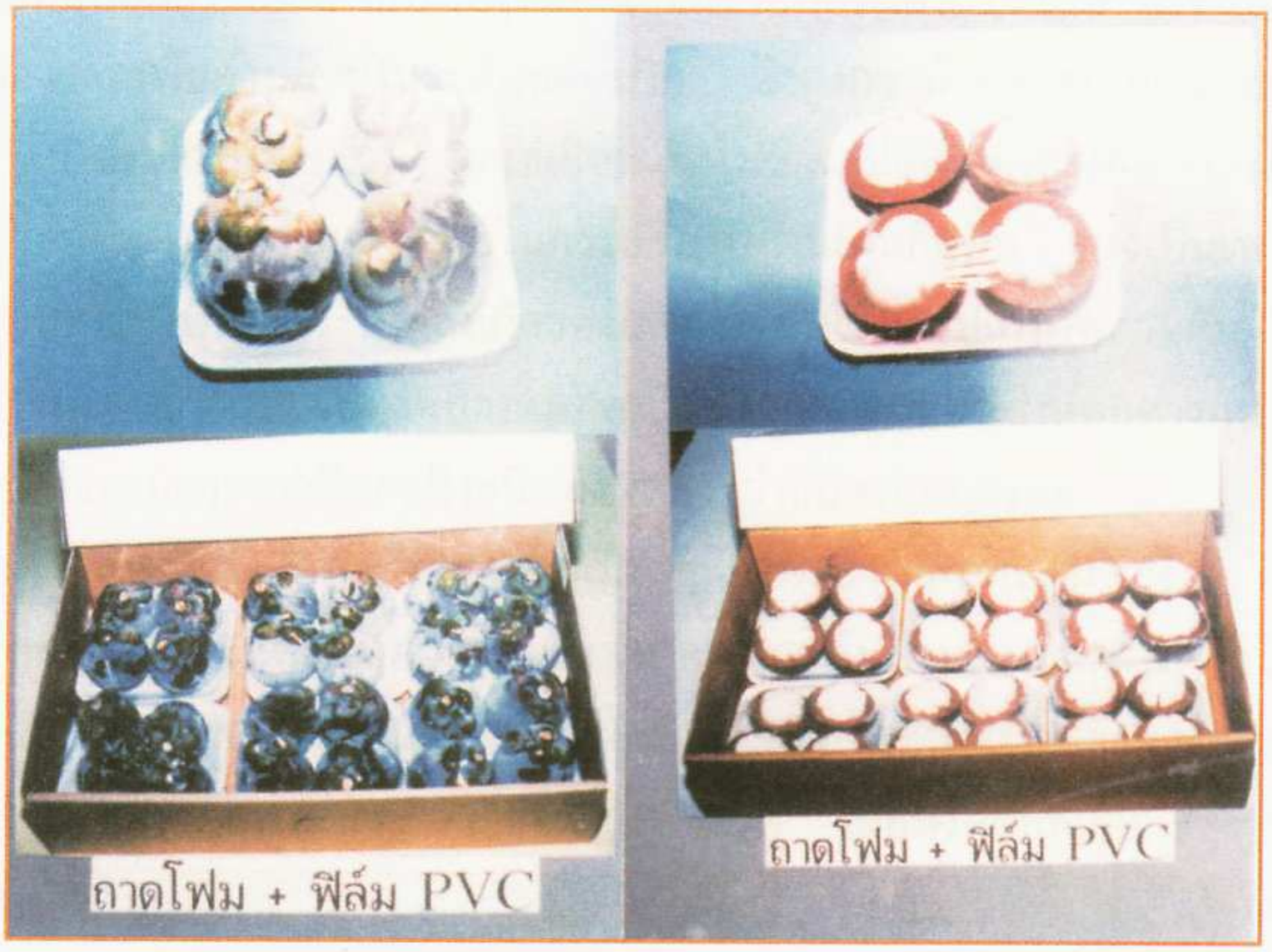
ผลและวิจารณ์

รูปแบบมังคุดแช่เยือกแข็งที่ได้พัฒนาขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 2 รูปแบบ คือ มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผล (ภาพ 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 และ 2.13) เมื่อนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยประเมินคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์ได้ผลดังนี้

สี มังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผลและเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) โดยมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบมากและสูงกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล ซึ่งได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลาง (ตาราง 2.7) ทั้งนี้อาจเนื่องจากมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลมีเนื้อขาวนวลน่ารับประทานมากกว่า ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล แม้ว่ามีเนื้อสีขาวนวลแต่บางผลจะมีสีของเปลือกแทรกซึมเข้าไปที่เนื้อมังคุดบริเวณรอยผ่าของผลมังคุด คาดว่าเป็นผลจากขั้นตอนการเช็ดผลให้แห้งก่อนปิดผล การปิดผลและพันเทปกาว

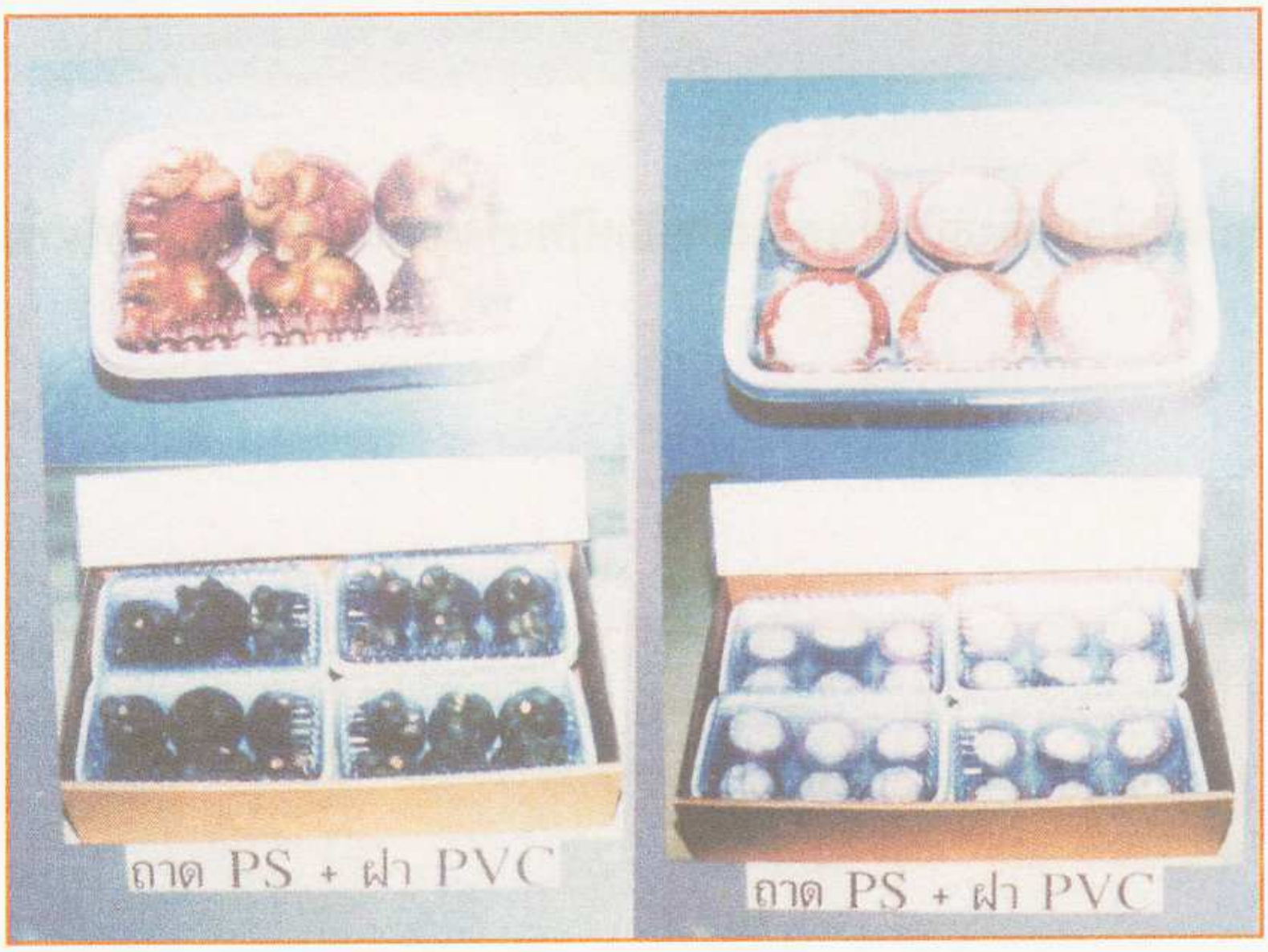
ภาพ 2.9 มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในถุงแอลดีพีอี

ภาพ 2.10 มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี



ภาพ 2.11 มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี

ภาพ 2.12 มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในกล่องพีวีซี



ภาพ 2.13 มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในกล่องพีเอส

ดังนั้นเทคนิคในขั้นตอนดังกล่าวล้วนแต่มีความสำคัญต่อคุณภาพของมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล (ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2533) พบว่าคะแนนการยอมรับด้านสีอยู่ในระดับชอบมาก ซึ่งสูงกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลจากการทดลองครั้งนี้ อย่างไรก็ตามคาดว่ามังคุดแช่เยือกแข็งไม่น่าจะมีสีที่แตกต่างกัน เนื่องจากผ่านกระบวนการผลิตที่เหมือนกัน แต่ความแตกต่างในการยอมรับด้านสีที่เกิดขึ้น อาจเป็นเพราะในการทดลองครั้งนี้ได้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รูปแบบพร้อมกัน จึงทำให้ผู้ทดสอบชิมจัดลำดับความชอบการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รูปแบบซึ่งแตกต่างกัน ส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านสีของมังคดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลต่ำกว่าชนิดเปิดครึ่งผล

กลิ่นรส เป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้ การเกิดตำหนิของลักษณะปรากฏอาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงการยอมรับด้านกลิ่นรสของผู้บริโภค (Woodroof, 1986) จากการทดลองพบว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) โดยมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบมากและสูงกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล ซึ่งได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลาง (ตาราง 2.7) ทั้งนี้อาจเนื่องจากตำหนิของสีที่เกิดขึ้นกับมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลจึงทำให้คะแนนการยอมรับกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ลดลงไป เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2533) พบว่าได้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสในระดับชอบมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลจากการทดลองมีปริมาณกรดทั้งหมดสูงกว่า ทำให้ผลไม้มีรสชาติค่อนข้างเปรี้ยวซึ่งยังเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม

เนื้อสัมผัส ผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งมีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างไปจากมังคุดสด คือมีลักษณะเป็นผลึกน้ำแข็งเล็กๆ หรือเป็นผลึกน้ำแข็งบางส่วน และควรรับประทานผลิตภัณฑ์ในระยะที่เนื้อสัมผัสมีลักษณะคล้ายไอศกรีม ซึ่งเป็นการบริโภคผลไม้ในรูปแบบใหม่ จากผลการทดลองพบว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งไม่แตกต่างกัน โดยมังคุดแช่เยือกแข็งทั้ง 2 รูปแบบ ได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก (ตาราง 2.7) และมีระดับคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสเช่นเดียวกับผลการทดลองของ ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2533) ซึ่งได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลาง

คุณลักษณะรวม มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวมของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) โดยมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบมาก และสูงกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลซึ่งได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลาง (ตาราง 2.7) จะเห็นได้ว่าคะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวมมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับคะแนนการยอมรับด้านสี โดยอาจกล่าวได้ว่าคุณภาพด้านสีเป็นคุณภาพหลักของผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้ลักษณะปรากฏก็มีส่วนในการยอมรับคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองได้สังเกตพบว่าเมื่อเปิดผลมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล บางผลมีส่วนของเนื้อมังคุดติดที่เปลือกเล็กน้อย ทำให้ผิวหน้าของเนื้อไม่เรียบเท่าที่ควร

ตาราง 2.7 ผลการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็งในรูปแบบและบรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกัน

รูปแบบผลิตภัณฑ์	ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	คะแนนยอมรับเฉลี่ย*			
		สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	คุณลักษณะรวม
มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล	ถุงแอลดีพีอีถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วย	6.63±1.3	7.08±0.8	7.33±0.5	6.88+0.8
	ฟิล์มยืดพีวีซี	6.67+1.0	7.13+0.8	7.29+0.5	6.71+0.9
	กล่องพีวีซี	6.79±1.1	7.17+1.0	7.38±0.9	6.96+0.9
	กล่องพีเอส	6.63±1.1	7.00+0.8	7.33±0.4	6.79+0.6
		6.58+1.1	7.13+1.2	7.29+0.7	7.00+0.9
มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผล	ถุงแอลดีพีอีถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วย	7.96±1.0	7.54+0.8	7.83+0.5	7.58+1.1
	ฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วย	8.13±0.9	7.58+0.7	7.83±0.5	7.63+0.7
	ฟิล์มยืดพีวีซี	8.17±0.8	7.83+0.8	7.63+0.9	7.88+0.8
	กล่องพีวีซี	8.17±0.6	7.63±1.0	7.67±0.9	7.71+0.8
	กล่องพีเอส	8.13±0.7	7.63+0.8	7.54+0.7	7.63+0.8

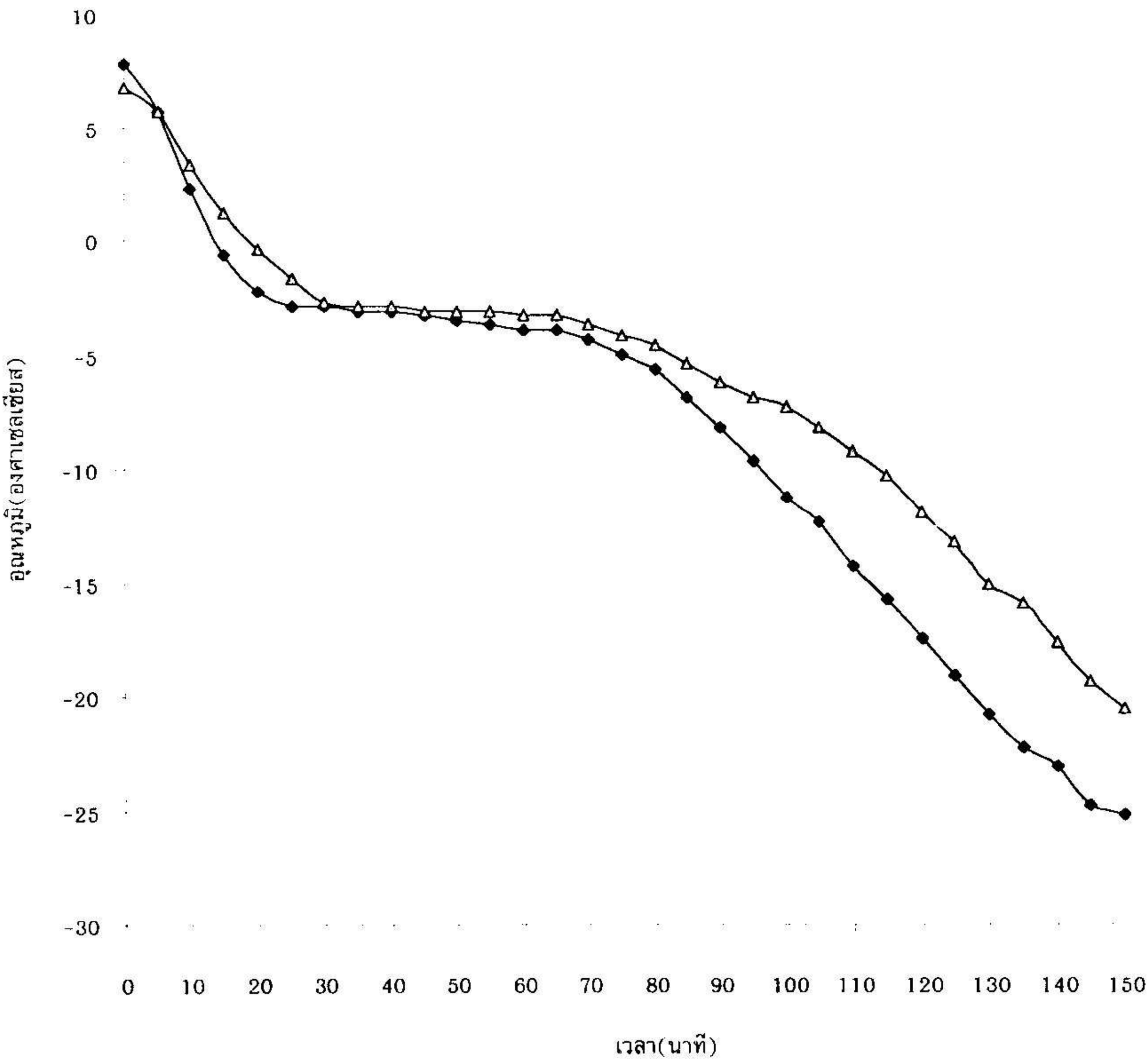
* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผู้ทดสอบ 12 คน
(คะแนนสูงสุด คือ 9 = ชอบมากที่สุด, ..., คะแนนต่ำสุด คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันของผลิตภัณฑ์แต่ละรูปแบบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ซึ่งอาจเป็นผลให้คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ต่ำลง ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในขั้นตอนการเช็ดผลหรือสะเด็ดน้ำให้แห้งก่อนปิดผล ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลมีผิวเนื้อที่เรียบและมีเกล็ดน้ำแข็งละเอียดเป็นปุยสีขาวปกคลุมส่วนที่เป็นเนื้อ จึงทำให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เป็นที่ดึงดูดใจของผู้ชิมคะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์จึงสูงขึ้น

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดแช่เยือกแข็งทำให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งที่มีรูปแบบแตกต่างกันได้คะแนนการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) โดยมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับสูงกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล ยกเว้นคุณภาพการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสที่ให้ผลไม่แตกต่างกัน มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลนอกจากมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลแล้ว ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการผลิต เช่นขั้นตอนการล้างผลมังคุด การประหยัดวัสดุและแรงงานในขั้นตอนการปิดผลและพันเทปกาว อย่างไรก็ตามมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลนอกจากมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับแล้ว ยังคงมีลักษณะของผลไม้สดมากกว่า

การแช่เยือกแข็ง

จากการศึกษาอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งมังคุดด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัสที่อุณหภูมิของเครื่องประมาณ -40°ซ พบว่าผลมังคุดมีอุณหภูมิเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็งประมาณ 6.7-7.6°ซ โดยมังคดชนิดทั้งผลที่มีน้ำหนัก 71-85 กรัมต่อผล ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งจนกระทั่งจุดกึ่งกลางของผลมังคุดมีอุณหภูมิ -18°ซ นาน 141 นาที (ภาพ 2.14) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2533) พบว่าผลมังคุดมีอุณหภูมิเริ่มต้นของการแช่เยือกแข็งประมาณ 12.5°ซ โดยมังคุดมีน้ำหนัก 70-115 กรัมต่อผล ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนาน 175 นาที ทั้งนี้คาดว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของผลมังคุดก่อนการแช่เยือกแข็ง และขนาดของผลมังคุดมีผลต่อระยะเวลาในการแช่เยือกแข็ง ส่วนมังคุดชนิดเปิดครึ่งผลใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนาน 121 นาที และน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งมังคุดชนิดทั้งผลประมาณ 20 นาที ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาค่าไฟฟ้า และน้ำประปา ในการแช่เยือกแข็ง โดยมังคุดทั้ง 2 รูปแบบมีจุดเยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 3°ซ



ภาพ 2.14 อัตราการแช่เยือกแข็งมังคุดชนิดทั้งผลและชนิดเปิดครึ่งผลด้วยเครื่องแบบเพลทสัมผัส

—◆— มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล

—△— มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผล

2.4 การประเมินต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง

ต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งในการทดลองครั้งนี้ คิดเฉพาะในส่วนของวัตถุดิบมังคุดสด และค่าวัสดุสิ้นเปลือง อันประกอบด้วยค่าน้ำแข็ง สารเคมี เทปกาวพลาสติก กระแสไฟฟ้า น้ำประปา บรรจุภัณฑ์ย่อย และกล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งไม่รวมค่าเครื่องมือ อุปกรณ์ค่าเสื่อมราคา และค่าแรงงาน การประเมินต้นทุนผลิตภัณฑ์ได้แยกออกเป็น 2 ส่วน คือ

1 ต้นทุนการผลิต

วัตถุดิบผลมังคุดสดที่ผลิตเป็นมังคุดแช่เยือกแข็งในการทดลองครั้งนี้ มีน้ำหนักประมาณ 13 ผลต่อกิโลกรัม และจากการประเมินต้นทุนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็งทั้ง 2 รูปแบบ (ตาราง 2.8) พบว่าต้นทุนในการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลประมาณ 26.51 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีต้นทุนการผลิตสูงกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลซึ่งมีราคาประมาณ 18.34 บาทต่อกิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลมีค่าใช้จ่ายในส่วนของสารเคมีมากกว่าเล็กน้อย และจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนของเทปกาวพลาสติกสำหรับพันรอบรอยผ่าผลมังคุด นอกจากนี้ยังมีค่าไฟฟ้า และน้ำประปาสูงกว่า เนื่องจากใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานกว่า ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผล นอกจากมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าแล้ว ยังสามารถผลิตได้สะดวกและรวดเร็ว

2 ต้นทุนบรรจุภัณฑ์

จากการประเมินต้นทุนบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง (ตาราง 2.9) พบว่าบรรจุภัณฑ์ย่อยแต่ละชนิดมีราคาต่อหน่วยแตกต่างกันไป โดยถุงแอลดีพีอี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี กล่องพีวีซี และกล่องพีเอสมีราคา 0.12, 0.84, 1.01, 1.72 และ 3.22 บาทต่อหน่วย ตามลำดับ กล่องกระดาษลูกฟูกมีราคา 20 บาทต่อกล่อง เมื่อคำนวณต้นทุนบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งรวมต่อกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งบรรจุได้ 24 ผล พบว่าบรรจุภัณฑ์ย่อยชนิดกล่องพีเอสที่บรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูกมีราคาสูงกว่าชนิดกล่องพีวีซี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลพีดีอี และถุงแอลดีพีอีตามลำดับ จากราคาของบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันทำให้สามารถเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ย่อยสำหรับผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งได้ ซึ่งควรพิจารณาร่วมกับความต้องการของตลาด รูปแบบของผลิตภัณฑ์ และการขนส่ง เป็นต้น ส่วนถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีนอกจากมีราคาค่อนข้างแพงแล้ว ความสามารถในการป้องกันไอน้ำออกจากมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลก็ลดลงด้วยเมื่อทำการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็งนาน 3 เดือน

ตาราง 2.8 ต้นทุนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง

รายการ	รูปแบบผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง ชนิดทั้งผล (บาทต่อ 70 กิโลกรัม)	ชนิดเปิดครึ่งผล (บาทต่อ 70 กิโลกรัม)
มังคุดสด	1,050.00	1,050.00
น้ำแข็ง	105.00	105.00
สารเคมี	125.86	100.80
เทปกาวพลาสติก	544.30	-
ค่าไฟฟ้า	11.37	9.97
ค่าน้ำประปา	19.57	18.09
ต้นทุนรวม	1,856.10	1,283.86

ตาราง 2.9 ต้นทุนบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง

ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	บรรจุภัณฑ์ย่อย ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนผลมังคุดต่อหน่วย	กล่องกระดาษลูกฟูก ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนผลมังคุดต่อหน่วย	ต้นทุนบรรจุภัณฑ์รวม (บาท/หน่วย มังคุด 24 ผล)
ถุงแอลดีพีอี	0.12	4	20	24	20.72
ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี	0.84	4	20	24	25.04
ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี	1.01	4	20	24	26.06
กล่องพีวีซี	1.72	6	20	24	26.88
กล่องพีเอส	3.22	6	20	24	32.88

จากการประเมินต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการผลิตมังคุดแช่เยือกแช็ง ต้นทุนบรรจุภัณฑ์ย่อย และกล่องกระดาษลูกฟูก (ตาราง 2.10) พบว่าต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดมีราคาประมาณ 69.68-81.80 บาทต่อกล่องกระดาษลูกฟูก (จำนวนมังคุด 24 ผล) และมีราคาสูงกว่าต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิด ซึ่งมีราคาประมาณ 54.56-66.72 บาท ต่อกล่องกระดาษลูกฟูก (จำนวนมังคุด 24 ผล) เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งทั้ง 2 รูปแบบ ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยแต่ละชนิด พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกล่องพีเอสมีราคาแพงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกล่องพีวีซี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี และถุงแอลดีพีอี ตามลำดับ

ตาราง 2.10 ต้นทุนผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง

รูปแบบผลิตภัณฑ์	ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	ต้นทุนการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง (บาทต่อจำนวนมังคุดในบรรจุภัณฑ์ย่อย)	บรรจุภัณฑ์ย่อย		กล่องกระดาษลูกฟูก		ต้นทุนรวมมังคุดแช่เยือกแข็งและบรรจุภัณฑ์ (บาทต่อจำนวนมังคุด 24 ผล)
			ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนผลมังคุดต่อหน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนผลมังคุดต่อหน่วย	
มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล	ถุงแอลดีพีอีถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วย	8.16	0.120	4	20	24	69.68
	ฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วย	8.16	0.84	4	20	24	74.00
	ฟิล์มยืดพีวีซี	8.16	1.01	4	20	24	75.02
	กล่องพีวีซี	12.23	1.72	6	20	24	75.80
	กล่องพีเอส	12.23	3.22	6	20	24	81.80
มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผล	ถุงแอลดีพีอีถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วย	5.64	0.12	4	20	24	54.56
	ฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วย	5.64	0.84	4	20	24	58.88
	ฟิล์มยืดพีวีซี	5.64	1.01	4	20	24	59.90
	กล่องพีวีซี	8.46	1.72	6	20	24	60.72
	กล่องพีเอส	8.46	3.22	6	20	24	66.72

2.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษามังคุดแช่เยือกแข็ง ในรูปแบบและบรรจุภัณฑ์ย่อยที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

นำผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°ซ เป็นเวลา 3 เดือน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา ทุกระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ประเมินคุณภาพการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีการให้คะแนนแบบ hedonic scal ประกอบด้วย 9 คะแนน เมื่อ 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด (Lamond, 1977) จากคะแนนการทดสอบที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองแบบ DMRT (Dancan's Multiple Range Test) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมังคุดดังต่อไปนี้ ปริมาณความชื้น ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Ranganna, 1977) ค่าความเป็นกรดด่าง ด้วยพีเอชมิเตอร์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย hand refractometer ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 1990) ตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมดในมังคุดแช่เยือกแข็ง โดย standard plate count method (Speck, 1976)

ผลและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°ซ เป็นเวลา 3 เดือน นำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสการยอมรับด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวม ทุกระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน ได้ผลดังนี้

สี พบว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลได้คะแนนการยอมรับด้านสีต่ำกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิด ($p<0.01$) (ตาราง 2.11 และ 2.12) มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลได้คะแนนการยอมรับเริ่มต้นในระดับปานกลาง และแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับในระดับเฉยๆ ถึงไม่ชอบเล็กน้อย ยกเว้นมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีได้คะแนนการยอมรับในระดับไม่ชอบมาก ทั้งนี้คาดว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีเกิดการสูญเสียความชื้นได้ง่าย เนื่องจากฟิล์มยืดพีวีซีมีอัตราการการซึมผ่านไอน้ำสูง ประกอบกับมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลยังคงมีกลีบเลี้ยงและขั้วผลซึ่งเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดการคายน้ำได้ง่าย ทำให้มีปริมาณของไอน้ำที่ซึมผ่านออกจากบรรยากาศของบรรจุภัณฑ์ย่อยสูง อาจก่อให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของเนื้อภายในได้ นอกจากนี้ฟิล์มยืดพีวีซีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำที่ค่อนข้างสูง (มยุรี ภาคลำเจียกและอมรรัตน์ สวัสดิทัต, 2533) เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นแผ่นฟิล์มสามารถ

ดูดซึมน้ำได้มากขึ้นทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะเปียกชื้นและความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำลดลง ความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในการเก็บรักษาอาจเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ เช่น เกิดลักษณะมีเกล็ดน้ำแข็งเกาะบนผิวเนื้อ เนื้อสีคล้ำและหดตัว เปลือกและเนื้อแยกออกจากกัน ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีได้คะแนนการยอมรับด้านสีสูงกว่าบรรจุภัณฑ์ย่อยชนิดอื่น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอีมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำออกจากแผ่นฟิล์มสมดุลกับการสูญเสียความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ จึงทำให้สามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับเริ่มต้นระดับชอบมาก และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลาง เนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งมีสีขาวแต่ความสดของผลิตภัณฑ์ลดลงไปบ้าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยต่างชนิดกันได้คะแนนการยอมรับด้านสีไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้คาดว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลไม่มีส่วนของกลีบเลี้ยงและขั้วผลในอันที่จะชักนำให้เกิดการสูญเสียความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์สูญเสียความชื้นในปริมาณน้อย การดูดซึมน้ำของแผ่นฟิล์มก็น้อยไปด้วย

กลิ่นรส พบว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลได้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสต่ำกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิด ($p<0.01$) (ตาราง 2.11 และ 2.12) โดยมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลได้คะแนนการยอมรับเริ่มต้นในระดับชอบปานกลาง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับในระดับเฉยๆ ถึงไม่ชอบเล็กน้อย ยกเว้นมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิลม์ยืดพีวีซีได้คะแนนการยอมรับในระดับไม่ชอบมาก ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับเริ่มต้นในระดับชอบมาก และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่พบว่ามีการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลาง ยกเว้นมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในกล่องพีเอสได้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสในระดับชอบเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาจนครบ 3 เดือน ซึ่งอาจเกิดจากความผันแปรของผลิตภัณฑ์

เนื้อสัมผัส พบว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลได้คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสต่ำกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิด ($p<0.01$) (ตาราง 2.11 และ 2.12) มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลได้คะแนนการยอมรับเริ่มต้นในระดับชอบปานกลาง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่พบว่ามีการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับอยู่ในระดับเฉยๆ ยกเว้นมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุ ในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีได้คะแนนการยอมรับในระดับไม่ชอบมาก ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการ

ยอมรับเริ่มต้นระดับชอบมาก และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลางถึงชอบเล็กน้อย

คุณลักษณะรวม พบว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลได้คะแนนการยอมรับด้านคุณลักษณะรวมต่ำกว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิด ($p<0.01$) (ตาราง 2.11 และ 2.12) มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลได้คะแนนการยอมรับเริ่มต้นในระดับชอบปานกลาง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับอยู่ในระดับเฉยๆ ถึงไม่ชอบเล็กน้อย ยกเว้นมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี ได้คะแนนการยอมรับในระดับไม่ชอบมาก ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับเริ่มต้นระดับชอบมาก และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับในดับชอบปานกลางถึงชอบเล็กน้อย

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง พบว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิด ได้คะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเริ่มต้นในระดับชอบปานกลาง และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยคะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกคุณลักษณะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาครบ 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ได้คะแนนการยอมรับในระดับเฉยๆ ถึงไม่ชอบเล็กน้อย ยกเว้นมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีได้คะแนนการยอมรับในระดับไม่ชอบมาก ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิด ได้คะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเริ่มต้นในระดับชอบมาก และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยพบว่าคะแนนการยอมรับด้านสี เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน ส่วนการยอมรับด้านกลิ่นรสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน และยังคงได้คะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระดับชอบปานกลางถึงไม่ชอบเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน

ตาราง 2.11 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ-20°ช ของมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล

ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	เวลาเก็บรักษา (เดือน)	คะแนนการยอมรับเฉลี่ย*			
		สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	คุณลักษณะรวม
ถุงแอลดีพีอี	1	5.58 ± 0.9b	7.00 ± 0.6c	7.29 ± 0.5c	6.58 ± 0.6b
	2	5.08 ± 1.0a	5.63 ± 0.8b	6.13 ± 1.0b	4.96 ± 1.2a
	3	4.38 ± 0.8a	4.17 ± 0.7a	4.92 ± 0.9a	4.54 ± 0.7a
ถาดโฟมพีเอส หุ้มด้วยฟิล์มยืด แอลแอลดีพีอี	1	6.63 ± 0.9b	7.04 ± 0.6c	7.29 ± 0.8c	6.50 ± 0.7bc
	2	5.83 ± 1.0b	6.13 ± 0.7b	6.21 ± 0.5b	5.79 ± 0.8b
	3	4.79 ± 1.1a	5.04 ± 0.9a	5.21 ± 1.2a	4.67 ± 1.0a
ถาดโฟมพีเอส หุ้มด้วยฟิล์มยืด พีวีซี	1	6.75 ± 0.9b	7.08 ± 0.6c	7.29 ± 0.6c	6.54 ± 0.5c
	2	5.13 ± 1.3b	6.04 ± 0.7b	6.29 ± 0.7c	5.54 ± 1.0b
	3	1.92 ± 0.7a	2.33 ± 0.8a	2.21 ± 1.1a	1.96 ± 0.7a
กล่องพีวีซี	1	6.38 ± 0.5c	6.88 ± 0.6c	7.29 ± 0.4c	6.54 ± 0.5c
	2	5.54 ± 1.0b	6.00 ± 0.9b	6.33 ± 0.8b	5.58 ± 1.2b
	3	4.13 ± 0.6a	4.63 ± 1.1a	4.92 ± 1.3a	4.29 ± 1.0a
กล่องพีเอส	1	6.50 ± 1.1bc	6.88 ± 0.8c	7.25 ± 0.5b	6.67 ± 0.8c
	2	5.54 ± 1.2b	6.00 ± 0.6b	6.50 ± 0.7b	5.63 ± 0.9b
	3	4.54 ± 1.2a	5.00 ± 1.1a	5.13 ± 1.5a	4.83 ± 1.0a

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผู้ทดสอบ 12 คน
(คะแนนสูงสุด คือ 9 = ชอบมากที่สุด, ..., คะแนนต่ำสุด คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)
ค่าในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตาราง 2.12 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ-20°ซ ของมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผล

ชนิดบรรจุภัณฑ์ย่อย	เวลาเก็บรักษา (เดือน)	คะแนนการยอมรับเฉลี่ย* สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	คุณลักษณะรวม
ถุงแอลดีพีอี	1	7.83 ± 0.8b	7.13 ± 1.0a	7.21 ± 0.9ab	7.13 ± 0.8ab
	2	6.79 ± 0.9a	6.67 ± 1.0a	6.38 ± 1.1a	6.46 ± 0.8a
	3	6.71 ± 1.3a	6.63 ± 1.1a	6.33 ± 1.4a	6.38 ± 1.2a
ถาดโฟมพีเอส	1	7.92 ± 0.9bc	7.08 ± 0.8ab	7.04 ± 0.8bc	7.04 ± 0.7ab
หุ้มด้วยฟิล์มยืด	2	7.08 ± 1.3ab	6.92 ± 1.0ab	6.42 ± 0.9ab	6.92 ± 0.9ab
แอลแอลดีพีอี	3	6.71 ± 1.1a	6.50 ± 1.2a	6.17 ± 1.3a	6.33 ± 1.4a
ถาดโฟมพีเอส	1	8.08 ± 0.7b	7.33 ± 0.6ab	7.50 ± 0.6b	7.58 ± 0.6bc
หุ้มด้วยฟิล์มยืด	2	7.17 ± 1.1a	6.79 ± 0.9a	6.63 ± 0.6a	6.88 ± 0.7ab
พีวีซี	3	6.88 ± 1.2a	6.71 ± 0.9a	6.54 ± 1.1a	6.71 ± 1.2a
กล่องพีวีซี	1	7.96 ± 0.6b	7.04 ± 0.9ab	7.33 ± 0.7b	7.08 ± 0.6ab
	2	7.04 ± 0.9a	6.63 ± 0.7a	6.25 ± 1.1a	6.63 ± 0.8a
	3	6.88 ± 1.2a	6.54 ± 1.0a	6.17 ± 1.3a	6.54 ± 1.1a
กล่องพีเอส	1	8.00 ± 0.7b	7.33 ± 0.9bc	7.25 ± 0.6b	7.38 ± 0.8bc
	2	6.96 ± 0.9a	6.83 ± 0.7ab	6.46 ± 0.8a	6.79 ± 0.8ab
	3	6.96 ± 1.3a	6.42 ± 1.0a	6.29 ± 1.0a	6.46 ± 1.2a

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผู้ทดสอบ 12 คน
(คะแนนสูงสุด คือ 9 = ชอบมากที่สุด, ..., คะแนนต่ำสุด คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)
ค่าในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และจำนวนจุลินทรีย์ของมังคุดแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ทางกายภาพ และจำนวนจุลินทรีย์ของมังคุดแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°ซ เป็นเวลา 3 เดือน โดยทำการวิเคราะห์ทุกระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน ได้ผลแสดงในตาราง 2.13 พบว่ามังคุดแช่เยือกแข็งทั้ง 2 รูปแบบที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดมีผลการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยคือ

