ผลของสารเคลือบผิวชนิดบริโภคได้ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค

Effects of Edible Coating on Postharvest Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Cabbage

แพรวพรรณ จอมงาม[1]* กชกรบดินทร์ สุขวัฒนาสินิทธ์[1] ชาญณรงค์ กุลเพชร[1] ดวงใจ น้อยวัน[1] และปวาลี ชมภูรัตน์ ธฤติธนเกียรติ์[2]

Praewphan Jomngam[1]* Kotchakonbodin Sukwatthanasinit[1] Channarong Kulphet[1] Duangjai Noiwan[1] and Pavalee Chompoorat Tridtitanakiat[2]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

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

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

[2] Division of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Mueang, Chiang Mai 50100

* Corresponding author: praewphan_jg@mju.ac.th

(Received: 22 April 2024; Revised: 14 August 2024; Accepted: 3 August 2024)

Abstract

Due to enzymatic browning, fresh-cut cabbage has a short shelf life, affecting its quality and being rejected by consumers. The study aimed to investigate the effects of edible coatings (Natacoat and Sucrose fatty acid ester) on the postharvest qualities of fresh-cut cabbage. The experimental design was completely randomized design. The cabbage was peeled, cut, and coated with 0.05% Natacoat, 0.5% Sucrose fatty acid ester, or Control (distilled water), then dried and stored at 5ºC. The results showed that coating with Natacoat and Sucrose fatty acid ester provided better qualities in terms of external appearance, inhibited browning, reduced weight loss, retarded respiration rate, and maintained higher firmness than the control during storage ($p \leq 0.05$). However, fresh-cut cabbage coated with Sucrose fatty acid ester had off-flavor after 8 days of storage. These results indicated that the coating with Natacoat was more effectively maintained the quality of fresh-cut cabbage, preventing an unpleasant smell, and was accepted by consumers and extending shelf life for 8 days at 5ºC.

Keywords: Fresh-cut cabbage, natacoat, sucrose fatty acid ester

บทคัดย่อ

กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากเกิดสีน้ำตาลซึ่งส่งผลต่อคุณภาพและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวชนิดบริโภคได้ (Natacoat และ Sucrose fatty acid ester) ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยนำกะหล่ำปลีมาลอกใบด้านนอกออก ตัดแต่งและเคลือบผิวด้วย Natacoat ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 Sucrose fatty acid ester ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 หรือ ชุดควบคุม (น้ำกลั่น) ผึ่งให้แห้งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า การเคลือบผิวด้วย Natacoat และ Sucrose fatty acid ester สามารถรักษาคุณภาพของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งลักษณะภายนอก ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลออัตราการหายใจและมีความแน่นเนื้อมากกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) แต่การเคลือบผิวด้วย Sucrose

fatty acid ester เริ่มมีกลิ่นที่ผิดปกติเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน ดังนั้น การเคลือบผิวด้วย Natacoat มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยไม่พบกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 8 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค นาทาโคท น้ำตาลซูโครสในรูปเอสเทอร์ของกรดไขมัน

คำนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมผักตัดแต่งพร้อมบริโภคขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผู้บริโภคมีความต้องการผักที่สด มีประโยชน์ต่อสุขภาพและสะดวกในการปรุงอาหารหรือพร้อมรับประทาน (Ansah *et al*., 2018) กะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* L.) เป็นพืชผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและนิยมนำมาทำเป็นผักตัดแต่งพร้อมบริโภค แต่กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคมักมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต้น เช่น การล้าง การปอก ตัดแต่งและหั่น ซึ่งทำให้เซลล์หรือเนื้อเยื่อของผักถูกทำลาย เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่รวดเร็ว ส่งผลให้กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคเกิดการเสื่อมคุณภาพและมีลักษณะทางกายภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

สารเคลือบผิวชนิดบริโภคได้ (edible coating) ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เนื้อสัตว์ ปลา ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนม ผักและผลไม้ การเคลือบผิวเป็นการสร้างชั้นป้องกันแบบกึ่งซึมผ่านได้รอบ ๆ พื้นผิวของผักและผลไม้ เกิดการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมรอบ ๆ ผักและผลไม้ ทำให้ช่วยลดอัตราการหายใจ สังเคราะห์เอทิลีน และชะลอการสุกได้ (Yadav *et al*., 2022) Sucrose fatty acid ester เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากส่วนประกอบของแอลกอฮอล์และกรดไขมัน (Teng *et al*., 2020) นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร โภชนเภสัช เครื่องสำอาง และเภสัชอุตสาหกรรม (Farran *et al*., 2015) สำหรับผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว Sucrose fatty acid ester ถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบผิวชนิดบริโภคได้ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตผล ทำให้อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนลดลง ชะลอการเกิดสีน้ำตาลและช่วยยืดอายุของผลิตผลได้นานขึ้น (Dhall, 2013) การศึกษาก่อนหน้าพบว่า การเคลือบผิวเงาะด้วย Sucrose fatty acid ester ส่งผลให้เกิดการดัดแปลงสภาพบรรยากาศทำให้เกิดการหายใจน้อยลงและลดการสูญเสียน้ำได้ดี (Kaewsuksaeng and Tatmala, 2015) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเคลือบผิวผลลำไยด้วย Sucrose fatty acid ester ร่วมกับกรดออกซาลิก พบว่า ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกผลและชะลอการเน่าเสียของผลลำไยเป็นเวลา 25 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Jomngam and Phimphimol, 2023)

