

ผลของแคลเซียมคลอไรด์และสารเคลือบคาร์ราจีแนนต่อคุณภาพของมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา

Effect of Calcium Chloride and Carrageenan Coating on Quality of Fresh-Cut Papaya During Storage

ดวงใจ น้อยวัน^{1,2*} สุภาวดี ชนกเสระณี¹ จัตรภัตรา พระเนตร¹ และวนิดา สุธรรม¹

Duangjai Noiwan^{1,2*} Supawadee Chanokseranee¹ Chatpatsara Pranet¹ and Wanida Sutham¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹Department of Postharvest Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, San Sai, Chiang Mai 50290

²หน่วยวิจัยและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอาหารเพื่ออนาคต มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² Future of Agriculture and Food Research Development Unit, Maejo University, San Sai, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: duangjai_nw@mju.ac.th

(Received: 29 May 2024; Revised: 1 August 2024; Accepted: 23 August 2024)

Abstract

The effect of calcium chloride on texture and sensory quality acceptance of fresh-cut papaya was investigated. Papaya pieces were dipped in 0.5 1.0 and 1.5% w/v calcium chloride (CaCl_2) solution for 3 min. Pulp firmness and sensory quality were compared with the control treatment (without CaCl_2 dipping). Results indicated that dipping in 0.5 1.0 and 1.5% w/v CaCl_2 solution could help significantly increase the samples' firmness ($p \leq 0.05$). However, the increased CaCl_2 concentration caused the fresh-cut samples to be off-flavor. Calcium chloride and carrageenan's effect on fresh-cut papaya's quality were studied during storage at 5°C and 95% RH. Comparison of postharvest quality changes of fresh-cut papaya is as follows: control, 0.5% w/v CaCl_2 dipped, and 0.5% w/v CaCl_2 dipped + 0.5% w/v carrageenan coated. Changes in color, firmness, total soluble solids (TSS), and sensory quality were evaluated every 2 days. The fresh-cut papaya dipped in 0.5% w/v CaCl_2 maintained firmness and showed better sensory quality than fresh-cut papaya receiving the other treatments. Color and TSS were not significant for all treatments. The carrageenan coating had a negative effect on the sensory quality of fresh-cut papaya during storage.

Keywords: Fresh-cut papaya, calcium chloride, carrageenan coating, postharvest quality

บทคัดย่อ

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภค โดยแช่ชิ้นมะละกอดัดแต่งด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 นาน 3 นาที วัดความแน่นเนื้อและประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกันชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย พบว่า การแช่มะละกอดัดแต่งด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้ค่าความแน่นเนื้อสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม การแช่สารละลายความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลเสียต่อคุณภาพด้านกลิ่น ผลของแคลเซียมคลอไรด์และสารเคลือบคาร์ราจีแนนต่อคุณภาพของมะละกอดัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 95 โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะละกอดัดแต่งระหว่างชุดควบคุมชุดที่แช่ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และชุดที่แช่ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ร่วมกับการเคลือบด้วยคาร์ราจีแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ตรวจวัดคุณภาพทุก 2 วัน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี ความแน่นเนื้อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า การแช่ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 สามารถคงคุณภาพด้านความแน่นเนื้อและการยอมรับด้านประสาทสัมผัสได้ดีกว่ามะละกอดัดแต่งชุดทดลองอื่น ๆ คุณภาพด้านสีและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับการใส่สารเคลือบคาร์ราจีแนนทำให้เกิดผลกระทบด้านลบต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของมะละกอดัดแต่งระหว่างการเก็บรักษา

คำสำคัญ: มะละกอดัดแต่ง แคลเซียมคลอไรด์ สารเคลือบคาร์ราจีแนน คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

คำนำ

ผลไม้สดตัดแต่งพร้อมบริโภค เป็นผลไม้สดที่นำมาล้าง คัดเลือกขนาด ปอกเปลือก เอาเมล็ดออก ตัดแต่งหั่นชิ้น และบรรจุในบรรจุภัณฑ์ จากนั้นนำมาวางจำหน่ายในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อสนองตอบความต้องการสำหรับผู้บริโภค ที่เน้นความรวดเร็วและความ สะดวกสบาย ดังนั้น ตลาดของผลิตภัณฑ์สดพร้อมใช้ จึงมีการเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มะละกอ (*Carica papaya* L.) เป็นไม้ผลที่มีการบริโภคสูง นิยมบริโภคแบบสุกและแบบดิบ การตัดแต่งมะละกอสุกพร้อมบริโภคถือเป็นการเพิ่มโอกาสในการจำหน่าย รวมทั้งสามารถเพิ่มมูลค่าลดความสูญเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ตำหนิหรือตกเกรดได้ อย่างไรก็ตาม การตัดแต่งมะละกอสุกจะทำให้อายุเก็บรักษา หรืออายุการวางจำหน่ายสั้นลง เพราะมีลักษณะเฉพาะโดยมีพื้นผิวที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ และเนื้อเยื่อที่เสียหายจากการหั่นตัด ซึ่งเกิดการเสื่อมเสียจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย (Berger *et al.*, 2010; Olaimat and Holley, 2012) รวมทั้งทำให้อัตราการหายใจสูง เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของมะละกออ่อนนุ่มมากขึ้น ดังนั้น คุณภาพของมะละกอดัดแต่งจึงลดลงระหว่างการวางจำหน่าย นอกจากนี้ ยังพบว่า การอ่อนตัวของผลไม้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดโมเลกุลของเฮมิ-เซลลูโลส และเกิดจากการสูญเสียแคลเซียมที่เชื่อมโยงโมเลกุลของเพกทิน ทำให้เกิดการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ (cell cohesion) มีผลทำให้