องค์ประกอบทางเคมีของมังคุดแช่เยือกแข็งทั้ง 2 รูปแบบ และที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดที่ผ่านการเก็บรักษาครบ 3 เดือน มีปริมาณค่อนข้างคงที่อันได้แก่ ความชื้น ร้อยละ 75.7-77.1 กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 0.75-0.80 ความเป็นกรดด่าง 3.24-3.34 ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 18.8-19.6°บริกซ์ และน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 16.2-17.5 ส่วนกรดแอสคอร์บิกลดลงในระหว่างการเก็บรักษาครบ 3 เดือน มีประมาณ 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเนื้อมังคุด ซึ่งกรดแอสคอร์บิกอาจเกิดการสูญเสียในระหว่างการแปรรูป และการเก็บรักษา ทั้งนี้ Tannenbaum และคณะ (1984) ได้อธิบายว่า กรดแอสคอร์บิกมีความไวต่อการเสื่อมสลาย ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสื่อมสลายของกรดแอสคอร์บิก ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ก๊าซออกซิเจน เอนไซม์ ทองแดง เหล็ก และความเข้มข้น เริ่มต้นของกรดแอสคอร์บิก สำหรับน้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณค่อนข้างคงที่ในมังคุดแช่เยือกแข็งทั้ง 2 รูปแบบ และที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิด คือ ร้อยละ 4.7-5.6 ยกเว้นมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลบรรจุในถุงแอลดีพีอี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี และกล่องพีวีซีมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 5.6-7.0 เมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน ทั้งนี้ Kawamata (1977) อธิบายว่าสัดส่วนของน้ำตาลซูโครสต่อผลรวมของน้ำตาลฟรักโตสและกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากการย่อยสลาย (hydrolysis) ของน้ำตาลซูโครสไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่าคุณภาพของมังคุดแช่เยือกแข็งเริ่มลดลงเนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนี้ในผลการทดลองพบว่าสัดส่วนของของแข็งที่ละลายได้ต่อกรดทั้งหมด และสัดส่วนของน้ำตาลทั้งหมดต่อกรดทั้งหมดยังคงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นความเข้มของกลิ่นรส และรสชาติของผลิตภัณฑ์จึงไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ในระยะเริ่มต้น แต่อาจมีกลิ่นที่เกิดจากความไม่สดของผลิตภัณฑ์ เช่น กลิ่นหมัก ทำให้การยอมรับกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมังคุดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาครบ 3 เดือน พบว่ามังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดมีผิวเต่ง สีม่วงอมแดง ความมันวาวลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการสูญเสียไขเคลือบผิวในขั้นตอนการทำความสะอาดและความสดของผลไม้ที่ลดลง ส่วนกลีบเลี้ยงและขั้วผลยังคงมีสีเขียวเหี่ยวเล็กน้อย ยกเว้นมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี ผิวมีสีม่วงน้ำตาลคล้ำ กลีบเลี้ยงและขั้วผลเหี่ยวมีสีน้ำตาล ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดยังคงมีเนื้อสีขาวแต่ความสดของผลไม้ลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งเมื่อเก็บรักษาครบ 3 เดือน พบว่าเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งทั้ง 2 รูปแบบ และที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดมีจำนวนจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกัน และมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 90 โคโลนีต่อกรัมเนื้อมังคุดซึ่ง Frazier (1988) ได้อธิบายว่า จุลินทรีย์ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งและจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตจะมีจำนวนลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งทั้ง 2 รูปแบบ และที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดยังคงมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ที่ได้มาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานจุลินทรีย์ผลไม้แช่เยือกแข็งของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งกำหนดจำนวนจุลินทรีย์ต่อเนื้อผลไม้แช่เยือกแข็งหนัก 1 กรัม ต้องน้อยกว่า 1×10^5 โคโลนีต่อกรัม (สมทรง ปวีณการก์ และหิรัญ หิรัญประดิษฐ์, 2532)

ตาราง 2.13 องค์ประกอบทางเคมี จำนวนจุลินทรีย์ของมังคุดสดและมังคุดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°ซ

ผลิตภัณฑ์	บรรจุภัณฑ์ย่อย	เวลาเก็บรักษา (เดือน)	ความชื้น* (ร้อยละ)	กรดแลกติก* (มก. / 100 กรัมเนื้อ)	กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก* (ร้อยละ)	ความเป็นกรดด่าง (pH)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° บริกซ์)	น้ำตาลรีดิวซ์* (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด* (ร้อยละ)	สัดส่วนของแข็งที่ละลายได้ต่อกรดทั้งหมด	สัดส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อกรดทั้งหมด	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม-เนื้อมังคุด)
มังคุด	-		78.4 ± 0.9	2.6 ± 0.1	0.75 ± 0.02	3.26	18.8	4.4 ± 0.3	15.8 ± 0.1	25.0	21.1	-
มังคุดแช่เยือกแข็งชนิดทั้งผล	ถุงแอลดีพีอี	0	77.9 ± 0.8	2.2 ± 0.1	0.77 ± 0.03	3.28	19.6	4.2 ± 0.2	17.1 ± 0.0	25.5	22.2	290
		1	77.6 ± 0.6	1.5 ± 0.0	0.80 ± 0.07	3.24	19.9	5.0 ± 0.8	18.1 ± 0.3	24.9	22.6	550
		2	76.7 ± 1.0	0.7 ± 0.0	0.76 ± 0.03	3.37	19.7	4.9 ± 0.5	17.7 ± 0.7	25.9	23.3	30
		3	75.7 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.78 ± 0.01	3.27	19.1	5.8 ± 0.8	17.1 ± 0.8	24.5	21.9	81
	ถาดโฟม	0	78.2 ± 0.6	2.3 ± 0.2	0.76 ± 0.03	3.27	19.5	4.4 ± 0.0	16.9 ± 0.4	25.7	22.2	75
	หุ้มฟิล์ม	1	78.1 ± 1.0	1.5 ± 0.0	0.82 ± 0.01	3.24	19.8	5.1 ± 1.3	18.3 ± 1.2	24.2	22.3	90
	แอลแอลดีพีอี	2	76.6 ± 0.9	0.7 ± 0.0	0.78 ± 0.05	3.32	19.5	4.7 ± 0.4	17.8 ± 0.7	25.0	22.3	38
		3	77.0 ± 0.7	0.3 ± 0.1	0.78 ± 0.03	3.28	18.8	4.7 ± 0.1	16.8 ± 0.6	24.1	21.5	33
	ถาดโฟม	0	79.3 ± 1.8	2.2 ± 0.2	0.75 ± 0.02	3.26	19.4	4.5 ± 0.4	16.4 ± 1.3	25.9	21.8	43
	หุ้มฟิล์ม	1	77.0 ± 0.1	1.4 ± 0.0	0.73 ± 0.05	3.28	18.7	4.8 ± 0.1	17.3 ± 1.8	25.6	23.7	80
	พีวีซี	2	77.3 ± 0.8	0.7 ± 0.0	0.78 ± 0.04	3.29	19.3	5.1 ± 0.7	17.8 ± 1.1	24.7	22.7	33
		3	77.1 ± 0.4	0.2 ± 0.2	0.80 ± 0.02	3.34	18.8	7.0 ± 1.7	17.0 ± 0.6	23.5	21.3	12
	กล่องพีวีซี	0	78.8 ± 1.2	2.3 ± 0.2	0.73 ± 0.06	3.28	19.5	4.6 ± 0.1	16.8 ± 0.0	26.7	23.1	24
		1	77.7 ± 1.6	1.4 ± 0.3	0.79 ± 0.01	3.28	19.5	4.8 ± 0.3	18.2 ± 0.9	24.7	23.0	22
		2	78.0 ± 0.0	0.8 ± 0.0	0.75 ± 0.04	3.31	18.5	4.6 ± 0.2	17.4 ± 1.7	24.7	23.3	51
		3	76.7 ± 0.7	0.3 ± 0.1	0.79 ± 0.06	3.30	19.0	5.6 ± 0.3	17.4 ± 1.1	24.1	22.0	27

ตาราง 2.13 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	บรรจุภัณฑ์ย่อย	เวลาเก็บรักษา (เดือน)	ความชื้น* (ร้อยละ)	กรดแอสคอบิก* (มก. / 100 กรัมเนื้อ)	กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก* (ร้อยละ)	ความเป็นกรดด่าง (pH)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° บริกซ์)	น้ำตาลรีดิวซ์* (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด* (ร้อยละ)	สัดส่วนของแข็งที่ละลายได้ต่อกรดทั้งหมด	สัดส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อกรดทั้งหมด	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม-เนื้อมังคุด)
	กล่องพีเอส	0	79.1 ± 0.7	2.1 0.0	0.75 ± 0.04	3.29	19.5	4.3 ± 0.0	16.5 ± 0.1	26.0	22.0	50
		1	77.6 ± 0.2	1.5 0.1	0.76 ± 0.02	3.32	18.9	4.5 ± 0.6	17.8 ± 0.9	24.9	23.4	78
		2	77.1 ± 1.0	0.8 0.0	0.76 ± 0.06	3.30	19.0	5.2 ± 0.7	17.4 ± 1.5	25.0	22.9	21
		3	76.7 ± 0.5	0.4 0.1	0.78 ± 0.04	3.32	19.1	5.0 ± 0.4	17.4 ± 0.3	24.4	22.4	47
มังคุดแช่	ถุงแอลดีพีอี	0	78.9 ± 1.4	2.1 ± 0.1	0.75 ± 0.05	3.28	19.2	4.4 ± 0.1	17.0 ± 0.6	25.6	22.7	250
เยือกแข็ง		1	77.4 ± 0.4	1.5 ± 0.1	0.78 ± 0.04	2.28	19.1	4.8 ± 0.8	17.8 ± 0.6	24.5	22.8	1200
ชนิดเปิด		2	77.7 ± 0.0	0.7 ± 0.0	0.78 ± 0.02	3.29	19.0	4.8 ± 0.5	17.1 ± 0.8	24.4	22.9	38
ครึ่งผล		3	76.0 ± 0.6	0.4 ± 0.1	0.80 ± 0.10	3.23	19.6	5.6 ± 0.2	16.9 ± 0.4	24.4	21.2	33
	ถาดโฟม	0	78.7 ± 1.1	2.1 ± 0.3	0.74 ± 0.05	3.28	19.0	4.6 ± 0.2	16.8 ± 0.7	25.7	22.7	570
	หุ้มฟิล์มยืด	1	78.3 ± 0.1	1.5 ± 0.0	0.75 ± 0.01	3.25	18.8	5.0 ± 0.63	17.1 ± 0.6	25.1	22.7	23
	แอลแอลดีพีอี	2	77.1 ± 0.4	0.7 ± 0.0	0.82 ± 0.03	3.29	19.3	5.3 ± 0.7	17.8 ± 0.6	23.5	21.7	65
		3	76.8 ± 1.2	0.5 ± 0.1	0.81 ± 0.01	3.24	19.0	5.4 ± 0.2	17.6 ± 1.0	23.4	21.7	22
	ถาดโฟม	0	78.4 ± 1.5	2.0 ± 0.1	0.76 ± 0.03	3.29	19.6	4.3 ± 0.2	17.4 ± 1.2	25.8	22.9	150
	หุ้มฟิล์มยืด	1	77.2 ± 0.1	1.4 ± 0.1	0.77 ± 0.04	3.24	19.2	4.8 ± 0.7	17.3 ± 1.01	24.9	22.5	520
	พีวีซี	2	77.7 ± 0.3	0.7 ± 0.0	0.75 ± 0.04	3.35	18.7	4.6 ± 0.7	16.8 ± 0.5	24.9	22.4	110
		3	77.0 ± 0.3	0.5 ± 0.1	0.75 ± 0.02	3.30	18.8	4.9 ± 0.1	16.2 ± 0.4	25.1	21.6	20

ตาราง 2.13 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	บรรจุภัณฑ์ย่อย	เวลาเก็บรักษา (เดือน)	ความชื้น* (ร้อยละ)	กรดแอสคอบิก* (มก. / 100 กรัมเนื้อ)	กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก* (ร้อยละ)	ความเป็นกรดด่าง (pH)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ บริกซ์)	น้ำตาลรีดิวซ์* (ร้อยละ)	น้ำตาลทั้งหมด* (ร้อยละ)	สัดส่วนของแข็งที่ละลายได้ต่อกรดทั้งหมด	สัดส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อกรดทั้งหมด	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม-เนื้อมังคุด)
	กล่องพีวีซี	0	78.3 ± 0.5	2.1 ± 0.0	0.70 ± 0.01	3.31	18.5	4.3 ± 0.3	15.9 ± 0.3	26.4	22.7	270
		1	76.5 ± 1.3	1.5 ± 0.1	0.79 ± 0.05	3.22	19.6	4.9 ± 0.8	17.9 ± 0.6	24.8	22.7	28
		2	77.2 ± 0.2	0.7 ± 0.0	0.80 ± 0.05	3.24	19.4	4.8 ± 0.5	17.2 ± 0.0	24.3	22.5	180
		3	76.7 ± 0.9	0.5 ± 0.0	0.81 ± 0.09	3.24	19.2	5.3 ± 0.8	17.3 ± 0.9	23.7	21.3	41
	กล่องพีเอส	0	78.4 ± 0.9	2.0 ± 0.0	0.71 ± 0.02	3.31	18.7	4.3 ± 0.5	16.6 ± 0.0	26.3	23.4	600
		1	77.8 ± 0.8	1.6 ± 0.1	0.78 ± 0.10	3.09	19.9	5.0 ± 0.6	17.8 ± 0.3	25.5	22.9	83
		2	76.9 ± 0.7	0.7 ± 0.0	0.79 ± 0.03	3.28	19.6	5.0 ± 0.7	17.7 ± 0.8	24.8	22.4	2800
		3	76.3 ± 0.4	0.4 ± 0.0	0.80 ± 0.02	3.27	19.3	5.4 ± 0.0	17.6 ± 1.0	24.1	21.9	18

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

สรุปผลการทดลอง

ผลของการแช่มังคุดที่ผ่าผลแล้วในสารละลายที่ประกอบด้วยแคลเซี่ยมคลอไรด์ร้อยละ 1.25 และกรดซิตริกร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก สามารถป้องกันการเปลี่ยนสีของมังคุดและรักษาความคงตัวของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งได้เป็นที่น่าพอใจ

การแช่เยือกแข็งมังคุดด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัสที่อุณหภูมิของเครื่องประมาณ -30°ซ จนกระทั่งอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผลมังคุดถึง -18°ซ ใช้เวลา 220 นาที แต่เมื่อทำการแช่ผลมังคุดในน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิให้ลดลงเหลือ 10°ซ และ 4°ซ ก่อนเข้ากระบวนการแปรรูป สามารถลดระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งลงเหลือ 180 และ 175 นาที ตามลำดับ และพบว่าการลดอุณหภูมิลงเหลือ 4°ซ จะแสดงผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่า เพราะสามารถปรับปรุงคุณภาพด้านสีและคุณลักษณะรวมของผลิตภัณฑ์ได้

อายุการเก็บรักษาของมังคุดแช่เยือกแข็ง เมื่อทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนการยอมรับเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาครบ 90 วัน มังคุดแช่เยือกแข็งยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

มังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยต่างกัน ได้รับคะแนนการยอมรับเริ่มต้นในระดับปานกลางและมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บครบ 90 วัน ได้รับคะแนนการยอมรับในระดับเฉย ๆ ถึงไม่ชอบเล็กน้อย ส่วนมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลได้คะแนนการยอมรับเริ่มต้นในระดับชอบมากและมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยยังคงได้รับคะแนนการยอมรับในระดับปานกลางถึงไม่ชอบเล็กน้อยเมื่ออายุการเก็บรักษาครบ 90 วัน

เมื่อพิจารณาถึงจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งเมื่อเก็บรักษาครบ 90 วัน พบว่าเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งสองรูปแบบและที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดมีจำนวนจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกัน และมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 90 โคโลนีต่อกรัมเนื้อมังคุด แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งทั้งสองรูปแบบและที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยทุกชนิดยังคงมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ที่ได้มาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานจุลินทรีย์ผลไม้แช่เยือกแข็งของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งกำหนดจุลินทรีย์ต่อเนื้อผลไม้แช่เยือกแข็งหนัก 1 กรัม ต้องน้อยกว่า $1x10^5$ โคโลนีต่อกรัม (สมทรง ปวีณการก์และหิรัญ หิรัญประดิษฐ์, 2532)

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งโดยวิธีไอคิวเอฟ

หลักการและเหตุผล

มังคุดเป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่งที่นิยมส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ แต่เนื่องจากการส่งออกมังคุดในรูปผลสดมีอายุการเก็บรักษาสั้น และมักประสบปัญหาด้อยคุณภาพ จากแนวโน้มการส่งออกที่เพิ่มขึ้นทำให้การผลิตมังคุดในรูปของการแช่เยือกแข็งได้รับความสนใจมากขึ้น การแช่เยือกแข็งมังคุดทั้งผลต้องผ่านการคัดเลือกผลที่มีคุณภาพดี ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม คือ ขนาดผลสม่ำเสมอ น้ำหนักผลไม่ต่ำกว่า 80 กรัมต่อผล ผิวของผลสะอาด มีสีแดงอมม่วงตามธรรมชาติ เนื้อภายในมีสีขาวนวล ไม่มีอาการเน่าช้ำ เนื้อแก้วและยางซึม แต่สำหรับผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมดนั้นพบว่า มีปริมาณของผลที่มีลักษณะด้อยคุณภาพไม่ครบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด ประมาณร้อยละ 45-50 ซึ่งสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อย่างอื่น เช่น มังคุดกึ่งแห้ง มังคุดกวน มังคุดกระป๋อง และมังคุดแช่เยือกแข็งแบบเป็นชิ้น

ในปัจจุบันการแช่เยือกแข็งแบบเป็นชิ้นหรือที่เรียกว่าไอคิวเอฟ (Individually Quick Freezing, IQF) มีบทบาทมากขึ้นในอุตสาหกรรมการแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ประโยชน์จากผลมังคุดที่ด้อยคุณภาพ การแช่เยือกแข็งแบบนี้เป็นวิธีที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งที่เร็วมาก ทำได้โดยให้อาหารสัมผัสกับสารให้ความเย็นขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะ มีข้อได้เปรียบคือ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางชีวเคมีลดลงอย่างรวดเร็ว และเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กและมีปริมาณมากกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ยังคงรักษาคุณภาพของอาหารเอาไว้ได้ สิ่งที่สำคัญจะต้องคำนึงถึงในอุตสาหกรรมผักและผลไม้แช่เยือกแข็งคือการพยายามรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ให้คงเดิมมากที่สุด

วัตถุประสงค์

1 เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตและแนวทางการป้องกันการเสื่อมคุณภาพของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ
2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ
3 เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากชิ้นมังคุดให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสำหรับเป็นข้อมูลในการพัฒนาเข้าสู่อุตสาหกรรม

3.1. การศึกษาแนวทางยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาผลของการใช้สารเคมีในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาเนื้อสัมผัสของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง โดยการนำชิ้นมังคุดแช่ในสารละลายผสมที่มีอุณหภูมิ 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 (ตาราง 3.1) เรียงชิ้นมังคุดลงในถาดสำหรับแช่เยือกแข็ง วางถาดในเครื่องแช่เยือกแข็ง Cryogenic Cabinet Freezer ตั้งอุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็งเป็น -60 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางชิ้นมังคุดเป็น -18 องศาเซลเซียส นำออกมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพีอี เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

หลังจากเก็บเป็นเวลา 1 วัน นำมาวัดค่าสีตามระบบฮันเตอร์ (L, a, b) ด้วยเครื่องวัดสี JUKI และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนประมาณ 15 คน ใช้การทดสอบชิมแบบพรรณาเชิงปริมาณ (QDA) (Stone, *et al.*, 1974) คุณลักษณะที่ทำการประเมินคือ สี และเนื้อสัมผัส คะแนนการทดสอบที่ได้นำมาวิเคราะห์วาเรียนซ์ และความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองแบบ DMRT (Duncan's Multiple Range Test) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531) เพื่อคัดเลือกชุดการทดลองที่เหมาะสมในป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและการปรับปรุงเนื้อสัมผัส

ตาราง 3.1 ชุดการทดลองการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัวของชิ้นเนื้อมังคุดแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลาย (ร้อยละ)		
	กรดซิตริก+แคลเซียมคลอไรด์	กรดอีริธอร์บิก	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

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 3.2 และ 3.3 โดยมีรายละเอียดดังนี้ค้อ จากคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นเนื้อมังคุดขนาดเล็ก (ตาราง 3.2) พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัส (คะแนน 0 = แน่นน้อย , 10 = แน่นมาก) ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนค่าสี (คะแนน 0 = สีขาว , 10 = สีน้ำตาลอ่อน) จะมีความแตกต่างกัน โดยพบว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้กรดซิตริกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ กรดอิริธอร์บิก และ ซีสเตอีน ให้ค่าสีค่อนไปทางขาวกว่าชุดควบคุม อย่างไรก็ตามผลร่วมของการใช้สารเคมีไม่แสดงผลที่ทำให้ค่าสีดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการใช้สารเคมีชนิดเดี่ยวก็สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้เพียงพอ

สำหรับค่าสีที่วัดจากเครื่องวัดสี JUKI พบว่าค่า L ซึ่งแสดงถึงค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ ชุดการทดลองที่มีการใช้สารเคมีชนิดเดี่ยวให้ผลที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับค่า a และ b

เมื่อพิจารณาผลการทดลอง จากคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของค่าสี ร่วมกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องของชิ้นมังคุดขนาดเล็ก พบว่าชุดการทดลองที่ให้ผลของสีที่ดีที่สุดคือ ชุดการ
ทดลองที่มีการใช้กรดซิตริกร่วมกับแคลเซี่ยมคลอไรด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 0.25 ตามลำดับ

คะแนนการประเมินคุณภาพประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ (ตาราง 3.3) พบว่า การใช้สารเคมีสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง และการเลือกใช้ชนิดของสารเคมีที่แตกต่างกันให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งให้ผลในทำนองเดียวกันกับชิ้นมังคุดขนาดเล็ก การใช้สารเคมีร่วมกันไม่มีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ใช้สารเคมีชนิดเดี่ยว เมื่อพิจารณาค่า L พบว่าชุดการทดลองที่มีการใช้สารเคมีจะให้ค่าที่สูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้ใช้สารเคมี สำหรับชุดการทดลองที่มีการใช้สารเคมีชนิดเดี่ยว พบว่าค่า a ของชุดการทดลองที่ใช้กรดซิตริก ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ มีค่าสูงสุด ส่วนค่า b ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นสำหรับชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ ชุดการทดลองที่ให้ผลของค่าสีดีที่สุด คือ ชุดการทดลองที่มีการใช้กรดซิตริกร้อยละ 0.5 และ แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25

ตาราง 3.2 คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กแช่เยือกแข็งในขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัว

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

* ชุดควบคุมไม่มีการแช่ในสารละลาย

ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

ตาราง 3.3 คะแนนทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่แช่เยือกแข็งในขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและรักษาความคงตัว

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

* ชุดควบคุมไม่มีการแช่ในสารละลาย

ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

3.2 การศึกษาการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุด

วิธีดำเนินการวิจัย

คัดเลือกชุดการทดลองที่เหมาะสมในข้อ 3.1 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 (ตาราง 3.4) หลังจากแช่ในสารละลายซูโครสตามความเข้มข้นและเวลาที่กำหนด นำชิ้นมังคุดมาแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง Cryogenic Cabinet Freezer เช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.1 นำชิ้นมังคุดที่เกิดการเยือกแข็งแล้วออกมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพีอี เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซียส เป็นเวลา 1 วัน

หลังจากเก็บรักษาที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน นำมาวัดสีด้วยเครื่อง JUKI วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณความชื้น และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนประมาณ 15 คน ใช้แบบทดสอบชิมในเชิงพรรณาปริมาณ คุณลักษณะที่ทำการประเมินคือ สี เนื้อสัมผัส และความหวาน คะแนนการทดสอบที่ได้นำมาวิเคราะห์วาเรียนซ์และความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองแบบ DMRT เพื่อคัดเลือกชุดการทดลองที่เหมาะสมในการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

ตาราง 3.4 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

ผลและวิจารณ์

เมื่อทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและค่าสีของผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังแสดงในตาราง 3.5

สำหรับชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่ผ่านการออสโมซีสก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่าคะแนนสีจากการประเมินทางประสาทสัมผัสของทุกชุดการทดลอง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในทำนองเดียวกันกับค่าสี (L , a , b) ที่อ่านได้จากเครื่องวัดสี เมื่อผ่านการดึงน้ำออกบางส่วนโดยการออสโมซีสในสารละลายน้ำตาล มีผลทำให้ค่าความหวานเพิ่มมากขึ้น ผู้บริโภคชอบมากขึ้น (คะแนน 0 = หวานน้อย , 10 = หวานมาก) เมื่อพิจารณาจากค่าคะแนนความหวานในอุดมคติของผู้บริโภค ซึ่งมีค่า = 5.20 และวิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละชุดการทดลองกับค่าในอุดมคติพบว่าชุดการทดลองที่เหมาะสมต่อการดึงน้ำออกบางส่วนแบบออสโมซีส ได้แก่สภาวะที่ทำการออสโมซีสในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 30°บริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องก่อนการแช่เยือกแข็ง

ส่วนค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่ผ่านการออสโมซีสก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่าค่าคะแนนสีที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของทุกชุดการทดลอง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับค่าสี (L , a , b) ที่วัดได้จากเครื่องวัดสี ส่วนค่าความหวานพบว่าเมื่อผ่านการออสโมซีสด้วยสารละลายน้ำตาลซูโครส จะมีผลทำให้ความหวานเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความหวานของชุดการทดลองเทียบกับค่าในอุดมคติที่ผู้บริโภคยอมรับ พบว่าชุดการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 40°บริกซ์ เป็นเวลานาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องก่อนการแช่เยือกแข็ง

ตาราง 3.5 ค่าคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสและค่าสีของชิ้นมังคุดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่ผ่านการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

ชุดการทดลอง		คุณภาพทางประสาทสัมผัส*			ค่าสี		
ซูโครส (°บริกซ์)	เวลา (นาที)	สี	เนื้อสัมผัส	ความหวาน	L	a	b
ชิ้นมังคุดขนาดเล็ก							
30	30	3.79^{ns}	5.99ab	4.77bc	29.95^{ns}	-0.42^{ns}	2.69^{ns}
30	60	3.03	6.02ab	4.59b	30.45	-0.35	3.28
30	120	4.23	6.13ab	5.44bcd	30.64	-0.44	3.27
40	30	3.38	6.48b	5.37bcd	30.03	-0.39	3.19
40	60	3.26	5.91ab	5.49cd	30.69	-0.42	3.62
40	120	5.17	5.70a	5.54cd	30.43	-0.46	3.10
50	30	4.18	6.15ab	5.40bcd	29.49	-0.39	3.07
50	60	3.96	6.07ab	5.55cd	30.39	-0.38	3.20
50	120	4.15	5.68a	5.96b	30.45	-0.41	3.16
ชิ้นมังคุดขนาดใหญ่							
30	30	3.52^{ns}	5.90^{ns}	4.15b	28.91^{ns}	-0.24^{ns}	1.46^{ns}
30	60	4.07	5.52	4.49bc	28.27	-0.13	1.51
30	120	3.25	6.00	4.81bcd	30.31	-0.27	1.90
40	30	3.27	7.67	4.74bcd	29.69	-0.31	1.98
40	60	3.59	6.18	4.78bcd	29.82	-0.28	1.62
40	120	3.68	5.70	5.01cde	29.66	-0.29	1.92
50	30	3.22	5.95	5.00cde	30.69	-0.33	2.45
50	60	3.24	5.69	5.38de	28.79	-0.25	1.76
50	120	3.65	5.77	5.76e	29.93	-0.25	1.75

* ค่าเฉลี่ยจากผู้ทดสอบ 15 คน โดยวิธีการทดสอบแบบพรรณาเชิงปริมาณ
คะแนน 0= น้อยที่สุด,..... 10=มากที่สุด

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)
ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

3.3 การศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดแบบไอคิวเอฟ

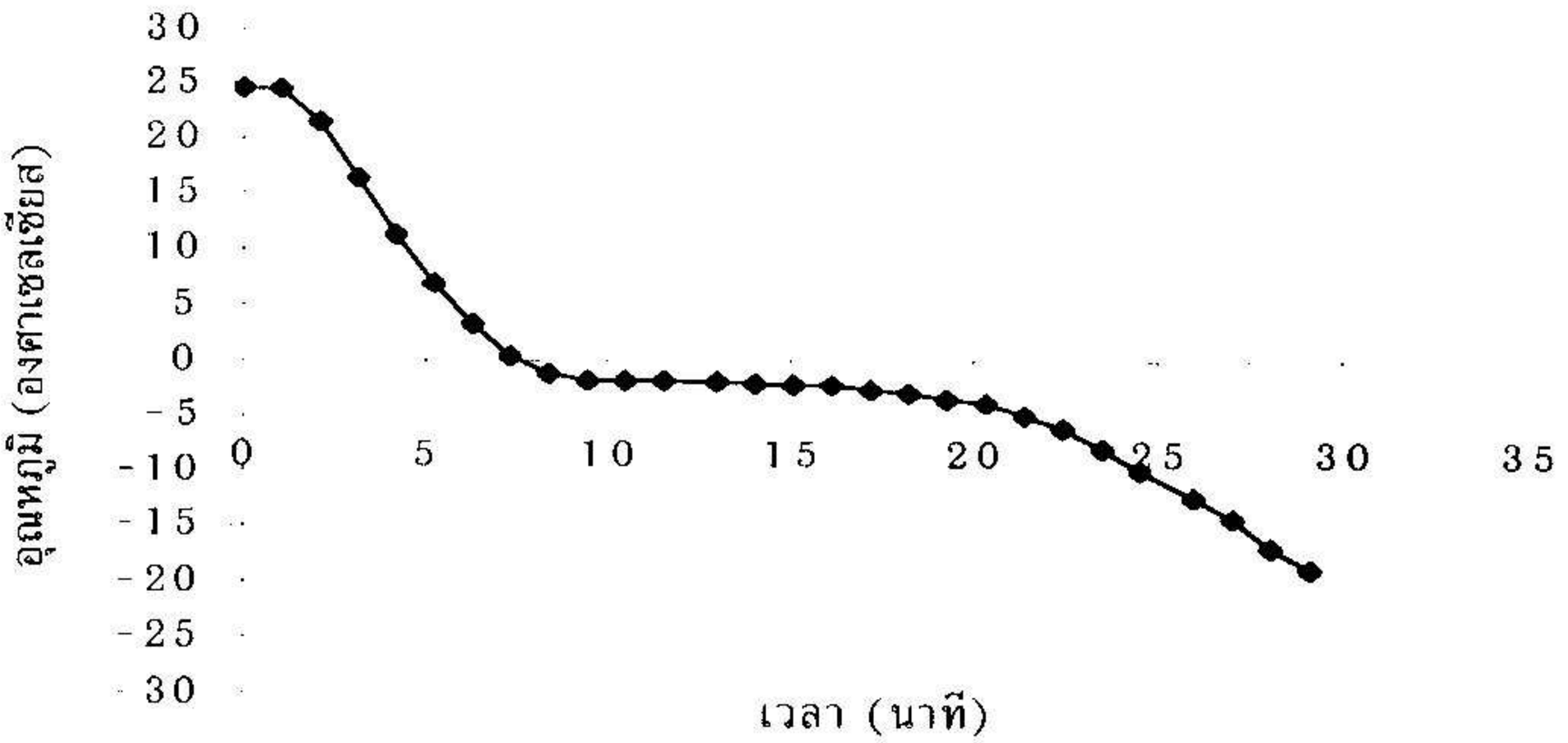
วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวอย่างที่เหมาะสมตามข้อ 3.1 และ 3.2 มาศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิเครื่องแช่เยือกแข็งแตกต่างกัน เรียงชิ้นมังคุดในถาดสำหรับแช่เยือกแข็ง พยายามไม่ให้ชิ้นมังคุดเกาะติดกัน แยกศึกษาระหว่างชิ้นมังคุดขนาดใหญ่และเล็ก ปรับอุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic Cabinet Freezer เป็น -60 และ -40 องศาเซลเซียส เลือกชิ้นมังคุดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ใช้เทอร์โมคอปเปิ้ลเสียบเข้าจุดกึ่งกลางของชิ้นมังคุด วางชิ้นมังคุดที่ถูกเสียบเทอร์โมคอปเปิ้ลตรงกลางถาดบนและล่าง บันทึกอุณหภูมิทุก 1 นาที จนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางเป็น -18 องศาเซลเซียส เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของชิ้นมังคุด

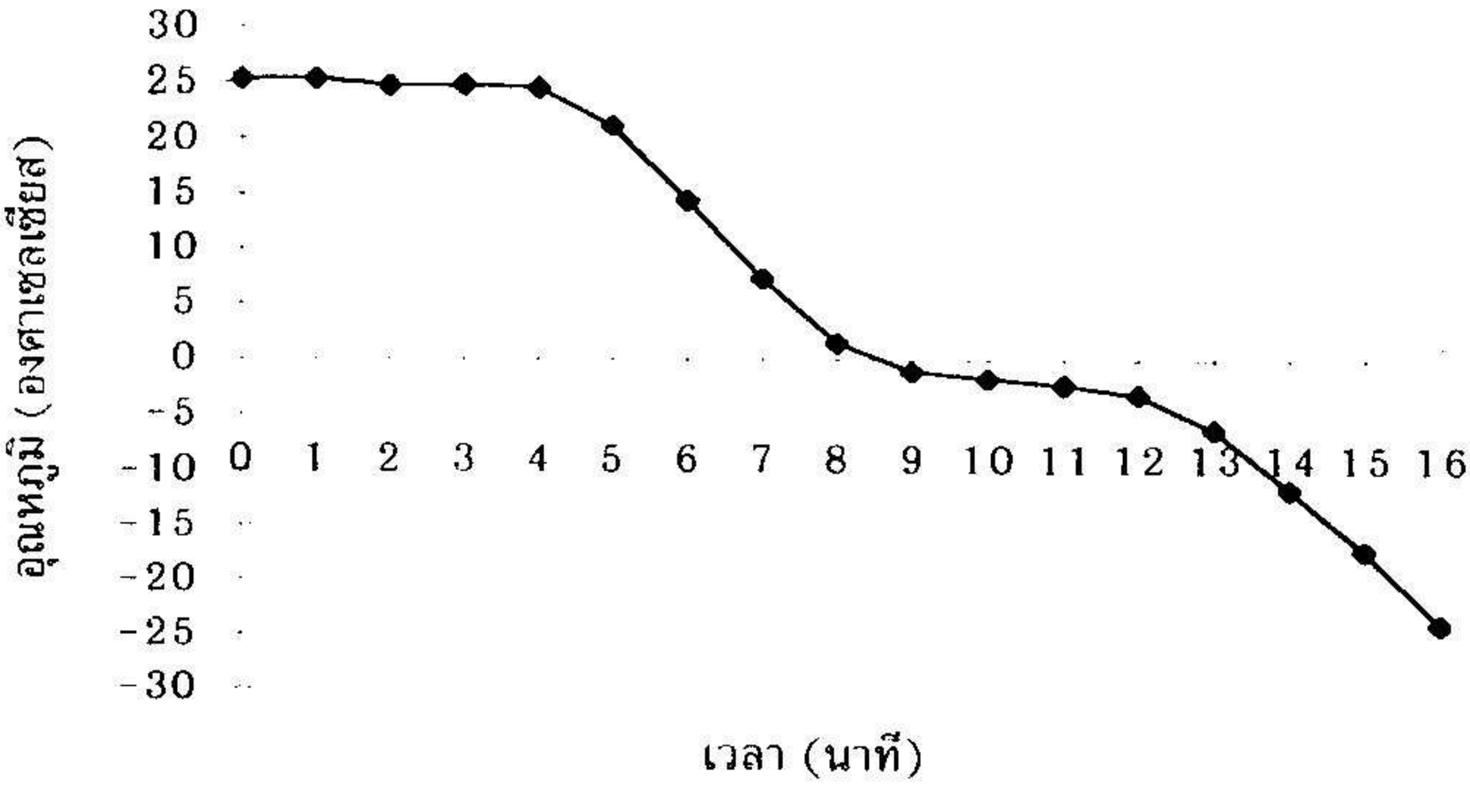
ผลและวิจารณ์

นำชุดการทดลองที่เหมาะสมจากข้อ 3.1 และ 3.2 คือ ชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที สำหรับชิ้นมังคุดขนาดเล็กและชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ นาน 30 นาที สำหรับชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ มาศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิด Cryogenic Cabinet Freezer โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็น ที่อุณหภูมิของเครื่องแตกต่างกันคือ -40 และ -60°ซ ได้ผลดังแสดงในภาพ 3.1 และ 3.2 พบว่า จุดเยือกแข็งของชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดที่อุณหภูมิ -1.8°ซ เนื่องจากในเนื้อเยื่อมังคุดมีตัวถูกละลายละลายอยู่ และมีการเพิ่มตัวถูกละลายในเนื้อเยื่อโดยการออสโมซีส ทำให้จุดเยือกแข็งของชิ้นมังคุดต่ำกว่า 0°ซ

จากเส้นกราฟการแช่เยือกแข็งของชิ้นมังคุดขนาดเล็กสามารถแบ่งเส้นกราฟออกเป็นสามช่วงด้วยกัน ช่วงแรกเป็นการกำจัดความร้อนออกจากน้ำที่ยังไม่แข็งตัว ซึ่งใช้เวลาใกล้เคียงกันทั้ง 2 อุณหภูมิการแช่เยือกแข็ง ช่วงที่สองเป็นการกำจัดความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะ 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