Natacoat เป็นชื่อทางการค้าของสารเคลือบผิวในกลุ่มของ Natamycin ซึ่งเป็น polyene macrolide ธรรมชาติที่ได้จากการหมัก *Streptomyces* spp. และได้รับการอนุญาตให้นำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารกว่า 40 ประเทศ รวมทั้งได้รับการพิจารณาให้เป็นสารเคมีกลุ่ม Generally recognized as safe (GRAS) จาก FDA (Koontz *et al*., 2003) นิยมนำมาใช้เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา (Aparicio *et al*., 2016) Natamycin มีความเป็นพิษต่ำมากต่อเซลล์ของมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Arima *et al*., 2014) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับการนำมาใช้ในยืดอายุการเก็บรักษาและการควบคุมการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวสำหรับผักและผลไม้ ก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาผลของการใช้ Natamycin ในสตรอเบอร์รี่ (Duran *et al*., 2016) เห็ดหอม (Jiang *et al*., 2013)

เห็ดกระดุม (Jiang, 2012) เมล่อนพันธุ์ Hami (Cong *et al*., 2007) และมัลเบอร์รี่ (Wen *et al*., 2019) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Natamycin มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวได้ดี รวมทั้งไม่มีสารเคมีตกค้างในผลิตผลและมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ Natacoat และ Sucrose fatty acid ester เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค ดังนั้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลของการใช้สารเคลือบผิว Natacoat และ Sucrose fatty acid ester ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมผลิตผล

เก็บเกี่ยวกะหล่ำปลีพันธุ์แพชชั่นในระยะความแก่ทางการค้าหรืออายุประมาณ 60 วันหลังจากปลูก ณ แปลงปลูกใน ตำบลแม่สา อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ คัดเลือกกะหล่ำปลีที่มีขนาดและคุณภาพทางด้านกายภาพให้มีลักษณะใกล้เคียงกัน ปราศจากตำหนิและร่องรอยการเข้าทำลายของโรคและแมลง จากนั้นนำกะหล่ำปลีมาลอกใบด้านนอกออก ตัดแต่งให้มีขนาดประมาณ 200 กรัม/ชิ้น เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 กรรมวิธี ๆ ละ 10 ซ้ำ ดังนี้ 1) Natacoat ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 โดยปริมาตรต่อปริมาตร 2) Sucrose fatty acid ester ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และ 3) ชุดควบคุม (น้ำกลั่น) กะหล่ำปลีที่ผ่านการตัดแต่งจะถูกนำมาสเปรย์ด้วยสารเคลือบผิวตามกรรมวิธีที่กำหนด ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที แล้วนำมาบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และบันทึกการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีเป็นเวลา 8 วัน

การบันทึกข้อมูล

การสูญเสียน้ำหนัก: บันทึกน้ำหนักของกะหล่ำปลีก่อนและหลังการเก็บรักษาทุก 2 วัน จากนั้นนำค่าของน้ำหนักที่วัดได้มาคำนวณ ดังสมการ

การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ) = [(น้ำหนักก่อนเก็บรักษา – น้ำหนักหลังการเก็บรักษา)/น้ำหนักก่อนเก็บรักษา] x 100

ความแน่นเนื้อ: วัดความแน่นเนื้อของกะหล่ำปลีด้วยเครื่อง Texture analyzer (Stable Micro System, TAXT.Plus, England) ใช้หัวกดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร กดลงบนกะหล่ำปลีลึก 1 เซนติเมตร ด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตร/นาที ขนาดแรงกด 5 กรัม ซึ่งค่าที่วัดได้จะแสดงเป็นหน่วยนิวตัน (N)

