Journal of Agri. Research & Extension 41(2): 123-134

# ผลของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและไคโตแซนต่อการเกิดสีน้ำตาล และการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง

# Effect of Sodium Bicarbonate Solution and Chitosan on Browning and Bacterial Contamination in Ready-to-Cook 'Thai Round Green' Eggplant

**พรมงคล จิระกิตติดุลย์[1] กัลยา ศรีพงษ์[1] อภิรดี อุทัยรัตนกิจ[1,2] และผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์[1,2*]**

**Phonmongkol Jiragittidoon[1], Kanlaya Sripong[1], Apiradee Uthairatanakij[1,2] and Pongphen Jitareerat[1,2*]**

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

[2]ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

[1]Division of Postharvest Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi Bangkok, Thailand 10140

[2]Postharvest Technology Innovation Center, Commission of Higher Education, Bangkok, Thailand 10400

*Corresponding author: pongphen.jit@kmutt.ac.th

**Received:** *September 29, 2022*
**Revised:** *December 11, 2023*
**Accepted:** *January 17, 2024*

## Abstract

At present, the demand for ready-to-cook fruit and vegetables tends to increase due to their convenience and time-saving cooking. A problem of ready-to-cook eggplant is browning on cut-surface and microbial contamination. The objective of the research was to retard browning and microbial contamination in ready-to-cook eggplant. Eggplants were washed with tap water and cut to be 4 pieces. The pieces of eggplant samples were dipped in 0.5% sodium bicarbonate (SBC) solution or 1% chitosan solution, compared to the control (distilled water). All fresh-cut samples were kept at 4°C for 6 days. The result found that SBC treatment efficiently retarded browning compared with the control, as indicated by a high L* value (lightness) in the cut surface, while a* value (green-red) and browning index were significantly lower than those of the control. However, chitosan treatment increased browning, the accumulation of total phenolic content, and the respiration rate. Moreover, SBC and chitosan decreased the contamination of total bacteria with no effects on weight loss and firmness during storage. The results indicate that 0.5% SBC treatment has the potential to decrease browning and microbial contamination in ready-to-cook eggplant.

**Keywords:** browning index, coating substance, eggplant, ready to cook

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันความต้องการบริโภคผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมปรุงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากช่วยอำนวยความสะดวกและลดเวลาในการประกอบอาหาร ปัญหาของมะเขือเปราะตัดแต่ง คือ การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดและการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเกิดสีน้ำตาลและลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง นำมะเขือเปราะล้างด้วยน้ำประปาและตัดออกเป็น 4 ชิ้น นำมาจุ่มในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate, SBC) 0.5% และไคโตแซน 1% เปรียบเทียบการจุ่มในน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) เก็บรักษาที่ 4°ซ. นาน 6 วัน พบว่าสารละลาย SBC สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยบริเวณรอยตัดมีค่า L* (ความสว่าง) สูง มีค่า a* (สีเขียว-แดง) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ไคโตแซนมีผลเร่งการเกิดสีน้ำตาล การสะสมปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และอัตราการหายใจ นอกจากนี้การใช้ SBC และไคโตแซนมีผลช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดและไม่มีผลกระทบต่อการสูญเสียน้ำหนักสดและความแน่นเนื้อในระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลาย 0.5% SBC มีศักยภาพลดการเกิดสีน้ำตาลและการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุงได้