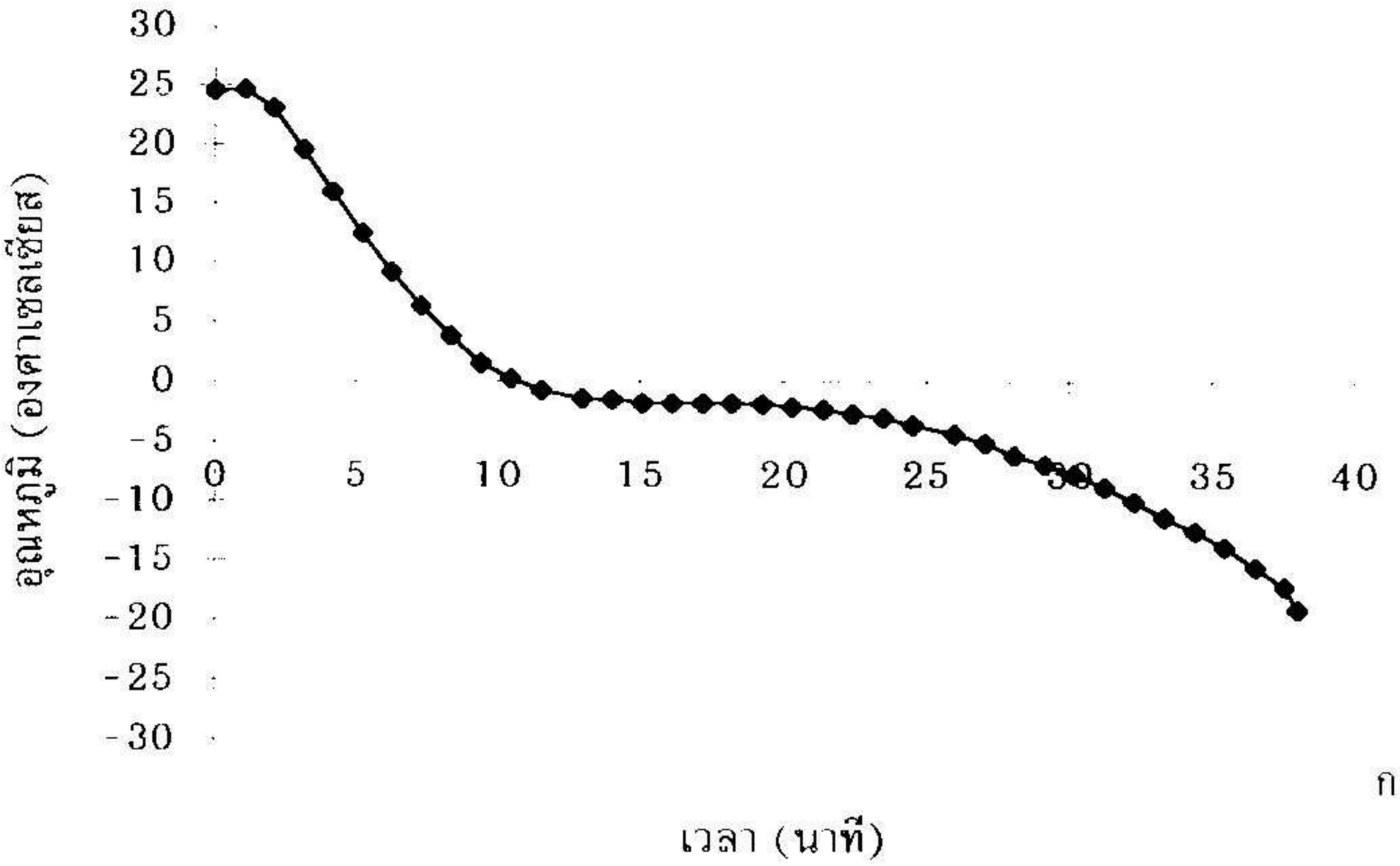


ก

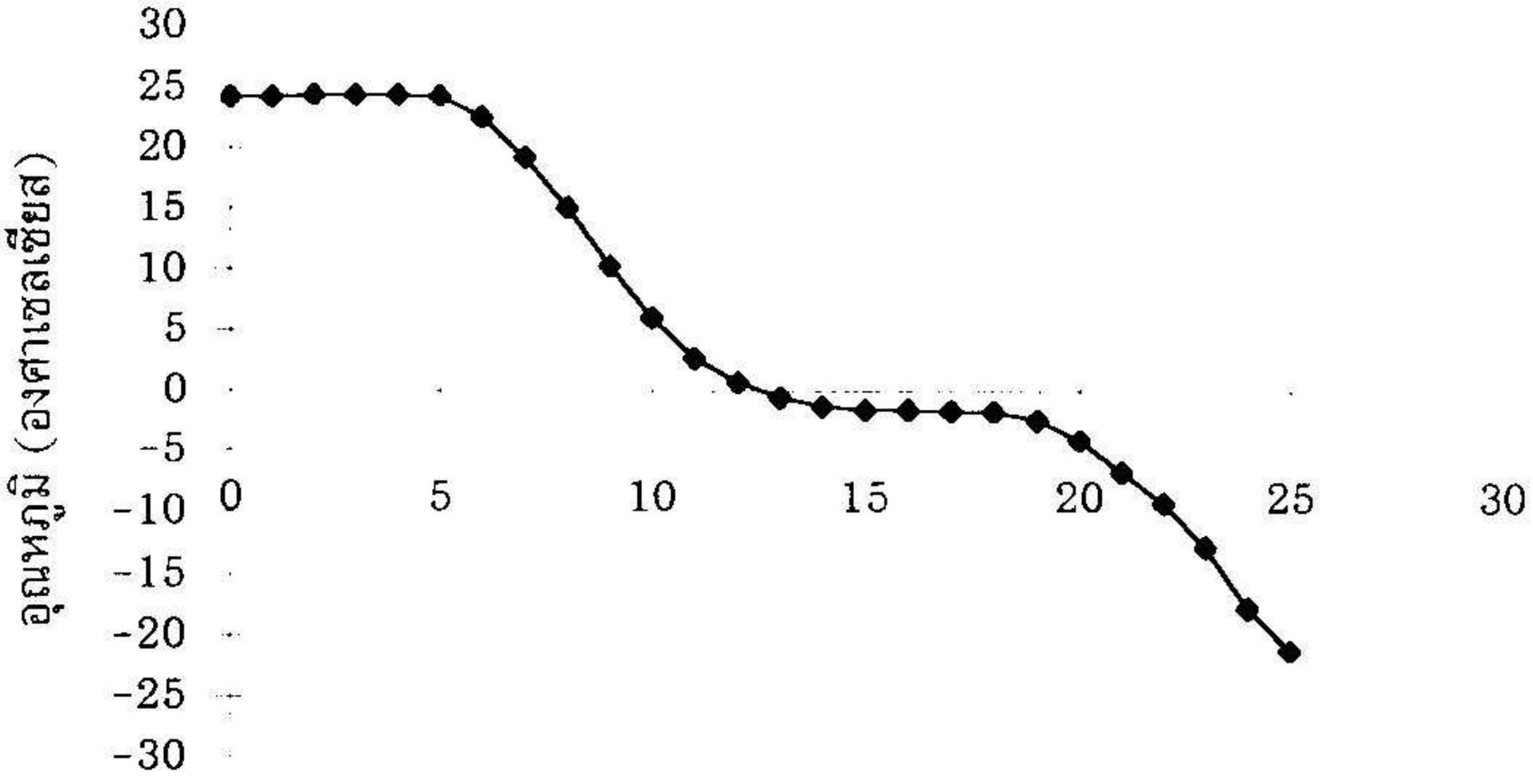


ข

ภาพ 3.1 อัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดเล็กที่อุณหภูมิเครื่อง -40°ซ (ก) และ -60°ซ (ข)



ก



ข

ภาพ 3.2 อัตราการแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิเครื่อง-40°ซ (ก) และ-60°ซ (ข)

3.4 การประเมินต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ

ต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งประกอบด้วยต้นทุนทางตรงและต้นทุนทางอ้อม

1 ต้นทุนทางตรง ประกอบด้วย

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

2 ต้นทุนทางอ้อม เป็นค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับกิจกรรมการผลิต เนื่องจากเป็นการผลิตในระดับห้องทดลอง ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการผลิตจึงวิเคราะห์เฉพาะค่าใช้จ่ายผันแปรบางค่า คือ

- ค่าไฟฟ้า สำหรับกิจกรรมขนาดเล็กมีอัตราดังนี้		
35 หน่วยแรกหรือน้อยกว่า	94	บาท
115 หน่วยต่อไป หน่วยละ	1.14	บาท
250 หน่วยต่อไป หน่วยละ	2.22	บาท
เกินกว่า 400 หน่วยขึ้นไป	2.53	บาท
ค่าไฟต่ำสุดเดือนละ	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 คิดเป็นเงิน 1,200 บาท (ได้เนื้อมังคุด 9.2 กิโลกรัม)

1.2 ต้นทุนแรงงาน ใช้แรงงาน 3 คน ทำงานคนละ 3 ชั่วโมง ดังนั้นชั่วโมงในการทำงานเท่ากับ 9 ชั่วโมง ค่าแรงงานชั่วโมงละ 16 บาท คิดเป็นต้นทุนแรงงานทั้งหมด 144 บาท

1.3 สารเคมี สารเคมีที่ใช้คือแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 และกรดซิตริกร้อยละ 0.5 ใช้ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 (เนื้อมังคุดต่อสารละลาย) จากเนื้อมังคุด 9.2 กิโลกรัม ต้องใช้สารละลาย

18.4 กิโลกรัม ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 46 กรัม คิดเป็นเงิน 36.01 บาท และกรดซิตริก 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 ครั้งเพราะฉะนั้นต้นทุนของน้ำตาลทราย เท่ากับ 41.99 บาท

1.5 บรรจุภัณฑ์ บรรจุชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็งในถุงครัยโอแวคน้ำหนัก 250 กรัมต่อถุง เนื้อมังคุดทั้งหมด 9.2 กิโลกรัม ใช้ถุงทั้งหมด 27 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 ชิ้นเล็กใช้ก๊าซ 42 กิโลกรัม ชิ้นใหญ่ใช้ก๊าซ 47 กิโลกรัม รวมใช้ก๊าซ 89 กิโลกรัม ราคากิโลกรัมละ 5 บาท คิดเป็นเงิน 445 บาท

ที่ -60 องศาเซลเซียส ชิ้นเล็กใช้ก๊าซ 34 กิโลกรัม ชิ้นใหญ่ใช้ก๊าซ 40 กิโลกรัม รวมใช้ก๊าซ 74 กิโลกรัม ราคากิโลกรัมละ 5 บาท คิดเป็นเงิน 370 บาท

2.3 ค่าน้ำที่ใช้ในการล้างมังคุดและเตรียมสารละลายน้ำตาล 5 ลูกบาศก์เมตรๆ ละ 3 บาท เป็นเงิน 15 บาท (ตาราง 3.6)

ตาราง 3.6 การประมาณต้นทุนการผลิตชิ้นมังคุดแช่เยือกแข็ง

รายการ	อุณหภูมิผลิต -40°ซ บาท	อุณหภูมิผลิต -60°ซ บาท
1 ต้นทุนทางตรง		
- มังคุดสด	1,200.00	1,200.00
- แรงงาน	144.00	144.00
- บรรจุภัณฑ์	31.45	31.45
- สารเคมี	56.53	56.53
- น้ำตาลซูโครส	41.99	41.99
2 ต้นทุนทางอ้อม		
- ค่าไฟฟ้า	94.00	94.00
-คาร์บอนไดออกไซด์เหลว	445.00	370.00
- ค่าน้ำ	15.00	15.00
รวม	2,027.97	1,952.97
ต้นทุนต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัม)	220.43	212.23

คำนวณจากมังคุดสด 80 กิโลกรัม หลังจากปอกเปลือก ได้เนื้อมังคุด 9.2 กิโลกรัม ใช้แรงงาน คน 3 คน ทำงานคนละ 3 ชั่วโมง คิดเป็นอัตราการผลิต 1 กิโลกรัมผลิตภัณฑ์ต่อชั่วโมง

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

สรุปผลการทดลอง

การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมังคุดขนาดเล็กและใหญ่แช่เยือกแข็ง โดยการแช่ในสารละลายกรดซิตริกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ สารละลายกรดอีริธอร์บิก และสารละลายซีสเตอีน ก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่า ชุดการทดลองที่ให้ผลของค่าสีดีที่สุดคือชุดการทดลองที่มีการใช้กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 ร่วมกับเคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.25 หลังจากนั้นนำชิ้นมังคุดมาแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส เพื่อดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็งโดยวิธีออสโมซีส มีผลทำให้ความชื้นลดลงและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และมีผลทำให้การยอมรับรสหวานใกล้เคียงกับในอุดมคติมากกว่าการไม่แช่ แต่ไม่มีผลต่อสีและความแน่นของชิ้นมังคุดทั้งสองขนาด และคัดเลือกชุดการทดลองที่มีการแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายซูโครส 30 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที และ 40 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 30 นาที สำหรับชิ้นมังคุดขนาดเล็กและใหญ่ ตามลำดับเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดด้วยเครื่อง Cryogenic Carbinet Freezer โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็น จนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางเป็น -18°ซ พบว่า ชิ้นมังคุดขนาดเล็กใช้เวลา 29 และ 15 นาที ส่วนชิ้นมังคุดขนาดใหญ่ใช้เวลา 38 และ 24 นาที ที่อุณหภูมิเครื่องแช่เยือกแข็ง -40 และ -60°ซ ตามลำดับ การแช่เยือกแข็งชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดที่อุณหภูมิ -40°ซ 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 ชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของชิ้นมังคุดทั้งสองขนาดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองอุณหภูมิ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ยกเว้นกรดแอสคอร์บิกที่มีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน ส่วนคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า มาตรฐานจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดแช่เยือกแข็งของไทย และตรวจไม่พบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิส

หลักการและเหตุผล

การพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเนื้อมังคุดในรูปมังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซีส เป็นหนทางที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากผลผลิต ลดปริมาณของเสีย และช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิต ผลไม้กึ่งแห้งเป็นวิธีการแปรรูปผลไม้ด้วยการออสโมซีส อาศัยกระบวนการออสโมซีสในการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผลไม้ ก่อนนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นตามต้องการ โดยการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลซึ่งมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่าผลไม้ จะเกิดกระบวนการออสโมซีสขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายน้ำตาลภายนอก ผลไม้แปรรูปลักษณะนี้มีคุณค่าทางวิตามินสูง สามารถเก็บไว้ได้นาน น้ำหนักเบา สะดวกในการขนส่ง เป็นสินค้าสำหรับประเทศที่ไม่มีผลไม้เมืองร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตลาดในยุโรปเริ่มรู้จักสินค้าผลไม้เมืองไทยมากขึ้น

นอกจากนี้กรรมวิธีการผลิตมังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซีส เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งผลไม้ที่ไวต่อความร้อน หรือผลไม้ที่มีเนื้อนุ่ม เนื่องจากวิธีนี้ผลไม้ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจึงช่วยลดการถูกทำลายเนื่องจากความร้อน ต่อกลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้สูงมากจนทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำงานได้น้อยลงทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสีน้อยมากจึงสามารถลดปริมาณการใช้สารป้องกันการเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลลงได้ ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนสี จึงไม่จำเป็นต้องใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือใช้เพียงเล็กน้อย ผลไม้ที่ทำแห้งโดยวิธีนี้จึงยังคงรักษากลิ่นรสและสีตามธรรมชาติไว้ได้

วัตถุประสงค์

1 พัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซีส จากส่วนเนื้อมังคุดที่มีลักษณะไม่ตรงตามมาตรฐานการแปรรูปมังคุดทั้งผล
2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมังคุดกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา
3 เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มจากเนื้อมังคุดในระดับอุตสาหกรรม

4.1 การศึกษาสภาวะการออสโมซิสชิ้นมังคุด

วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาในการออสโมซิสที่มีต่อการลดปริมาณน้ำและการเพิ่มปริมาณน้ำตาลของมังคุดในกระบวนการออสโมซิส ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย

1 ชนิดของสารละลายน้ำตาล
- ซโครส
- ซูโครสร่วมกับฟรุกโตส
- กลูโคส

2 ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 50 - 70 องศาบริกซ์

3 อุณหภูมิในการออสโมซิส 30 - 70 องศาเซลเซียส

4 เวลาที่ใช้ในการออสโมซิส 4 - 8 ชั่วโมง

กำหนดแผนการทดลองโดยใช้แบบ Box-Behnken (Henselman *et al.*, 1974 ; Henika, 1972) สำหรับสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิด สามารถจัดชุดการทดลองดังแสดงในตาราง 4.1 ทำการทดลองตามขั้นตอนดังแสดงในภาพ 4.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาในการออสโมซิสกับค่าการลดปริมาณน้ำ และการเพิ่มปริมาณน้ำตาล โดยใช้วิธี multiple regression จากนั้นนำสมการความสัมพันธ์ ที่ได้มาใช้สร้าง contour plot โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Statgraphic เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสของน้ำตาลแต่ละชนิด และสำหรับกลีบมังคุดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ นำชุดการทดลองที่ผ่านการคัดเลือกจาก contour plot มาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี ranking test (Lamond, 1977) เพื่อนำผลมาประกอบการพิจารณาการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมเพียงสภาวะเดียว

ตาราง 4.1 ชุดการทดลองการออสโมซิสมังคุดโดยใช้แบบแผน Box - Behnken

ตัวแปร	สัญญลักษณ์ของตัวแปร	-1	0	+1
ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล	X_1	50	60	70
อุณหภูมิของสารละลายน้ำตาล	X_2	30	50	70
เวลาที่ใช้ในการแช่	X_3	4	6	8

การทดลองที่	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	-1	+1	0
3	+1	-1	0
4	+1	+1	0
5	-1	0	-1
6	+1	0	-1
7	+1	0	-1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	-1	+1
11	0	+1	-1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

มังคุดที่ผ่านการคัดขนาดกลีบเล็ก,ใหญ่

↓

แช่สารละลายผสมกรดซิตริกร้อยละ 0.5

และแคลเซี่ยมคลอไรด์ร้อยละ 0.25 ที่ 4^{o}ซ นาน 1 นาที

↓

แช่สารละลายน้ำตาลร่วมกับกรดซิตริกร้อยละ 0.1

และโซเดี่ยมเมตาไบซัลไฟท์ร้อยละ 0.1

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก มังคุดต่อสารละลายเป็น 1 ต่อ 4

รักษาที่อุณหภูมิที่ 30 50 และ 70^{o}ช นาน 4 6 และ 8 ชั่วโมง

↓

วางผึ่งบนตะแกรง ซับด้วยผ้าขาวบาง

↓

ชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์ค่าความชื้น

ภาพ 4.1 ขั้นตอนวิธีการทดลองในกระบวนการออสโมซิสมังคุด

ผลและวิจารณ์

เพื่อคัดเลือกสภาวะในการออสโมซีสที่เหมาะสม จากการนำค่า water loss (WL) และ solid gain (SG) มาหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลา ในการออสโมซีส โดยวิธี multiple regression แสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการกำลังสองดังแสดงในตารางภาคผนวก ก.

ตารางผนวก 1-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss, solid gain และ R^2 ของมังคุดกลีบเล็ก ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ซูโครสร่วมกับฟรุกโตรส และกลูโคส ตามลำดับ

ตารางผนวก 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss, solid gain และ R^2 ของมังคุดกลีบใหญ่ ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ซูโครสร่วมกับฟรุกโตรส และกลูโคส ตามลำดับ

จากสมการดังกล่าว จะเห็นว่า R2 มีค่าสูง ดังนั้นจึงใช้สมการเหล่านี้ในการคำนวณค่า WL และ SG ภายในตัวแปรที่ศึกษา และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statgraphics สร้าง Contour plot ของความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาต่อค่า WL และ SG ในน้ำตาลแต่ละชนิด เมื่อกำหนดให้เวลาคงที่ที่ 4, 6 และ 8 ชม. สามารถอ่านค่าสูงสุดและต่ำสุดของ WL และ SG ของมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิดได้ผล ดังแสดงในตาราง 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตาราง 4.2 ค่าสูงสุดและต่ำสุดของ Water loss และ Solid gain ของชิ้นมังคุดกลีบเล็ก

ชนิดของสารละลายน้ำตาล		เวลาในการแช่ (ชม.)	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ซูโครส	water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด)	4	30.2814	50.0870
		6	33.0222	50.9369
		8	35.7441	51.7679
	solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด)	4	6.64117	14.1678
		6	8.54720	16.8872
		8	8.95160	18.3353
ซูโครสร่วมกับฟรุกโตส	water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด)	4	32.6731	49.2144
		6	35.8676	52.1030
		8	36.9097	52.8391
	solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด)	4	5.97132	14.1232
		6	7.2833	16.3430
		8	7.91801	18.0506
กลูโคส	water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด)	4	26.9139	48.7305
		6	29.8363	52.4591
		8	31.4720	54.9582
	solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด)	4	0.803738	3.32159
		6	0.927439	3.50883
		8	1.460070	4.14904

ตาราง 4.3 ค่าสูงสุดและต่ำสุดของ Water loss และ Solid gain ของชิ้นมังคุดกลีบใหญ่

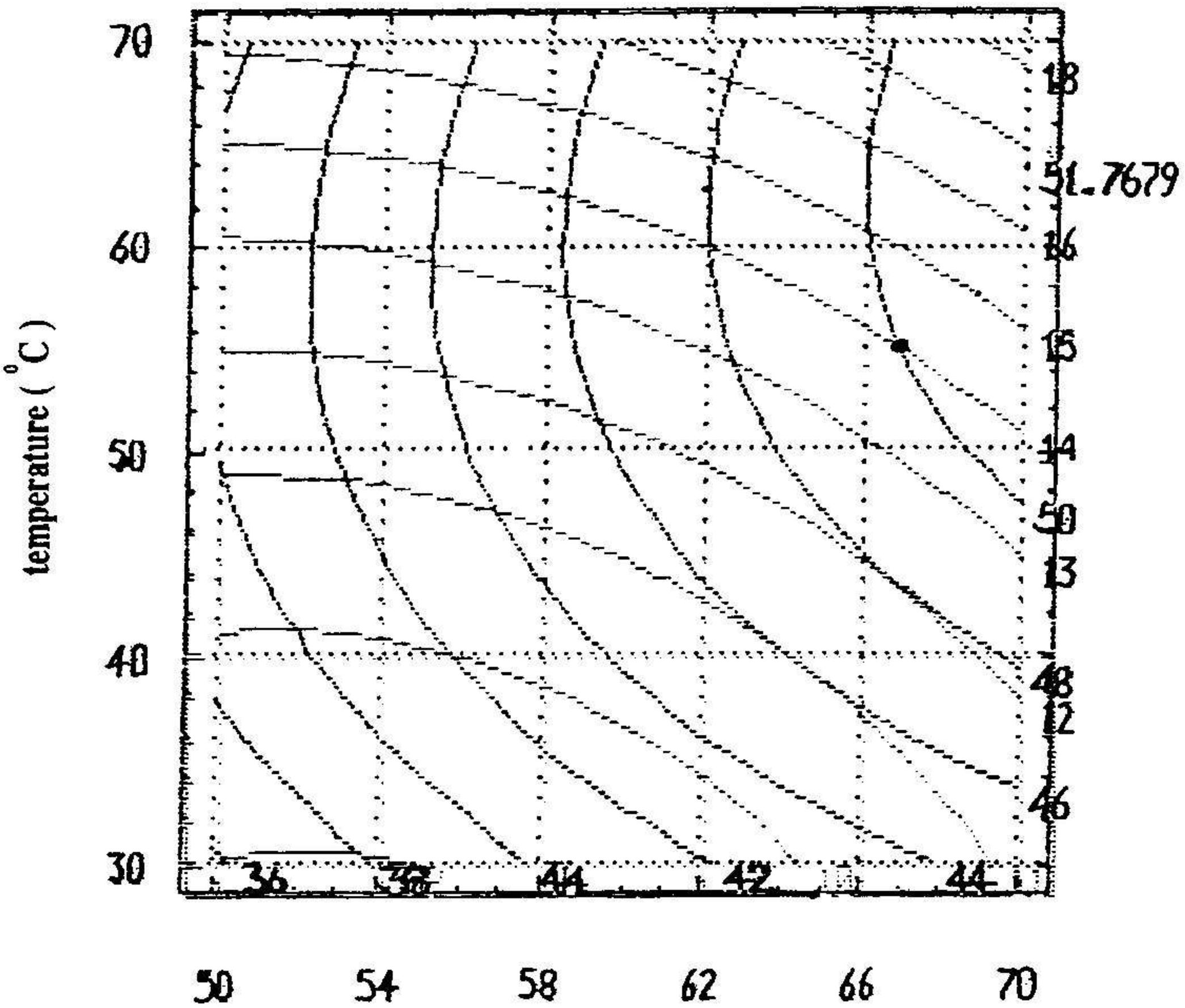
ชนิดของสารละลายน้ำตาล		เวลาในการแช่ (ชม.)	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ซูโครส	water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด)	4	19.4639	50.4349
		6	25.6363	51.6850
		8	31.1310	52.3963
	solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด)	4	4.39926	9.4587
		6	5.36036	11.3660
		8	5.74945	12.7141
ซูโครสร่วมกับฟรุกโตส	water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด)	4	25.8693	50.0581
		6	28.3060	52.2526
		8	30.6176	54.3219
	solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด)	4	3.37637	10.0601
		6	4.23181	11.3425
		8	4.47511	12.0128
กลูโคส	water loss (กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด)	4	22.4796	49.9491
		6	26.3303	52.6799
		8	29.4235	54.7380
	solid gain (กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด)	4	0.493903	1.15577
		6	0.692372	1.94850
		8	- 0.359043	1.67228

การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการออสโมซีสมังคุด

จากผลการทดลอง และพิจารณา Contour plot ของค่า water loss พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลคงที่ ค่า water loss จะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการออสโมซิสสูงขึ้น ทุกๆ ช่วงเวลาที่ใช้ในการแช่ และในทำนองเดียวกันเมื่ออุณหภูมิคงที่ ค่า water loss จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น

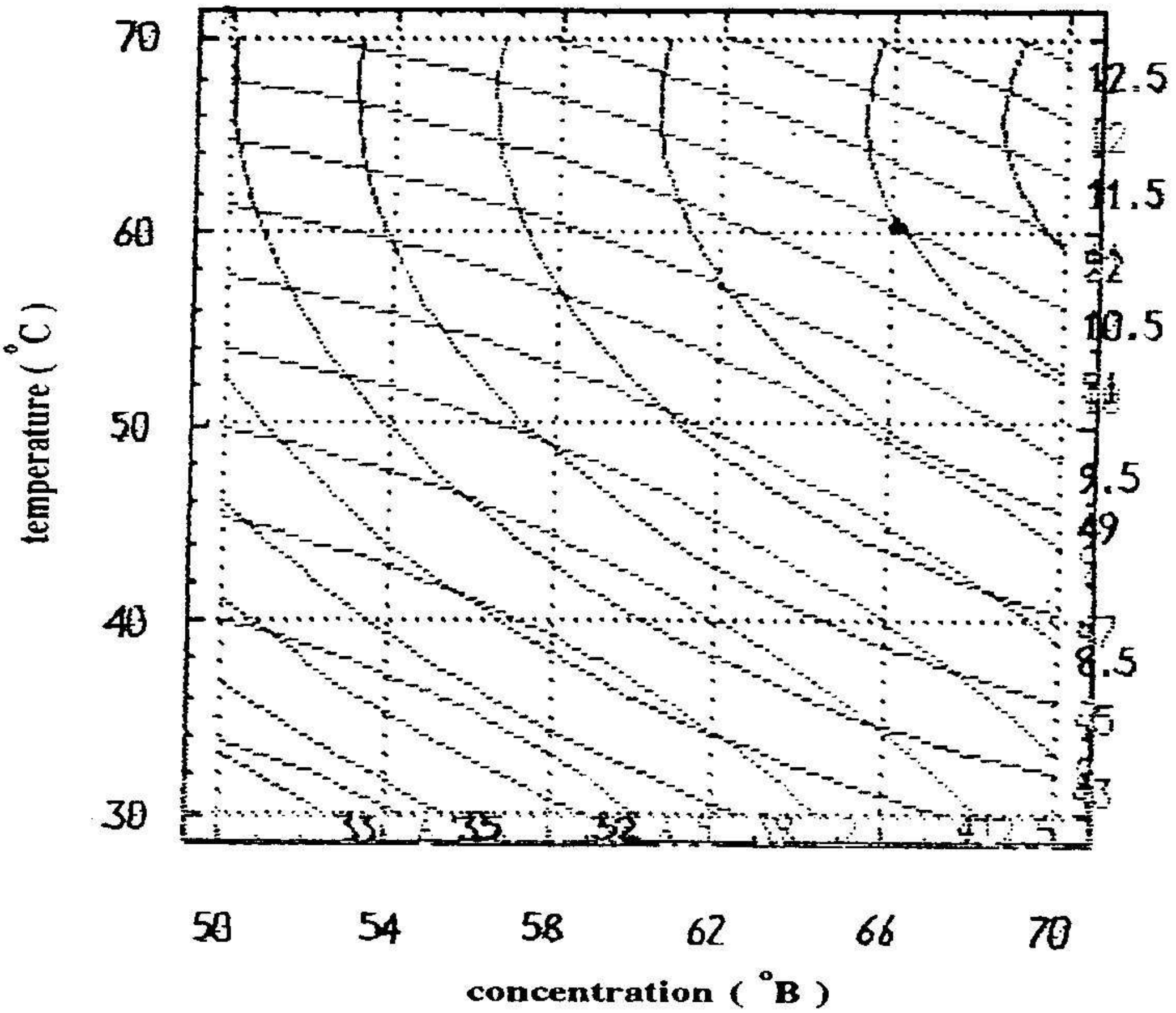
สำหรับ contour plot ของค่า solid gain พบว่า ให้ผลในทำนองเดียวกันกับ ค่า water loss ในการออสโมซิสมังคุดในสารละลายน้ำตาลซูโครสและซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ส่วนในสารละลายน้ำตาลกลูโคสจะแตกต่างไป โดยพบว่ามังคุดกลีบใหญ่ จะมีค่า solid gain สูงสุดในช่วงเวลาของการออสโมซีส 6 ชม. ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารละลายน้ำตาลกลูโคสมีความหนืดสูงกว่าสารละลายน้ำตาลซูโครสและฟรุกโตส จึงมีผลทำให้ความสามารถในการออสโมซีสเข้าไปในเนื้อมังคุดได้น้อยกว่า

เนื่องจากการคัดเลือกสภาวะในการออสโมซีสที่เหมาะสม นั้นต้องการให้ได้สภาวะที่มีค่า water loss สูงและค่า solid gain ต่ำ จึงได้นำกราฟ contour plot ของค่า water loss และค่า solid gain มาทับซ้อนกัน ได้ผลดังแสดงในภาพ 4.2 - 4.7



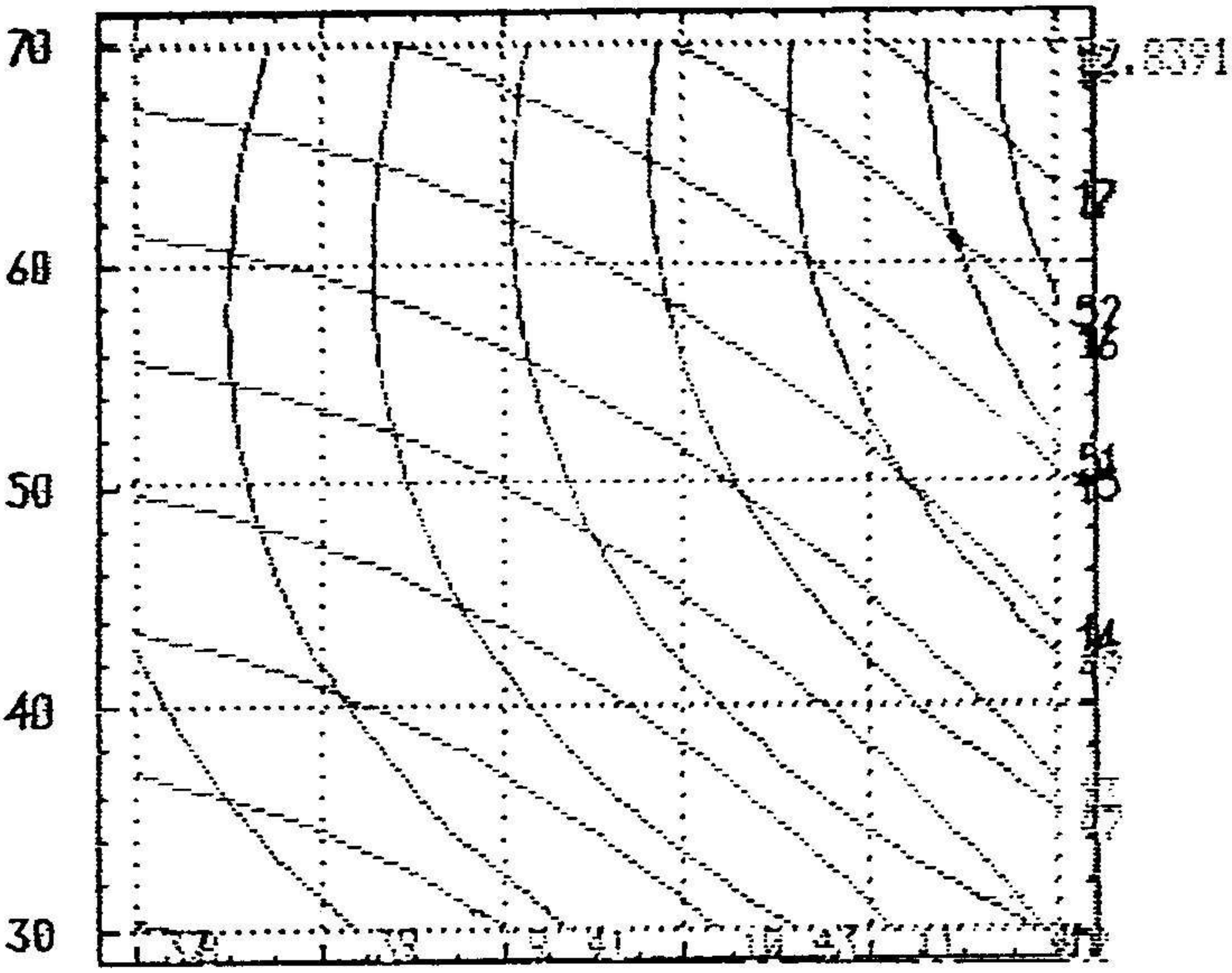
ภาพ 4.2 contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็ก ที่แช่ในสารละลาย น้ำตาลซูโครส ที่เวลา 8 ชม.

จากการพิจารณา contour plot (ภาพ 4.2) ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิร่วมกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ต่อค่า water loss และค่า solid gain ในการออสโมซีสมังคุดกลีบเล็ก สภาวะที่ได้ค่า water loss สูงสุด และค่า solid gain ต่ำสุด คือสภาวะของการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 67°บริกซ์ อุณหภูมิ 55°ซ ทำการออสโมซีส เป็นเวลา 8 ชม.



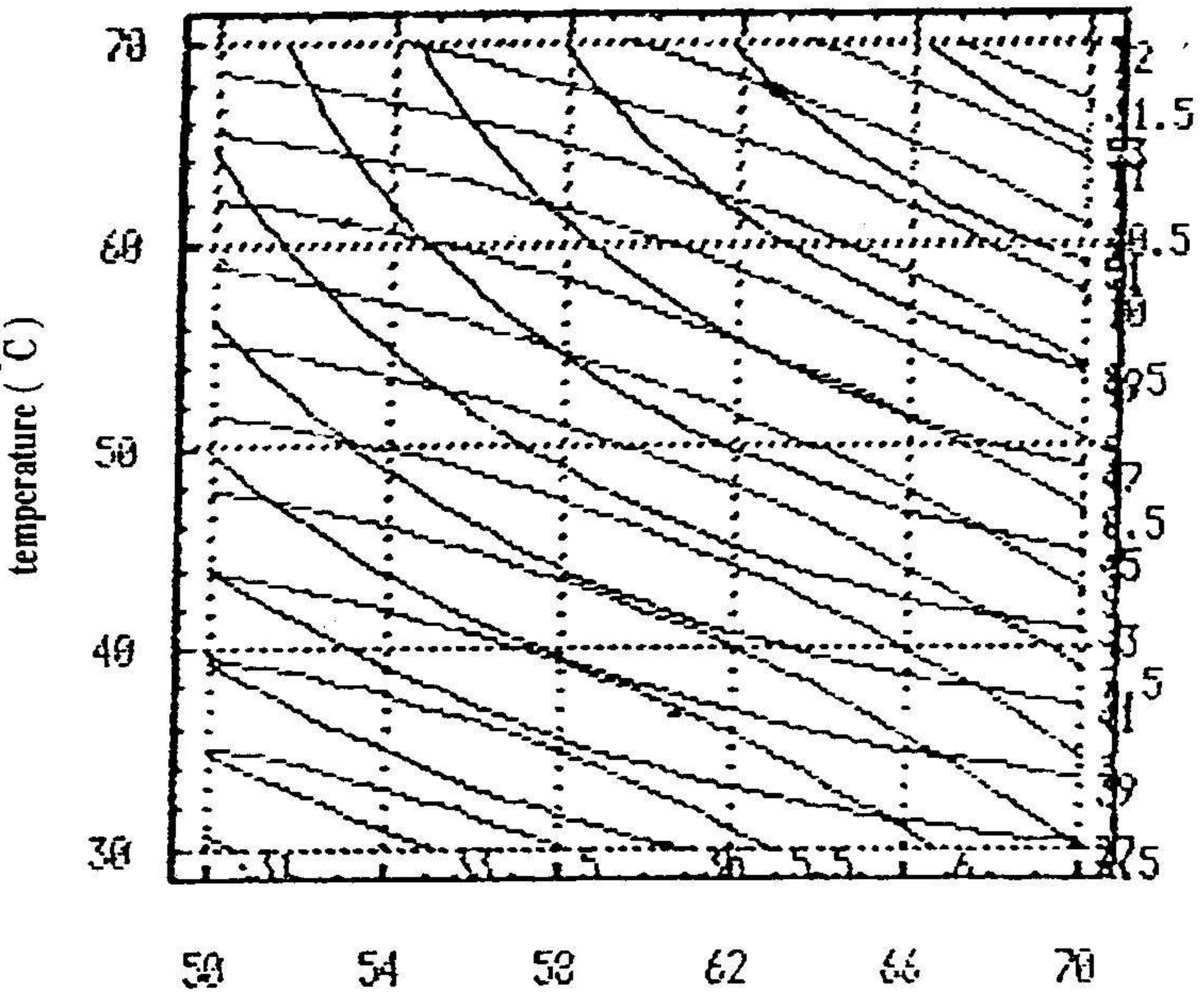
ภาพ 4.3 contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่เวลา 8 ชม.

จากการพิจารณา contour plot (ภาพ 4.3) ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิร่วมกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ต่อค่า water loss และค่า solid gain ในการออสโมซีสมังคุดกลีบใหญ่ สภาวะที่ได้ค่า water loss สูงสุด และค่า solid gain ต่ำสุด คือสภาวะของการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 66°บริกซ์ อุณหภูมิ 60°ซ ทำการออสโมซีส เป็นเวลา 8 ชม.