อัตราการหายใจ: วัดอัตราการหายใจด้วยระบบปิด (static system) ดัดแปลงจากวิธีของ Manasikan *et al.* (2011) บรรจุกะหล่ำปลีลงในกล่องพลาสติกปริมาตร 1.5 ลิตร ปิดฝากล่องพลาสติกให้สนิท เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สุ่มเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กะหล่ำปลีปลดปล่อยออกมาด้วย syringe 1 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่อง Gas chromatography (GC-2014, Japan) แบบ Thermal conductivity detector (TCD) อุณหภูมิเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนและฮีเลียมเป็นก๊าซตัวพา อัตราการไหลเท่ากับ 10 มิลลิลิตร/วินาที บันทึกผลการทดลองมีหน่วยเป็น mgCO_2/kg.hr

pH: บดกะหล่ำปลีให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 3 กรัม ใส่ลงบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter (SevenEasy, Switzerland) ในขณะสภาพที่กำลังหมุนด้วย Magnetic stirrer

การเปลี่ยนแปลงสี: วัดการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดของกะหล่ำปลี ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta CR - 400, Japan) ตามระบบ CIE บันทึกข้อมูลด้วยค่า L*, a* และ b*

ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล: นำค่าการเปลี่ยนแปลงสีของกะหล่ำปลี (ค่า L* a* และ b*) มาคำนวณเพื่อหาดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของกะหล่ำปลีตามวิธีของ Ergunes and Tarhan (2006) ดังสมการ

Browning Index = [100 (x – 0.31)] / 0.17

เมื่อ x = (a* + 1.75L*) / (5.645L* + a* – 0.3012b*)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan's multiple rang test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics version 22

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลของสารเคลือบผิว Natacoat และ Sucrose fatty acid ester ต่อการสูญเสียน้ำหนักของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของกะหล่ำปลีตัดแต่งเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลองเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคมีการหายใจเกิดขึ้นตลอดเวลา โดยกระบวนการหายใจดังกล่าวเป็นการดึงเอาอาหารที่สะสมอยู่ในกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคออกไปใช้ในกระบวนการหายใจและปลดปล่อยความร้อนออกมา จึงทำให้อาหารสะสมภายในเซลล์ลดลงและเกิดการสูญเสียน้ำตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Siriphanich, 2010; Jomngam and Phimphimol, 2023) กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคเกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา โดยในชุดควบคุมเกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด ร้อยละ 1.41 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการเคลือบผิวด้วย Natacoat และ Sucrose fatty acid ester เกิดการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า หรือเท่ากับร้อยละ 0.73 และ 0.76 ตามลำดับ ซึ่งสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคตลอดระหว่างการเก็บรักษาได้ (Figure 1A) เนื่องจากสารเคลือบผิวจะทำหน้าที่เสมือนเป็นเยื่อเลือกผ่านที่ปกป้องผิวด้านนอกของผลิตผลที่ได้รับความเสียหายเนื่องจากกระบวนการตัดแต่ง ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซกับบรรยากาศน้อยลง จึงสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำและชะลออัตราการหายใจของผลิตผลได้ (Galus *et al*., 2012) Baipong *et al*. (2022) รายงานว่า มะม่วงมันขุนศรีตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เคลือบผิวด้วย Natacoat ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักตลอดระยะเวลาเก็บรักษา เช่นเดียวกับการใช้ Natamycin ซึ่งเป็นสารกลุ่มเดียวกับ Natacoat ช่วยลดการสูญเสียน้ำและชะลอการเสื่อมสภาพของผลเมล่อนพันธุ์ Hami ในระหว่างการเก็บรักษาได้ (Cong *et al*., 2007) นอกจากนี้ Jomngam and Phimphimol (2023) รายงานว่า การเคลือบผิวผลลำไยพันธุ์ดอด้วย Sucrose fatty acid ester สามารถลดการสูญเสียน้ำและชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน สอดคล้องกับ Jung and Choi (2021) ที่พบว่า Sucrose fatty acid ester สามารถยึดเกาะปกคลุมเนื้อเยื่อชั้น cuticle ของผลแอปเปิ้ลได้อย่างสม่ำเสมอและสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำและยืดอายุการเก็บรักษาผลแอปเปิ้ลได้นานถึง 28 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

การสูญเสียความแน่นเนื้อของผลิตผลเป็นตัวปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้ถึงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้และมีอิทธิพลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึมและปริมาณน้ำในผลิตผล (Nongtaodum and Jangchud, 2009; Sanchez *et al*., 2015) ความแน่นเนื้อของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคในชุด

ควบคุมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุดเท่ากับ 43.7 นิวตัน ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Figure 1B) การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นผลจากการสูญเสียน้ำ หรือจากการทำงานของเอนไซม์ Pectinolytic เนื่องจากการแตกของผนังเซลล์ภายหลังการตัดแต่ง (Sanchez *et al*., 2015) การเคลือบผิวด้วย Natacoat และ Sucrose fatty acid ester มีค่าความแน่นเนื้อระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารเคลือบผิว Natacoat และ Sucrose fatty acid ester มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพในคุณภาพของเนื้อสัมผัสของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคและทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำในผลิตผล เช่นเดียวกับ Yaman and Bayoindrili (2002) รายงานว่า Sucrose fatty acid ester ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลเชอรี่หลังการเก็บเกี่ยวได้ Hamanaka and Izumi (2008) พบว่า Natamycin สามารถยับยั้งการอ่อนตัวของผลมัลเบอร์รี่ หรือคงสภาพความแน่นเนื้อของผลและสีผิวผลมัลเบอร์รี่ได้ดี รวมทั้งช่วยชะลอการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาได้

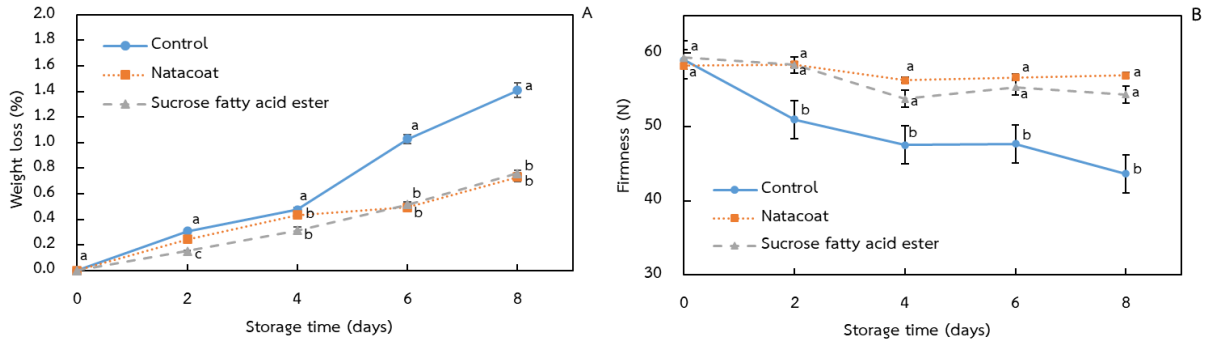


Figure 1 Effect of coating treatment on weight loss (A) and firmness (B) of fresh-cut cabbage during storage at 5º C. Error bars indicate the mean SE (n = 10). Difference letters indicate significant differences between treatments ($p \leq 0.05$)

Figure 2A แสดงอัตราการหายใจของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน พบว่า อัตราการหายใจของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองค่อนข้างสูงในวันที่ 2 เนื่องจากเนื้อเยื่อของกะหล่ำปลีได้รับความเสียหายจากการตัดแต่งจึงมีผลทำให้อัตราการหายใจสูง จากนั้นอัตราการหายใจของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาหรือวันที่ 8 พบว่า อัตราการหายใจของชุดควบคุมสูงสุด เท่ากับ 26.13 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ขณะที่การเคลือบ Sucrose fatty acid ester และ Natacoat มีอัตราการหายใจน้อยกว่า หรือเท่ากับ 18.84 และ 15.87 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ หลักการทำงานของสารเคลือบผิวมีลักษณะคล้ายคลึงกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงบรรยากาศ โดยสารเคลือบจะสร้างสิ่งกีดขวางทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างก๊าซภายในและบรรยากาศ

รอบ ๆ ผลิตผล (Bodbodak and Moshfeghifar, 2016) ซึ่งสภาพแวดล้อมนี้สามารถลดอัตราการหายใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ ชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ (Nor and Ding, 2020) สอดคล้องกับ Wen *et al.* (2019) พบว่าการใช้ Natamycin ช่วยชะลออัตราการหายใจและการเกิดโรคในผลมัลเบอร์รี่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เช่นเดียวกับ Hamanaka and Izumi (2008) รายงานว่า การเคลือบผิวกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วย Mustard extract agent ร่วมกับ Sucrose fatty acid ester ช่วยชะลอการใช้ก๊าซออกซิเจนและการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์แบบ MA ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสได้