ความแข็งแรงของผนังเซลล์ลดลง สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ถือเป็นสารที่สามารถเติมแต่งในอาหาร เพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ นิยมนำมาใช้กับผักผลไม้ทั่วไป Techadilok *et al.* (2021) รายงานว่าการแช่ลำไยพร้อมบริโภคด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยสดพร้อมบริโภคให้ดีขึ้นได้ แต่หากเพิ่มความเข้มข้นมากกว่านี้จะทำให้ลำไยมีรสชาติขม และเสียรสชาติ นอกจากนี้ แคลเซียมคลอไรด์ยังสามารถชะลอการสุก และกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพ รวมถึงการสูญเสียทางคุณค่าทางอาหาร และความไวต่อเชื้อโรคได้ อีกทั้งยังพบว่า มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อเยื่อ และยับยั้งความผิดปกติทางสรีรวิทยาได้ (Han *et al.*, 2023) ดังที่มีรายงานว่า การแช่ผลมะละกอสุกพันธุ์ฮอลแลนด์ทั้งผลด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่ามะละกอสุกที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์และทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า ที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส โดยไม่พบอาการ chilling injury (Noiwan *et al.*, 2022) นอกจากนี้ แคลเซียมยังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันโรคพืช อาจเป็นเพราะความสามารถของแคลเซียมในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพกโตไลติกของเชื้อโรค แคลเซียมมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช เพราะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบเพกทิน ซึ่งมีอยู่

ทั้งผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ เนื่องจากการใช้แคลเซียมคลอไรด์ช่วยให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยแคลเซียมคลอไรด์ไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกตินที่อยู่บริเวณผนังเซลล์ middle lamella และเชื่อมให้ผนังเซลล์ติดกัน ช่วยรักษาความคงรูปของเนื้อผลไม้ได้ (You *et al.*, 2024) แม้ว่าการใช้แคลเซียมหลังการเก็บเกี่ยวจะดีต่อคุณภาพของผลไม้ แต่ความเข้มข้นของแคลเซียมที่มากเกินไปอาจทำให้ผลไม้มีผิดปกติ การใช้แคลเซียมคลอไรด์จะให้ผลดียิ่งขึ้นหากใช้ร่วมกับวิธีการหลังการเก็บเกี่ยวอื่น ๆ เช่น การเคลือบผิว ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตได้ สารเคลือบผิวสำหรับผักและผลไม้มีหลายชนิดมีองค์ประกอบและคุณสมบัติแตกต่างกันไป การเลือกใช้สารเคลือบผิวจะต้องเลือกใช้ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ โดยเลือกให้เหมาะสมกับผลผลิตที่จะเคลือบ ดังเช่น การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับการเคลือบผิวสตรอว์เบอร์รีด้วยไคโตซานและนาโนไคโตซานสามารถยืดอายุการเก็บรักษาสตรอว์เบอร์รีได้ (Eshghi *et al.*, 2014)

สารเคลือบผิวคาร์ราจีแนนเป็นสารสกัดจากสาหร่ายสีแดงที่บริโภคได้ มีคุณสมบัติเฉพาะตัวใช้สำหรับเพิ่มความหนืดเติมแต่งเพื่อให้เกิดความข้นในอาหาร รวมทั้งเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จึงนิยมมาใช้เป็นสารเคลือบผิวเพื่อชะลอการเน่าเสียและยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยว มีรายงานว่า การเคลือบผิวลำไยด้วยคาร์ราจีแนนจะทำให้ผิวของลำไยสว่างขึ้นและทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาของลำไยได้ (Lin *et al.*, 2018) จากการศึกษาของ Dwivany *et al.*, (2020) พบว่ามีการใช้คาร์ราจีแนนซึ่งเป็นสารเคลือบที่กินได้ชะลอการสุกของผลกล้วยพันธุ์คาร์เวซดิช กรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลกล้วยคือเคลือบคาร์ราจีแนนความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ (20 องศาเซลเซียส) จะทำให้อัตราการหายใจและการคายน้ำของผล รวมทั้ง

การเกิดเมตาบอลิซึมอื่น ๆ ลดลง ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสารเคลือบคาร์ราจีแนน เพื่อรักษาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภค