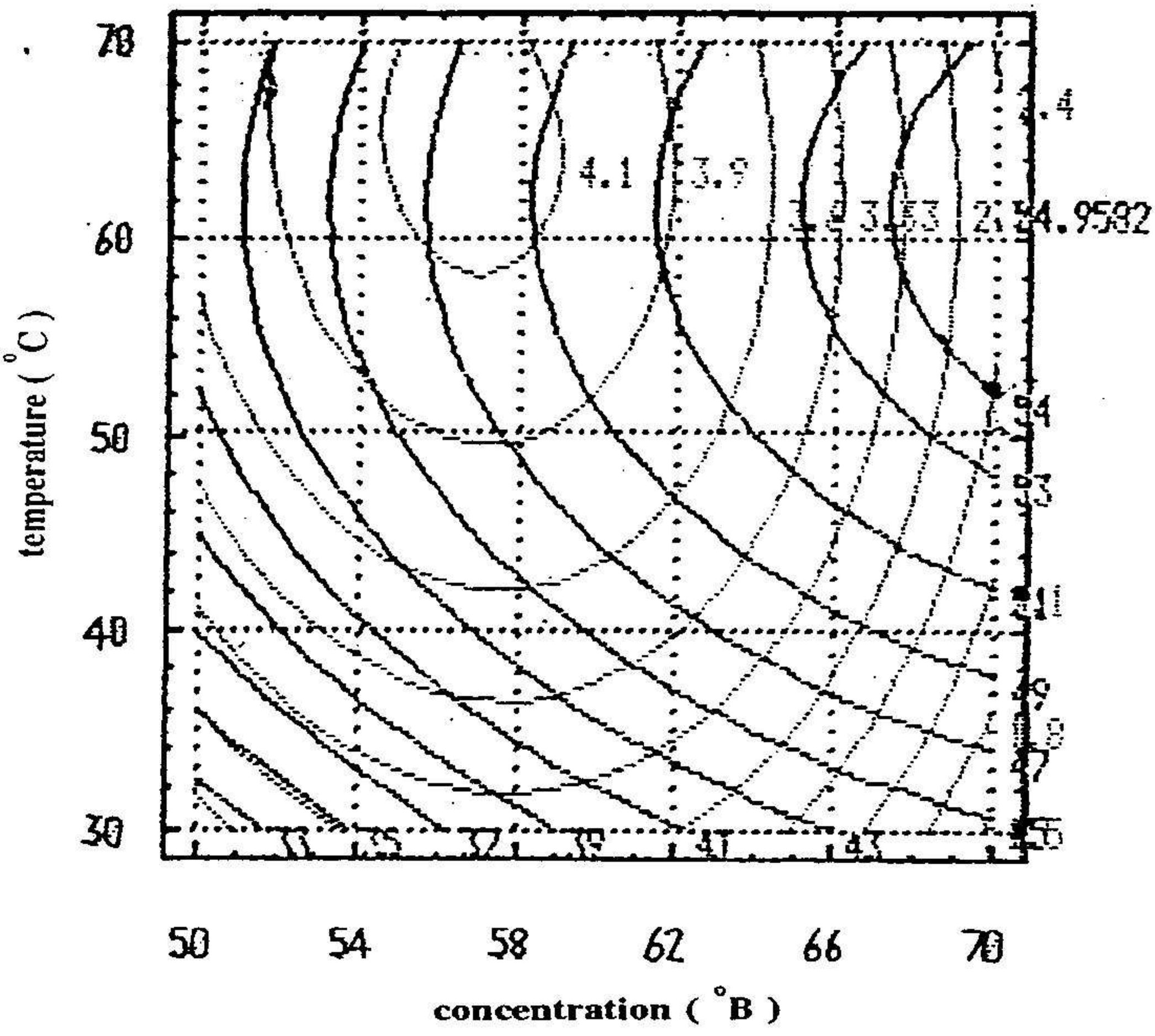
ภาพ 4.4 contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็ก ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่เวลา 8 ชม.

จากการพิจารณา contour plot (ภาพ 4.4) ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิร่วมกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ต่อค่า water loss และค่า solid gain ในการออสโมซีสมังคุดกลีบเล็ก สภาวะที่ได้ค่า water loss สูงสุด และค่า solid gain ต่ำสุด คือสภาวะของการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ความเข้มข้น 68°บริกซ์ อุณหภูมิ 62°ซ ทำการออสโมซีส เป็นเวลา 8 ชม.



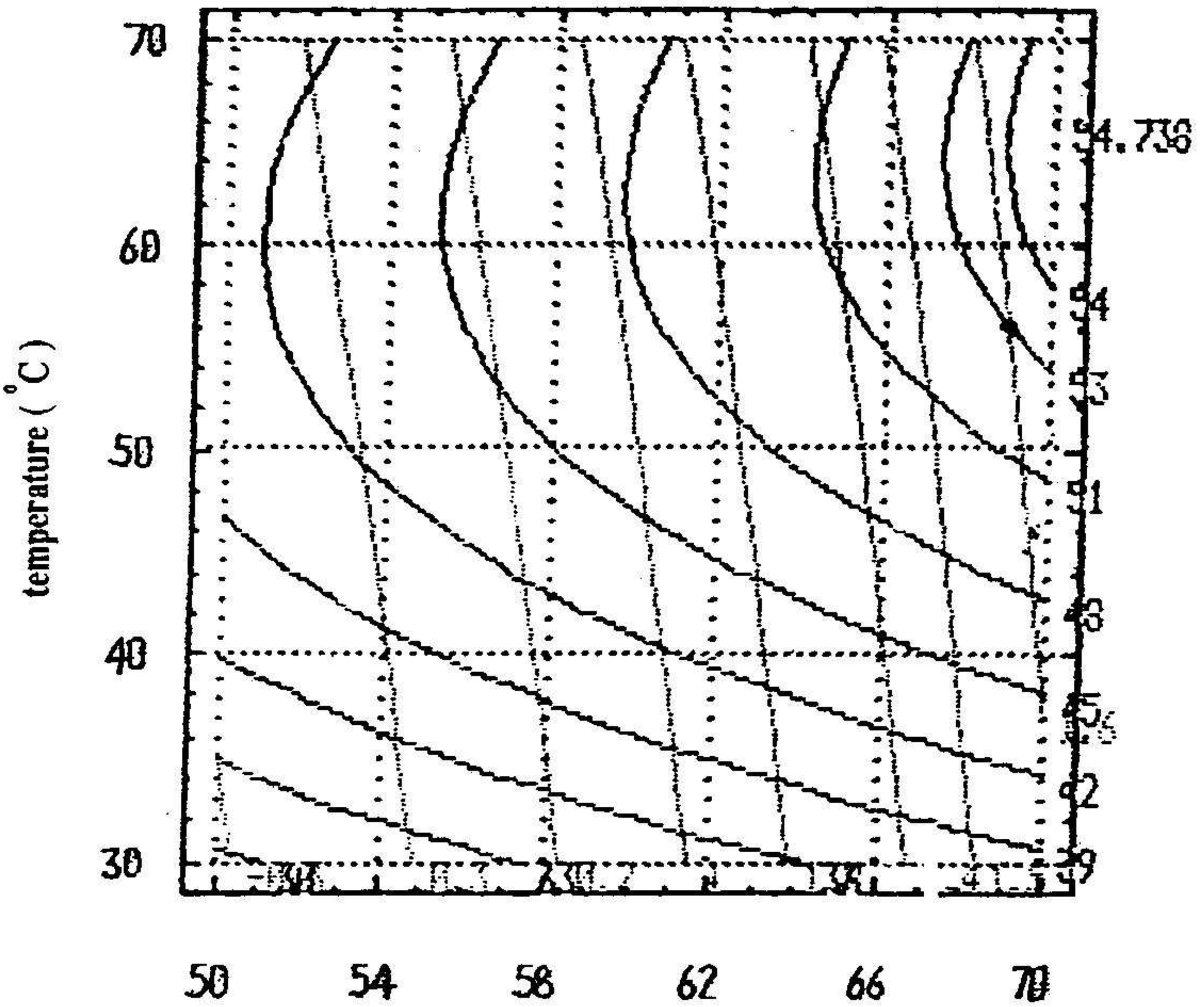
ภาพ 4.5 contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ที่เวลา 8 ชม.

จากการพิจารณา contour plot (ภาพ 4.5) ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิร่วมกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ต่อค่า water loss และค่า solid gain ในการออสโมซีสมังคุดกลีบเล็ก สภาวะที่ได้ค่า water loss สูงสุด และค่า solid gain ต่ำสุด คือสภาวะของการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ความเข้มข้น 63°บริกซ์ อุณหภูมิ 67°ซ ทำการออสโมซีส เป็นเวลา 8 ชม.



ภาพ 4.6 contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบเล็ก ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคส ที่เวลา 8 ชม.

จากการพิจารณา contour plot (ภาพ 4.6) ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิร่วมกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ต่อค่า water loss และค่า solid gain ในการออสโมซีสมังคุดกลีบเล็ก สภาวะที่ได้ค่า water loss สูงสุด และค่า solid gain ต่ำสุด คือสภาวะของการใช้สารละลายน้ำตาลกลูโคส ความเข้มข้น 69°บริกซ์ อุณหภูมิ 54°ซ ทำการออสโมซีส เป็นเวลา 8 ชม.



ภาพ 4.7 contour plot ที่ซ้อนกันของค่า water loss และ solid gain ของมังคุดกลีบใหญ่ ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคส ที่เวลา 8 ชม.

จากการพิจารณา contour plot (ภาพ 4.7) ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิร่วมกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ต่อค่า water loss และค่า solid gain ในการออสโมซีสมังคุดกลีบใหญ่ สภาวะที่ได้ค่า water loss สูงสุด และค่า solid gain ต่ำสุด คือสภาวะของการใช้สารละลายน้ำตาลกลูโคส ความเข้มข้น 69°บริกซ์ อุณหภูมิ 56°ซ ทำการออสโมซีส เป็นเวลา 8 ชม.

สรุปผลการคัดเลือกสภาวะการออสโมซีสที่เหมาะสมสำหรับชิ้นมังคุด ดังแสดงในตาราง 4.4

ตาราง 4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซีสชิ้นมังคุด

ขนาดของกลีบมังคุด	ชนิดของน้ำตาล	ความเข้มข้นน้ำตาล (^{o}บริกซ์)	อุณหภูมิ (^{o}ซ)	เวลา (ชม.)
เล็ก	ซูโครส	67	55	8
	ซูโครส+ฟรุกโตส	68	62	8
	กลูโคส	69	54	8
ใหญ่	ซูโครส	66	60	8
	ซูโครส+ฟรุกโตส	63	67	8
	กลูโคส	69	56	8

ต่อมาได้ทำการทดลองออสโมซีสมังคุด ตามสภาวะที่คัดเลือกได้จาก ตาราง 4.4 วัดค่า water loss และ solid gain เพื่อเปรียบเทียบกับค่าดังกล่าวที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการ (ตารางภาคผนวก ก.) เพื่อเป็นการยืนยันผลการพิจารณาจากสมการ และ contour plot. ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ค่า water loss และค่า solid gain ที่ได้จากการทำนายเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

ชนิดของสารละลายน้ำตาล	ขนาดของกลีบมังคุด	ค่าที่ทำนายได้จากสมการ		ค่าที่ได้จากการทดลอง	
		water loss	solid gain	water loss	solid gain
ซูโครส	เล็ก	50	14.0	49.30	12.41
	ใหญ่	51	10.5	52.17	9.85
ซูโครสร่วมกับฟรุกโตส	เล็ก	51	16.0	50.74	14.13
	ใหญ่	51	10.5	51.88	10.04
กลูโคส	เล็ก	54	3.0	52.83	3.90
	ใหญ่	53	1.6	51.50	2.30

จากตาราง จะเห็นได้ว่า ค่า water loss และค่า solid gain ที่ได้จากการทำนาย มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซีสภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของน้ำตาลแต่ละชนิด เพื่อคัดเลือกชนิดของน้ำตาลที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด โดยวิธี ranking test (Larmond , 1977) จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.6 พบว่า ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ที่ผ่านการออสโมซีสในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟรุกโตส ได้คะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างจากชุดที่ใช้น้ำตาลซูโครสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ทั้งสองชุดการทดลองให้ผลที่แตกต่างจากชุดที่ใช้น้ำตาลกลูโคส และพบว่าชุดการทดลองที่ใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับฟรุกโตสได้รับคะแนนสูงสุด ดังนั้นจึงได้คัดเลือกสภาวะในการออสโมซีสผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับฟรุกโตส

ตาราง 4.6 คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซีสภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของน้ำตาลแต่ละชนิด

ชนิดของสารละลายน้ำตาล	คะแนนการยอมรับรวม	
	มังคุดกลีบเล็ก	มังคุดกลีบใหญ่
ซูโครส	69b*	63b
ซูโครส+ฟรุกโตส	76b	73b
กลูโคส	35a	39a

* อักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.2 การศึกษาสภาวะการอบแห้งชิ้นมังคุดที่ผ่านการออสโมซิส

วิธีดำเนินการวิจัย

ภายหลังจากการคัดเลือกสภาวะในการออสโมซีสที่เหมาะสมได้แล้ว นำชิ้นมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสภาวะที่คัดเลือกได้มาทำการอบแห้งภายใต้สภาวะที่ศึกษา 2 สภาวะ คือ

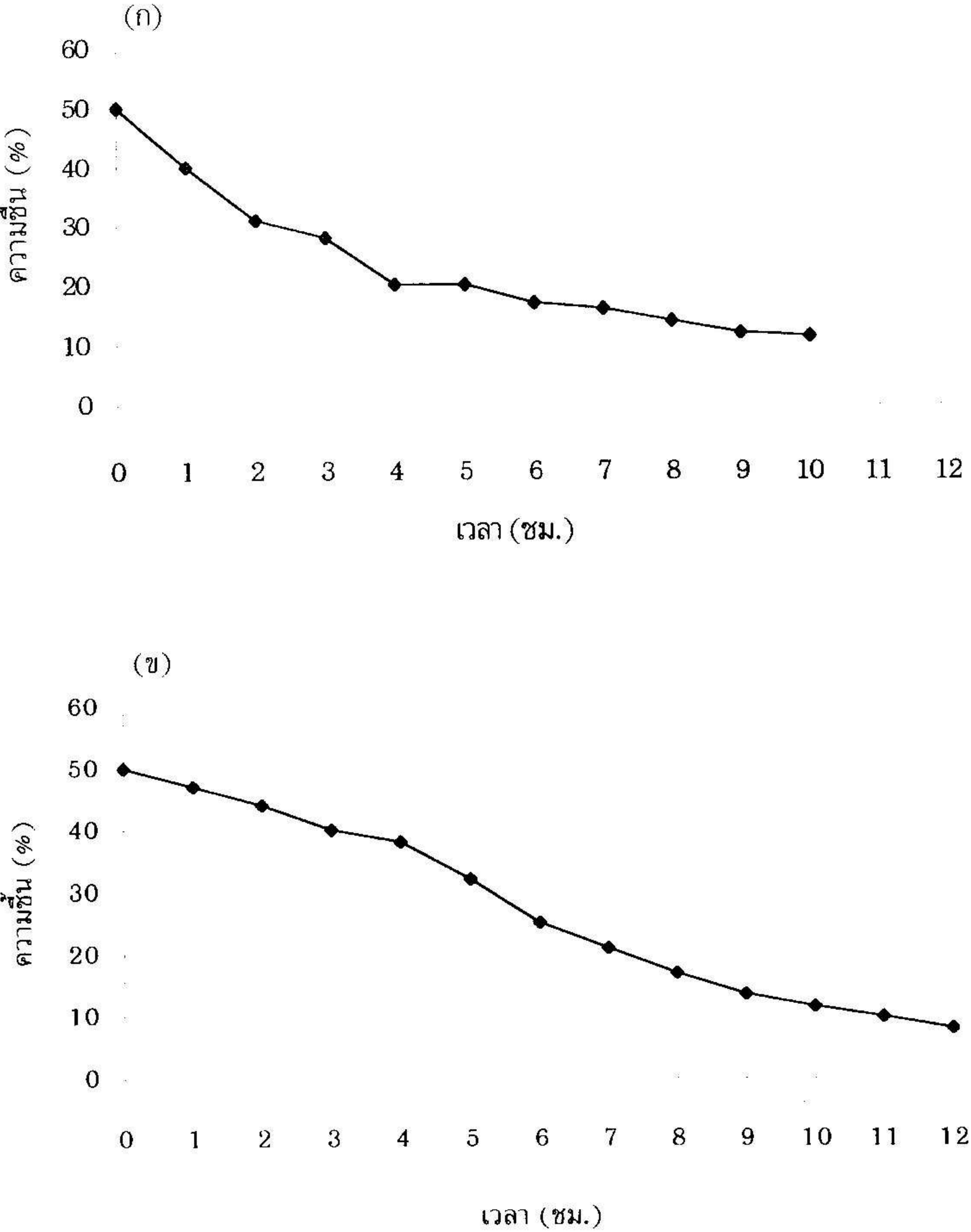
(1) การอบแห้งในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

(2) การอบแห้งในตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

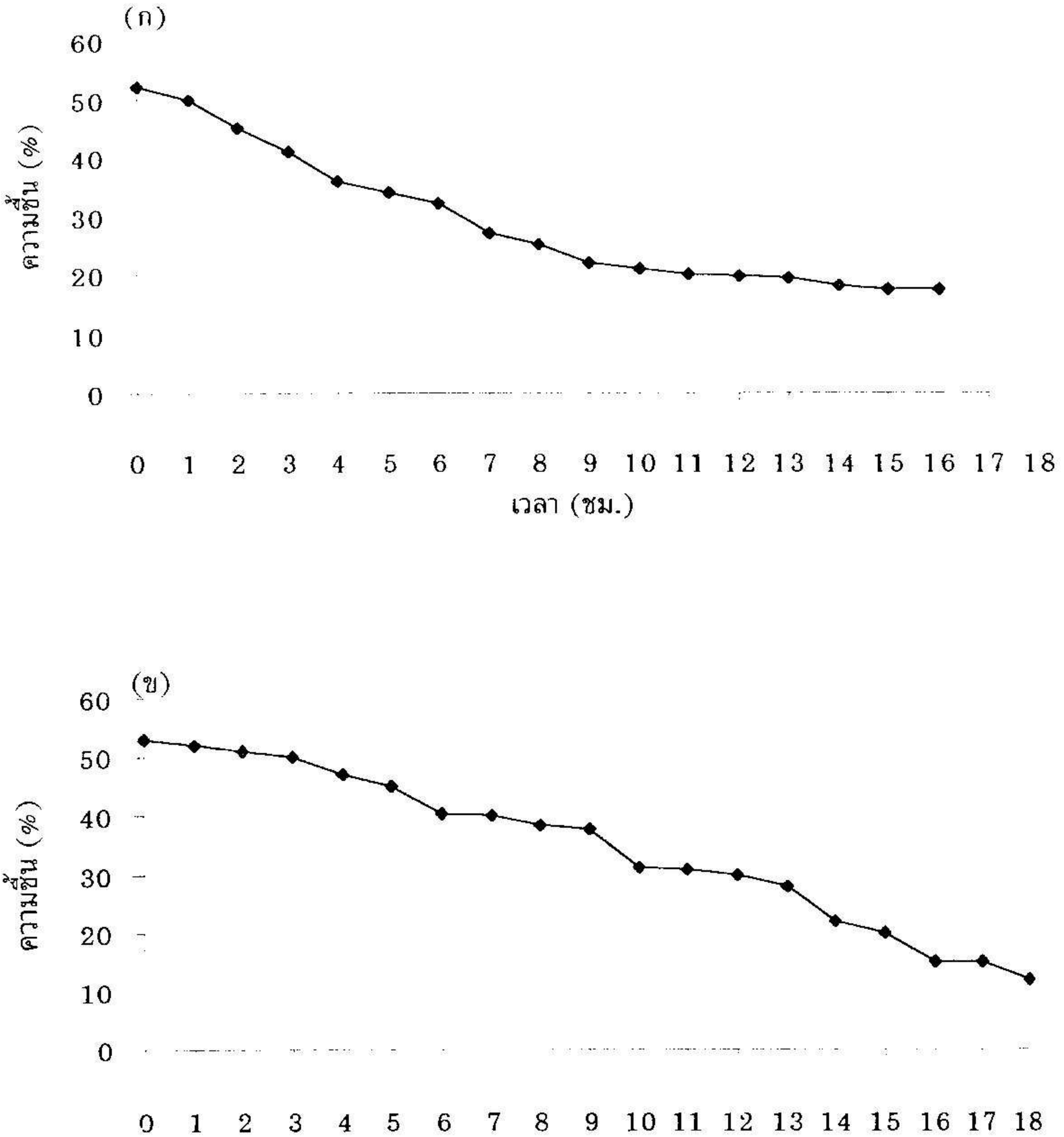
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นทุก ๆ ชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณร้อยละ 25 20 และ 15 ทำการวัดค่า A_w และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA (Larmond, 1977)

ผลและวิจารณ์

จากการทดลองอบแห้งชิ้นมังคุดที่ผ่านการออสโมซีสด้วยสภาวะที่คัดเลือกแล้ว ด้วยตู้อบลมร้อน และตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 65°ซ เป็นเวลา 10-18 ชม. ขึ้นอยู่กับชุดการทดลองจดบันทึกค่าความชื้นตลอดระยะเวลาการอบแห้ง ได้ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งดังแสดงในภาพ 4.8-4.9



ภาพ 4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของชิ้นมังคุดกลีบเล็กที่ผ่านการออสโมซีสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (ก) และตู้อบสุญญากาศ (ข) ที่อุณหภูมิ 65°ซ



ภาพ 4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของชิ้นมังคุดกลีบใหญ่ที่ผ่านการออสโมซีสและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (ก) และตู้อบสุญญากาศ (ข) ที่อุณหภูมิ 65°ซ

ผลการวัดค่า Λ_w ของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่มีระดับความชื้นร้อยละ 25, 20 และ 15 ดังแสดงในตาราง 4.7 พบว่าที่ความชื้นคงที่ ค่า Λ_w ของผลิตภัณฑ์ จากการอบลมร้อนและการอบด้วยสุญญากาศมีค่าใกล้เคียงกัน

ตาราง 4.7 ค่า Λ_w ของผลิตภัณฑ์ชั้นมังคุดกึ่งแห้ง จากการอบด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

ขนาดของกลีบมังคุด	ความชื้น(%) ของมังคุดกึ่งแห้ง	ค่า Λ_w ของมังคุดกึ่งแห้ง	
		อบลมร้อน	อบสุญญากาศ
เล็ก	25	0.598	0.546
	20	0.655	0.667
	15	0.723	0.749
ใหญ่	25	0.637	0.557
	20	0.710	0.643
	15	0.776	0.721

ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 25, 20 และ 15 จากการอบด้วยตู้อบสุญญากาศ เปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อน ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.8 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบลมร้อนจะขาวกว่าการอบในตู้อบสุญญากาศ เนื่องจากการอบในตู้อบลมร้อนใช้เวลาในการอบสั้นกว่า ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องสูงกว่าตู้อบสุญญากาศ

ตาราง 4.8 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้ง จากการอบด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

ขนาดของกลีบมังคุด	ความชื้น(%) ของชิ้นมังคุดกึ่งแห้ง	ค่าสีของชิ้นมังคุดกึ่งแห้ง					
		อบลมร้อน			อบสุญญากาศ		
		L	a	b	L	a	b
เล็ก							
	25	30.60	-0.48	4.28	21.62	-0.01	2.68
	20	30.20	-0.40	4.19	21.17	-0.04	2.86
	15	27.99	-0.33	3.77	21.26	-0.13	2.49
ใหญ่							
	25	27.45	-0.29	2.87	20.86	0.06	1.58
	20	27.78	-0.36	2.88	20.56	0.51	1.92
	15	25.19	0.22	2.94	19.97	0.19	1.45

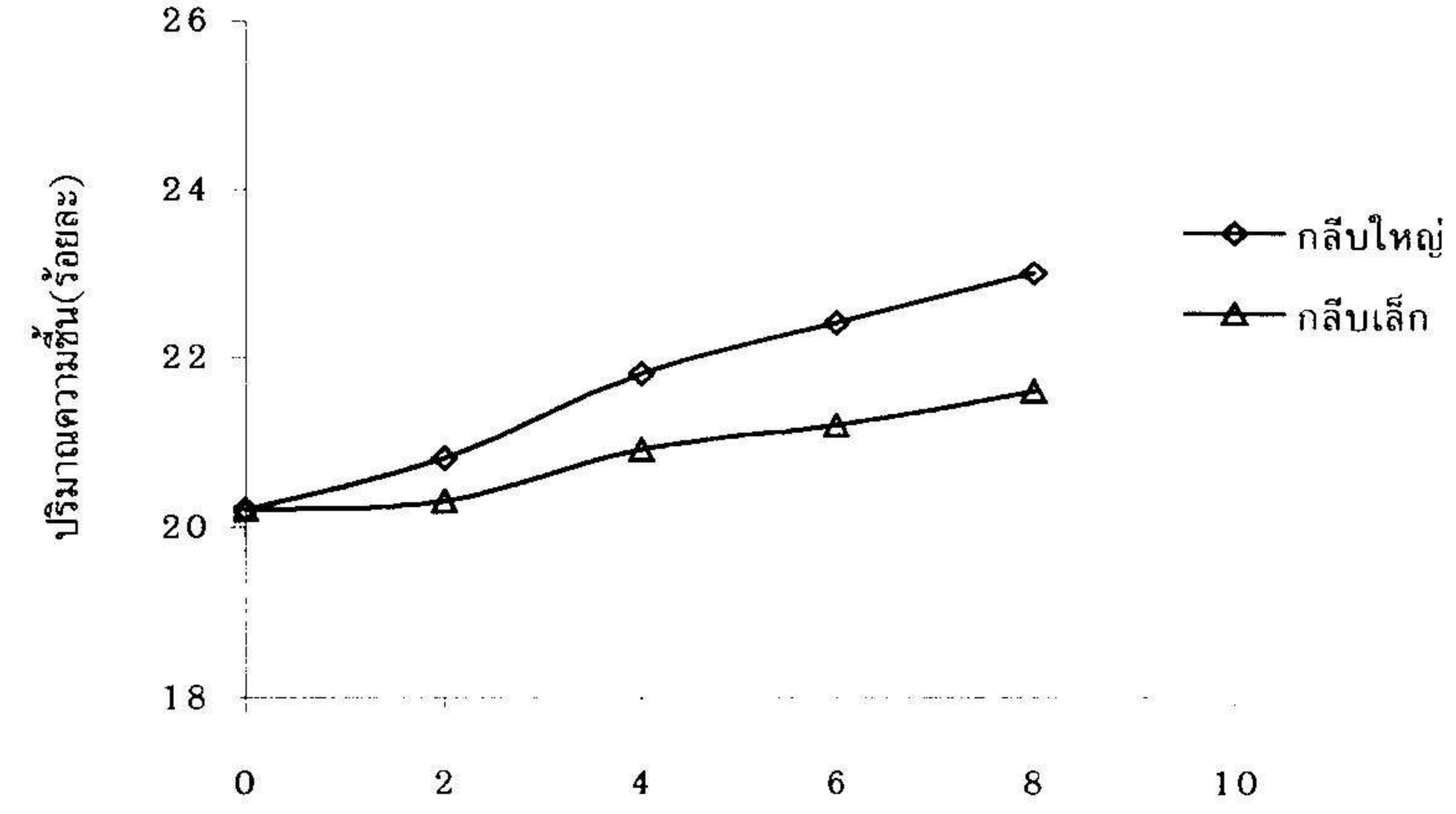
4.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้ง

วิธีดำเนินการวิจัย

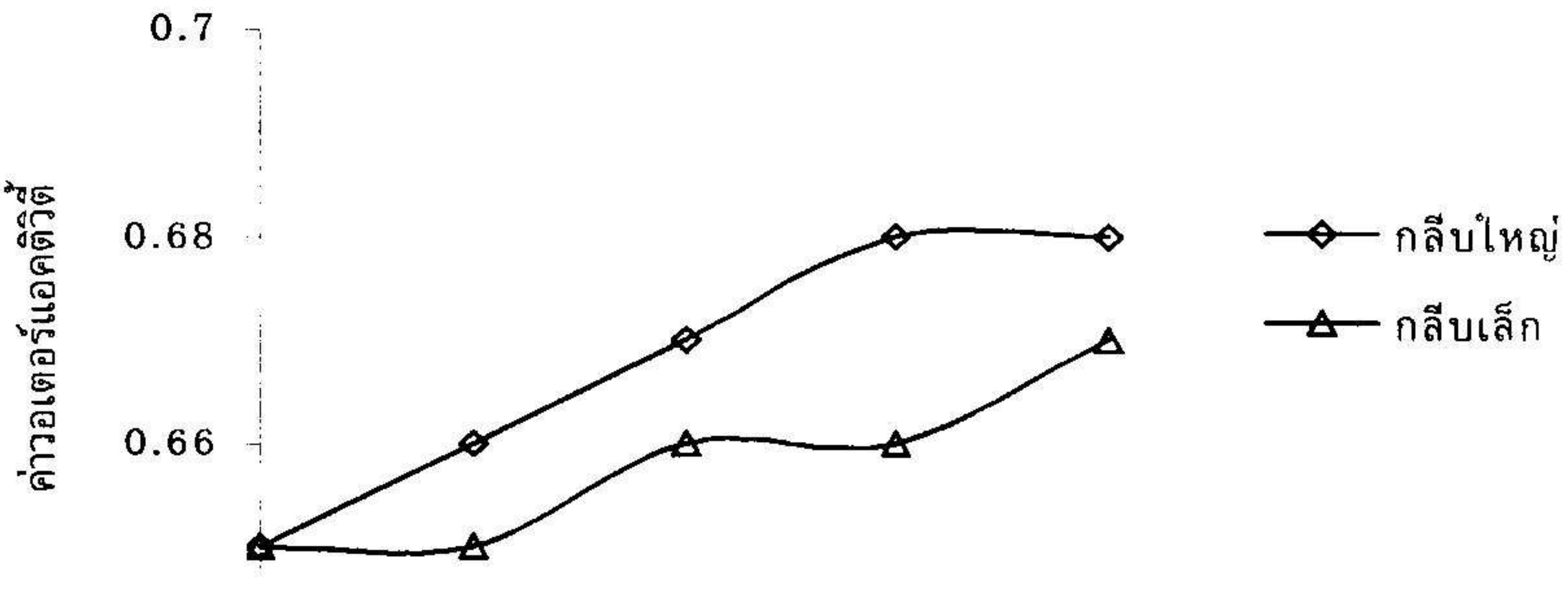
นำผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการคัดเลือกในสภาวะที่เหมาะสม มาเก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ขนาด 4.5 x 6.5 ตร.นิ้ว ความหนา 0.15 มม. บรรจุประมาณ 100 กรัม/ถุง ที่อุณหภูมิห้อง ประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ทุก ๆ 2 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน คือ วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีได้แก่ วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (A.O.A.C., 1990) คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่า A_w, ค่าสี คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA (Larmond, 1977) และตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ยีสต์และรา โดยวิธี Speck (1984)

ผลและวิจารณ์

จากการเก็บรักษาชิ้นมังคุดกึ่งแห้งในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ขนาด 4.5x6.5 ตร.นิ้ว ความหนา 0.15 มม. บรรจุปริมาณ 100 กรัม/ถุง เก็บที่อุณหภูมิห้อง ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุก ๆ 2 สัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน พบว่าปริมาณความชื้น และค่า A_w ของผลิตภัณฑ์ทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ภาพ 4.10-4.11) การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ (ตาราง4.9) มีแนวโน้มค่า L ลดลงทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ผลิตภัณฑ์กลีบเล็กจะมีสีแดงเพิ่มขึ้น (ค่า a เพิ่มขึ้น) ส่วนผลิตภัณฑ์กลีบใหญ่มีสีเหลืองมากขึ้น (ค่า b เพิ่มขึ้น) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 6 และที่ 8 ความแตกต่างของสีระหว่างผลิตภัณฑ์กลีบเล็กและผลิตภัณฑ์กลีบใหญ่อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ในกลีบใหญ่มีเมล็ดขนาดใหญ่ซึ่งมีส่วนทำให้สีของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันออกไป พบปริมาณยีสต์และราในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ของระยะเวลาการเก็บรักษา ในปริมาณไม่เกิน 100 โคโลนี/กรัม (ภาพ 4.12) ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดที่บังคับไว้คือ ผลไม้แห้งต้องมีจำนวนยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนี/กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต่อคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัส (ตาราง 4.10) พบว่าลักษณะปรากฏ กลิ่นและรสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน ผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับของผู้บริโภคในระดับปานกลางถึงชอบมาก



ภาพ 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา



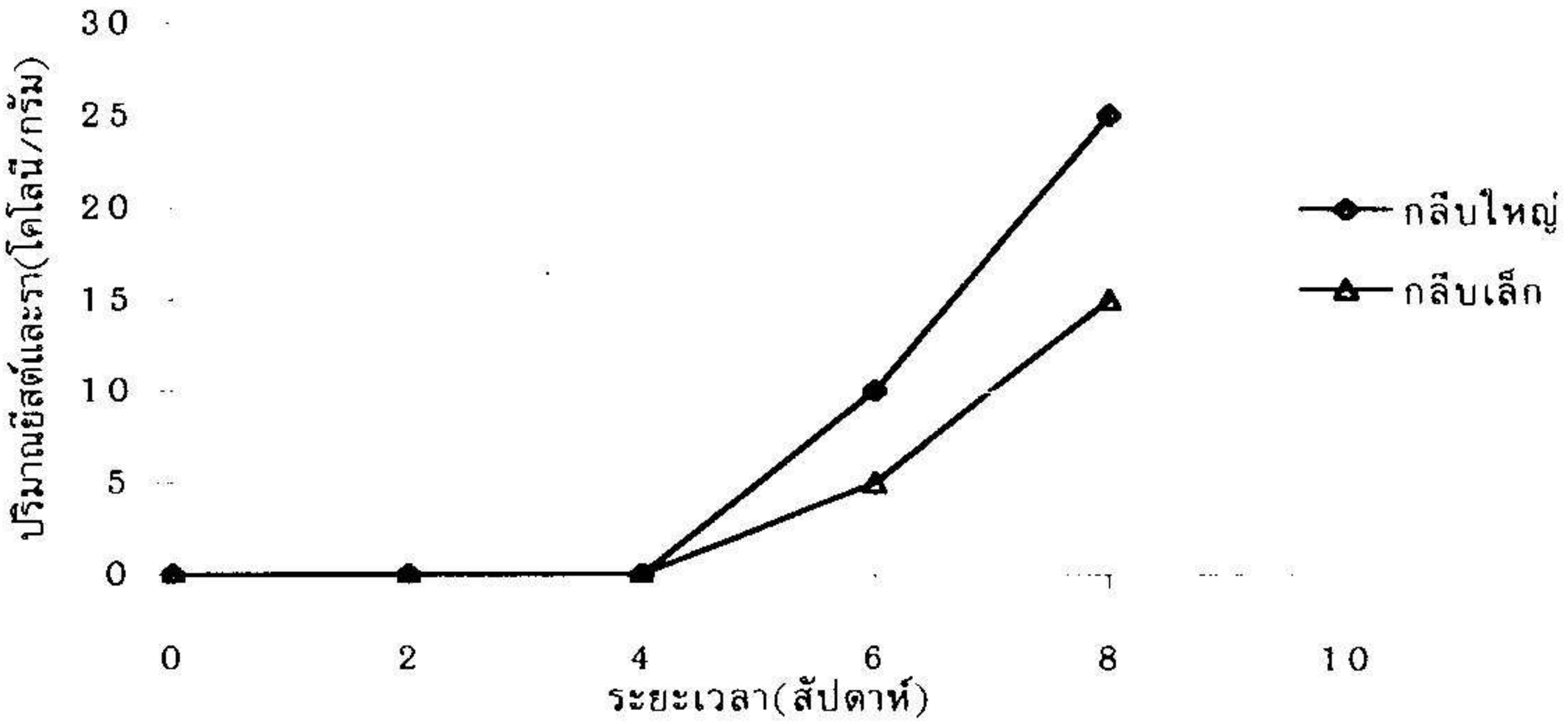
ภาพ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ตาราง 4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้ง

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่าสีของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้ง					
	กลีบเล็ก			กลีบใหญ่		
	L	a	b	L	a	b
0	21.47^{ns}	-0.03a	2.19^{ns}	20.67^{ns}	0.55^{ns}	0.96b
2	21.23	0.13a	2.22	20.43	0.82	1.23ab
4	21.16	0.21a	2.27	20.16	0.84	1.31ab
6	21.18	0.36a	2.62	20.02	0.92	1.43b
8	20.91	0.76b	2.67	19.88	1.02	1.51b

หมายเหตุ : ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)



ภาพ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์และราของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ตาราง 4.10 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชิ้นมังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย						
	ลักษณะปรากฏ		กลิ่นและรส			เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
	สี	ความเหี่ยวย่น	รสหวาน	รสเปรี้ยว	กลิ่นรสผิดปกติ		
มังคุดกึ่งแห้งกลีบเล็ก							
0	5.35^{ns}	3.04^{ns}	5.11^{ns}	1.98^{ns}	0.63^{ns}	4.30^{ns}	7.12^{ns}
2	5.35	3.09	5.18	2.18	0.76	4.27	7.02
4	5.54	3.20	4.79	2.28	0.85	4.08	6.98
6	5.74	3.10	4.87	2.26	0.98	3.52	7.01
8	5.90	3.26	4.97	2.43	1.13	3.08	6.84
มังคุดกึ่งแห้งกลีบใหญ่							
0	5.88^{ns}	5.42^{ns}	5.67^{ns}	1.35^{ns}	0.88^{ns}	5.76^{ns}	6.37^{ns}
2	6.04	5.30	5.16	1.64	0.58	5.77	6.08
4	6.14	5.86	5.36	1.37	0.80	5.82	6.01
6	6.46	5.86	5.49	1.64	0.95	5.76	6.44
8	6.70	5.87	5.44	1.94	1.14	5.55	6.11

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

สรุปผลการทดลอง

การนำวิธี response surface methodology มาใช้ในงานวิจัยนี้ทำให้สามารถศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อปริมาณน้ำที่ลดลง (water loss) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain) ของชิ้นมังคุดระหว่างการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลต่างชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการออสโมซิสเพื่อให้ได้ค่า water loss และ solid gain คือการใช้สารละลายซูโครสร่วมกับสารละลายฟรุกโตส ด้วยสภาวะความเข้มข้น 68°บริกซ์ อุณหภูมิ 62° ซ เวลา 8 ชม.สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และความเข้มข้น 63°บริกซ์ อุณหภูมิ 67°ซ เวลา 8 ชม.สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการออสโมซิสมังคุดก่อนการนำไปอบแห้ง ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่คือ การอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 °ซ จนผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 20 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งด้วยวิธีออสโมซิสทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีนเป็นระยะเวลา 2 เดือน ปรากฏว่า ความชื้นและค่า A_w เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่า L ลดลงเมื่อเก็บเป็นระยะนานขึ้น พบปริมาณยีสต์และราในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ในปริมาณเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามพบว่าผลิตภัณฑ์ยังได้รับการยอมรับในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

5. การผลิตมังคุดในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง

หลักการและเหตุผล

เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารบรรจุในภาชนะปิดสนิทและฆ่าเชื้อด้วยความร้อนได้รับการพัฒนามา
ยาวนานโดยเฉพาะอาหารบรรจุกระป๋อง ข้อดีของอาหารบรรจุกระป๋อง คือ มีอายุการเก็บรักษานาน แต่ละครั้งสามารถผลิตได้ในปริมาณมาก และขนส่งสะดวก ผลไม้กระป๋องที่ผลิตจากประเทศไทยเป็นที่ชื่นชอบของชาวต่างประเทศ สามารถทำรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ผลไม้กระป๋องที่ส่งออกในปัจจุบัน ได้แก่ สับปะรดกระป๋อง ลิ้นจี่กระป๋อง ลำไยกระป๋อง และเงาะกระป๋อง เป็นต้น การผลิตมังคุดในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องมีความเป็นไปได้ในระดับอุตสาหกรรมจึงเป็นแนวทางในการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋องออกสู่ตลาด

งานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งหมายที่จะพัฒนากรรมวิธีการผลิตมังคุดในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากเนื้อมังคุด ลดปริมาณของเสีย และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋องอาศัยหลักการให้ความร้อนกับอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทด้วยอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม จนสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสีย และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค รวมถึงเอนไซม์ต่าง ๆ ในอาหารได้ อาหารที่ผ่านความร้อนแล้วนี้จะไม่ปะปนด้วยจุลินทรีย์ภายนอกจึงสามารถถนอมรักษาไว้ได้ เนื่องจากการใช้ความร้อนในการแปรรูปผลไม้ทำให้ผลไม้สูญเสียกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสตามธรรมชาติสิ่งที่สำคัญจะต้องมุ่งเน้นในการพัฒนาการผลิตผลไม้กระป๋อง คือ การปรับปรุงรักษากลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของผลไม้ให้มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับ

วัตถุประสงค์

1 เพื่อพัฒนากรรมวิธีการผลิตมังคุดในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง
2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา
3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์เนื้อมังคุดส่วนที่มีคุณภาพไม่ครบตามมาตรฐาน

5.1 การศึกษากระบวนการแปรรูปมังคุดบรรจุกระป๋อง

5.1.1 การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของชิ้นมังคุด

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารเคมี เวลาที่ใช้ในการแช่สารละลาย และสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่มีผลต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของชิ้นมังคุดบรรจุกระป๋อง ดังต่อไปนี้

(1) ผลของแคลเซียมคลอไรด์ เวลาที่ใช้ในการแช่สารละลาย และสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาดังนี้

- แคลเซียมคลอไรด์ มี 3 ระดับคือ ร้อยละ 0.5, 0.75 และ 1.0 ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 0.5
- เวลาที่ใช้แช่ในสารละลายผสม เป็น 5 และ 10 นาที
- สภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิน้ำเดือด โดยให้จุดร้อนช้าที่สุดมีอุณหภูมิ 85°ซ นาน 5 นาที และ 92°ซ นาน 1 นาที

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) และจัดชุดทดลองแบบแฟกทอเรียล รวมมีชุดการทดลอง 12 ชุด และชุดควบคุมซึ่งไม่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมรวมเป็น 13 ชุดการทดลอง ดังตาราง 5.1 หลังจากแช่ในสารละลายผสมที่อุณหภูมิห้องแล้ววางให้สะเด็ดน้ำ บรรจุชิ้นเนื้อมังคุดลงในกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ขนาด 307x409 ในปริมาณ 280 กรัมต่อกระป๋อง เติมน้ำเชื่อมที่ผสมกรดซิตริกร้อยละ 0.1 ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายของมังคุดกระป๋องเป็น 20°บริกซ์ เว้นช่องว่างเหนือกระป๋องเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร ปิดผนึกแบบสุญญากาศ ต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือด จนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนด ทำให้เย็นและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

หลังจากเก็บรักษา 1 วัน นำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 13 คน จัดชุดทดลองโดยใช้แผนแบบบลอคไม่สมบูรณ์สมดุล (Balanced Incomplete Block Designs : BIB) (ι=13, k=4, b=13, r=4, λ =1) (สุรพล อุปติสสกุล, 2526) ประเมินคุณลักษณะ โดยวิธีพรรณาเชิงปริมาณ (QDA) (Stone *et al.*, 1974) ทางด้านลักษณะปรากฏ สี รสฝาด เนื้อสัมผัส และความใสของน้ำเชื่อม วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L, a, b) ความเป็นกรด ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณแคลเซียม (Rangana, 1977) และความขุ่นของน้ำเชื่อมโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) (สุรพล อุปติสสกุล, 2526) เพื่อคัดเลือกชุดการทดลองที่เหมาะสม

ตาราง 5.1 ชุดการทดลองผลของแคลเซียมคลอไรด์ เวลาที่ใช้แช่ในสารละลายผสมและสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเพื่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัส

ชุดทดลอง	สภาวะการฆ่าเชื้อในน้ำเดือด		เวลาที่แช่ในสารละลาย (นาที)	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	
	อุณหภูมิที่จุดร้อนช้า(°ซ)	เวลา(นาที)		แคลเซียมคลอไรด์	กรดซิตริก
1	85	5	5	0.5	0.5
2	85	5	5	0.75	0.5
3	85	5	5	1.0	0.5
4	85	5	10	0.5	0.5
5	85	5	10	0.75	0.5
6	85	5	10	1.0	0.5
7	92	1	5	0.5	0.5
8	92	1	5	0.75	0.5
9	92	1	5	1.0	0.5
10	92	1	10	0.5	0.5
11	92	1	10	0.75	0.5
12	92	1	10	1.0	0.5
13a	85	5	-	-	-

a = ชุดควบคุม

ผลและวิจารณ์

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ เวลาที่ใช้ในการแช่สารละลาย และสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ เวลาที่ใช้ในการแช่สารละลาย และสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ดังแสดงในตาราง 5.2 และ 5.3 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เวลาการแช่ในสารละลายผสม และสภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อคุณภาพด้านสีของมังคุดกระป๋องทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ โดยค่า L, a และ b ของชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ผสมกรดซิตริกมีค่าไม่แตกต่างกับชุดควบคุม แตกต่างจาก Camire และคณะ (1994) ซึ่งศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสบูลเบอรี่บรรจุกระป๋อง และพบว่าการแช่บูลเบอรี่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับกรดซิตริก มีผลทำให้ค่า L และ b ของผลิตภัณฑ์ลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าองค์ประกอบของสารให้สีในผลไม้ทั้งสองชนิดแตกต่างกัน สำหรับค่าพีเอชของมังคุดกระป๋องกลีบเล็ก พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 2.8-3.0 และ 3.0-3.2 สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ ซึ่งจัดว่ามังคุดกระป๋องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูง

การวิจัยได้ทำการทดสอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความใสของน้ำเชื่อม เป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการบ่งบอกถึงความ แน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋อง และเป็นตัวแปรสำคัญในการคัดเลือกชุดการทดลอง จึงนำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ และเขียนกราฟเพื่อดูอิทธิพลในปัจจัยที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของสารละลาย เวลาที่ใช้แช่ชิ้นมังคุดในสาระลาย และความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสได้ผลดังนี้

ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5 0.75 และ 1.0 แสดงผลที่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ต่อลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความใสของน้ำเชื่อมในมังคุดกลีบเล็ก (ภาพ 5.1) และต่อลักษณะปรากฏ ความใสของน้ำเชื่อมในมังคุดกลีบใหญ่ (ภาพ 5.2) มังคุดกลีบเล็กมีความแน่นเนื้อสูงสุดเมื่อแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่เหลือในเนื้อมังคุด พบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 มีปริมาณแคลเซียมเหลืออยู่มากที่สุดซึ่งส่งผลให้ลักษณะปรากฏมีความยุ่ยน้อย และความใสของน้ำเชื่อมสูงกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 การที่คะแนนด้านเนื้อสัมผัสจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 อาจเนื่องจากรสเฝื่อนของแคลเซียมมีผลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค และที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 ลักษณะปรากฏ ความแน่นเนื้อ และความใสของน้ำเชื่อมของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกับที่ร้อยละ 0.5 แต่รสเฝื่อนของแคลเซียมสูงกว่า ดังนั้นความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพียงร้อยละ 0.5 จึงเพียงพอสำหรับมังคุดกลีบเล็ก ส่วนมังคุดกลีบใหญ่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.75 มีผลทำให้เนื้อสัมผัสมีคะแนนสูงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และสังเกตพบว่ากลีบมังคุดมีความยุ่ยน้อยลง และความใสของน้ำเชื่อมมีค่าสูงขึ้น

ตาราง 5.2 ผลของสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ เวลาการแช่และสภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก

ปัจจัย	ระดับ	ค่า L	ค่า a	ค่า b	ค่าความขุ่นของน้ำเชื่อม ที่ OD 660 นาโนเมตร	ปริมาณแคลเซี่ยม (มก./100 กรัมเนื้อ)
ความเข้มข้นของแคลเซี่ยมคลอไรด์	0 %	53.50 ^{ns}	-0.50 ^{ns}	9.89 ^{ns}	0.368 ^{a}	66.55 ^{b}
	0.5 %	54.66	-0.59	10.18	0.220 ^{b}	96.55 ^{a}
	0.75 %	53.82	-0.47	9.62	0.198 ^{b}	108.98 ^{a}
	1.0 %	52.39	-0.20	9.38	0.190 ^{b}	106.56 ^{a}
เวลาที่แช่ในสารละลายผสม	0 นาที	53.50 ^{ns}	-0.50 ^{ns}	9.89 ^{ns}	0.368 ^{a}	66.55 ^{b}
	5 นาที	53.78	-0.37	9.59	0.181 ^{b}	98.93 ^{a}
	10 นาที	53.46	-0.47	9.86	0.178 ^{b}	109.09 ^{a}
อุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ	85 °ซ 5 นาที	53.97 ^{ns}	-0.57 ^{ns}	9.84 ^{ns}	0.229 ^{a}	99.53 ^{b}
	92 °ซ 1 นาที	53.27	-0.28	9.62	0.124 ^{b}	108.49 ^{a}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวอักษร (a, b) ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ในกลุ่มปัจจัยเดียวกันของตัวอย่างแต่ละขนาด

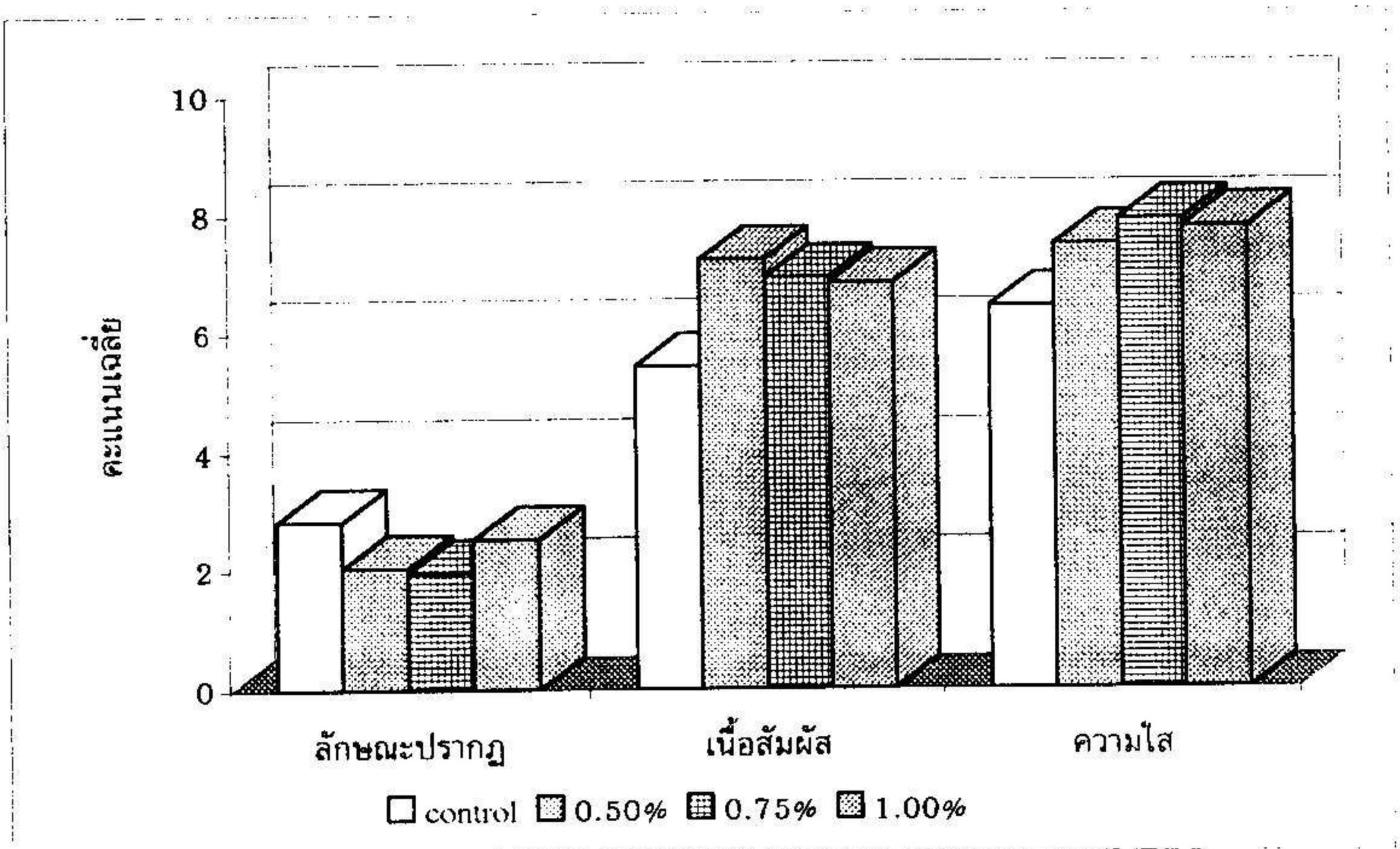
ตาราง 5.3 ผลของสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ เวลาการแช่และสภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบใหญ่

ปัจจัย	ระดับ	ค่า L	ค่า a	ค่า b	ค่าความขุ่นของน้ำเชื่อม ที่ OD 660 นาโนเมตร	ปริมาณแคลเซี่ยม (มก./100 กรัมเนื้อ)
ความเข้มข้นของแคลเซี่ยมคลอไรด์	0 %	50.75 ^{ns}	-0.37 ^{ns}	6.82 ^{ns}	0.170 ^{a}	71.29 ^{b}
	0.5 %	47.65	-0.48	5.32	0.133 ^{b}	72.59 ^{b}
	0.75 %	49.20	-0.54	5.32	0.113 ^{b}	87.65 ^{a}
	1.0 %	47.86	-0.21	5.43	0.118 ^{b}	82.19 ^{a}
เวลาที่แช่ในสารละลายผสม	0 นาที	50.75 ^{ns}	-0.37 ^{ns}	6.82 ^{ns}	0.170 ^{a}	71.29 ^{b}
	5 นาที	48.08	-0.34	5.56	0.122 ^{b}	78.65 ^{a}
	10 นาที	48.40	-0.33	5.15	0.121 ^{b}	82.97 ^{a}
อุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ	85 °ซ 5 นาที	47.40 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	5.66 ^{ns}	0.120 ^{ns}	79.58 ^{ns}
	92 °ซ 1 นาที	49.08	-0.39	5.05	0.122	82.04

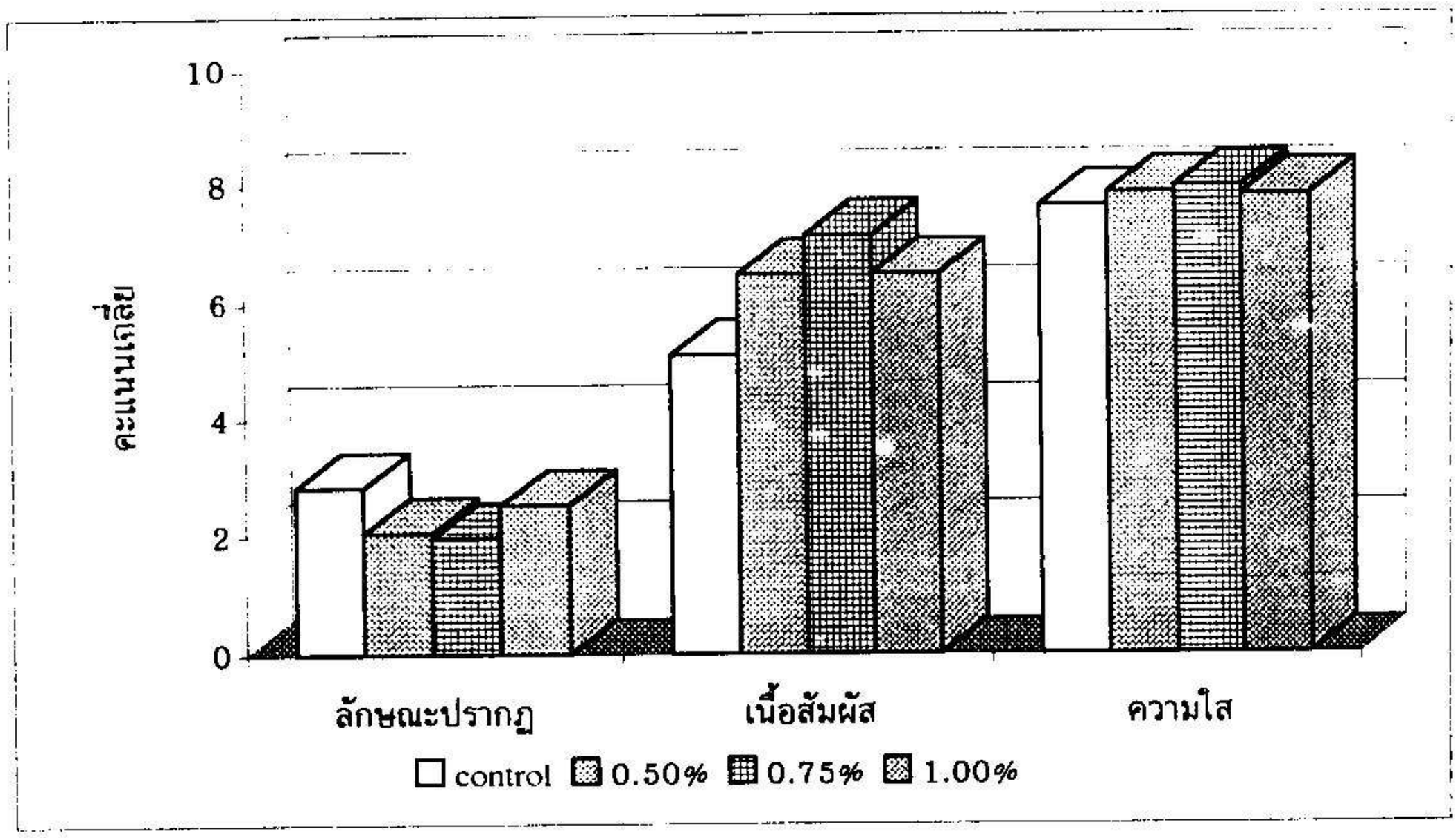
หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวอักษร (a, b) ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ในกลุ่มปัจจัยเดียวกันของตัวอย่างแต่ละขนาด

F: Final R5 ณัฐนันท์ สมบูรณ์



ภาพ 5.1 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ต่อคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของมังคุดกลีบเล็ก



ภาพ 5.2 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ต่อคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของมังคุดกลีบใหญ่

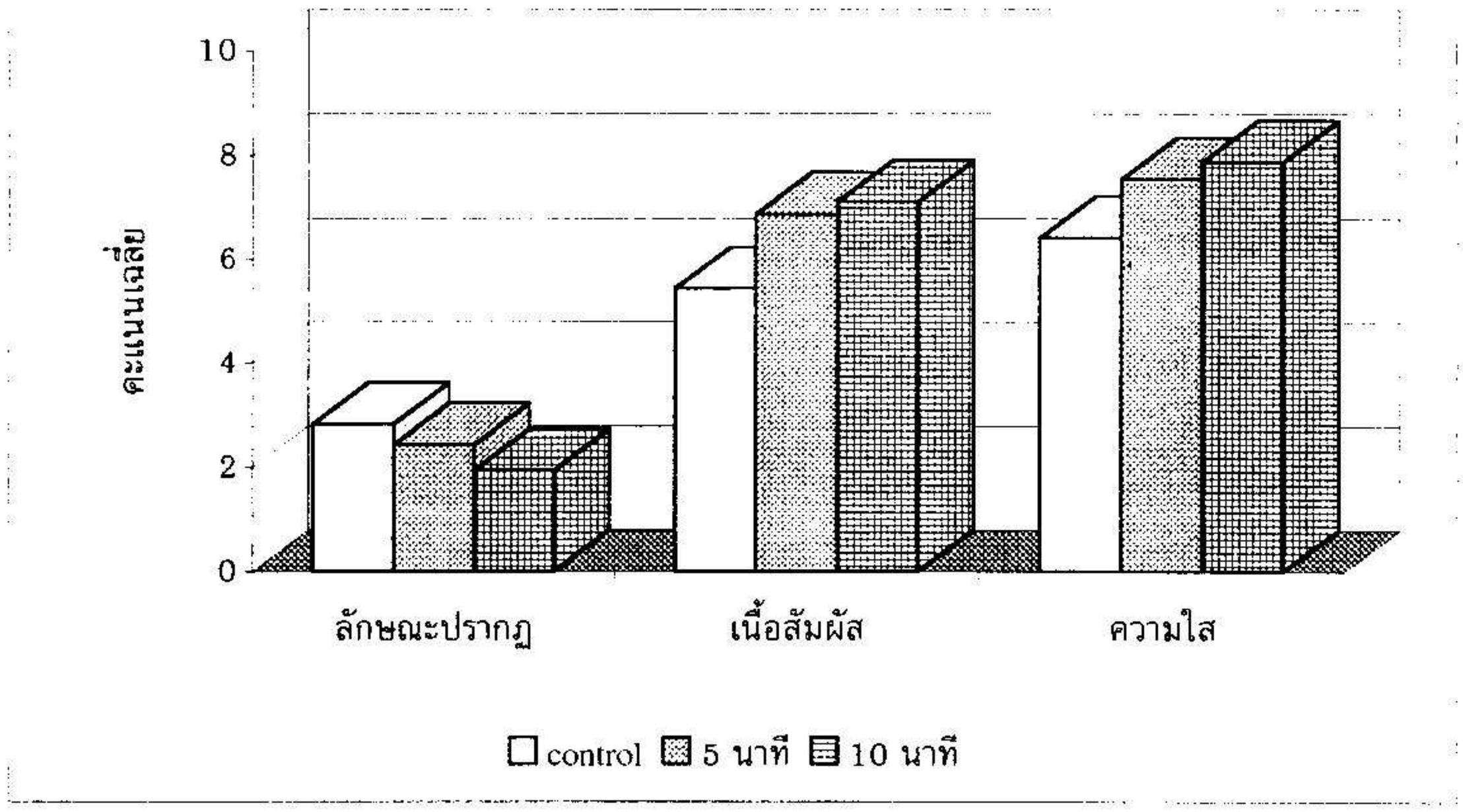
เวลาที่แช่ชิ้นมังคุดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

การแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในเวลาที่แตกต่างกัน (5 และ 10 นาที) ไม่มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ ความแน่นเนื้อ และความใสของน้ำเชื่อมของมังคุดกระป๋องทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ($p>0.05$) (ภาพ 5.3-5.4) แต่พบว่าการแช่ชิ้นมังคุดทั้งกลีบเล็ก และกลีบใหญ่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 5-10 นาที สามารถช่วยปรับปรุงให้เนื้อสัมผัส ของมังคุดดีขึ้น โดยเนื้อสัมผัสมีความแน่นมากขึ้น ลักษณะปรากฏยุ่ยน้อย และความขุ่นของน้ำเชื่อมลดลง อาจเนื่องจากปริมาณแคลเซียมที่เหลืออยู่ โดยพบว่าที่เวลาการแช่ 10 นาที มีปริมาณแคลเซียมที่เหลืออยู่ในเนื้อมังคุดมากกว่าที่ 5 นาที

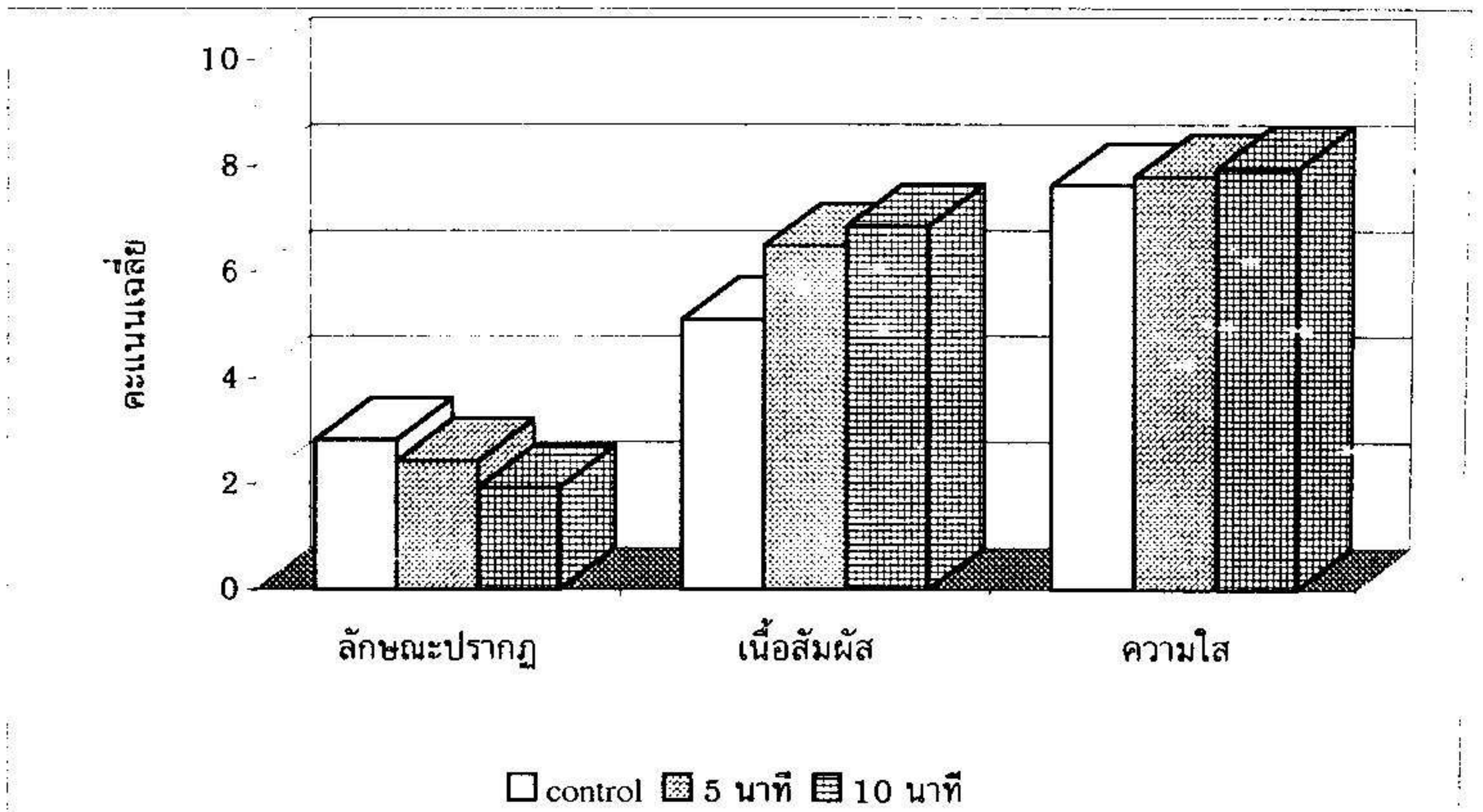
อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ

การใช้อุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องจนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ เวลา 1 นาที มีผลทำให้เนื้อสัมผัสและความใสของน้ำเชื่อมของมังคุดกลีบเล็กมีคะแนนสูงกว่าการใช้อุณหภูมิ 85°ซ 5 นาที ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและเวลาสั้นมีผลต่อการย่อยสลายสารเพคตินในเนื้อเยื่อมังคุดได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงเวลานาน จึงช่วยรักษาเนื้อสัมผัสให้แน่นขึ้น ลักษณะปรากฏมีความยุ่ยน้อยลง ส่งผลให้ความใสของความเชื่อมมากขึ้น สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ พบว่าสภาวะการฆ่าเชื้อทั้งสองอุณหภูมิให้ผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ภาพ 5.5 - 5.6)

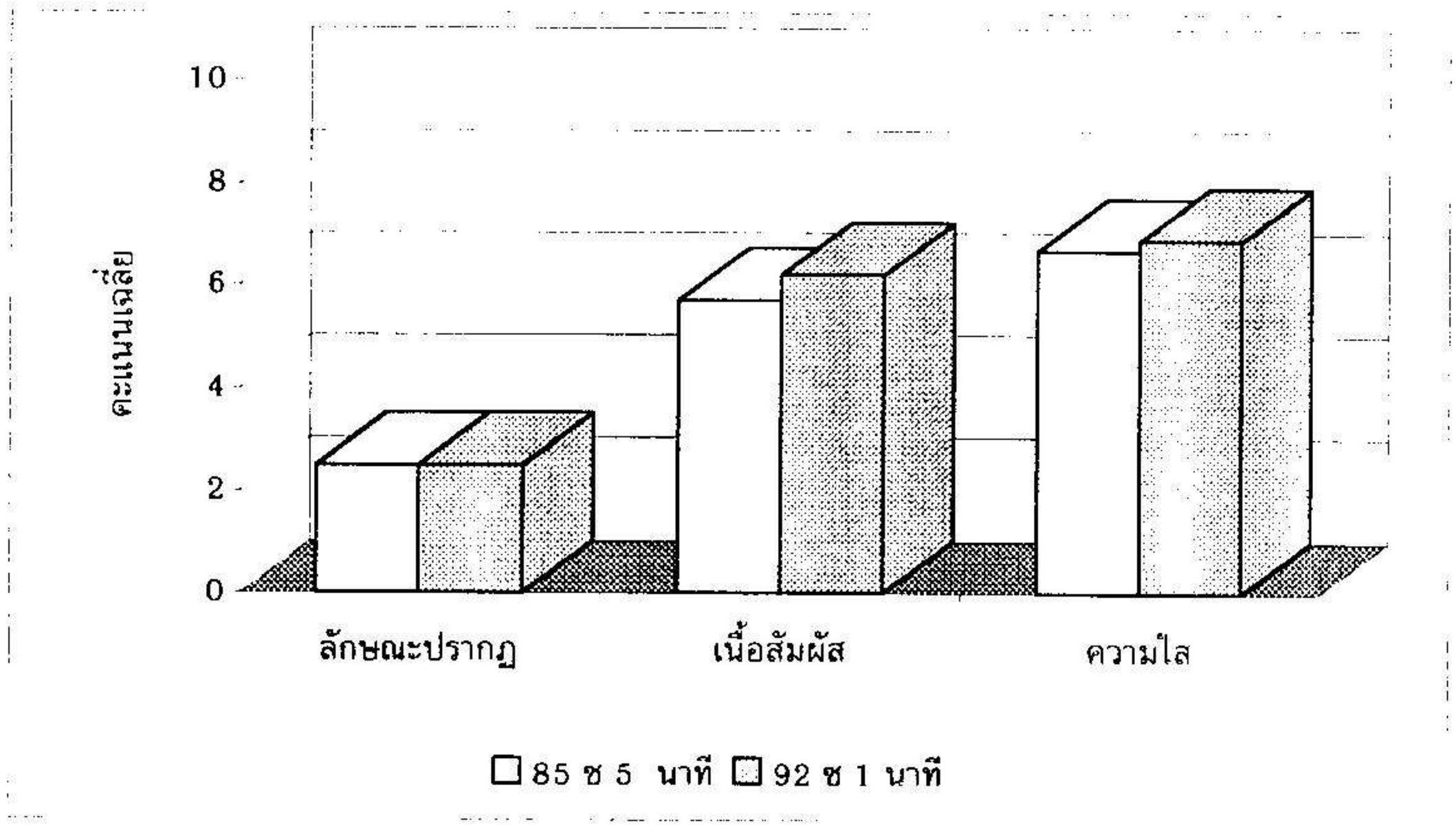
ดังนั้นสภาวะการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เลือกได้ คือ สารละลายแคลเซียม คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 10 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ เวลา 1 นาที สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.75 เป็นเวลา 10 นาที ฆ่าเชื้อจนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที สำหรับมังคุดกลีบใหญ่



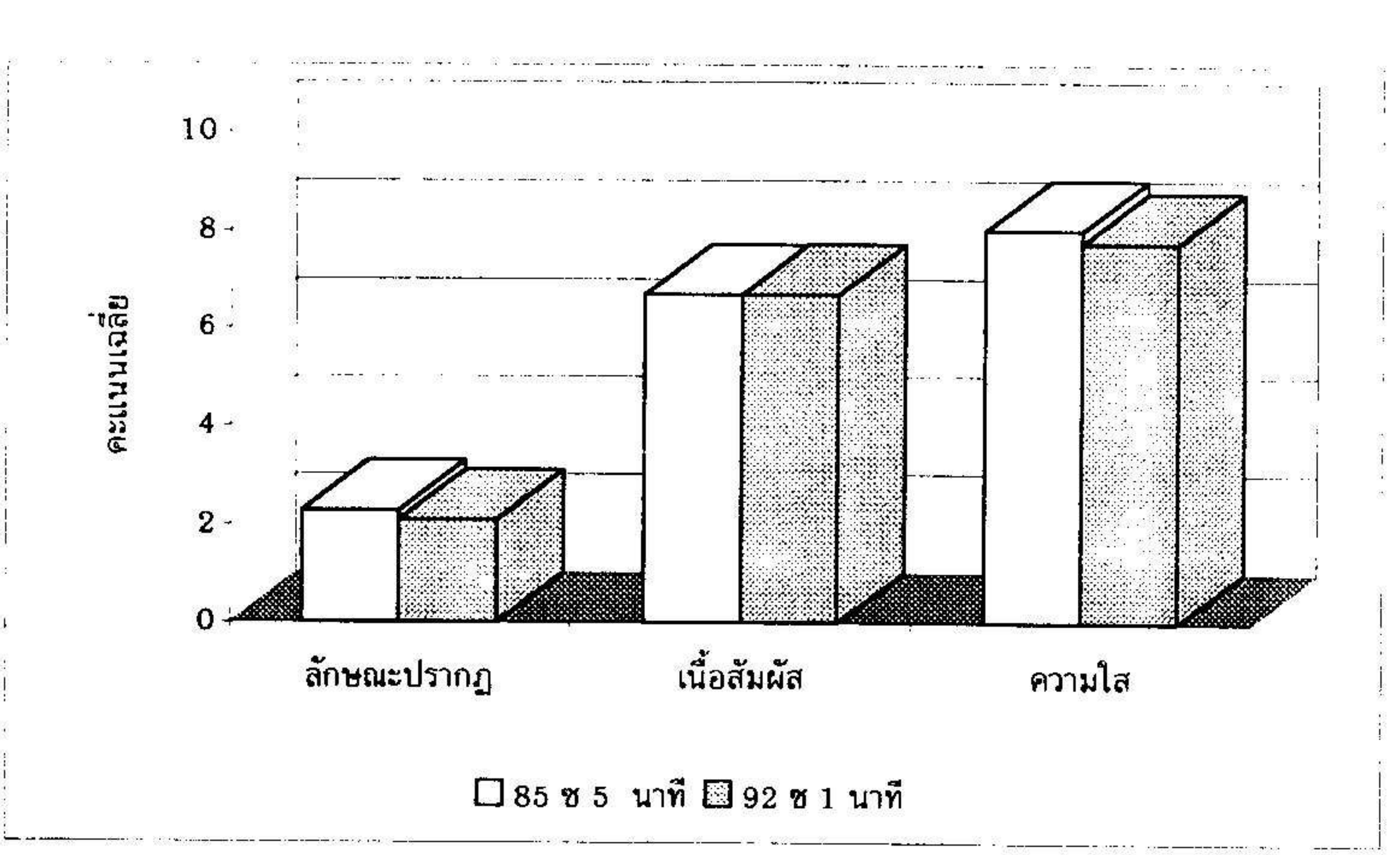
ภาพ 5.3 ผลของเวลาการแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกระป๋องกลีบเล็ก



ภาพ 5.4 ผลของเวลาการแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกระป๋องกลีบใหญ่



ภาพ 5.5 ผลของสภาวะการฆ่าเชื้อต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบเล็ก



ภาพ 5.6 ผลของสภาวะการฆ่าเชื้อต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่

(2) ผลของแคลเซียมแลคเตต เวลาที่ใช้ในการแช่สารละลาย และสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาดังนี้

- แคลเซียมแลคเตต มี 3 ระดับคือ ร้อยละ 0.5 0.75 และ 1.0 ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 0.5
- เวลาที่ใช้แช่ในสารละลายผสม เป็น 5 และ 10 นาที
- สภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิน้ำเดือด โดยให้จุดร้อนช้าที่สุดมีอุณหภูมิ 85°ซ นาน 5 นาที และ 92°ซ นาน 1 นาที

วางแผนการทดลองแบบ CRD และจัดชุดทดลองแบบแฟกทอเรียล รวมมีชุดการทดลอง 12 ชุด และชุดควบคุมซึ่งไม่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมรวมเป็น 13 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตาราง 5.4 หลังจากแช่ในสารละลายผสมที่อุณหภูมิห้องแล้ววางให้สะเด็ดน้ำ นำไปเข้าสู่กระบวนการบรรจุกระป๋อง ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เคมีและกายภาพ และวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวกับข้อ (1)

ตาราง 5.4 ชุดการทดลองผลของแคลเซียมแลคเตต เวลาที่ใช้แช่ในสารละลายผสมและสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อในการปรับปรุงเนื้อสัมผัส