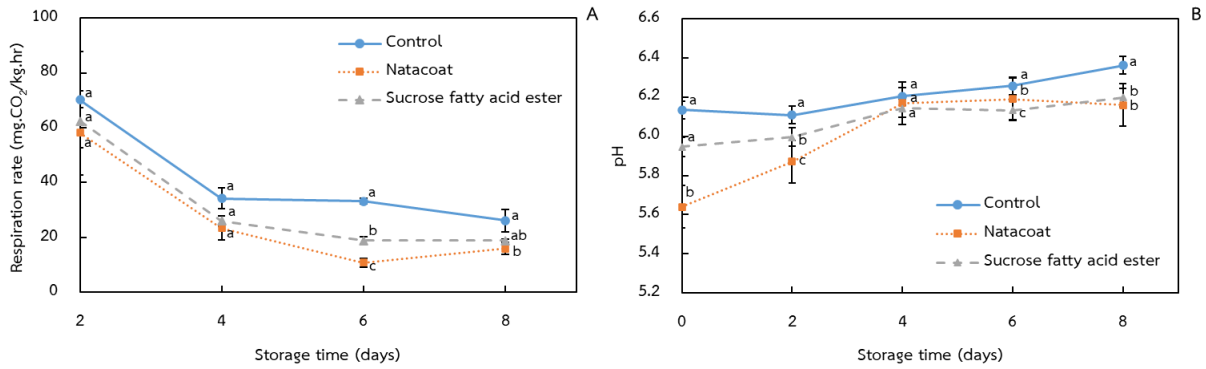


Figure 2 Effect of coating treatment on respiration rate (A) and pH (B) of fresh-cut cabbage during storage at 5°C. Error bars indicate the mean SE (n = 10). Difference letters indicate significant differences between treatments ($p \leq 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคแสดงดัง Figure 2B จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวด้วย Natacoat และ Sucrose fatty acid ester มีผลทำให้ค่า pH ของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคลดลงทันทีหลังจากเคลือบผิว โดยมีค่า pH เท่ากับ 5.64 และ 5.95 ตามลำดับ เนื่องจากสารเคลือบผิวทั้ง 2 ชนิดมีสภาพความเป็นกรดจึงทำให้กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค มีค่า pH ลดลง ในขณะที่ชุดควบคุมมีค่า pH มากกว่าหรือมีค่าเท่ากับ 6.13 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่า pH กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่การเสื่อมสภาพ ซึ่งมีผลทำให้ค่า pH เพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายได้ง่ายขึ้น (Siriphanich, 2010) แต่การใช้สารเคลือบผิว Natacoat และ Sucrose fatty acid ester ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Cong *et al.* (2007) ที่รายงานว่า การเคลือบผิวผลิตผลช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และสามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลิตผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการเคลือบผิวผลิตผลถือเป็นการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในผลิตผล โดยทำให้การแลกเปลี่ยนของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลิตผลมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพได้ นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า ค่า pH มีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลในผลิตผลหลายชนิด (Caro and Joas, 2005; Hai *et al.*, 2014) ดังนั้น การลดลงของค่า pH สามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลในกะหล่ำปลีตัดแต่ง

พร้อมบริโภค และมีความสอดคล้องกับค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วย Natacoat และ Sucrose fatty acid ester (Figure 3D) การเกิดสีน้ำตาลในผลิตผลเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการทำงานของเอนไซม์ PPO ซึ่งเมื่อค่า pH ต่ำ PPO จะเสียสภาพอย่างถาวรไม่สามารถกลับคืนมาอยู่ในรูปที่ active ได้อีก หรือทำให้เอนไซม์ PPO มีกิจกรรมลดลง จึงสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลในผลิตผลได้ (Yoruk and Marshall, 2003) อย่างไรก็ตาม ผลของค่า pH ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO นี้ ยังขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล (Siriphanich, 2010)