ใช้มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์บ่มให้สุก ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ระหว่างร้อยละ 11-13 ทำการทดลองโดยปอกเปลือกมะละกอสุกและคว้านเมล็ดออก นั้นเป็นขั้นตอนโดยประมาณ 2x3 เซนติเมตร จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 นาน 3 นาที ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ ตรวจวัดคุณภาพเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ โดยจัดการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ทำการทดลองกรรมวิธีละ 5 ซ้ำ สำหรับคุณภาพที่ตรวจวัด ได้แก่

1. การวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System TAXT.Plus, United Kingdom) หัววัดทรงกระบอก (cylinder stainless) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร บริเวณจุดกึ่งกลางขึ้นมะละกอ แทะผ่านเนื้อลึก 5 มิลลิเมตร ด้วยอัตราเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งค่าความแน่นเนื้อที่วัดได้มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

2. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือรสชาติ กลิ่น สี เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยใช้ Hedonic 9 scale ดังนี้ คะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด; 2 = ไม่ชอบมาก; 3 = ไม่ชอบปานกลาง; 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย; 5 = เฉย ๆ; 6 = ชอบเล็กน้อย; 7 = ชอบปานกลาง; 8 = ชอบมาก และ 9 = ชอบมากที่สุด

ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสารเคลือบคาร์ราจีแนนต่อคุณภาพของมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภคเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส

นำผลการทดลองจากการหาระดับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมมาใช้ในการทดลองต่อ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบผลของแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสารเคลือบคาร์ราจีแนนหลังจากแช่มะละกอในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ครบระยะเวลาที่กำหนด ทั้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ ใช้วิธีการจุ่มเคลือบด้วยคาร์ราจีแนน ผึ่งให้แห้งบนตะแกรงและบรรจุขึ้นมะละกอลงในกล่องพลาสติกใสชนิดพอลิพรอพิลีนปิดฝาแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส วัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทุก 2 วัน ดังนี้

1. การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid; TSS) โดยใช้เครื่อง Digital refractometer (ATAGO PAL1, Japan) ก่อนทำการวัดใช้น้ำกลั่นปรับสเกลให้เป็น 0 จากนั้นหยดน้ำคั้นของมะละกอลงบนเครื่องแล้วอ่านค่าที่ได้มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

2. การวัดความแน่นเนื้อเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้านี้ ซึ่งค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

3. การวัดการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณจุดกึ่งกลางขึ้นตัวอย่างมะละกอด้วยเครื่อง Color Reader (Minolta CR400, Japan) ค่าที่ได้จากการวัดจะแสดงออกมา คือ L^* , a^* และ b^*

4. การวัดอัตราการหายใจโดยวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของมะละกอที่ปลดปล่อยออกมาโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (SHIMASZU Class GC-14B, Japan) แบบ Thermal Conductivity Detector (TCD) อุณหภูมิเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน และฮีเลียมเป็นก๊าซตัวพา อัตราการไหลเท่ากับ 10 มิลลิลิตร/วินาที บันทึกผลการทดลองมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ($\text{mgCO}_2/\text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$)

5. การตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count; TPC) ตามวิธี AOAC International (2002) ใช้น้ำคั้นจากตัวอย่างขึ้นมะละกอเจือจาง 3 ระดับอาหารเลี้ยงเชื้อ Standard Plate Count Agar (PCA) ใช้วิธี pour plate บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีรายงานผลเป็นซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร (cfu/ml)

6. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของมะละกอโดยพิจารณาจากการยอมรับคุณภาพโดยรวม (acceptability) ซึ่งใช้ Hedonic 9 scale

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภค

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภคที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 และร้อยละ 1.5 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (control) จะเห็นได้ว่ามะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการแช่แคลเซียมคลอไรด์ทำให้ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ผ่านการแช่แคลเซียมคลอไรด์ (Figure 1) แต่ในทางกลับกันการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภคทุกกรรมวิธีมีคะแนนความชอบโดยรวม ความชอบด้านกลิ่น และความชอบด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกัน ซึ่งในด้านรสชาตินั้นการแช่ CaCl_2 ร้อยละ 0.5 มีคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงที่สุด รองลงมาคือ CaCl_2 ร้อยละ 1 และ 1.5 ซึ่งมีคะแนนใกล้เคียงกัน (Figure 2) โดยมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการแช่แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้เกิดรสขมและกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับ (López-López *et al.*, 2023) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกการแช่ CaCl_2 ร้อยละ 0.5 ไปใช้ในการทดลองในขั้นตอนถัดไป