ชุดทดลอง	สภาวะการฆ่าเชื้อในน้ำเดือด		เวลาที่แช่ในสารละลาย (นาที)	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	
	อุณหภูมิที่จุดร้อนช้า(°ซ)	เวลา (นาที)		แคลเซียมแลคเตต	กรดซิตริก
1	85	5	5	0.5	0.5
2	85	5	5	0.75	0.5
3	85	5	5	1.0	0.5
4	85	5	10	0.5	0.5
5	85	5	10	0.75	0.5
6	85	5	10	1.0	0.5
7	92	1	5	0.5	0.5
8	92	1	5	0.75	0.5
9	92	1	5	1.0	0.5
10	92	1	10	0.5	0.5
11	92	1	10	0.75	0.5
12	92	1	10	1.0	0.5
13a	85	5	-	-	-

a = ชุดควบคุม

ผลและวิจารณ์

ผลของแคลเซียมแลคเตต เวลาที่ใช้ในการแช่สารละลาย และสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ดังแสดงในตาราง 5.5-5.6 พบว่า ค่าพีเอชของมังคุดกระป๋องที่ผ่านการปรับปรุงเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกับชุดควบคุม โดยค่าพีเอชของมังคุดกระป๋องกลีบเล็กอยู่ระหว่าง 3.0 - 3.2 และ 3.3 - 3.7 สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ และการใช้แคลเซียมแลคเตตมีผลต่อความสว่างของสีในมังคุดกลีบใหญ่ โดยทำให้ความสว่างของสีของผลิตภัณฑ์ลดลง เมื่อนำคะแนนทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ทางสถิติ สามารถสรุปอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ดังนี้

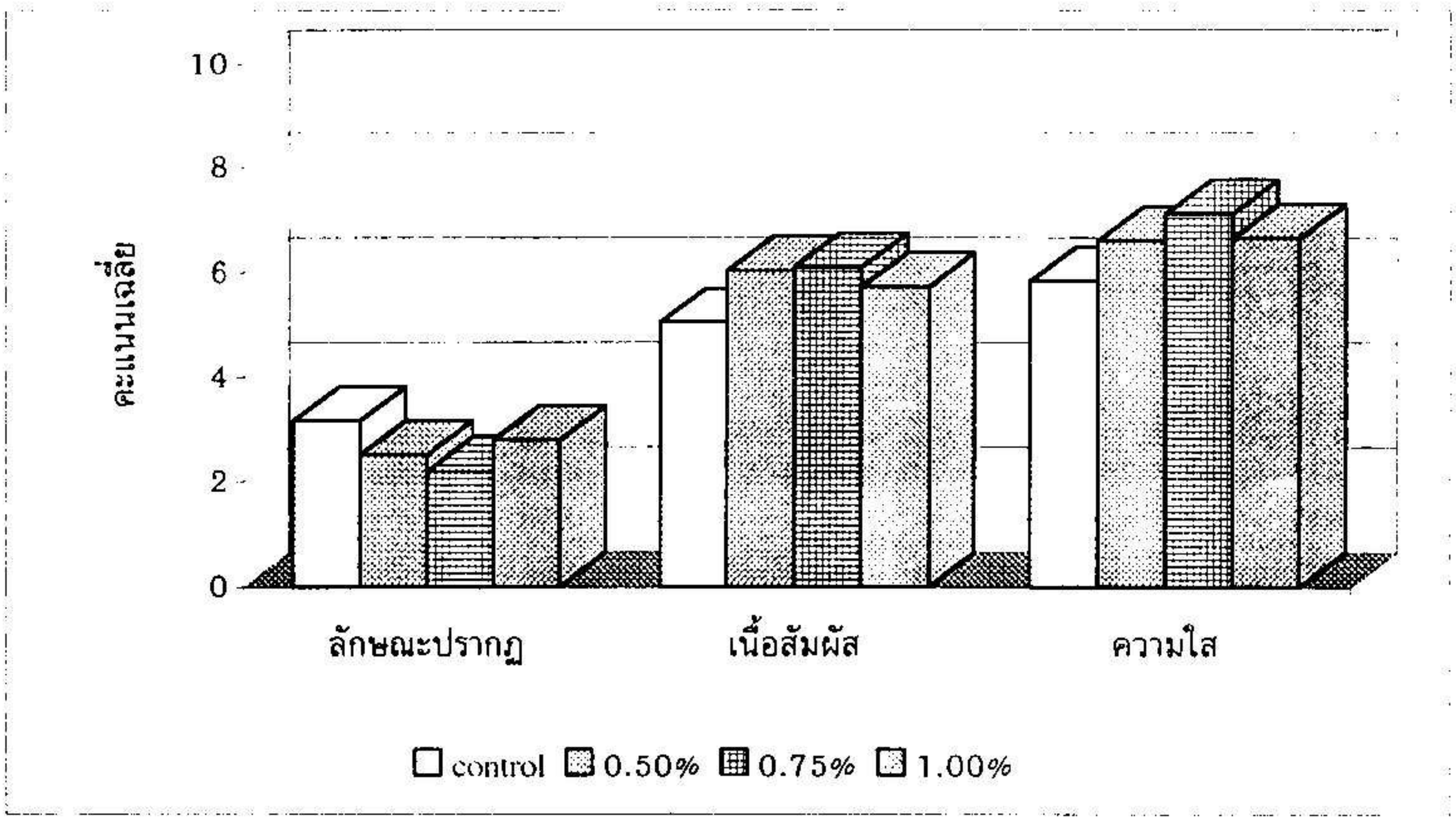
ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตต

ระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตตที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นมังคุดกระป๋องที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนแต่มีแนวโน้มดีกว่าชุดควบคุม โดยพบว่าชิ้นมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตตความเข้มข้นร้อยละ 0.75 ลักษณะปรากฏมีความยุ่ยน้อยกว่าที่ความเข้มข้นระดับอื่น และยังพบว่าความใสของน้ำเชื่อมสูงกว่าชุดการทดลองของแคลเซียมแลคเตตความเข้มข้นร้อยละ 0 0.5 และ 1.0 ($p<0.05$) (ภาพ 5.7) สอดคล้องกับค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมซึ่งค่าความขุ่นน้อยที่สุด ($p<0.05$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 (ตาราง 5.5) สำหรับมังคุดกลีบใหญ่พบว่าเนื้อสัมผัสและความใสของน้ำเชื่อมของชุดการทดลองเติมแคลเซียมไม่มีความแตกต่าง จากชุดควบคุม ($p>0.05$) (ภาพ 5.8) สำหรับลักษณะปรากฏพบว่าความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ลักษณะปรากฏมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าชุดควบคุมอาจเนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการทดลอง เมื่อใช้แคลเซียมแลคเตตความเข้มข้นร้อยละ 0.75 และ 0.1 พบว่าทำให้ค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมลดลงจากชุดควบคุม ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณแคลเซียมที่เหลือในเนื้อมังคุดจากชุดการทดลองแคลเซียมความเข้มข้นระดับต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันทั้งในมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ การใช้แคลเซียมความเข้มข้นร้อยละ 0.75 มีแนวโน้มที่ดีกว่าความเข้มข้นร้อยละ 0 และ 0.5 และไม่มีความแตกต่างจากความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ดังนั้นจึงเลือกใช้แคลเซียมแลคเตตความเข้มข้นร้อยละ 0.75 ในการทดลองขั้นต่อไป

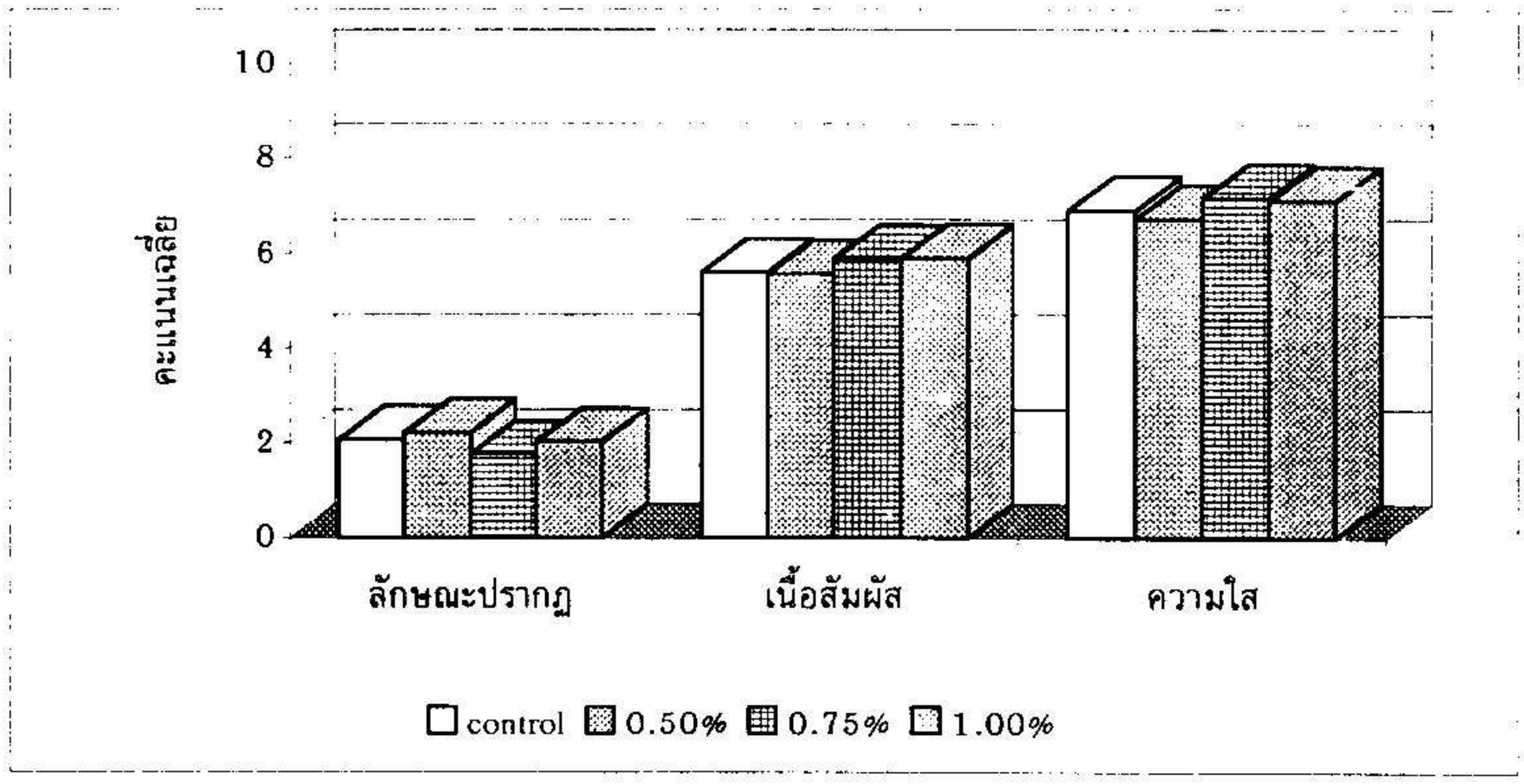
ตาราง 5.5 ผลของสารละลายแคลเซี่ยมแลคเตต เวลาการแช่และสภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก

ปัจจัย	ระดับ	ค่า L	ค่า a	ค่า b	ค่าความขุ่นของน้ำเชื่อม ที่ OD 660 นาโนเมตร	ปริมาณแคลเซี่ยม (มก./100 กรัมเนื้อ)
ความเข้มข้นของแคลเซี่ยมแลคเตต	0 %	54.85 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	10.17 ^{ns}	0.552 ^{a}	45.50 ^{b}
	0.5 %	55.02	-0.38	9.56	0.215 ^{b}	60.82 ^{a}
	0.75 %	53.95	-0.27	9.15	0.184 ^{c}	63.96 ^{a}
	1.0 %	54.75	-0.13	9.65	0.202 ^{b}	66.72 ^{a}
เวลาที่แช่ในสารละลายผสม	0 นาที	54.85 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	10.17 ^{ns}	0.552 ^{a}	45.50 ^{b}
	5 นาที	54.56	-0.40	9.34	0.195 ^{b}	67.54 ^{a}
	10 นาที	54.59	-0.13	9.56	0.206 ^{b}	60.13 ^{a}
อุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ	85 °ซ 5 นาที	54.64 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	9.57 ^{ns}	0.197 ^{ns}	65.69 ^{ns}
	92 °ซ 1 นาที	54.51	-0.35	9.34	0.204	61.97

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)
ตัวอักษร (a, b) ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ในกลุ่มปัจจัยเดียวกันของตัวอย่างแต่ละขนาด



ภาพ 5.7 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตตต่อคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบเลี้ยง



ภาพ 5.8 ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตตต่อคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่

เวลาที่แช่ชิ้นมังคุดในสารละลายแคลเซียมแลคเตต

การแช่ชิ้นมังคุดกลีบเล็กในสารละลายแคลเซียมแลคเตตที่เวลาต่างกัน (5 และ 10 นาที) พบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของชิ้นมังคุดกลีบเล็กที่แช่ในสารละลายผสมเป็นเวลา 5 นาที มีความยุ่ยลดลงจากชุดควบคุม ($p<0.05$) คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสและความใสของน้ำเชื่อมของชุดการทดลอง 5 และ 10 นาทีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกับค่าความขุ่นและปริมาณแคลเซียมที่เหลืออยู่ในเนื้อมังคุด (ตาราง 5.5) แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมอิออนอาจทำ ปฏิกริยาจับกับเพคตินในเนื้อเยื่อมังคุดได้อย่างสมดุลในเวลาเพียง 5 นาที การแช่ในเวลาที่นานขึ้นจึงไม่ก่อให้เกิดความแตกต่าง ดังนั้นเวลาการแช่ที่ 5 นาที จึงเพียงพอสำหรับการปรับปรุงเนื้อสัมผัสมังคุดกลีบเล็ก ส่วนในมังคุดกลีบใหญ่ พบว่าเมื่อแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายแคลเซียมแลคเตตเป็นเวลา 10 นาที ลักษณะปรากฏมีความยุ่ยลดลง ($p<0.05$) คะแนนเนื้อสัมผัส ความใสของน้ำเชื่อม (ภาพ 5.9-5.10) ตลอดจนค่าความขุ่นของน้ำเชื่อม (ตาราง 5.6) มีแนวโน้มที่ดีกว่าการแช่ 5 นาที

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ

สภาวะการฆ่าเชื้อจนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที พบว่าช่วยรักษาความแน่นเนื้อในมังคุดกระป๋องกลีบเล็ก สำหรับในมังคุดกระป๋องกลีบใหญ่ สภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันแสดงผลที่ไม่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ($p>0.05$) แต่พบว่าค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมลดลง ($p<0.05$) เมื่อฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงเวลาสั้น (ตาราง 5.6)

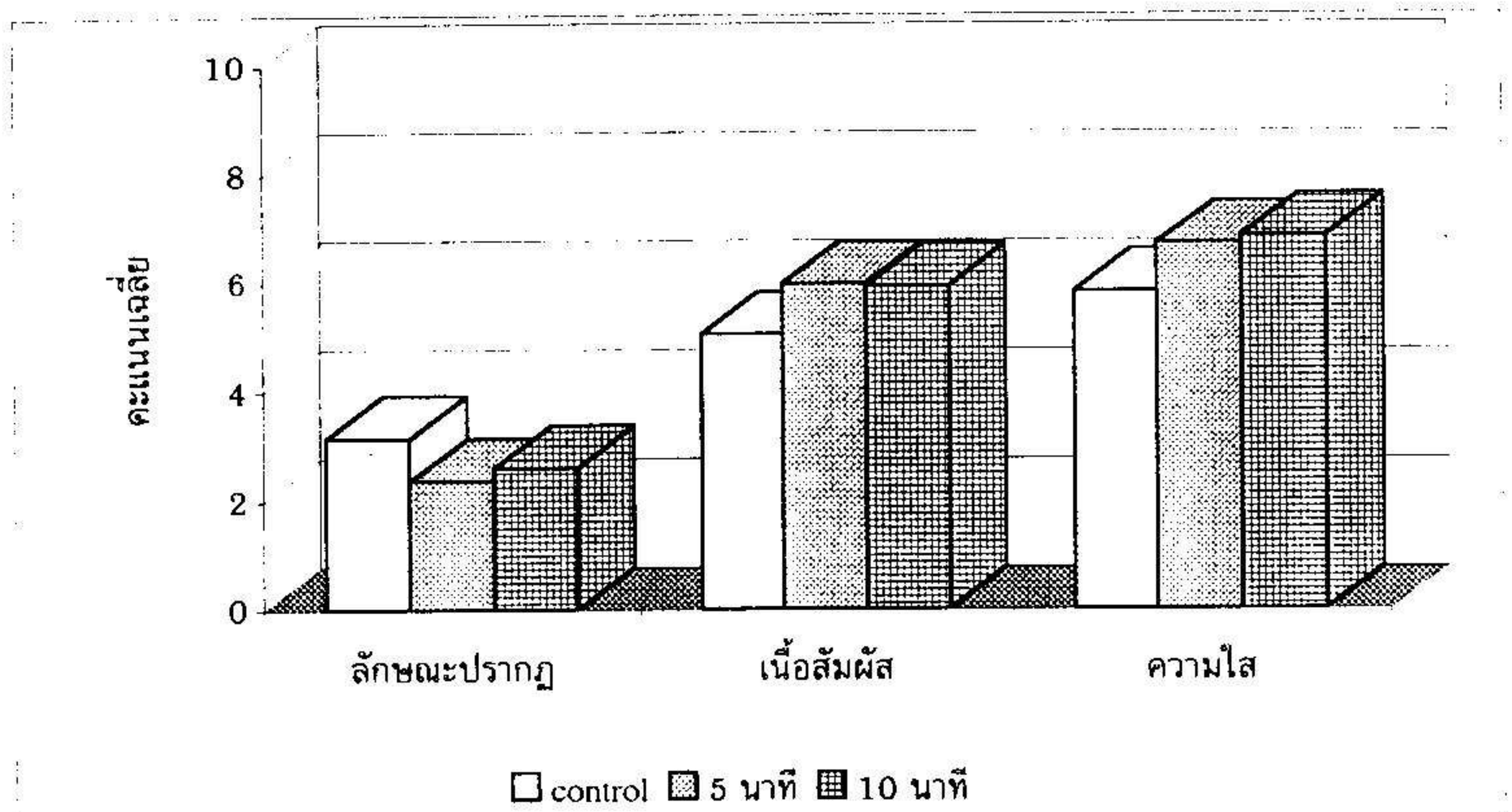
ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวแล้ว จึงได้เลือกสภาวะการแช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตตร้อยละ 0.75 เป็นเวลา 5 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และสภาวะการแช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตตร้อยละ 0.75 เป็นเวลา 10 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที สำหรับมังคุดกลีบใหญ่

ตาราง 5.6 ผลของสารละลายแคลเซี่ยมแลคเตต เวลาการแช่และสภาวะการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบใหญ่

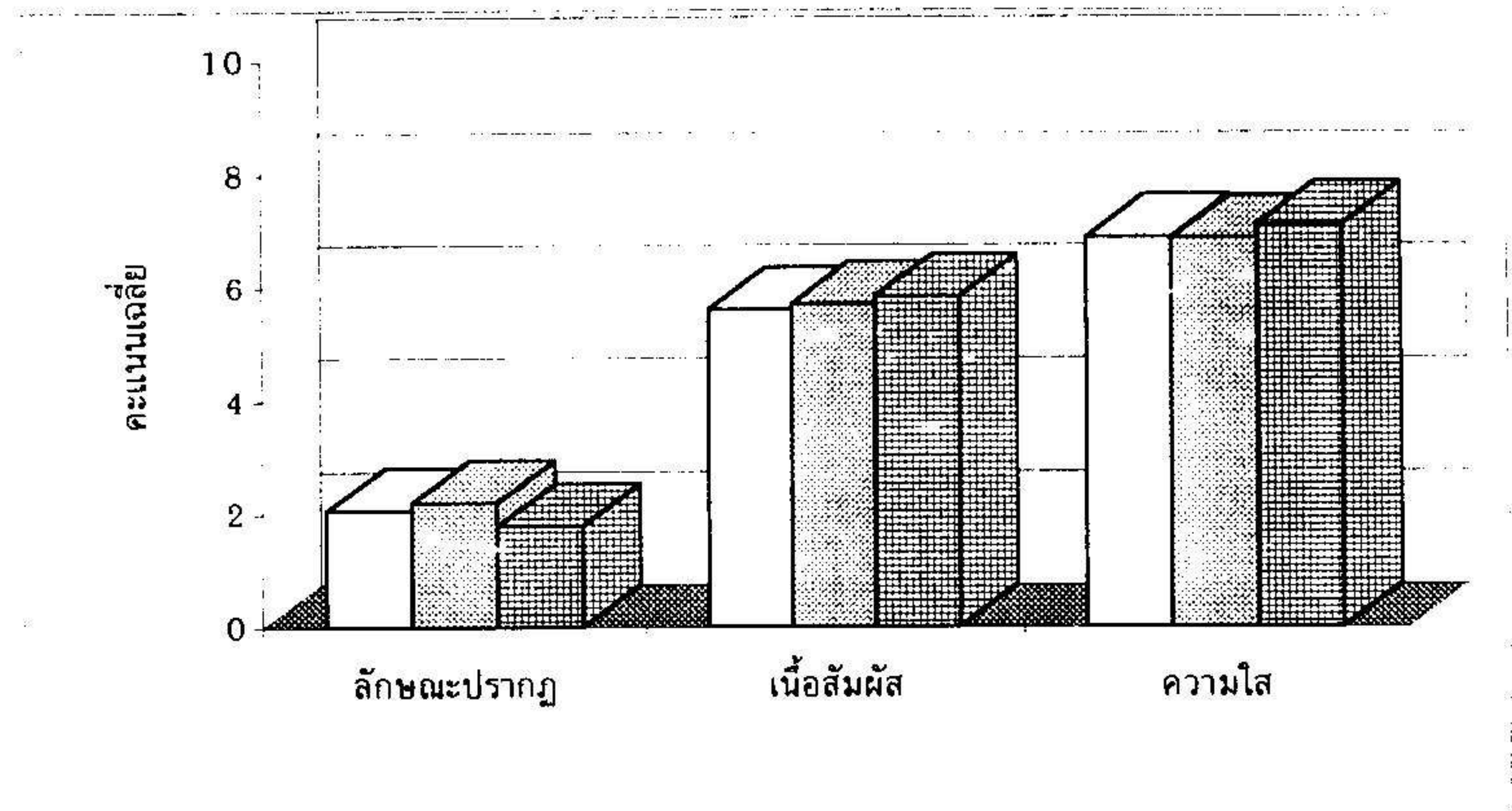
ปัจจัย	ระดับ	ค่า L	ค่า a	ค่า b	ค่าความขุ่นของน้ำเชื่อม ที่ OD 660 นาโนเมตร	ปริมาณแคลเซี่ยม (มก./100 กรัมเนื้อ)
ความเข้มข้นของแคลเซี่ยมแลคเตต	0 %	51.41 ^{a}	0.41 ^{ns}	5.95 ^{ns}	0.173 ^{b}	34.40 ^{b}
	0.5 %	45.49 ^{b}	1.47	4.07	0.203 ^{a}	55.83 ^{a}
	0.75 %	48.19 ^{b}	0.60	4.41	0.127 ^{c}	54.00 ^{a}
	1.0 %	46.47 ^{b}	1.33	4.92	0.123 ^{c}	62.04 ^{a}
เวลาที่แช่ในสารละลายผสม	0 นาที	51.41 ^{a}	0.41 ^{ns}	5.95 ^{ns}	0.173 ^{a}	35.40 ^{b}
	5 นาที	47.72 ^{b}	0.87	5.09	0.155 ^{b}	60.40 ^{a}
	10 นาที	45.72 ^{b}	1.40	4.84	0.147 ^{b}	62.29 ^{a}
อุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ	85 °ซ 5 นาที	46.53 ^{ns}	1.50 ^{ns}	4.41 ^{ns}	0.162 ^{a}	56.97 ^{ns}
	92 °ซ 1 นาที	46.91	0.77	4.52	0.140 ^{b}	57.59

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวอักษร (a, b) ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ในกลุ่มปัจจัยเดียวกันของตัวอย่างแต่ละขนาด



ภาพ 5.9 ผลของเวลาในการแช่สารละลายแคลเซียมแลคเตตต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบเล็ก



ภาพ 5.10 ผลของเวลาในการแช่สารละลายแคลเซียมแลคเตตต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่

(3) การเปรียบเทียบการใช้แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตต

คัดเลือกชุดการทดลองที่ให้ผลดีที่สุดของแคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตต จากข้อ (1) และ (2) นำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการเปรียบเทียบรายคู่ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535) เพื่อคัดเลือกสภาวะการปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม

ผลและวิจารณ์

เมื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ทำการเปรียบเทียบการใช้แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตตซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 5.7 พบว่ามังคุดกระป๋องที่มีชิ้นขนาดเดียวกันเมื่อแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ มีค่าพีเอชน้อยกว่าที่แช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตต ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซี่ยมคลอไรด์มีผลทำให้สารละลายเป็นกรด ในขณะที่แคลเซียมแลคเตตเพิ่มความเป็นด่าง (Saldana and Meyer, 1981 ; Camire *et al.*, 1994) ส่วนคุณภาพด้านสี ค่า L, a, b ของผลิตภัณฑ์ภัณฑ์ที่แช่ในสารละลายแคลเซียมทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน

ตาราง 5.7 รายละเอียดการใช้แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตตต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของมังคุดกระป๋องกลีบเล็กและกลีบใหญ่

สภาวะการปรับปรุงเนื้อสัมผัส	ค่าพีเอช	ค่า			ความขุ่นของน้ำเชื่อม (ค่า OD ที่ 660 นาโนเมตร)
		L	a	b	
กลีบเล็ก					
แช่ในแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 นาน 10 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที	3.0	58.72	-0.63	11.06	0.219
แช่ในแคลเซียมแลคเตตร้อยละ 0.75 นาน 5 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที	3.3	57.82	-0.52	11.21	0.193
กลีบใหญ่					
แช่ในแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.75 นาน 10 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที	3.2	54.17	-0.19	7.25	0.195
แช่ในแคลเซียมแลคเตตร้อยละ 0.75 นาน 10 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที	3.5	54.78	-0.58	8.68	0.207

มังคุดกลีบใหญ่เมื่อแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมจากเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีค่าน้อยกว่าที่แช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตต นอกจากนี้จากการสังเกตพบว่าลักษณะปรากฏมีความยุ่ยน้อยและน้ำเชื่อมใสกว่า จึงอาจสรุปได้ว่ามังคุดที่แช่ในสภาวะดังกล่าวมีความแน่นเนื้อสูงกว่าสภาวะการแช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตต สอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบ 30 คน ดังแสดงในตาราง 5.8 ซึ่งพบว่าสภาวะการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงกว่าการใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตต ($p<0.05$) สำหรับมังคุดกลีบเล็กค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมจากชุดการทดลองที่แช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตตมีค่าน้อยกว่าในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ส่วนคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าสภาวะการแช่ในสาระลายแคลเซียมแลคเตตผู้บริโภคให้การยอมรับสูงกว่า

ตาราง 5.8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องที่ผ่านการปรับปรุงเนื้อสัมผัสในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะการปรับปรุงเนื้อสัมผัส	คะแนนการยอมรับ
กลีบเล็ก	
แช่ในแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 นาน 10 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที	7
แช่ในแคลเซียมแลคเตตร้อยละ 0.75 นาน 5 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที	23*
กลีบใหญ่	
แช่ในแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.75 นาน 10 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที	21*
แช่ในแคลเซียมแลคเตตร้อยละ 0.75 นาน 10 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที	9

หมายเหตุ : * หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ในตัวอย่างชิ้นเนื้อมังคุดขนาดเดียวกัน

สภาวะที่เหมาะสมในมังคุดบรรจุกระป๋องคือสภาวะการแช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตตความเข้มข้นร้อยละ 0.75 เวลา 5 นาที ต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือดจนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที ในมังคุดกลีบเล็ก และสภาวะการแช่ในแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.75 เวลา 10 นาที ต้มฆ่าเชื้อจนจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที สำหรับมังคุดกลีบใหญ่

5.1.2 การพัฒนาสูตรน้ำเชื่อม

วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการทดลองเพื่อศึกษาสูตรน้ำเชื่อมที่เหมาะสม โดยมีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้

- แคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0 0.1 และ 0.2
- แคลเซียมแลคเตต ร้อยละ 0 0.1 และ 0.2
- น้ำตาลซูโครส 2 ระดับ (ความเข้มข้นสุดท้าย 20 และ 30 องศาบริกซ์)

ผสมกรดซิตริกร้อยละ 0.1

วางแผนการทดลองแบบ CRD และจัดชุดทดลองแบบแฟกทอเรียลรวมมีชุดการทดลอง 9 ชุดในแต่ละระดับของน้ำเชื่อม ดังแสดงในตาราง 5.9 บรรจุชิ้นเนื้อมังคุดซึ่งผ่านการคัดเลือกจากข้อ (3) ลงในกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ขนาด 307x409 ในปริมาณ 280 กรัมต่อกระป๋อง เติมน้ำเชื่อมที่ผสมกรดซิตริกร้อยละ 0.1 ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายของมังคุดกระป๋องเป็น 20°บริกซ์ หรือ 30°บริกซ์ เว้นช่องว่างเหนือกระป๋องเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร ปิดผนึกแบบสุญญากาศ ต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือดจนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิและเวลาตามที่คัดเลือกได้ ทำให้เย็นและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

หลังจากเก็บรักษา 1 วัน นำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบ 18 คน จัดชุดการทดลองโดยใช้แผน BIB (t=9, k=4, b=18, r=8, λ =3) ประเมินคุณภาพโดยวิธี QDA ทางด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และรสชาติ ได้แก่ รสฝาด รสหวาน รสเปรี้ยว วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L, a, b) ความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณแคลเซียม และความขุ่นของน้ำเชื่อมโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ SPSS เพื่อคัดเลือกสูตรน้ำเชื่อมที่เป็นที่ยอมรับมากที่สุด

ตาราง 5.9 ชุดการทดลองการพัฒนาสูตรน้ำเชื่อม

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นสุดท้ายของน้ำเชื่อม (°บริกซ์)	ปริมาณของสารเคมีในน้ำเชื่อม (ร้อยละ)		
		กรดซิตริก	แคลเซียมคลอไรด์	แคลเซียมแลคเตต
1	20	0.1	0	0
2	20	0.1	0	0.1
3	20	0.1	0	0.2
4	20	0.1	0.1	0
5	20	0.1	0.1	0.1
6	20	0.1	0.1	0.2
7	20	0.1	0.2	0
8	20	0.1	0.2	0.1
9	20	0.1	0.2	0.2
1	30	0.1	0	0
2	30	0.1	0	0.1
3	30	0.1	0	0.2
4	30	0.1	0.1	0
5	30	0.1	0.1	0.1
6	30	0.1	0.1	0.2
7	30	0.1	0.2	0
8	30	0.1	0.2	0.1
9	30	0.1	0.2	0.2

ผลและวิจารณ์

การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบพรรณาเชิงปริมาณ วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ และวัดค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร และทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ SPSS ได้ผลดังแสดงในตาราง 5.10-5.11 และสามารถสรุปอิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำเชื่อม แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมแลคเตตได้ดังนี้

ความเข้มข้นของน้ำเชื่อม

เมื่อใช้น้ำเชื่อมเข้มข้น 30°บริกซ์ มีผลทำให้เนื้อมังคุดกลีบเล็กมีความสว่างของสี (ค่า L) น้อยกว่า และคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีมีค่าสูงกว่าที่ 20°บริกซ์ ($p<0.05$) สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ ค่า L ของชิ้นมังคุดในน้ำเชื่อมทั้งสองความเข้มข้นไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าชุดการทดลองความเข้มข้น 30°บริกซ์ ค่า b สูงขึ้นเช่นเดียวกับคะแนนด้านสีจากการทดสอบประสาทสัมผัสมีคะแนนสูงคือ มีสีเหลืองขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสูงทำให้มีโอกาสเกิดสารสีน้ำตาลจากปฏิกริยาแบบไม่ใช้เอนไซม์ได้มากขึ้น การเกิดสีน้ำตาลอาจเนื่องจากหมู่ อัลดีไฮด์ในน้ำตาลอินเวอรส์ซึ่งย่อยสลายจากน้ำตาลซูโครสในสภาวะสารละลายเป็นกรดสูงกลายเป็น 5 - hydroxy-methyl furfural และรวมตัวกับหมู่อะมิโนในเนื้อมังคุดเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1993)

ความแน่นเนื้อของมังคุดกลีบเล็ก พบว่าน้ำเชื่อมเข้มข้น 30°บริกซ์ มีผลทำให้เนื้อสัมผัสและความใสของน้ำเชื่อมมีคะแนนสูงกว่า ส่วนค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์น้อยกว่าที่ 20°บริกซ์ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่ตกค้าง พบว่ามีปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน การที่ความแน่นเนื้อของชิ้นมังคุดที่บรรจุในน้ำเชื่อมความเข้มข้นสูงมีคะแนนสูง อาจเนื่องจากผลของน้ำตาลซึ่งจัดเป็นสารเพิ่มความแน่นเนื้อชนิดหนึ่ง น้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงสามารถแทรกซึมผ่านเข้าสู่เนื้อเยื่อของผลไม้ได้ดี และมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระมากสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับสารเพคตินในผนังเซลล์ได้มาก ส่งผลให้โครงสร้างเซลล์แข็งแรงจึงทำให้ความแน่นเนื้อสูงขึ้น (Baranowski, 1990) สอดคล้องกับการทดลองของ He และคณะ (1989) ซึ่งสรุปว่าความแข็งแรงของพันธะอิออนในการฟอร์มตัวของแคลเซียมแพคเตตเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มสูง

ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมไม่มีผลต่อคะแนนเนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ แต่น้ำเชื่อม 20° บริกซ์ มีผลทำให้คะแนนลักษณะปรากฏมีความยุ่ยน้อยกว่า และความใสของน้ำเชื่อมสูงกว่าการใช้น้ำเชื่อม 30°บริกซ์ ($p<0.05$) สอดคล้องกับค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ซึ่งพบว่าที่ 20°บริกซ์ มีค่าน้อยกว่า ($p<0.05$) และปริมาณแคลเซียมในชุดการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อม 20°บริกซ์ มีปริมาณสูงกว่าที่ 30°บริกซ์ ($p<0.05$) การที่คุณลักษณะต่าง ๆ ของชุดการทดลองน้ำเชื่อมเข้มข้น 20°บริกซ์ ดีกว่านั้นอาจเนื่องจากอิทธิพลของแคลเซียมที่มีอยู่ในเนื้อมังคุดมากกว่าอิทธิพลของน้ำเชื่อม

ตาราง 5.10 อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำเชื่อม แคลเซี่ยมคลอไรด์ แคลเซี่ยมแลคเตต ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดกระป๋องกลีบเล็กและกลีบใหญ่

ปัจจัย	ระดับ	ลักษณะปรากฏ	สี	รสฝาด	รสหวาน	รสเปรี้ยว	เนื้อสัมผัส	ความใสของน้ำเชื่อม	ความชอบรวม
กลีบเล็ก									
น้ำเชื่อม	20 °บริกซ์	3.32 ns	2.66 b	2.42 a	5.18 b	3.63 a	5.62 b	6.75 b	6.21 b
	30 °บริกซ์	3.06	3.58 a	1.83 b	7.06 a	2.30 b	6.23 a	7.45 a	6.47 a
แคลเซี่ยมคลอไรด์	ร้อยละ 0	3.27 ns	3.31 ns	2.17 ns	6.03 ns	2.91 ns	5.59 b	7.14 ns	6.28 ns
	ร้อยละ 0.1	3.20	2.96	2.16	6.09	3.01	6.10 a	7.10	6.37
	ร้อยละ 0.2	3.10	3.09	2.06	6.24	2.85	6.08 a	7.08	6.38
แคลเซี่ยมแลคเตต	ร้อยละ 0	3.17 ns	3.03 ns	2.03 ns	6.16 ns	2.83 ns	5.94 ns	7.08 ns	6.36 ns
	ร้อยละ 0.1	3.22	3.17	2.10	6.19	2.88	5.93	7.11	6.40
	ร้อยละ 0.2	3.19	3.15	2.25	6.01	3.18	5.90	7.13	6.25

ตาราง 5.10 (ต่อ)

ปัจจัย	ระดับ	ลักษณะปรากฏ	สี	รสฝาด	รสหวาน	รสเปรี้ยว	เนื้อสัมผัส	ความใสของน้ำเชื่อม	ความชอบรวม
กลีบใหญ่									
น้ำเชื่อม	20 °บริกซ์	2.67 [b]	2.40 [b]	1.70 [ns]	5.88 [b]	2.91 [a]	5.79 [ns]	7.20 [a]	6.27 [ns]
	30 °บริกซ์	3.18 [a]	2.74 [a]	1.57	7.29 [a]	1.90 [b]	5.72	6.49 [b]	6.12
แคลเซี่ยมคลอไรด์	ร้อยละ 0	2.81 [ns]	2.46 [ns]	1.64 [ns]	6.49 [ns]	2.39 [ns]	5.69 [ns]	6.36 [b]	6.30 [ns]
	ร้อยละ 0.1	2.91	2.49	1.61	6.62	2.48	5.79	6.87 [b]	6.31
	ร้อยละ 0.2	3.06	2.75	1.65	6.65	2.35	5.78	7.31 [a]	6.35
แคลเซี่ยมแลคเตต	ร้อยละ 0	2.87 [ns]	2.34 [ns]	1.59 [ns]	6.61 [ns]	2.19 [ns]	5.80 [ns]	7.20 [a]	6.38 [ns]
	ร้อยละ 0.1	3.02	2.45	1.59	6.62	2.51	5.57	6.74 [b]	6.33
	ร้อยละ 0.2	2.89	2.92	1.73	6.52	2.52	5.89	6.59 [b]	6.30

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)
ตัวอักษร (a, b) ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ในกลุ่มปัจจัยเดียวกันของตัวอย่างแต่ละขนาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ตาราง 5.11 อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำเชื่อม แคลเซี่ยมคลอไรด์ แคลเซี่ยมแลคเตต ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของมังคุดกระป๋องกลีบเล็กและกลีบใหญ่