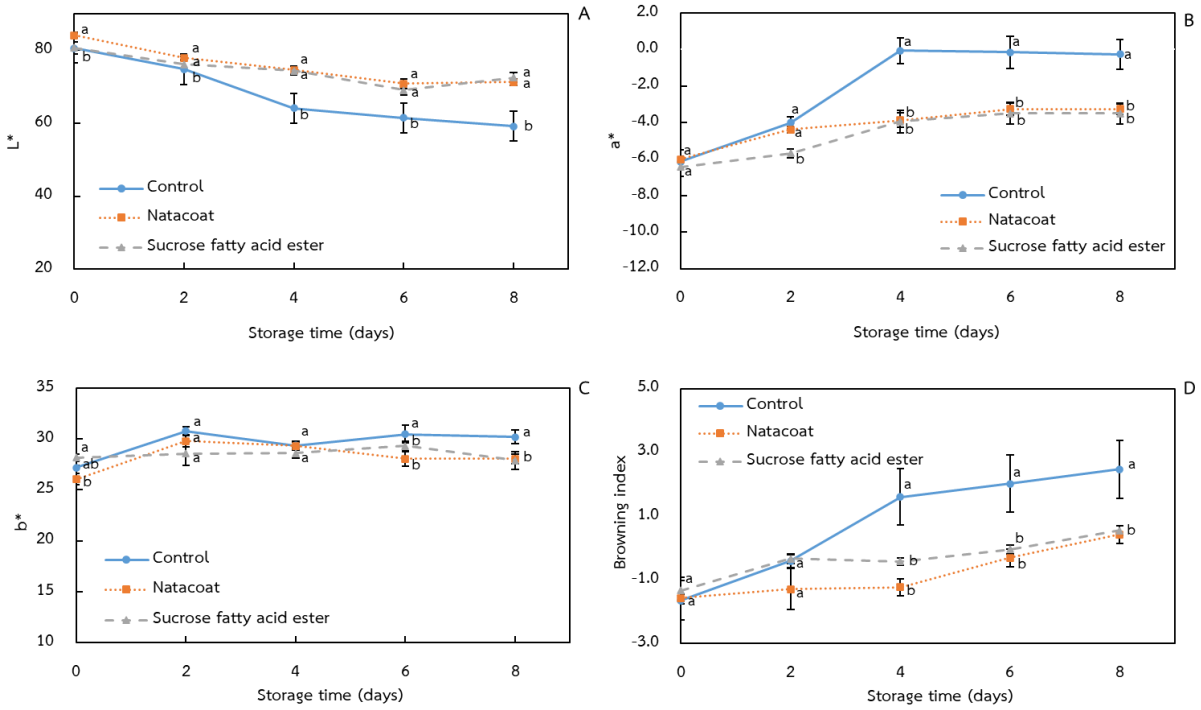


Figure 3 Effect of coating treatment on color; L* value (A), a* value (b), b* value (C), and browning index (D) of fresh-cut cabbage during storage at 5ºC. Error bars indicate the mean SE (n = 10). Difference letters indicate significant differences between treatments ($p \leq 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงสีของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค (ค่า L* a* และ b*) ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน แสดงดัง Figure 3 พบว่า ค่า L* หรือค่าความสว่างลดลง ค่า a* และ b* เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลอง โดยกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เคลือบผิวด้วย Natacoat และ Sucrose fatty acid ester มีค่า L* สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ค่า L* ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (Figure 3A) Thommohaway *et al.* (2007) รายงานว่า การเคลือบผิวฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วย Sucrose fatty acid ester ความเข้มข้นร้อยละ 2 สามารถชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือกฝรั่งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ซึ่งสอดคล้องกับ Baipong *et al.* (2022) ที่รายงานว่า การเคลือบผิวมะม่วงมันขุนศรีตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วย Natacoat และ Sucrose fatty acid ester สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี โดยเฉพาะการลดลงของค่า L* ตลอด

ระยะเวลาการเก็บรักษาและช่วยบรรเทาการเกิดสีน้ำตาลได้ ส่วนค่า a* และ b* ของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคพบการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในชุดที่เคลือบผิวด้วย Natacoat และ Sucrose fatty acid ester ในระหว่างการเก็บรักษา ขณะที่ชุดควบคุมมีค่า a* และ b* สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3B และ 3C) เนื่องจากมีการเกิดสีน้ำตาลขึ้นในกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าสี b* สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cho and Moon (2014) รายงานว่า การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดแต่งของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภคส่งผลให้ค่าสี b* เพิ่มขึ้นตามด้วย

ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลในกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 2 - 8 วันหลังจากเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากกะหล่ำปลีที่ผ่านการตัดแต่งทำให้เนื้อเยื่อได้รับความเสียหายหรือเกิดการฉีกขาด จึงเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PPO เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคมีสีคล้ำขึ้นหรือปรากฏอาการสีน้ำตาล (Banerjee *et al*., 2015) จาก Figure 3D พบว่า กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เคลือบผิวด้วย Natacoat และ Sucrose fatty acid ester มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเคลือบผิวส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพทางด้านสีของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภค เนื่องจากการเคลือบผิวทำให้พื้นที่ผิวของผลิตผลสัมผัสกับออกซิเจนได้น้อยลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นช้าลงและลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO จึงสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ (Rezapour *et al*., 2016) Kaewsuksaeng and Tatmala (2015) รายงานว่า การเคลือบผิวผลเงาะด้วย Sucrose fatty acid ester ทำให้เกิดสภาพบรรยากาศดัดแปลงทำให้เกิดการหายใจที่น้อยลงและลดการสูญเสียน้ำในผลิตผลได้ ส่งผลให้การเกิดสีน้ำตาลที่ผลเงาะลดน้อยลง เช่นเดียวกับการเคลือบผิวด้วย Natacoat สามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลในมะม่วงมันขุนศรีตัดแต่งพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน (Baipong *et al*., 2022) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การใช้ Natamycin ในผลมัลเบอร์รี่ช่วยชะลอการเน่าเสีย ยับยั้งอัตราการหายใจ และลดกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ PPO ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Wen *et al*., 2019) ถึงแม้ว่าการเคลือบผิวด้วย Sucrose fatty acid ester ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Figure 4) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นหรือในวันที่ 8 พบว่า กะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เคลือบผิวด้วย Sucrose fatty acid ester เริ่มมีกลิ่นที่ผิดปกติและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ขณะที่การเคลือบผิวกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วย Natacoat ยังคงมีกลิ่นและรสชาติปกติ (ไม่ได้แสดงข้อมูลในผลการทดลอง)