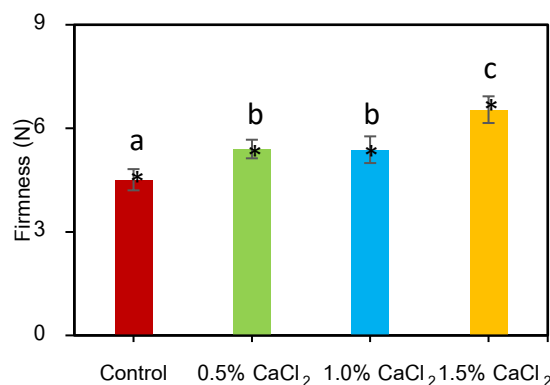


Figure 1 Effect of CaCl₂ on Firmness of fresh-cut papaya

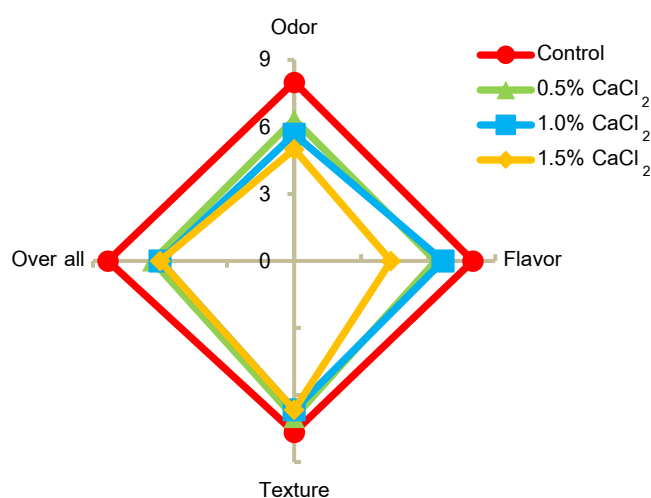


Figure 2 Effect of CaCl₂ on sensory quality of fresh-cut papaya

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสารเคลือบคาร์ราจีแนนต่อคุณภาพของมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภคเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ผลไม้มีกระบวนการเมตาบอลิซึมอาหารที่สะสมในรูปของแป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลทำให้มีรสหวานเกิดขึ้น ซึ่งตลอดการเก็บรักษา TSS ทุกกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา พบว่า TSS ของชุดควบคุมสูงกว่ากรรมวิธีอื่นเท่ากับร้อยละ 12.60 ในขณะที่มะละกอสชุดการทดลอง

CaCl₂ ร้อยละ 0.5 และชุดการทดลองแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ร่วมกับการเคลือบด้วยคาร์ราจีแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (0.5% CaCl₂ + 0.5% Carrageenan) มี TSS เท่ากับร้อยละ 11.40 และ 11.03 ตามลำดับ (Figure 3A) การใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ทำให้เกิดชั้นบาง ๆ บนผิวของผลไม้ ซึ่งชะลอกระบวนการย่อยสลายโพลีแซคาไรด์ การเพิ่มขึ้นของ TSS เป็นผลมาจากกระบวนการคายน้ำและการเปลี่ยนเอนไซม์ของโพลีแซคาไรด์ที่สูงขึ้น เช่น แป้งและเพคตินให้เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยว (Turmanidze *et al.*, 2016)

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อเป็นดัชนีหลักในการยอมรับด้านคุณภาพของมะละกอ ซึ่งการสุกของมะละกอจะส่งผลต่อความแน่นเนื้อมากที่สุด ความแน่นเนื้อที่ลดลงสามารถเกิดขึ้นจากกลไกการทำงานของสองแบบที่เป็นไปได้ กลไกแรกเกิดจากการสลายของพอลิเมอร์คาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกและทำให้ผนังเซลล์อ่อนตัวลง (Dharini *et al.*, 2023) จาก Figure 3B พบว่า วันแรกของการเก็บรักษาทุกกรรมวิธีมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) การแช่มะละกอด้วย CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และการแช่

ร่วมกันระหว่าง CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และ Carrageenan ร้อยละ 0.5 มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ในขณะที่ชุดควบคุมมีความแน่นเนื้อลดลงตลอดการเก็บรักษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ทำให้ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เกิดจากการสร้างผนังเซลล์ที่ซับซ้อน และกรดพอลิกลาคติกที่อยูตรงกลางซึ่งช่วยปรับปรุงความสมบูรณ์ของโครงสร้างสายเพคตินดีเอสเทอร์ฟายด์อาจเชื่อมขวางกับแคลเซียมภายในเนื้อเยื่อ ทำให้โครงสร้างแน่นและกระชับ (Han *et al.*, 2023)