ปัจจัย	ระดับ	ค่า L	ค่า a	ค่า b	ความขุ่นของน้ำเชื่อม ที่ OD 660 นาโนเมตร	ปริมาณแคลเซี่ยม (มก./100 กรัมตัวอย่าง)
กลีบเล็ก						
น้ำเชื่อม	20 °บริกซ์	55.60 [a]	1.41 [ns]	10.60 [ns]	0.334 [a]	67.55 [ns]
	30 °บริกซ์	54.06 [b]	1.22	10.99	0.206 [b]	61.45
แคลเซี่ยมคลอไรด์	ร้อยละ 0	54.56 [ns]	1.68 [ns]	10.50 [ns]	0.361 [a]	51.83 [c]
	ร้อยละ 0.1	55.79	0.86	11.00	0.233 [b]	63.97 [b]
	ร้อยละ 0.2	55.15	1.40	10.89	0.216 [b]	77.63 [a]
แคลเซี่ยมแลคเตต	ร้อยละ 0	55.23 [ns]	0.99 [ns]	10.89 [ns]	0.284 [ns]	52.30 [c]
	ร้อยละ 0.1	55.26	1.10	11.27	0.280	62.78 [b]
	ร้อยละ 0.2	54.01	1.06	10.22	0.246	75.88 [a]

ตาราง 5.11 (ต่อ)

ปัจจัย	ระดับ	ค่า L	ค่า a	ค่า b	ความขุ่นของน้ำเชื่อม ที่ OD 660 นาโนเมตร	ปริมาณแคลเซี่ยม (มก./100 กรัมตัวอย่าง)
กลีบใหญ่						
น้ำเชื่อม	20 °บริกซ์	51.82 ^{ns}	0.34 ^{a}	6.49 ^{b}	0.176 ^{b}	82.43 ^{a}
	30 °บริกซ์	52.29	0.14 ^{b}	7.24 ^{a}	0.243 ^{a}	73.97 ^{b}
แคลเซี่ยมคลอไรด์	ร้อยละ 0	51.69 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	6.87 ^{ns}	0.232 ^{a}	67.35 ^{b}
	ร้อยละ 0.1	52.26	0.28	6.61	0.222 ^{a}	75.93 ^{b}
	ร้อยละ 0.2	52.21	0.07	7.11	0.175 ^{b}	91.33 ^{a}
แคลเซี่ยมแลคเตต	ร้อยละ 0	51.33 ^{ns}	0.41 ^{ns}	6.84 ^{ns}	0.156 ^{b}	77.73 ^{ns}
	ร้อยละ 0.1	52.55	0.16	6.95	0.216 ^{a}	79.81
	ร้อยละ 0.2	51.28	0.05	6.81	0.257 ^{a}	77.08

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)
ตัวอักษร (a, b) ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ในกลุ่มปัจจัยเดียวกันของตัวอย่างแต่ละขนาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
F: Final R5

นอกจากนี้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมมีผลต่อรสชาติ (รสฝาด รสหวาน รสเปรี้ยว) ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ($p<0.05$) โดยน้ำเชื่อม 30°บริกซ์ ให้รสหวานเข้มและบดบังรสเปรี้ยว อย่างไรก็ตามผู้บริโภคยังคงให้การยอมรับเนื่องจากความแน่นเนื้อสูงขึ้นเช่นกันและยังช่วยลดรสฝาดจากเกลือแคลเซียม และเนื่องจากน้ำเชื่อมความเข้มข้น 30°บริกซ์ มีผลช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อของมังคุดกลีบเล็กอย่างเด่นชัด ดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำเชื่อมความเข้มข้น 30°บริกซ์ สำหรับมังคุดทั้งสองขนาดในการทดลองขั้นต่อไป

ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าชุดการทดลองที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำเชื่อม มีผลทำให้ค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมลดลง ($p<0.05$) ทั้งในมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ปริมาณแคลเซียมที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมที่เติมในน้ำเชื่อมสูงขึ้น และ ส่งผลดีต่อคะแนนด้านเนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กและคะแนนความใสของน้ำเชื่อมในมังคุดกลีบใหญ่ ($p<0.05$) โดยในมังคุดกลีบเล็กความเข้มข้นของแคลเซียมร้อยละ 0.1 และ 0.2 ส่งผลต่อความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่ในมังคุดกลีบใหญ่แคลเซียมร้อยละ 0.2 ส่งผลต่อค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมและคะแนนความใสของน้ำเชื่อมอย่างเด่นชัด ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.2 เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการทดลอง

ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตต

การใช้แคลเซียมแลคเตตไม่มีผลในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสทั้งในมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ แต่ทำให้ค่าความขุ่นของน้ำเชื่อมในชุดการทดลองที่เติมสูงกว่าในชุดการทดลองที่ไม่เติม ($p<0.05$) ในมังคุดกลีบใหญ่ ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับค่าความใสของน้ำเชื่อมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมแลคเตตมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ค่อนข้างยาก เมื่อเติมลงในน้ำเชื่อมโดยตรงจึงอาจมีผลต่อความใสของน้ำเชื่อมได้ นอกจากนี้ในด้านการเพิ่มความแน่นเนื้อให้ผลที่ไม่แตกต่างกันในชุดการทดลองที่มีการเติมแคลเซียมและชุดควบคุม ดังนั้นแคลเซียมแลคเตตจึงไม่ใช่สารเพิ่มความแน่นเนื้อที่เหมาะสมเมื่อใช้ในลักษณะการเติมลงในน้ำเชื่อมโดยตรง

จากผลการวิเคราะห์จึงสามารถคัดเลือกสูตรน้ำเชื่อมที่เหมาะสมได้ คือ น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสุดท้าย (cut out brix) เป็น 30°บริกซ์ ผสมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.2 และกรดซิตริกร้อยละ 0.1

5.1.3 การศึกษากระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ โดยเตรียมตัวอย่างภายใต้สภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 5.1.1 และ 5.1.2 นำมาผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ 3 วิธี คือ ต้มในน้ำที่มีอุณหภูมิ 92°ซ ต้มในน้ำเดือด และในหม้อนึ่งฆ่าเชื้ออุณหภูมิ 106°ซ บันทึกอุณหภูมิและเวลาภายในกระป๋องโดยการเสียบเทอร์โมคอปเปิ้ลที่จุดร้อนช้าที่สุดของกระป๋อง ให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิที่จุดร้อนช้าเป็น 85°ซ 5 นาที หรือ 92°ซ 1 นาที เมื่อครบกำหนดจึงหยุดให้ความร้อนและทำให้เย็นทันที ข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณหาค่า F (sterilizing value) โดยวิธี Equal time interval method (Stumbo, 1973) และตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ โดยนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°ซ เป็นเวลา 14 วัน สังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายนอกของกระป๋อง ลักษณะทั่วไปของอาหาร (สี กลิ่น รส ความเป็นกรดด่าง) และวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดโคลิฟอร์ม แฟลตซาวร์ จุลินทรีย์ที่ทนกรด ยีสต์และรา (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 3 วิธี มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ranking (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน เพื่อคัดเลือกสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ผลและวิจารณ์

เวลาการฆ่าเชื้อและค่า F ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยวิธีที่แตกต่างกันคือ ในหม้อนึ่งความดันอุณหภูมิ 106°ซ ในน้ำเดือด และในน้ำอุณหภูมิ 92°ซ จนอุณหภูมิกึ่งกลางกระป๋องเป็น 92°ซ นาน 1 นาที แสดงในตาราง 5.12 และ Lethality curve ของผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่แสดงในภาพ 5.11-5.13 พบว่าค่า F ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในแต่ละกระบวนการแตกต่างกันทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธี Equal time interval method (Stumbo, 1973) เป็นการนำค่าอัตราการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ต่อนาทีมารวมกัน ดังนั้นค่า F ที่คำนวณได้จึงขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ยิ่งเวลาการฆ่าเชื้อนาน ค่า F ที่คำนวณได้สูงขึ้นเช่นกัน ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ *C. pasteurianum* เป็นจุลินทรีย์เป้าหมายในการกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน เนื่องจากจุลินทรีย์ดังกล่าวมีคุณสมบัติในการทนต่อสภาวะที่เป็นกรดสูง และสามารถเจริญได้ที่ความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 3.8 สปอร์ทนความร้อนได้น้อย แต่หากใช้ความร้อนและเวลาในการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอหรือสามารถอยู่รอดได้ และในสภาพที่มีน้ำตาลจุลินทรีย์สามารถสร้างกรดและก๊าซส่งผลให้กระป๋องบวมได้ นอกจากนี้เซลล์จุลินทรีย์ยังสามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50°ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง

ตาราง 5.12 เวลาการฆ่าเชื้อและค่า F ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องบรรจุในกระป๋องขนาด 307x409 ต้มฆ่าเชื้อในสภาวะที่แตกต่างกัน จนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที

สภาวะการฆ่าเชื้อ	กลีบเล็ก		กลีบใหญ่	
	เวลาการฆ่าเชื้อ	ค่า F	เวลาการฆ่าเชื้อ	ค่า F
หม้อนึ่งความดันอุณหภูมิ 106°ซ	8 นาที	0.18	13 นาที	0.22
น้ำเดือด	20 นาที	1.23	23 นาที	1.10
น้ำอุณหภูมิ 92°ซ	75 นาที	26.28	97 นาที	34.00

หมายเหตุ : ค่า F คำนวณโดยใช้ Z = 15°F (อ้างอิงถึงเชื้อ *C. pasteurianum*) (Stumbo, 1973)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 3 วิธี โดยวิธี Ranking จากผู้ทดสอบ 30 คน ดังแสดงในตาราง 5.13 พบว่ามังคุดกระป๋องทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในน้ำเดือดได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับมังคุดกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันอุณหภูมิ 106°ซ สำหรับมังคุดกระป๋องที่ฆ่าเชื้อในน้ำอุณหภูมิ 92°ซ ได้รับคะแนนการยอมรับน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานมากจนทำให้เนื้อสัมผัสของมังคุดนิ่มเละ และสีของผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลแดงมีผลให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

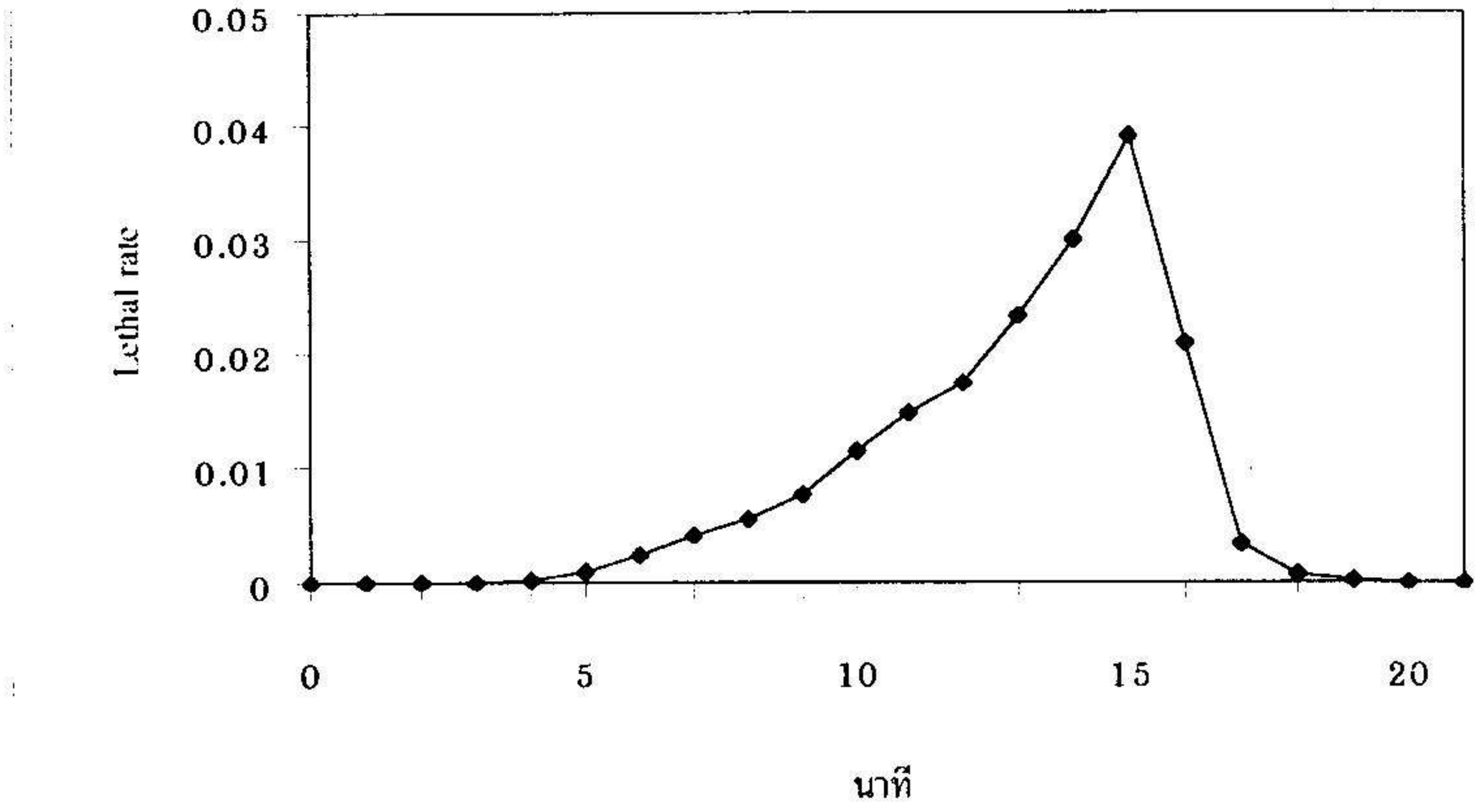
จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันและในน้ำเดือดได้รับการยอมรับที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมสามารถเลือกทำการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันหรือในน้ำเดือดวิธีใดวิธีหนึ่งความเหมาะสมของเครื่องมืออุปกรณ์และต้นทุน สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิจัยในขั้นตอนต่อไปโดยเลือกทำการฆ่าเชื้อในน้ำเดือดเนื่องจากมีความเหมาะสมในห้องปฏิบัติการ

ตาราง 5.13 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน

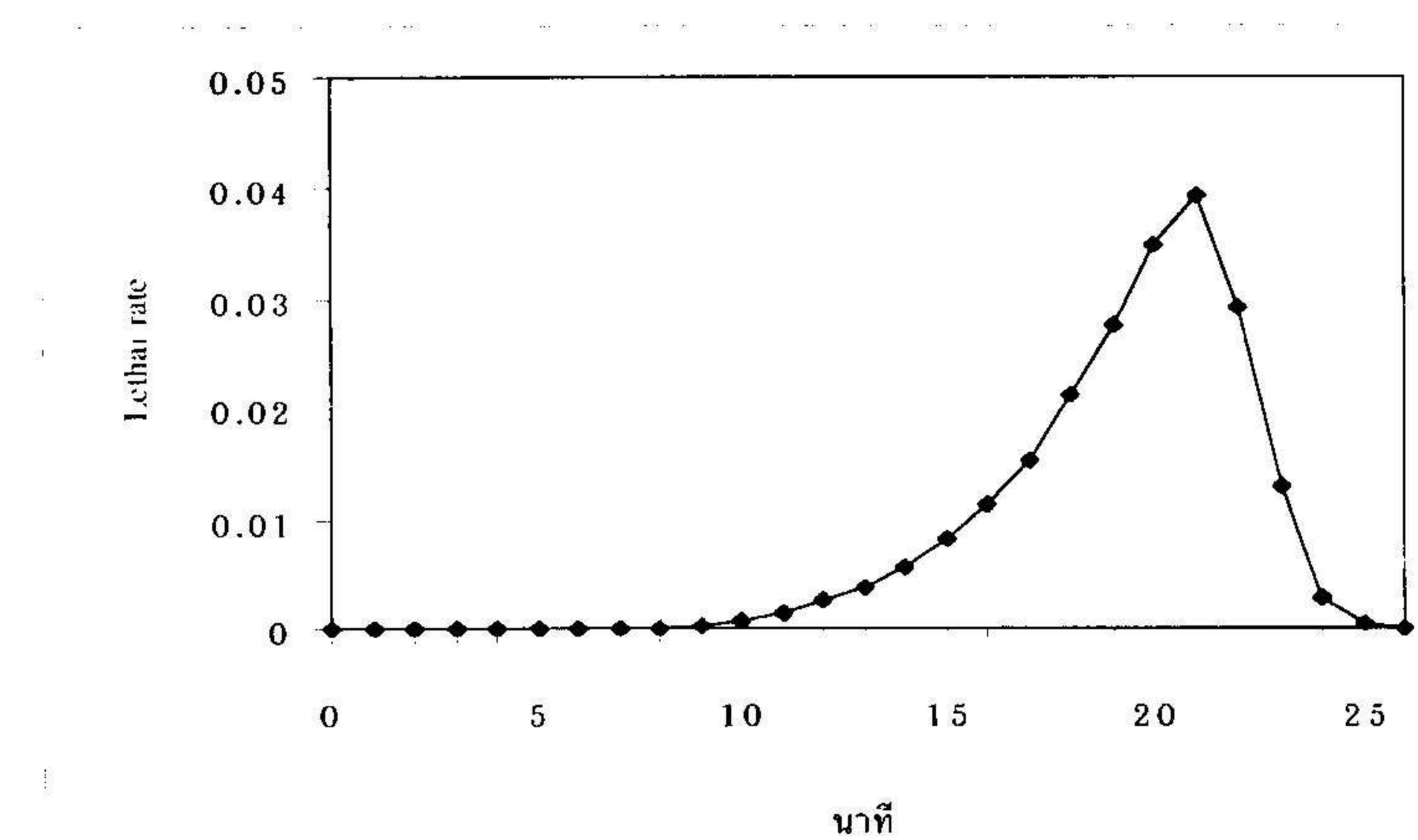
สภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ	คะแนนการยอมรับ	
	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่
ในหม้อนึ่งความดันอุณหภูมิ 106°ซ	66a	70a
น้ำเดือด	76a	74a
น้ำอุณหภูมิ 92°ซ	38b	36b

หมายเหตุ : ตัวอักษร (a, b) ที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

(ก)

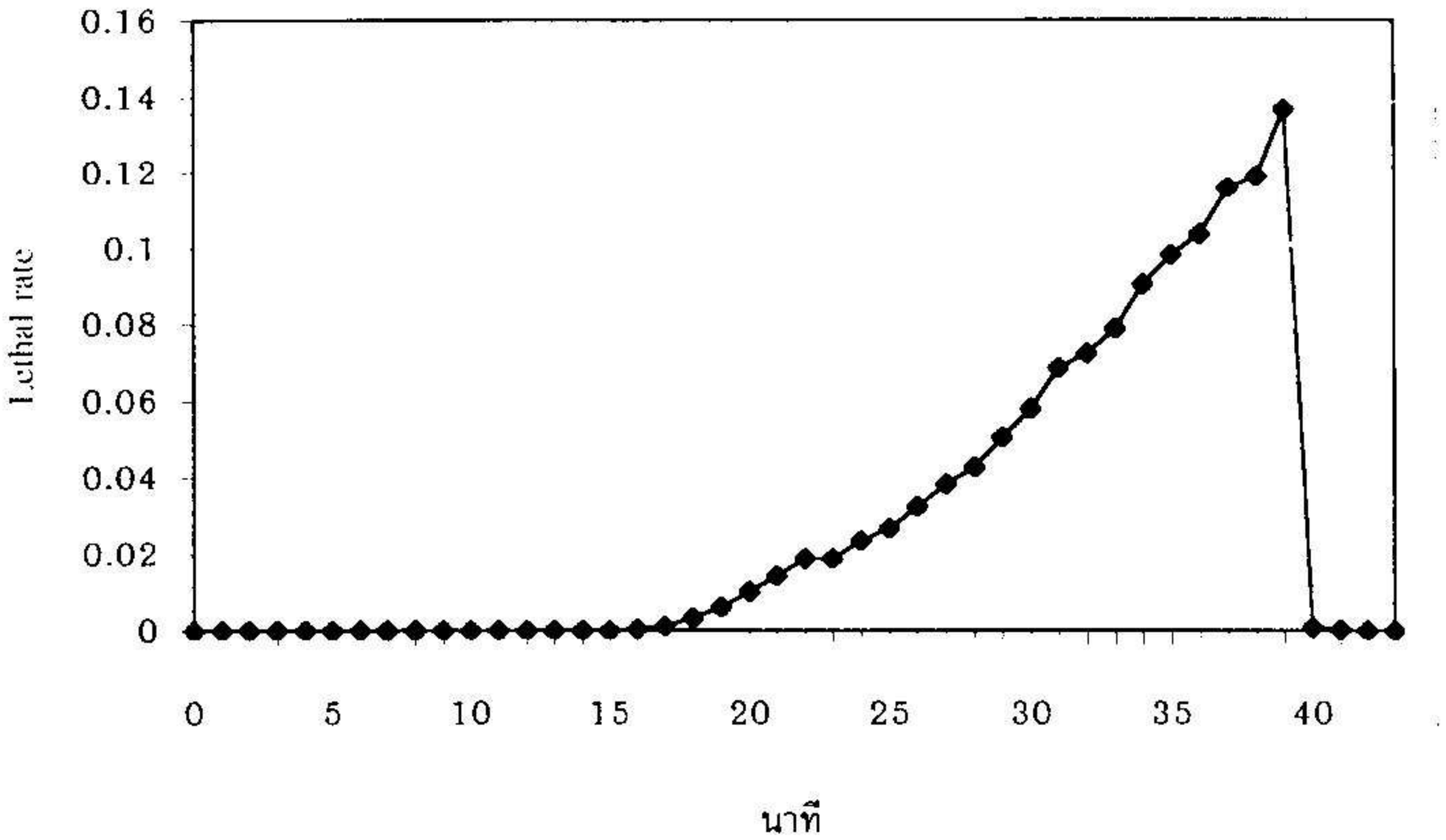


(ข)

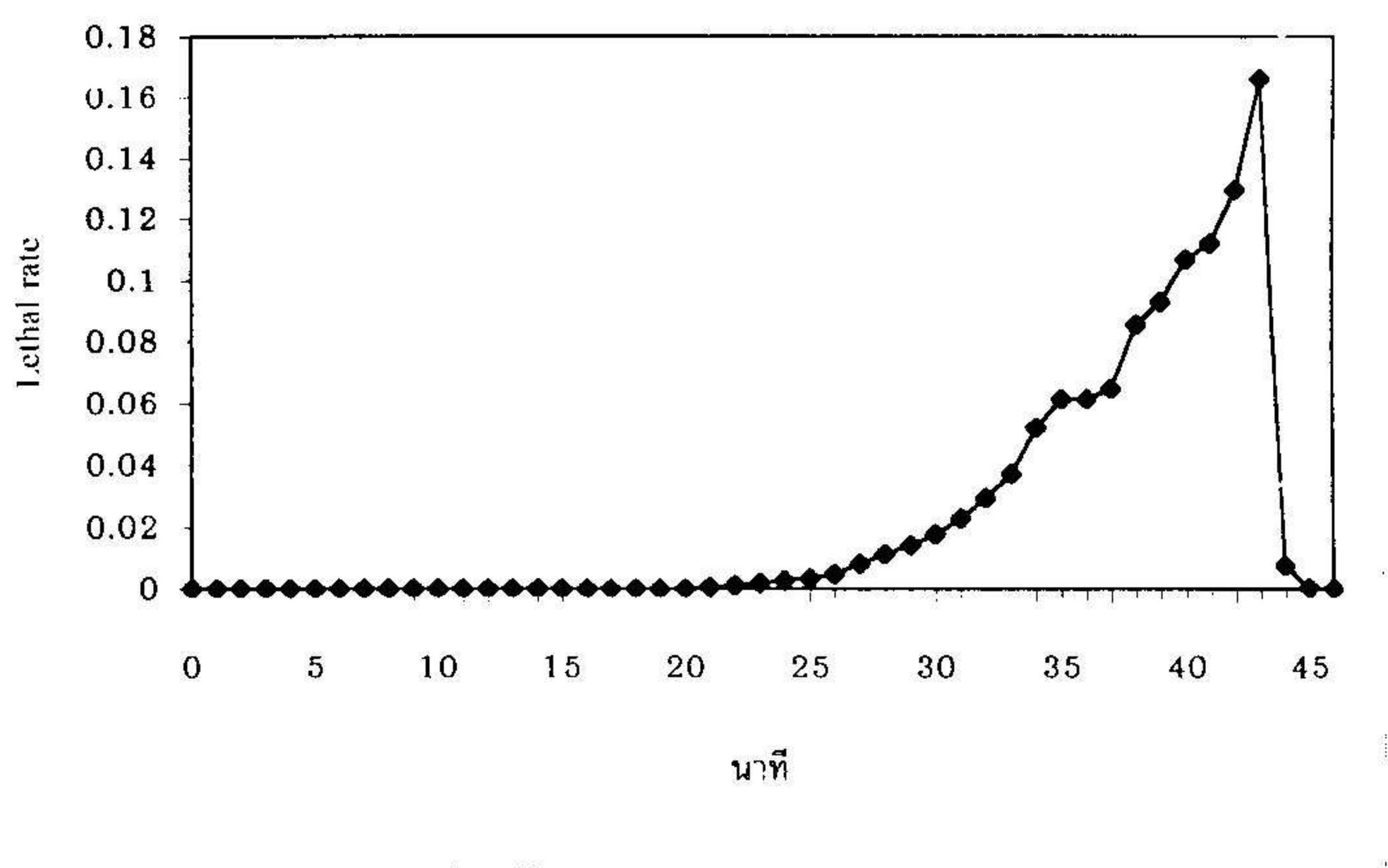


ภาพ 5.11 Lethality curve ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก (ก) และกลีบใหญ่ (ข)บรรจุในกระป๋องขนาด 307x409 ต้มในหม้อนึ่งความดัน 106°ซ จนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที

(ก)

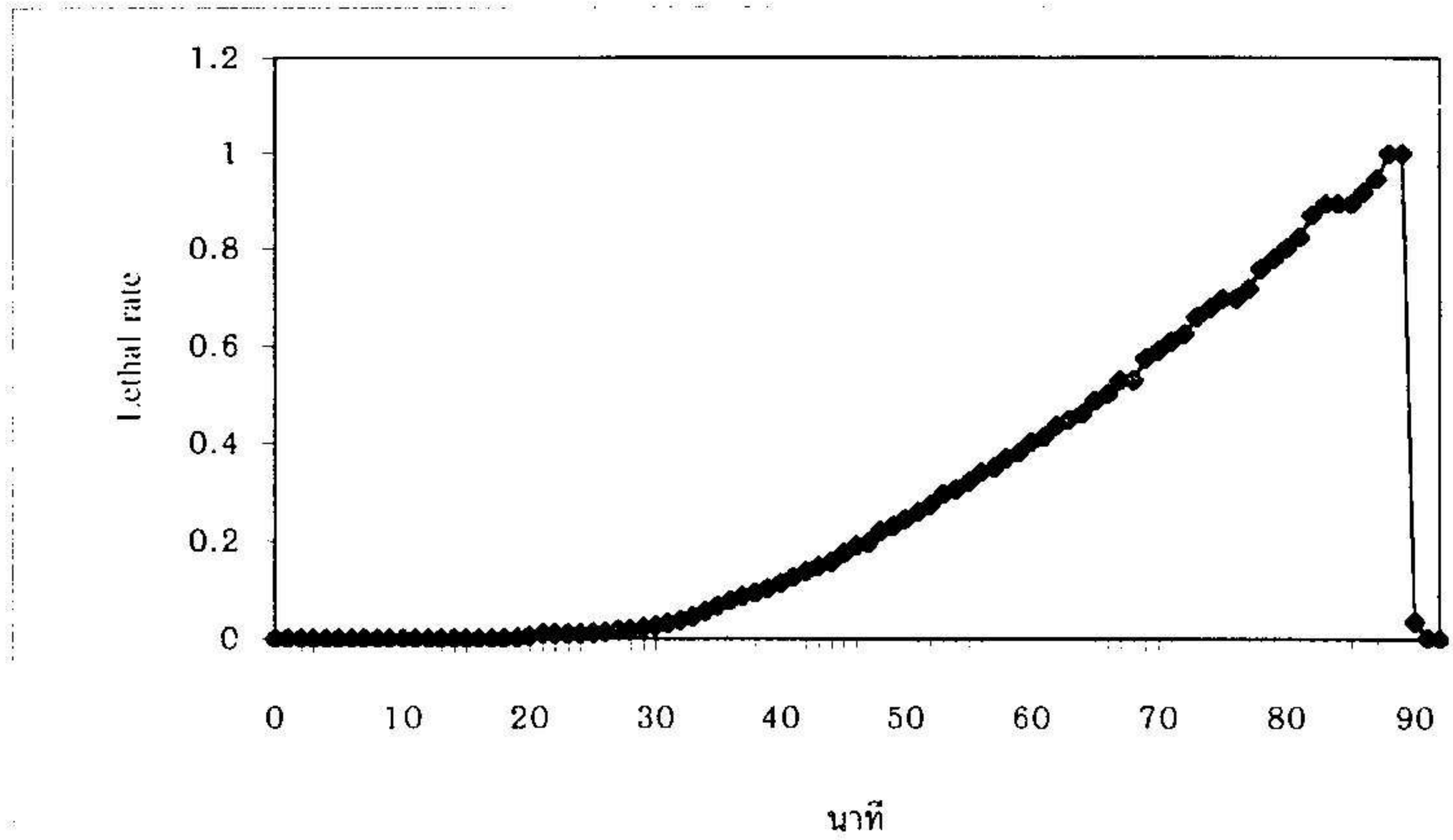


(ข)

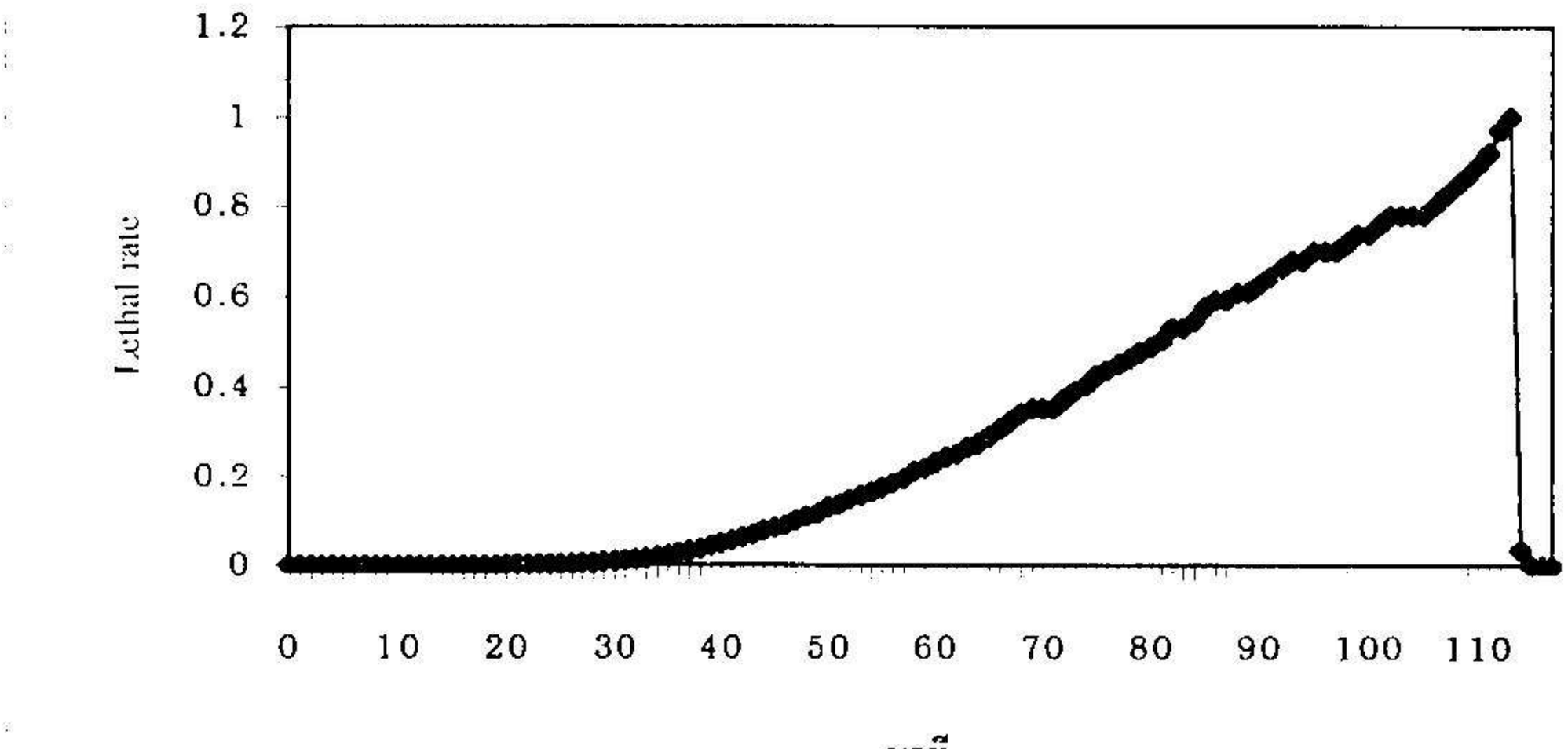


ภาพ 5.12 Lethality curve ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก (ก) และกลีบใหญ่ (ข) บรรจุในกระป๋องขนาด 307x409 ต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือดจนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที

(ก)



(ข)



ภาพ 5.13 Lethality curve ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก (ก) และกลีบใหญ่ (ก)บรรจุในกระป๋องขนาด 307x409 ต้มฆ่าเชื้อในน้ำอุณหภูมิ 92°ซ จนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที

5.2. การตรวจสอบคุณภาพและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษามังคุดกระป๋อง

วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้ นำมาตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด (A.O.A.C., 1990) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้ Hand Refractometer คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ตามระบบ Hunter (L, a, b) ค่าความเป็นกรดด่าง คุณภาพทางประสาทสัมผัส

เก็บรักษาผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องที่อุณหภูมิห้องและในตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิได้โดยใช้อุณหภูมิ 40°ซ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพในการประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยวิธี Q_{10} (Labuza, 1982)

ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 2 เดือน และทุก ๆ 1 เดือนเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิห้องในอีก 3 เดือนถัดไป ดังนี้คือ คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (A.O.A.C., 1990) คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L, a, b) ค่าความเป็นกรดด่าง และคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบ 10 คน ประเมินคุณภาพโดยวิธี QDA ทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรสมังคุดกระป๋อง กลิ่นรสผิดปกติ เนื้อสัมผัส ความใสของน้ำเชื่อม และ ความชอบรวม

ผลและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องคือ ปริมาณกรดซิตริก ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และค่าพีเอช ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 5.14 พบว่าผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องมีปริมาณกรดซิตริก ปริมาณกรดแอสคอร์บิก และค่าพีเอช ลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับมังคุดสด ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำเชื่อมในผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นสูง สำหรับคุณภาพทางกายภาพ พบว่าค่า L, a ของมังคุดกระป๋องลดลง และค่า b เพิ่มขึ้น อาจเป็นสาเหตุจากน้ำเชื่อมในผลิตภัณฑ์และการให้ความร้อนทำให้เนื้อมังคุดมีสีเหลืองมากขึ้น

ตาราง 5.14 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋อง

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน*	
	กลีบเล็ก	กลีบใหญ่
ทางเคมี		
กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.43±0.00	0.39±0.01
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	1.10±0.06	0.92±0.06
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	22.75±0.37	17.34±0.00
น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	31.11±0.14	30.03±0.13
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°บริกซ์)	30.00±0.00	30.00±0.00
ทางกายภาพ		
ค่า L	57.84±0.02	53.44±0.13
ค่า a	−1.35±0.13	−1.05±0.01
ค่า b	14.11±0.15	6.94±0.05
ค่าพีเอช	3.00±0.00	3.30±0.00

หมายเหตุ : *จากการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์โดยน้ำหนักเปียก

ภาพ 5.14 ลักษณะผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์มีคะแนนด้านลักษณะปรากฏที่ดี เนื้อสัมผัสและความใสของน้ำเชื่อมได้รับคะแนนสูง แสดงให้เห็นว่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้กลิ่นรสมังคุดกระป๋องมีคะแนนสูงในขณะที่กลิ่นรสผิดปกติมีคะแนนน้อยส่งผลให้คะแนนการยอมรับรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ พบว่าคะแนนเฉลี่ยของมังคุดกลีบเล็กในทุกคุณลักษณะดีกว่ามังคุดกลีบใหญ่ เนื่องจากมังคุดกลีบเล็กมีความแน่นเนื้อสูงกว่า และลักษณะปรากฏยุ่ยน้อยกว่า นอกจากนี้มังคุดกลีบใหญ่ยังมีเมล็ดจึงทำให้คะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคลดน้อยลง (ตาราง 5.15)

ตาราง 5.15 คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัส* ของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋อง

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	มังคุดกระป๋องกลีบเล็ก	มังคุดกระป๋องกลีบใหญ่
ลักษณะปรากฏ	1.33±0.56	1.80+0.58
สี	1.25+0.30	1.88+0.72
กลิ่นรสมังคุดกระป๋อง	7.16±0.70	5.98+0.61
กลิ่นรสผิดปกติ	0.57±0.28	0.63+0.21
เนื้อสัมผัส	7.68+0.95	6.33+1.15
ความใสของน้ำเชื่อม	7.72±0.59	6.78+0.51
ความชอบรวม	7.90+0.47	7.38+0.66