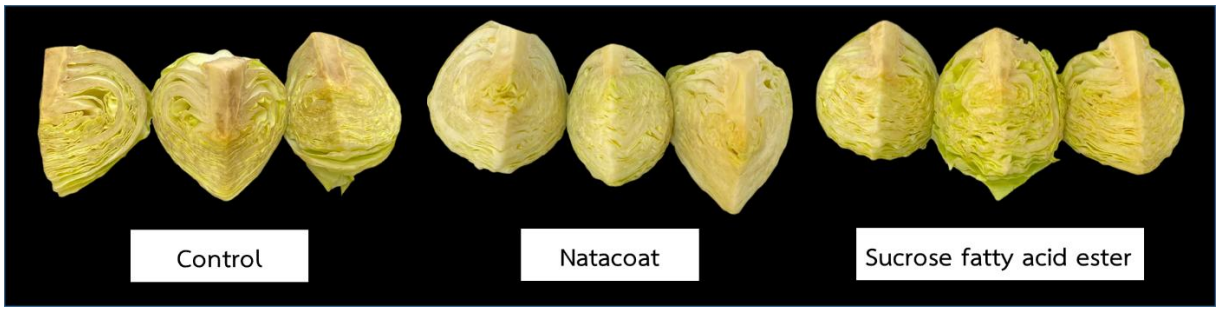


Figure 4 External appearance of fresh-cut cabbage with different treatments during storage at 5°C for 8 days

สรุปผลการวิจัย

การเคลือบผิวด้วย Natacoat ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคทั้งลักษณะภายนอก ลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลออัตราการหายใจและการเปลี่ยนแปลงของสี ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดและคงความแน่นเนื้อได้ดี โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 8 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิว Natacoat เพื่อการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษากะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อมบริโภคอาจเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับอุตสาหกรรมผักตัดแต่งพร้อมบริโภคที่กำลังขยายตัวในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Ansah, F.A., M.L. Amodio and G. Colelli. 2018. Quality of fresh-cut products as affected by harvest and postharvest operations. Journal of the Science of Food and Agriculture 98(10): 3614-3626.

Aparicio, J.F., E.G. Barreales, T.D. Payero, C.M. Vicente, A. de Pedro and A.J. Santos. 2016. Biotechnological production and application of the antibiotic pimaricin: Biosynthesis and its regulation. Applied Microbiology and Biotechnology 100: 61-78.

Arima, A.A., F.J. Pavinatto, O.N. de Oliveira and E.R.P. Gonzales. 2014. The negligible effects of the antifungal natamycin on cholesterol-dipalmitoyl phosphatidylcholine monolayers may explain its low oral and topical toxicity for mammals. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 122: 202-208.

Baipong, R., S. Chanokseranee, K. Yamsai and P. Jomngam. 2022 . Effects of edible coating on quality and storage life of fresh-cut mango cv. Mun Kun Si. Agricultural Science Journal 53(3): 48-51. [in Thai]

Banerjee, A., S. Penna, P.S. Variyar and A. Sharma. 2015. Gamma irradiation inhibits wound induced browning in shredded cabbage. Food Chemistry 173: 38-44.

Bodbodak, S. and M. Moshfeghifar. 2016. Advances in modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. pp. 127-183. *In* M.W. Siddiqui (ed.). Eco-friendly technology for postharvest produce quality. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Caro, Y. and J. Joas. 2005. Postharvest control of litchi pericarp browning (cv. Kwai Mi) by combined treatments of chitosan and organic acids: II. Effect of the initial water content of pericarp. Postharvest Biology and Technology 38(2): 137-144.

Cho, J.S. and K.D. Moon. 2014. Comparison of image analysis methods to evaluate the degree of browning of fresh-cut lettuce. Food Science and Biotechnology 23: 1043-1048.

Cong, F., Y. Zhang and W. Dong. 2007. Use of surface with natamycin to improve the storability of Hami melon at ambient temperature. Postharvest Biology and Technology 46: 71-75.

Dhall, R.K. 2013. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 53(5): 435-450.

Duran, M., M.S. Aday, N.N.D. Zorba, R. Temizkan, M.B. Buyukcan and C. Caner. 2016. Potential of antimicrobial active packaging containing natamycin, nisin, pomegranate and grape seed extract in chitosan coating to extend shelf life of fresh strawberry. Food and Bioproducts Processing 98: 354-363.

Ergunes, G. and S. Tarhan. 2006. Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. Journal of Food Engineering 76(3): 446-452.

Farran, A., C. Cai, M. Sandoval, Y. Xu, J. Liu, M. J. Hernaiz and R. J. Linhardt. 2015. Green solvents in carbohydrate chemistry: From raw materials to fine chemicals. Chemical reviews 115(14): 6811-6853.