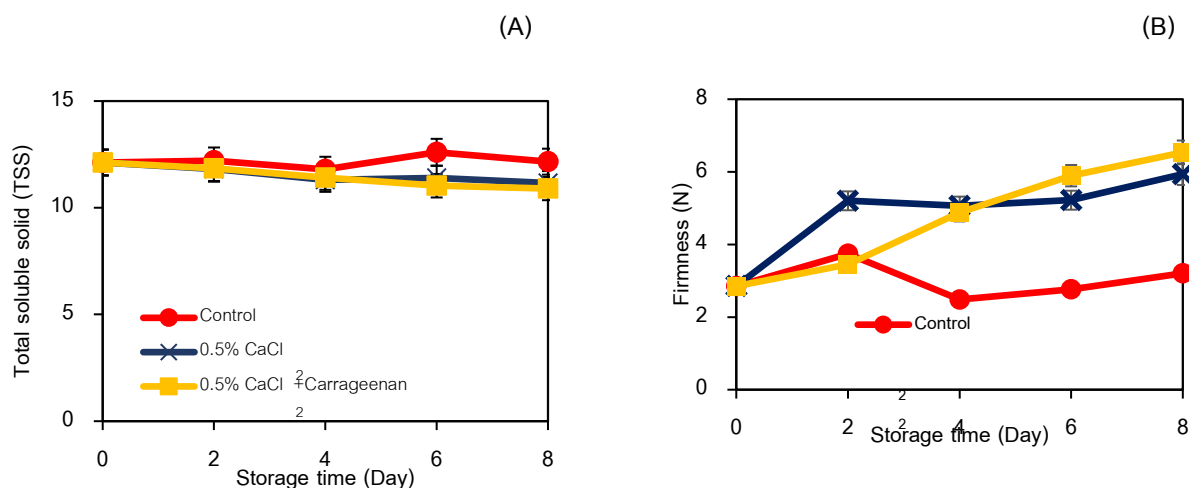


Figure 3 Effect of CaCl_2 on A) Total Soluble Solids and B) Firmness of fresh-cut papaya at $5\pm 1^\circ\text{C}$, 95% RH

การเปลี่ยนแปลงสี

จาก Figure 4A แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงสีของมะละกอพร้อมบริโภคนพบว่า ชุดควบคุมมีค่า L^* สูงที่สุดตลอดการเก็บรักษา สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า a^* นั้น (Figure 4B และ Figure 7) ขึ้นมะละกอตัดแต่งในชุดทดลอง CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และการแช่ร่วมกันระหว่าง CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และ Carrageenan ร้อยละ 0.5 มีค่า a^* ต่ำลงกว่าชุดควบคุมตลอดการเก็บรักษา จากงานวิจัยของ Hamzah *et al.* (2013) ได้ทดลองเคลือบผลมะละกอด้วย carrageenan ร้อยละ

0.2-0.8 พบว่า สามารถชะลอการสุกและยืดอายุการเก็บรักษาของมะละกอได้ดี โดยแสดงให้เห็นจากค่า L , a^* และ b^* ของมะละกอที่ผ่านการเคลือบผิวจะต้องมีค่าต่ำกว่ามะละกอที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

อัตราการหายใจ

อัตราการหายใจของขึ้นมะละกอชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ชุดทดลอง CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และการแช่ร่วมกันระหว่าง CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และ Carrageenan ร้อยละ 0.5

เพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา จากนั้นมีค่าลดลง (Figure 5) เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์ช่วยชะลอ

การสุก ส่วนการเคลือบคาร์ราจีแนนทำให้อัตราการหายใจลดลง (Jingyi *et al.*, 2020; Lin *et al.*, 2018)

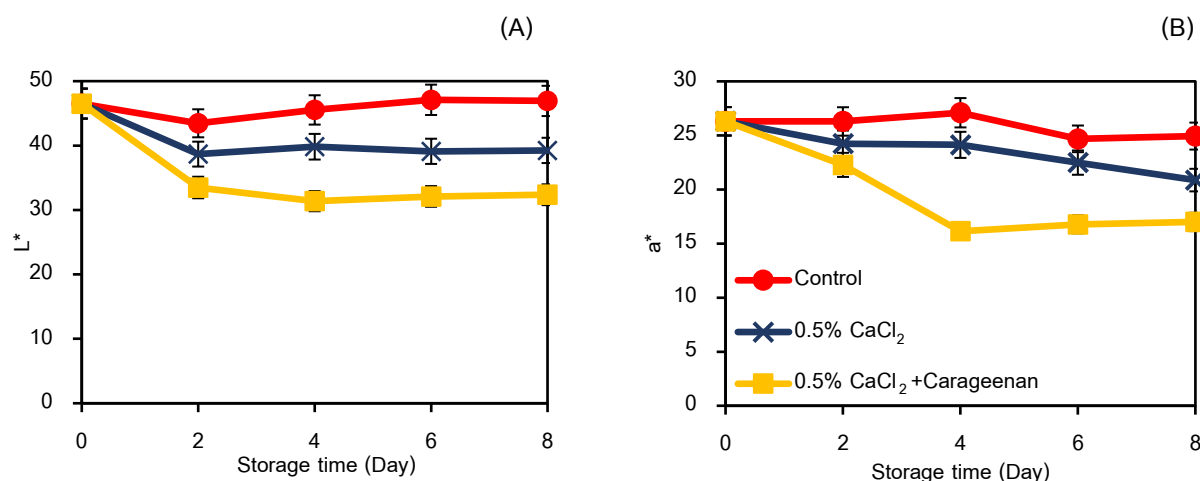


Figure 4 Effect of CaCl_2 on A) L^* value and B) a^* value of fresh-cut papaya at $5 \pm 1^\circ\text{C}$, 95% RH