* หมายถึง คะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิม 10 คน

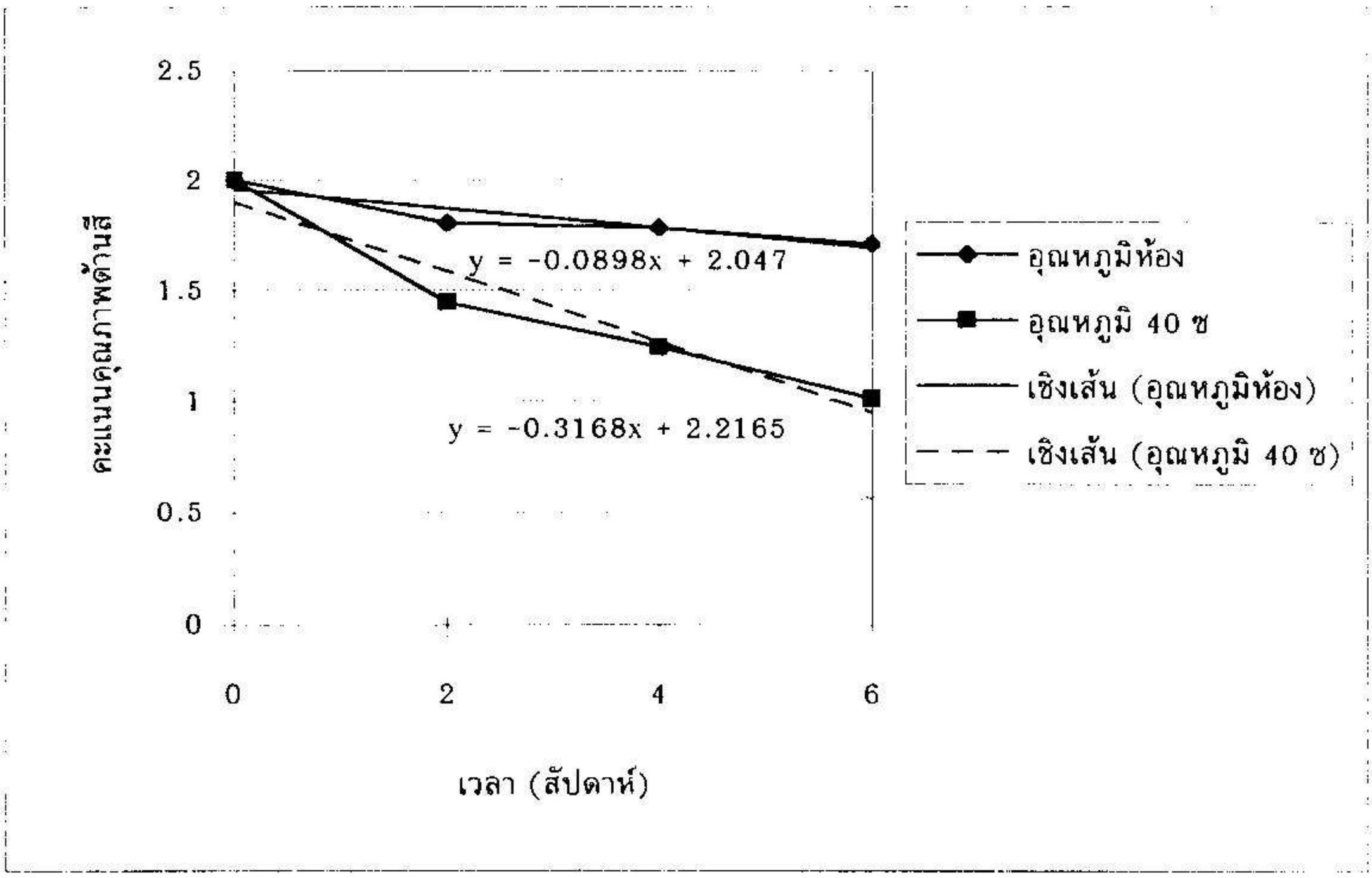
การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โดยวิธี Q_{10} โดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องและในตู้บ่มอุณหภูมิ 40°ซ ทำการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุก ๆ 2 สัปดาห์ พบว่าปัจจัยที่ชี้ให้เห็นถึงการที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับอย่างเด่นชัด คือ คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าสีของเนื้อมังคุดเปลี่ยนแปลงจากสีขาวไปเป็นสีน้ำตาลแดงอย่างรวดเร็ว และการเปลี่ยนแปลงด้านสีที่อุณหภูมิ 40°ซ เกิดขึ้นรวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิห้อง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ การเก็บรักษามีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีนี้ส่งผลให้ผู้บริโภคปฏิเสธที่จะบริโภคผลิตภัณฑ์ ซึ่งเห็นได้จากคะแนนเฉลี่ยของการยอมรับรวมลดลงในระดับต่ำกว่า 5 (คะแนน 10 หมายถึง ชอบมาก ถึง คะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบเลย) ในขณะที่คะแนนของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องยังคงได้รับการยอมรับในระดับชอบเล็กน้อย โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 40°ซ ผู้บริโภคให้การยอมรับ (คะแนนการยอมรับรวม ≥ 5) เพียง 6 และ 8 สัปดาห์ สำหรับมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ตามลำดับ อย่างไรก็ตามมีเพียงคุณภาพด้านสีเท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านอื่นได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ และความใสของน้ำเชื่อม และการยอมรับรวม ตลอดจนองค์ประกอบทางเคมียังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยองค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย

Labuza (1982) กล่าวว่าปัจจัยคุณภาพด้านประสาทสัมผัสที่มีผลต่อการยอมรับรวมของ ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลิ่นรส สี และเนื้อสัมผัส เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลิตภัณฑ์ จึงควรนำปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาเป็นดัชนีบ่งบอกถึงจุดสิ้นสุดการยอมรับในการประเมินอายุการเก็บรักษา ในงานวิจัยครั้งนี้คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีเปลี่ยนแปลงรวดเร็วที่สุด จึงได้เลือกคุณภาพด้านสีมาเป็นปัจจัยหลักในการประเมินอายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงด้านสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องดังแสดงในภาพ 5.15-5.16

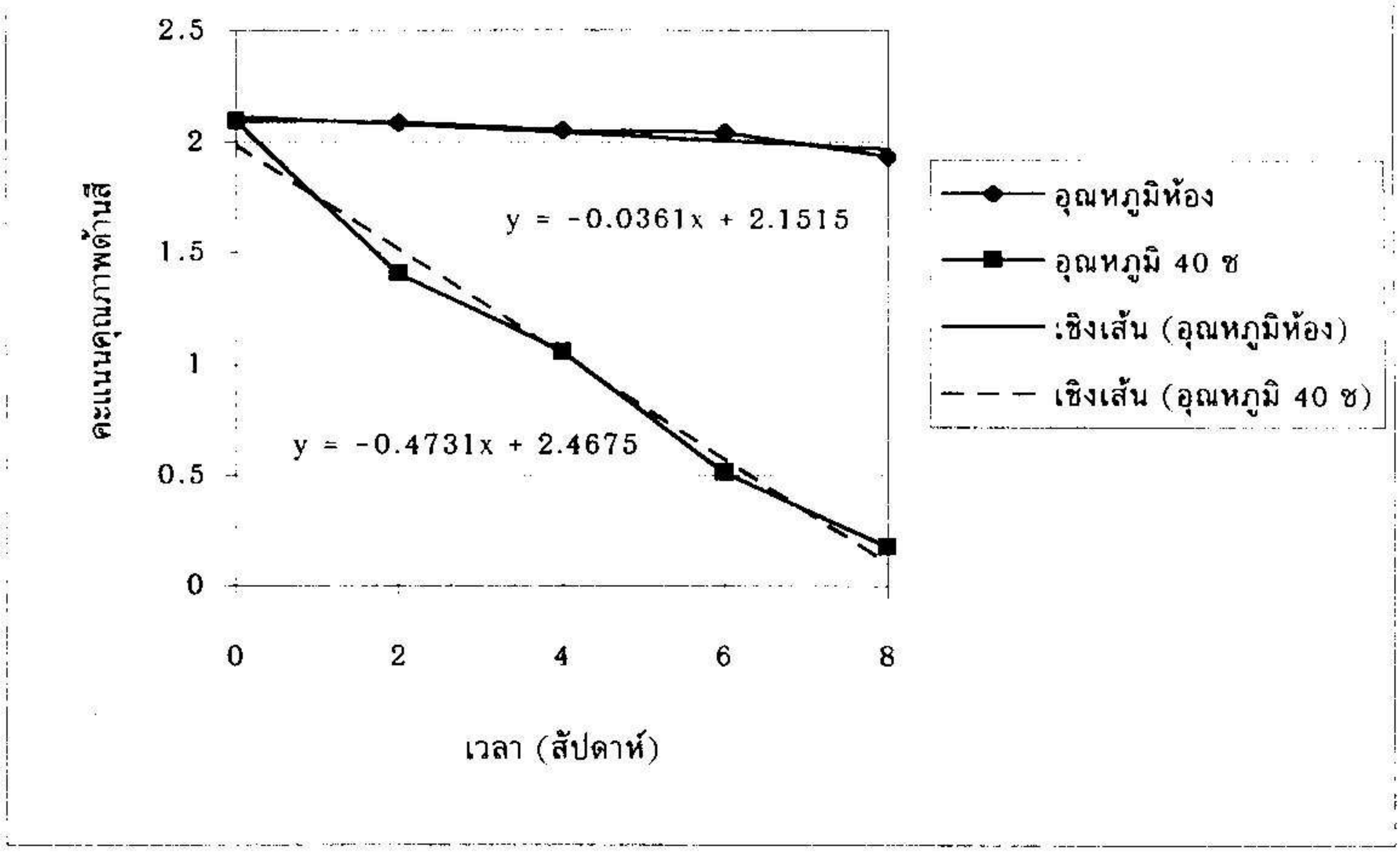
จากผลการวิเคราะห์ พบว่าค่า Q_{10} ของผลิตภัณฑ์มีค่า 3.53 และ 13.11 สำหรับมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ตามลำดับ โดยมีค่าแตกต่างจาก Labuza (1982) ซึ่งกล่าวว่าค่า Q_{10} จากการคำนวณด้วยค่าจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในช่วง 1.5-1.7 และค่า Q_{10} ที่มีค่าสูงจะบ่งบอกถึงความไวต่อความร้อนหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูง

การเปลี่ยนแปลงด้านสีของผลิตภัณฑ์กลีบเล็กเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่ามังคุดกลีบใหญ่ โดยมังคุดกลีบเล็กมีอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 40°ซ เพียง 6 สัปดาห์ ในขณะที่มังคุดกลีบใหญ่เป็น 8 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงด้านสีอาจเกิดจากการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นจากสาเหตุ 3 ประการ ได้แก่ 1)ปฏิกิริยามิลลาร์ด เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลกับหมู่อะมิโนของโปรตีน ซึ่งในการทดลองใช้น้ำเชื่อมความเข้มข้นสูงและในเนื้อมังคุดมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีที่พีเอชเป็นด่าง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์มังคุดในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องมีความเป็นกรดสูง 2)ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยการออกซิเดชั่นของกรดแอสคอร์บิกในสภาวะไม่มีออกซิเจนและสารละลายมีความเป็นกรดสูงเกิดสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งต่อมารวมตัวกับหมู่อะมิโนหรือไม่ก็ได้กลายเป็นสารสีน้ำตาล 3)ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากน้ำตาลรีดิวซ์ในผลไม้ โดยในสภาวะสารละลายเป็นกรดน้ำตาลรีดิวซ์สามารถทำปฏิกริยากับหมู่อะมิโนทำให้เกิดสารสีน้ำตาล (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1993) การที่มังคุดกลีบเล็กเกิดสีน้ำตาลมากกว่ามังคุดกลีบใหญ่อาจเนื่องจากมังคุด กลีบเล็กมีองค์ประกอบทางเคมีคือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ความเป็นกรด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สูงกว่ามังคุดกลีบใหญ่จึงมีโอกาสเกิดสารสีน้ำตาลได้มากกว่า นอกจากนี้การเกิดสีน้ำตาลอาจเนื่องจากความร้อนที่ได้รับ มังคุดกลีบเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่ามังคุดกลีบใหญ่มีโอกาสได้รับความร้อนสูงกว่าจึงเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าเช่นกัน

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่โดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยด้านสีเป็นหลักจึงประมาณ 21.18 และ 104.88 สัปดาห์ตามลำดับ สูงกว่าผลการประเมินอายุการเก็บรักษาเกรัฟฟรุตบรรจุกระป๋องซึ่งมีอายุการเก็บ 3 เดือน โดยใช้การเกิดสีน้ำตาลเป็นดัชนีในการประเมินเช่นกัน (Labuza, 1982)



ภาพ 5.15 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสีของมังคุดกระป๋องกลีบเล็กในระยะ 6 สัปดาห์



ภาพ 5.16 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสีของมังคุดกระป๋องกลีบใหญ่ในระยะ 8 สัปดาห์

จากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 เดือน และทำการประเมินคุณภาพทางเคมี กายภาพและประสาทสัมผัสทุก ๆ 1 เดือน เป็นเวลา 5 เดือน พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กรดแอสคอร์บิกมีค่าลดลง และค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้นจากผลิตภัณฑ์เริ่มต้นทั้งในมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ (ตาราง 5.16) สำหรับคุณภาพทางกายภาพ พบว่าความสว่างของสี (ค่า L) ลดลง ในขณะที่มีสีแดง (ค่า a) และสีเหลือง (ค่า b) เพิ่มขึ้นจากผลิตภัณฑ์เริ่มต้น โดยการเปลี่ยนแปลงในมังคุดกลีบเล็กมากกว่ากลีบใหญ่ ทำให้ผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเร็วกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์

จากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา 5 เดือน (ตาราง 5.17) พบว่าลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรสมังคุดกระป๋อง กลิ่นรสผิดปกติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คุณภาพด้านสีเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดสอดคล้องกับผลการประเมินอายุการเก็บรักษาโดยวิธี Q_{10} การเปลี่ยนแปลงด้านสีจากปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนต่าง ๆ ที่ให้กลิ่นรสผิดปกติจึงส่งผลต่อคะแนนการทดสอบด้านกลิ่นรส นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงด้านสีส่งผลให้คะแนนความชอบรวมลดลง ($p<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ยังได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 เดือน

ตาราง 5.16 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน

เดือนที่	ค่าพีเอช	ค่า			ปริมาณกรดซิตริก (มก./100 กรัมเนื้อ)	ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (มก./100 กรัมเนื้อ)
		L	a	b		
กลีบเล็ก						
0	3.0	57.84	-1.35	14.11	0.43	1.10
1	3.1	55.71	1.37	13.63	0.45	0.92
2	3.1	54.10	0.98	14.54	0.44	0.92
3	3.2	51.70	1.80	13.54	0.43	0.94
4	3.2	50.33	3.84	14.72	0.45	0.97
5	3.2	52.82	2.92	17.03	0.43	0.92
กลีบใหญ่						
0	3.3	53.44	-1.05	6.94	0.39	0.92
1	3.4	49.10	0.69	9.30	0.35	0.85
2	3.5	57.14	-0.28	10.08	0.34	0.74
3	3.7	53.15	0.11	11.31	0.35	0.70
4	3.7	54.58	0.73	11.21	0.37	0.77
5	3.8	55.69	0.52	12.13	0.35	0.64

ตาราง 5.17 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน

เดือนที่	คุณภาพทางประสาทสัมผัส						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรสมังคุดกระป๋อง	กลิ่นรสผิดปกติ	เนื้อสัมผัส	ความใสของน้ำเชื่อม	ความชอบรวม
กลีบเล็ก							
0	1.33a	1.25a	7.16a	0.57^{ns}	7.68^{ns}	7.72^{ns}	7.90a
1	2.90b	5.53b	6.07a	0.55	6.68	6.88	7.10b
2	3.47b	5.12b	4.63b	1.30	6.33	6.48	6.17b
3	3.83b	7.28b	4.50b	1.97	5.57	6.80	5.33b
4	3.40b	6.93b	3.50b	1.68	5.52	7.68	5.60b
5	3.62b	7.42b	2.83b	2.07	6.40	6.23	4.62c
กลีบใหญ่							
0	1.80a	1.88a	5.98a	0.63a	6.33^{ns}	6.78^{ns}	7.38a
1	2.35a	2.21a	6.03a	0.88a	6.35	7.85	7.12a
2	3.68b	3.07b	3.52b	1.83b	5.08	6.67	6.33a
3	2.68b	3.55b	5.90b	1.27b	5.65	7.48	6.17b
4	3.70b	4.90b	3.25b	2.47b	5.30	7.93	5.30b
5	3.70b	6.28c	3.40b	2.29b	5.37	6.78	5.12b

หมายเหตุ : ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสมังคุดบรรจุกระป๋องโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตตเป็นสารเพิ่มความแน่นเนื้อ พบว่าสภาวะการปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋อง ได้แก่ การแช่ก่อนการบรรจุในสารละลายแคลเซียมแลคเตตความเข้มข้นร้อยละ 0.75 ผสมกรดซิตริกร้อยละ 0.5 นาน 5 นาที สำหรับมังคุดกลีบเล็ก และในแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.75 ผสมกรดซิตริกร้อยละ 0.5 นาน 10 นาที สำหรับมังคุดกลีบใหญ่

การพัฒนาสูตรน้ำเชื่อมโดยศึกษาการใช้น้ำเชื่อม 2 ความเข้มข้น และเติมแคลเซียมลงในน้ำเชื่อมโดยตรงเพื่อช่วยรักษาเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสุดท้าย 30°บริกซ์ ผสมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.2 และกรดซิตริกร้อยละ 0.1 เป็นสูตรน้ำเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องกลีบเล็กและกลีบใหญ่

การกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนโดยเปรียบเทียบการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันอุณหภูมิ 106°ซ การต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือดและน้ำอุณหภูมิ 92°ซ จนกระทั่งจุดร้อนช้ามีอุณหภูมิ 92°ซ 1 นาที พบว่าการต้มฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ในน้ำเดือดเป็นสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้เวลา 20 นาที และ 23 นาที ซึ่งผลิตภัณฑ์มีค่า F (T=197.62°F, Z=15°F) เป็น 1.23 และ 1.10 สำหรับมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ตามลำดับ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลา 5 เดือน พบว่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองมากขึ้น และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบรวมเปลี่ยนแปลงด้อยลงสอดคล้องกับการประเมินอายุการเก็บรักษาโดยวิธี Q_{10} ซึ่งพบว่าคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มังคุดกระป๋องโดยใช้ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีเป็นดัชนีเป็น 21.8 และ 104.88 สัปดาห์ สำหรับมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงด้านสีอาจเกิดจากปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์

สรุปและข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปมังคุด ประกอบด้วย 3 แผนงานหลัก ได้แก่ การยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดโดยการดัดแปลงบรรยากาศ การพัฒนาเทคนิคการแปรรูปมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากเนื้อมังคุดที่ไม่ได้มาตรฐานมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล สามารถสรุปผลงานได้ดังนี้

1. แนวทางการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสด

ผลงานเป็นแบบเทคโนโลยี/กระบวนการ ในการเก็บรักษาผลมังคุดสดที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีระดับสีผิวที่เหมาะสม คือระดับสีผิวที่ 3 แล้วทำการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง คือ การบรรจุในถุงพลาสติกแอลดีพีอี (Low Density Polyethylene) ร่วมกับสารดูดกาซเอทธิลีน (โปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนต) ในปริมาณ 4 กรัม/มังคุด 20 ผล (น้ำหนักเฉลี่ยผลละ 80 กรัม) สามารถเก็บรักษาในกล่องกระดาษลูกฟูก ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85+5 ได้เป็นเวลาสูงสุด 5 สัปดาห์

2. กระบวนการแปรรูปมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล

กระบวนการแปรรูปมังคุดแช่เยือกแข็งที่พัฒนาขึ้นมี 2 แบบ คือ แบบทั้งผล (เปิดผลเพื่อตรวจสอบคุณภาพแล้วปิดผล) และแบบเปิดครึ่งผล (เปิดผลเพื่อตรวจสอบคุณภาพแล้วไม่ได้ปิดผล) ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ การลดอุณหภูมิผลมังคุดด้วยน้ำเย็น 1±0.5 องศาเซลเซียส การเปิดผลมังคุดด้วยเครื่องผ่าที่พัฒนาขึ้น การแช่สารละลายผสม (กรดซิตริก 0.5% ผสมกับแคลเซี่ยมคลอไรด์ 0.25%) และการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัสจนกระทั่งอุณหภูมิกึ่งกลางผลถึง -18 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อยที่เหมาะสม คือ ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิต (มังคุดแช่เยือกแข็งและบรรจุภัณฑ์) มีค่า 130 บาท/กิโลกรัมผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผล และ 125 บาท/กิโลกรัมผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งแบบเปิดครึ่งผล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคาและคุณภาพของวัตถุดิบเริ่มต้น (ข้อมูลดังกล่าวคำนวณจากต้นทุนมังคุดสดราคากิโลกรัมละ 26 บาท และได้ผลผลิตประมาณร้อยละ 50 ของวัตถุดิบเริ่มต้น)

3. ผลิตภัณฑ์มังคดแช่เยือกแข็งแบบแยกชิ้น

ต้นแบบผลิตภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งแบบแยกชิ้นได้รับการพัฒนาขึ้นจากมังคุดสดที่ไม่ได้มาตรฐานต่อการแบ่รรูปเป็นมังคุดแช่เยือกแข็งทั้งผลเพื่อการส่งออก โดยการแยกกลีบมังคุดที่มีคุณภาพบริโภคได้มาแช่ในสารละลายผสมเพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (สารละลาย กรดซิตริก 0.5% ผสมกับแคลเซี่ยมคลอไรด์ 0.25%) ตามด้วยน้ำเชื่อมเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ เพื่อช่วยให้เกิดการดึงน้ำออกบางส่วน แล้วนำไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นสารให้ความเย็น ผลิตภัณฑ์ที่ได้เหมาะสำหรับการรับประทานร่วมกับ

ไอศกรีม มีต้นทุนการผลิต 250 บาท/กิโลกรัมผลิตภัณฑ์ (คำนวณจากต้นทุนมังคุดสดราคากิโลกรัมละ 26 บาท และได้ผลผลิตประมาณร้อยละ 40 ของวัตถุดิบเริ่มต้น)

4. กระบวนการแปรรูปมังคุดบรรจุกระป๋อง

ผลงานเป็นแบบเทคโนโลยี/กระบวนการผลิตเนื้อมังคุดในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ได้แก่ การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของชิ้นมังคุด การพัฒนาสูตรน้ำเชื่อม และกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน กระบวนการผลิตที่เหมาะสม ประกอบด้วย การแช่ชิ้นมังคุดในสารละลายผสม (กรดซิตริก 0.5% และแคลเซี่ยมคลอไรด์ 0.75%) เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาบรรจุกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ เติมน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ผสมแคลเซี่ยมคลอไรด์ 0.2% และกรดซิตริก 0.1% ปิดผนึกแล้วต้มฆ่าเชื่อในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 และ 23 นาทีสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ตามลำดับ

5. ผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง

ต้นแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้ง ได้รับการพัฒนาขึ้นจากเนื้อมังคุดที่มีลักษณะผลไม่เหมาะสม โดยการแยกชิ้นมังคุดเป็นกลีบเล็กและกลีบใหญ่ แช่ในสารละลายผสม (กรดซิตริก 0.5% แคลเซี่ยมคลอไรด์ 0.25% และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 0.1%) แล้วนำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 63-68 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 20% ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสชาติหวานหอม

ข้อเสนอแนะ

1. ต้องการให้ศูนย์ฯ ประสานงานการนำผลการวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งเชิงพาณิชย์และเชิงสาธารณะประโยชน์เพิ่มมากขึ้น อาทิเช่น การขยายผลเชิงวิศวกรรมเพื่อเข้าสู่ระดับอุตสาหกรรม การตลาดเพื่อประชาสัมพันธ์ตัวผลิตภัณฑ์และกระบวนการแปรรูปที่หลากหลายให้กับผู้บริโภคและผู้ประกอบการทั้งในและต่างประเทศ แม้ว่าคณะผู้วิจัยได้มีโอกาสเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ ในรูปแบบต่าง ๆบ้างแล้ว เช่น

- สาธิต "การผลิตมังคุดแช่เยือกแข็งและผลิตภัณฑ์จากเนื้อมังคุด" ในงานเกษตรภาคใต้ ครั้งที่ 7 เมื่อ 19-21 สิงหาคม 2542
- ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง " เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปมังคุด" ให้แก่กลุ่มคนจากภาครัฐ เอกชน และผู้สนใจ เมื่อ 7-9 กันยายน 2543

2. การวิจัยที่ผ่านมามีอุปสรรคที่สำคัญ คือผลผลิตมังคุดสดออกตามฤดูกาล มีปริมาณไม่เพียงพอและคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ในบางฤดูแทบไม่มีผลผลิตออกในปริมาณที่ใช้ทำการทดลองได้เพียงพอ จึงทำให้เกิดความล่าช้าไปจากแผนการทดลอง หากได้มีการสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาในภาคเกษตรและการเพาะปลูกเพิ่มขึ้น ไปพร้อมกับการพัฒนาด้านการแปรรูป จะช่วยส่งผลให้เกิดการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศได้เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

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

ชาติชาย พฤกษ์รัตนกุล, ธนาภรณ์ ตั้งวิสุทธิจิต, รจนา โรจน์วิโรจน์. วสุ อมฤตสุทธิ์ และ อนันชัย กิตติศรัณย์เลิศ. 2532. มังคุดเพื่อการส่งออก. ข่าวสารเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 34(4) : 62-69.

ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธ์กุล. 2533. การศึกษาการผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธนะชัย พันธ์เกษมสุข. 2531. การเจริญเติบโต ดัชนีการเก็บเกี่ยว การชะลอและการเร่งการสุกของผลมะม่วง(*Mangifera indica* L.) พันธ์เขียวเสวย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

เบญจมาส รัตนชินกร, ไพโรจน์ มาศผล, ประกิจ ดวงพิกุล, สณทรรศน์ นันทะไชย, ทองอยู่ ปิ่นทอง และ หิรัญ หิรัญประดิษฐ์. 2527. การศึกษาการลดอุณหภูมิของผลมังคุดโดยใช้น้ำเย็น. สรุปผลงานวิจัยและรายงานผลวิจัยก้าวหน้า ประจำปีงบประมาณ 2527 “กลุ่มไม้ผล” กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2531. สถิติสำหรับการวิจัยทางการเกษตร. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา. หน้า 95-175.

มยุรี ภาคลำเจียก. และอมรรัตน์ สวัสดิทัติ. 2532. บทบาทและแนวโน้มของการใช้ LDPE ในการหีบห่อ. รายงานสัมมนา LDPE พลาสติกที่น่าจับตามอง ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ณ ห้องนวลจันทร์ โรงแรมอิมพิเรียล กรุงเทพฯ. 18 มกราคม 2522 หน้า 81-88.

วัลลภา ธีรภาวะ, วารุณีย์ ปรีย์มาโนช, ชัยวัฒน์ กรรตุกฤกษ์ และดารา พวงสุวรรณ. 2529. การศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของมังคุดเพื่อการส่งออก. รายงานวิจัยกลุ่มงานวิจัยโรคพืชผลิตผลเกษตร กองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. หน้า 50-68.

สมทรง ปวีณการก์ และ หิรัญ หิรัญประดิษฐ์. 2532. ทุเรียนแช่แข็ง วิทยาสารสถาบันวิจัยพืชสวน 12: 74-86.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2529. ดัชนีแสดงระดับสีของผลมังคุด. เอกสารเผยแพร่. ห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2531ก. การศึกษาการใช้ประโยชน์จากคาร์บอนไดออกไซด์ในการเก็บรักษาผักและผลไม้เพื่อการส่งออก ฉบับที่ 8 การเก็บ

รักษามังคุด. การวิจัยเสนอการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

สมโภชน์ น้อยจินดา. 2535. ผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลมังคุด (*Garcinia mangostana* L.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สายชล เกตุษา. 2528. สรีระวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ผลไม้แแห้ง. มอก 919-2532. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

สุรพงษ์ โกสิยะจินดา และสุมาลี ตันศิริยากุล. 2531. การหายใจและการผลิตก๊าซเอทธิลีนของผลิตผลพืชสวนสด. อาหาร 18(1) : 1-10.

สุรพล อุปดิสสกุล. 2526. สถิติการวางแผนการทดลอง. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนวัช สุวรรณกุล. 2531. หลักการทั่วไปของการเก็บเกี่ยวผักผลไม้และไม้ดอกเพื่อการส่งออก. ในเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้เพื่อการส่งออก (รวมเล่มเอกสารประกอบการอบรม/สัมมนา) ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน กรุงเทพฯ. หน้า 67-78.

อาชว์ เตาลานนท์. 2530. มังคุด. โครงการศึกษาการใช้วิทยาการที่เหมาะสมสำหรับผักสดและผลไม้สดเพื่อการส่งออก บริษัทการจัดการเกษตรและอุตสาหกรรม จำกัด. หน้า 190-195.

Abeles, F.B. 1973. Ethelene in Plant Biology. Academic Press, New York. Cited by : Kader, A.A. 1980. Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres. Food Technol. 34(3) : 51-54.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). Verginia : The Association of Official Analytical Chemists, Inc.

Augustin, M.A. and Azudin, M.N. 1986. Storage of mangosteen (*Garcinia mangostana L.*). Journal of ASEAN Food. 2(2) : 78-80.

Baranowski, E.S. 1990. Miscellaneous Food Additives. In Food Additives (ed. Branen, L.A., Davidson M.P. and Salminen, S.) New York : Marcel Dekker Inc. pp. 511-540.

Berg, L.V.D. and Lentz, C.P. 1978. High humidity storage of vegetables and fruits. HortSience 13(5) : 565-569.

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

Camire, M.E., Ismail, S., Work, T.M., Bushway, A.A. and Halterman, W.A. 1994. Improvements in canned lowbush bluberry quality., J. Food Sci. 59 : 394-398.

Chaplin, G.R., Graham, D. and Cole, S.P. 1986. Reduction of chilling injury in mango fruit by storage in polyethylene bags. ASEAN Food J. 2(3 & 4) : 139-142.

Faragher, J.D. and Brohier, R.L. 1984. Anthocyanin accumulation in apple skin during ripening : regulation by ethylene and phenylalanine ammonia-lyase. Scientia Hortic. 89-96.

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

Fuchs, Y., Pesis, R. and Zauberma, G. 1980. Changes in amylase activity, starch and sugar contents in mango fruit pulp. Horticulture. 13 : 155-160.

Gortner, W.A., Dull, G.G. and Krauss, B.H. 1967. Fruit development, maturation, ripening and senescence : a biochemical basis for horticultural terminology. HortScience. 2 (4) : 141-144.

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

He, F., Purcell, A.E., Huber, C.S. and Hess, H.M. 1989. Effects of calcium, sucrose and aging on the texture of canned great northern beans (*Phaseolus vulgaris*, L.) J. Food Sci. 54 : 315-318.

Henika, R.G. 1972. Simple and effective system for use with response surface methodology. Cereal Science Today. 17 : 309-314.

Henselman, M.R., Donatoni, S.M. and Henika R.G. 1974. Use of response surface methodology in the acceptable high protein bread. J. Food Sci. 36 : 943-946.

Kader, A.A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. Food Technol. 40(5) : 99-104.

Kawamata, S. 1977. Studies on determining the sugar composition of fruits by GLC. Bulletin Tokyo Agriculture Experiment Station. 10 : 53-67.

Labuza, T.P. 1982. Shelf Life Dating of Foods. West port Connecticut : Food and Nutrition Press.

Larmond, E. 1977. Laboratory method for sensory evaluation of food. Research Branch Canada Department of Agriculture Publication.

Looney, N.E. and Patterson, M.E. 1967. Chlorophyllase activity in apples and bananas during the climacteric phase. Nature. 214 : 1245-1246.

Mitchell, F.G., Guillon, R. and Parsons, R.A. 1972. Commercial cooling of fruit and vegetables. Univ. Calif. Agric. Exp. St. Ext. Serv. Manual 43. 44 pp. อ้างโดย

อนวัช สุวรรณกุล. 2531. หลักการทั่วไปของการเก็บเกี่ยวผักผลไม้และไม้ดอกเพื่อการส่งออก. ใน เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้เพื่อการส่งออก (รวมเล่มเอกสารประกอบการ
อบรม/สัมมนา) ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน กรุงเทพฯ. หน้า 68.

Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-canovas, G.V. and Cavalieri, R.P. 1993. Mass transfer and texture changes during processing of apples by combined methods. J. Food Sci. 58 : 1118-1124.

Morris, L.L. 1982. Chilling injury of horticultural crops : an overview. HortScience 17(2) : 161-168.

Patterson, M.E. 1970. The role of ripening in the affairs of mango. HortSience 5(1) : 30-33.

Rangana, S. 1977. Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products. Central Food Technological Research Institute Myscore New Delhi : Tata McGraw Publishing Co, Ltd.

Raynal, J., Moutounet, M. and Souguet, J. 1989. Intervention of phenolic compounds in plum technology. J. Agriculture Food Chemistry. 37 : 1046-1050.

Riov, J., Monselise, S.P. and Kahan, R.S. 1969. Ethylene-controlled induction of phenylalanine ammonia-lyase in citrus fruit peel. Plant Physiology. 44(5) : 631-635.

Saldana, G. and Meyer, R. 1981. Effects of added calcium on texture and texture quality of canned jalapeno peppers. J. Food Sci.(46) : 1518-1520.

Satjawacharaphong, C., Rymal, W.A. and Smith, R.C. 1983. Polyphenol oxidase system in Ded Delicious apples. J. Food Sci. 48 : 1879-1880.

Shimokawa, K., Shimada, S. and Yaeo, K. 1978. Ethylene-enhanced chlorophyllase activity during degreening of Citrus unshiu Marc. Scientia Hortic. 8 : 129-135.

Speck, M.L. 1976. Compendium of methods for the microbiological examination of Foods. 2nd. Washington, D.C. : American Public Health Association.

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

Stumbo, C.R. 1973. Thermobacteriology in Food Processing. 2nd ed. New York : Academic Press.

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.

Verheij, E.W.M. 1989. *Garcinia mangostana* L., *In* : Plant Resources of South-East Asia. A Selection. E. Westphal and P.C.M. Jansen (eds). Pudoc/Prosea, Wageningen.

Wang, C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. HortScience 17(2) : 173-186.

Witham, F.H., Blaydes D.F. and R.M. Deulin. 1971. Experiment in plant physiology. New York : Van Nostrand Reinhold Co.

Wills. R.H.H., Lee, T.H., Graham, D., Mc Glasson, W.B. and Hall, E.G. 1981. Postharvest : An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Westport. CT.; AVI Publ. Co., 163 pp.

Woodroof, J.G., Luh. B.S., Feinberg, B., and Chung, J. I. 1986. Freezing fruits. In Commercial Fruit processing. 2nd ed. Woodroof, J.G., and Luh, B. S. (eds) The AVI Publishing Co., Inc. Westport, Conn.

Zagory, D. and Kader, A.A. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. Food Technol. 42(9) : 70-77.

สิ่งตีพิมพ์ สิทธิบัตร หรือผลงานอื่น ๆ

ไพรัตน์ โสภโณดร และ ชื่นใจ ศรีพงษ์พันธุ์กุล. 2533. การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในมังคุดแช่เยือกแข็ง. ว.สงขลานครินทร์. 12:289-294.

ไพรัตน์ โสภโณดร และ รุจิรา กิจธารทอง. 2535. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็ง.อาหาร 22 (3):21-30.

ไพรัตน์ โสภโณดร ไพศาล วุฒิจำนงค์ อัญชลี ศิริโชติ และ จิระ อิฐรัตน์. 2534.การพัฒนาผลิตมังคุดแช่เยือกแข็ง. รายงานผลงานวิจัยเสนอในการประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 , 4-7 กุมภาพันธ์ 2534 หน้า 323-334.

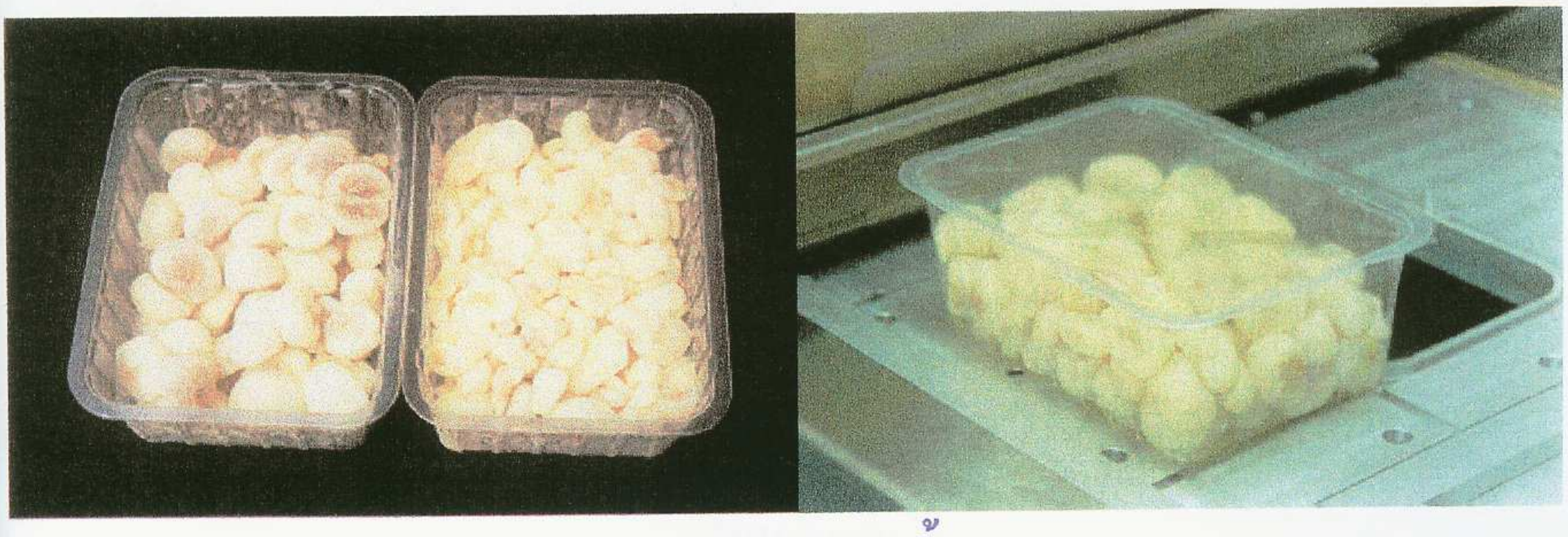
Sophanodora, P. and Chantaraniyom, M. 2001. Storage of mangosteen (*Garcenia mangostana*, Linn) under modified atmosphere packaging. Paper presented in 8th International Controlled Atmosphere Research Conference. 8-13 July, 2001 held in Rotterdam, The Netherland.

Pornpong Suthirak and Pairat Sophanodora. - Erythrobic acid and cysteine as enzymatic browning inhibitor in frozen mangosteen segments (in preparation)

ผลิตภัณฑ์จากเนื้อมังคุด

มังคุดแช่แข็งทั้งผล

มังคุดแช่แข็งครึ่งผล



มังคุดแช่แข็งแบบแยกชิ้น

ผลิตภัณฑ์จากเนื้อมังคุด

มังคุดกระป๋อง

มังคุดกึ่งแห้ง

การอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง

เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปมังคุด

7-9 กันยายน 2543

คณะอุตสาหกรรมเกษตร