Hai, L.H., A. Joomwong, Y. Chanbang and J. Uthaibutra. 2014. Effect of oxalic acid dipping and wax coating on pericarp browning and storage life of fresh Vietnamese longan fruit cv. Long. International Journal of Agriculture Innovations and Research 3(2): 670-677.

Hamanaka, D. and H. Izumi. 2008. Combined effect of mustard and hop extract agents with emulsifier on microbial quality and physiology of fresh-cut vegetables. Food Science and Technology Research 14(6): 565-572.

Galus, S., H. Mathieu, A. Lenart and F. Debeaufort. 2012. Effect of modified starch or maltodextrin incorporation on the barrier and mechanical properties, moisture sensitivity and appearance of soy protein isolate-based edible films. Innovative Food Science and Emerging Technologies 16: 148-154.

Jiang, T.J. 2012. Effect of natamycin in combination with pure oxygen treatment on postharvest quality and selected enzyme activities of button mushroom (*Agaricus bisporus*). Journal of Agricultural and Food Chemistry 60: 2562-2568.

Jiang, T.J., L.F. Feng, X.L. Zheng and J.R. Li. 2013. Physicochemical responses and microbial characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) to gum arabic coating enriched with natamycin during storage. Food Chemistry 138: 1992-1997.

Jomngam, P. and J. Phimphimol. 2023. Effect of oxalic acid and sucrose fatty acid ester on the postharvest quality of longan fruit cv. Daw. Agricultural Science Journal 54(2): 181-192. [in Thai]

Jung, S.K. and H.S. Choi. 2021. Fruit quality and antioxidant activities of yellow-skinned apple cultivars coated with natural sucrose monoesters. Sustainability 13: 2423.

Kaewsuksaeng, S. and N. Tatmala. 2015. Color change and effect of coating with sucrose fatty acid ester on postharvest quality and storage life on off-season rambutan cv. Rongrian. Khon Kaen Agriculture Journal Supplement 43(1): 811-817. [in Thai]

Koontz, J.L., J.E. Marcy, W.E. Barbeau and S.E. Duncan. 2003. Stability of natamycin and its cyclodextrin inclusion complexes in aqueous solution. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51(24): 7111-7114.

Manasikan, T., K. Tomako, N. Nobutaka, Y. Makoto, S. Ayaka and S. Takeo. 2011. Influence of impact stress on postharvest physiological and chemical properties of cabbage heads. Food Preservation Science 37(6): 273-282.

Nongtaodum, S. and A. Jangchud. 2009. Effects of edible chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (Fa-lun) during Storage. Agriculture and Natural Resources 43: 282-289.

Nor, S.M. and P. Ding. 2020. Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review. Food Research International 134: 109208.

Rezapour, I., T. Jasemizad, M. Ayatollahi, M. Zamani, S. Aghaei and A. Jebali. 2016. The presentation of a new inhibitor to prevent enzymatic browning in mushroom, banana, and apple. International Journal of Environmental Science and Technology 13(4): 1109-1122.

Sanchez, C., F.C. Lidon, M. Vivas, P. Ramos, M. Santos and M.G. Barreiro. 2015. Effect of chitosan coating on quality and nutritional value of fresh-cut 'Rocha' pear. Emirates Journal of Food and Agriculture 27(2): 206-214.

Siriphanich, J. 2010. Postharvest biology and plant senescence. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. [in Thai]

Teng, Y., S.G. Stewart, Y.W Hai, X. Li, M.G. Banwell and P. Lan. 2020. Sucrose fatty acid esters: synthesis, emulsifying capacities, biological activities and structure-property profiles. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 19(61): 3297-3317.

Thommohaway, C., A. Uthairatanakij and P. Jitareerat. 2007. Effects of sucrose fatty acid ester on the quality of fresh-cut guava *(Psidium guava*). Acta Horticulturae 746: 455-460.

Wen, M., X. Lin, Y. Yu, J. Wu, Y. Xu and G. Xiao. 2019. Natamycin treatment reduces the quality changes of postharvest mulberry fruit during storage. Journal of Food Biochemistry 43(8): 1-12.

Yadav, A., N. Kumar, A. Upadhyay, S. Sethi and A. Singh. 2022. Edible coating as postharvest management strategy for shelf-life extension of fresh tomato (*Solanum lycopersicum* L.): An overview. Journal of Food Science 87: 2256-2290.

Yaman, O. and L. Bayoindrili. 2002. Effects of an edible coating and cold storage on shelf life and quality of cherries. LWT-Food Science and Technology 35(2): 146-150.

Yoruk, R. and M.R. Marshall. 2003. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: A review. Journal of Food Biochemistry 27(5): 361-422.