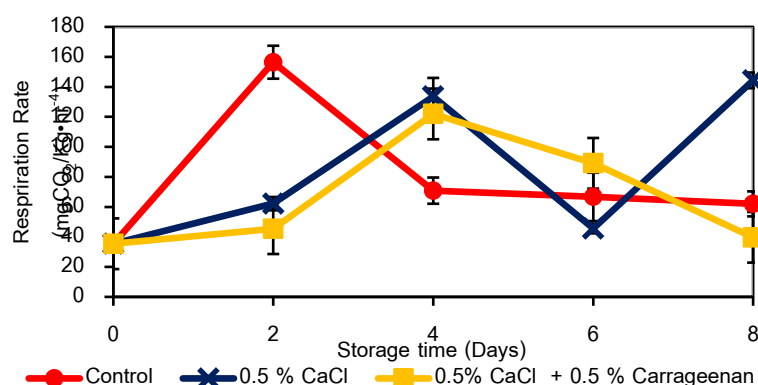


Figure 5 Effect of CaCl_2 on respiration rate and of fresh-cut papaya at $5 \pm 1^\circ\text{C}$, 95% RH

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

เมื่อเก็บรักษามะละกอตัดแต่งพร้อมบริโภคไว้นานขึ้นจะมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยพบว่า การเก็บรักษาด้วย CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และการแช่ร่วมกันระหว่าง CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และ Carrageenan ร้อยละ 0.5 มีผลต่อการควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา โดยเห็นได้จากมะละกอตัดแต่งพร้อมบริโภคในชุดควบคุม มีปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุด (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Pranet *et al.* (2024) ที่ใช้ตัวปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของลองกองพร้อมบริโภคได้ สำหรับวันที่ 6 ของการเก็บรักษาเริ่มมีเชื้อจุลินทรีย์เกิดขึ้นในชิ้นมะละกอลงหยุดทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส และในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์ของชิ้นมะละกอกทุกชุดการทดลองมีค่ามากกว่า 250 โคโลนี (ข้อมูลไม่ได้แสดงในตาราง)

Table 1 Effect of CaCl_2 on total plate counts of fresh-cut papaya at $5\pm 1^\circ\text{C}$, 95% RH

Treatments	Total Plate Counts ($\times 10^6$ cfu/ml)			
	D0	D2	D4	D6
Control	0.03	0.03	0.1	0.36
0.5% CaCl_2	0.03	0.03	0.04	0.16
0.5% CaCl_2 + Carrageenan	0.03	0.01	0.19	0.24

การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส พบว่า ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา มะละกอด้วย CaCl_2 ร้อยละ 0.5 ผู้ทดสอบให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ส่วนคุณภาพด้านสี การแช่ร่วมกัน

ระหว่าง CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และ Carrageenan ร้อยละ 0.5 มีการยอมรับมากที่สุด วันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่า ชุดควบคุมเป็นที่ยอมรับมากที่สุด เนื่องจากมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่น และด้านรสชาติสูง ส่วนของ CaCl_2 ร้อยละ 0.5 เริ่มมีกลิ่นของแคลเซียมคลอไรด์ ส่งผลต่อการยอมรับคุณภาพโดยรวมลดลง (Figure 6)

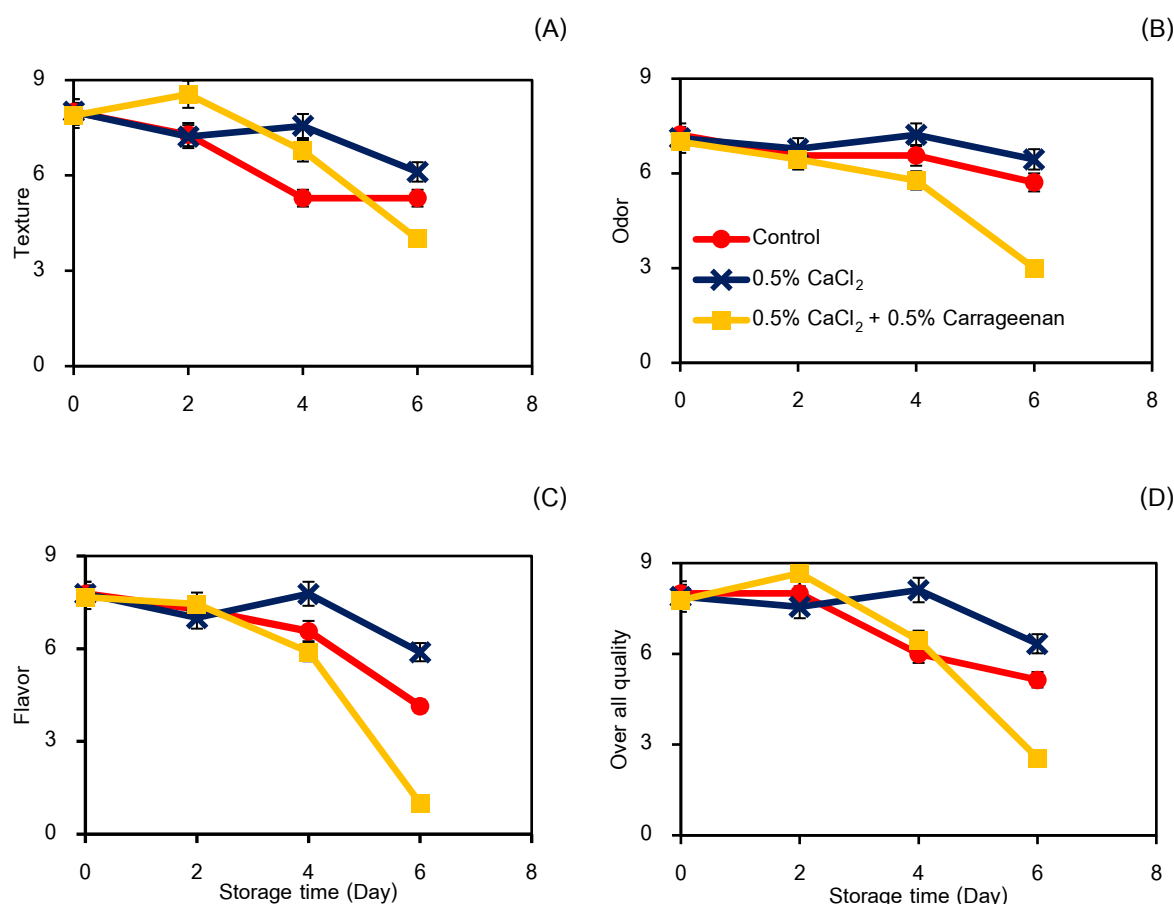


Figure 6 Effect of CaCl_2 on A) sensory quality of Texture, B) odor, C) flavor, and D) overall of fresh-cut papaya at $5\pm 1^\circ\text{C}$, 95% RH

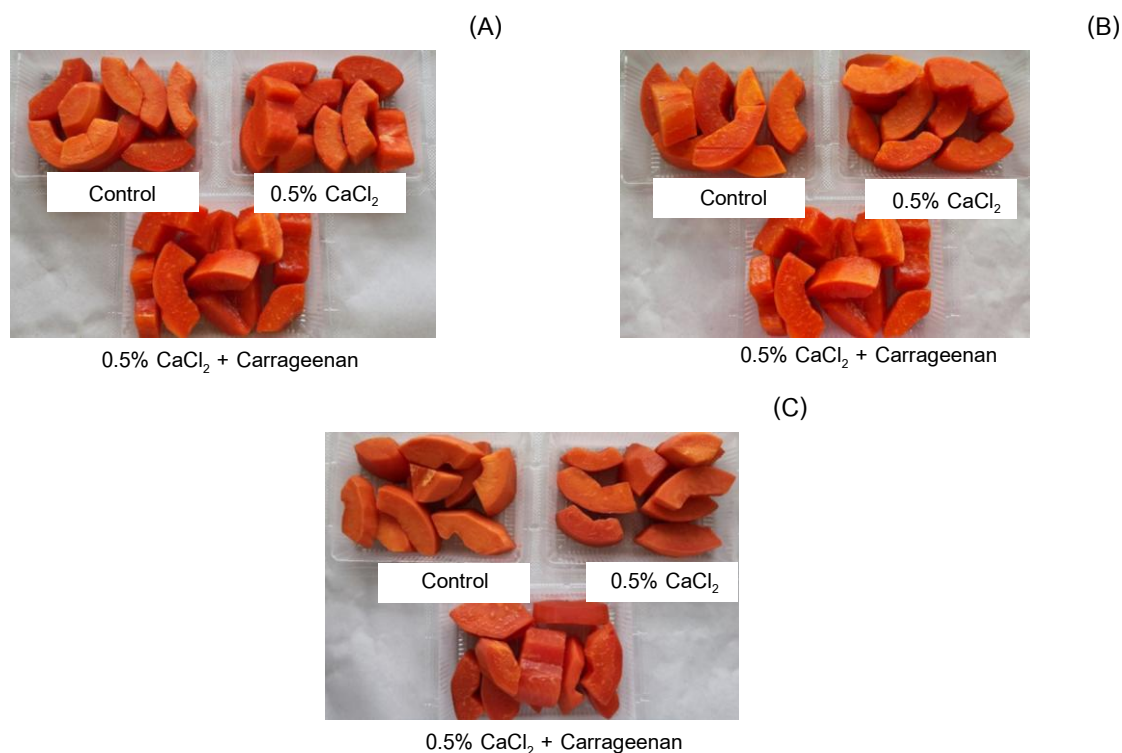


Figure 7 Visual appearance of papaya after A) 4, B) 6, and C) 8 days storage of fresh-cut papaya at $5 \pm 1^\circ\text{C}$, 95% RH

สรุปผลการวิจัย

การแช่ชิ้นมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำด้วยสารละลาย CaCl_2 ร้อยละ 0.5 และ 1.0 สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสได้โดยทำให้ความแน่นเนื้อสูงขึ้นได้ หากแช่ด้วยความเข้มข้นสูงกว่นี้จะทำให้ชิ้นมีรสชาติขมไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ชิ้นมะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการแช่สารละลาย CaCl_2 ร้อยละ 0.5 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสี อัตราการหายใจ และควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์รวมได้ตลอดการเก็บรักษา 6 วัน สำหรับการเคลือบคาร์ราจีแนนทำให้เกิดการสะสมของเชื้อจุลินทรีย์รวมมากขึ้นและคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนการสนับสนุนจากโครงการพัฒนาและผลิตกำลังคนของประเทศเพื่อรองรับนโยบาย Thailand 4.0 สำหรับมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในหลักสูตร “การผลิตบัณฑิตเกษตรพันธุ์ใหม่รุ่นที่ 6” และสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือจากห้องปฏิบัติการสาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

- AOAC International. 2002. Official method of analysis. 16th Edition, Association of Official Analytical, Washington DC.
- Berger, C.N., S.V. Sodha, R.K. Shaw, P.M. Griffin, D. Pink, P. Hand, and G. Frankel. 2010. Fresh fruits and vegetables as vehicles for

- the transmission of human pathogens. *Environmental Microbiology* 12(9): 2385-2397.
- Dharini, V., S. Selvam, J. Jayaramudu and R.E. Sadiku. 2023. Effect of functionalized hybrid chitosan/gum arabic bilayer coatings with lemongrass essential oil on the postharvest disease control and the physicochemical properties of papaya (*Carica papaya*.) fruits. *South African Journal of Botany* 160: 602-612.
- Dwivany, F.M., A.N. Aprilyandi, V. Suendo and N. Sukriandi. 2020. Carrageenan edible coating application prolongs cavendish banana shelf life. *Food Science*. 2020(1): 8861610.
- Eshghi, S., M. Hashemi, A. Mohammadi, F. Badii, Z. Mohammadhoseini and K. Ahmad. 2014. Effect of nanochitosan-based coating with and without copper loaded on physicochemical and bioactive components of fresh strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duchesne) during storage. *Food and Bioprocess Technology*. 7: 2397-2409.
- Hamzah, H.M., A. Osman, C.P. Tan and F.M. Ghazali. 2013. Carrageenan as an alternative coating for papaya (*Carica papaya* L. cv. Eksotika). *Postharvest Biology and Technology* 75: 142-146.
- Han, P., B.H. Tang, C.P. Guo, G.L. Shui, Z.Y. Pan and H.R. Lin. 2023. Combination of soy protein isolate and calcium chloride inhibits browning and maintains quality of fresh-cut peaches. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 35(6): 533-540.
- Jingyi, L., X. Han, L. Bai, D. Xu, S. Ding, Y. Ge, C. Li and J. Li. 2020. Effects of calcium chloride treatment on softening in red raspberry fruit during low-temperature storage. *Food Biochemistry* 44(10): 13419.
- Lin, M.G., O. Lasekan, N. Saari and S. Khairunniza-Bejo. 2018. Effect of chitosan and carrageenan-based edible coatings on post-harvested longan (*Dimocarpus longan*) fruits. *CYTA-Journal of Food* 16(1): 490-497
- López-López, A., J. M. Moreno-Baquero and A. Garrido-Fernández. 2023. Impact of salts mixtures on the physicochemical and sensory characteristics of spanish-style manzanilla green table olives during packaging. *Foods* 12(9): 1-21.
- Noiwan, D., N. Manphrao, N. Mathai, A. Muenrin and T. Keawkham. 2022. Effect of storage temperature and calcium chloride on postharvest qualities of papaya cv. Holland. *Khon Kaen Agriculture Journal* 50(1) 1: 605-609.
- Olaimat, A.N. and R.A. Holley. 2012. Factors influencing the microbial safety of fresh produce. *Food Microbiology* 32(1): 1-19.
- Pranet, C., W. Sutham, W. Kanin and D. Noiwan. 2024. Effects of vapor ethanol emitter on the qualities of ready-to-eat longkong during storage, Amari Pattaya Hotel, Chonburi province, In *Proceeding the 4th National Conference on Learning Innovation in Science and Technology*, NCLIST 4, March

- 21-23, 2024, Faculty of Industrial Education and Technology, Bangkok, Thailand. pp.632-640. [in Thai]
- Techadilok, S., K. Kalayanamitra, T. Kaewkham, P. Jomngam and D. Noiwan. 2021. Effects of calcium chloride and modified atmosphere packaging on qualities of fresh-cut longan. *Agricultural Science Journal* 52(2): 2: 93-96. [in Thai]
- Turmanidze, T., G. Levan, J. Merab and L. Wicker. 2016. Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of blackberry, raspberry and strawberry fruits after cold storage. *Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology* 4(12): 1127-1133.
- You, W., J. Zhang, X. Ru, F. Xu, Z. Wu, P. Jin, Y. Zheng and S. Cao. 2024. Exogenous CaCl_2 delays flesh softening by inhibiting the degradation of cell wall in fresh-cut cantaloupe. *Postharvest Biology and Technology*. 213: 112934.