**คำสำคัญ**: ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล สารเคลือบผิว มะเขือเปราะ การตัดแต่งพร้อมปรุง

## คำนำ

มะเขือเปราะ (*Solanum xanthocarpum* Schard. & Wendl.) เป็นผักที่ใช้ในการประกอบอาหารได้หลายรูปแบบ เช่น แกงเผ็ด ผัดเผ็ด ลวกหรือรับประทานสดกับน้ำพริกต่าง ๆ มะเขือเปราะอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระ (Chanasut and Rattanapanone, 2008) ปัจจุบันการทำธุรกิจผักและผลไม้ตัดแต่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ห้างสรรพสินค้าและผู้ค้าในตลาดสดหันมาจำหน่ายผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมปรุงเพิ่มมากขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้บริโภค หนึ่งในนั้น คือ ธุรกิจการนำมะเขือเปราะมาตัดแต่งเพื่อพร้อมจำหน่าย แต่มะเขือเปราะมีสารประกอบฟีนอลเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (Cao *et al*., 1996; Chumyam *et al*., 2013; Dranca and Oroian, 2017) ซึ่งการตัดแต่งทำให้เซลล์บริเวณรอยตัดได้รับความเสียหาย ทำให้สารประกอบฟีนอลทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ในสภาพที่มีออกซิเจน มีผลทำให้บริเวณรอยตัดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่สวยงาม และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Jiraphothithum *et al*., 2010)

การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้ตัดแต่งหลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี ได้แก่ Citric acid, Oxalic acid (Suttirak and Manurakchinakorn, 2010), Ascorbic acid (Yildiz, 2018) และ Hydrogen peroxide (Peng *et al*., 2008) การใช้วิธีทางกายภาพ เช่น การจุ่มน้ำร้อน (Grzegorzewska *et al*., 2022) การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Teixeira *et al*., 2008) และการใช้สารเคลือบ ได้แก่ เจลว่านหางจระเข้ (Mohebbi *et al*., 2012) และไคโตแซน (Gonzalez *et al*., 2009) เป็นต้น ซึ่งสารเคลือบบางชนิดมีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ด้วย เช่น การเคลือบไคโตแซนสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในแอปเปิลตัดแต่งพันธุ์ Fuji (Qi *et al*., 2011) และแพร์ตัดแต่งพันธุ์ d'Anjou (Xiao *et al*., 2011) ได้ดีระหว่างการเก็บรักษา

การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์เป็นอีกหนึ่งปัญหาที่สำคัญในการผลิตผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมปรุง โดยจุลินทรีย์ที่มักปนเปื้อนมี 2 กลุ่มใหญ่ คือ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและจุลินทรีย์ก่อโรคที่เป็นอันตราย

ต่อผู้บริโภค จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีวิธีการที่หลากหลายในการลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น การใช้สารเคมี ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไบคาร์บอเนต (Pinto *et al*., 2015) และการใช้วิธีทางกายภาพ ได้แก่ รังสียูวี อัลตราซาวด์ และการใช้แรงดันสูง (Fan and Wang, 2022) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีจำเป็นต้องใช้สารเคมีที่ได้รับการยอมรับความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จัดเป็นสารในกลุ่ม Generally Recognized as Safe (GRAS) (Geng *et al*., 2011) เช่น การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10-100 mM สามารถกำจัดการปนเปื้อนของเชื้อ *Escherichia coli* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Labaiden *et al*., 2013) นอกจากนี้ยังสามารถใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 64 กรัม/ลิตร เพื่อควบคุมเชื้อรา *Penicillium digitatum* ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของพืชตระกูลส้ม (Karim and Aljarah, 2023) ได้อีกด้วย จากการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าทั้งโซเดียมไบคาร์บอเนตและไคโตแซนมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์และลดการเกิดสีน้ำตาลได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือไคโตแซนในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุงและการจุ่มสารละลาย SBC และสารเคลือบไคโตแซน

ทำการคัดเลือกผลมะเขือเปราะที่มีขนาด และสีใกล้เคียงกัน ปราศจากตำหนิของโรคและแมลง โดยมะเขือเปราะที่นำมาใช้ในการทดสอบมีระยะสุกแก่ประมาณ 70-75% (ซึ่งเมื่อนำผลมาผ่าครึ่งจะพบว่าเมล็ดของมะเขือเปราะเป็นสีน้ำตาลอ่อนและยังไม่แยกตัวออกจากเนื้อผล) จากนั้นนำมาล้างน้ำสะอาด และทำความสะอาดฆ่าเชื้อที่ผิวด้วย Sodium hypochlorite ความเข้มข้น 200 ppm นาน 5 นาที สะเด็ดน้ำให้แห้ง ทำการแบ่งมะเขือเปราะเป็น 3 ทรีตเมนต์ โดยแต่ละทรีตเมนต์จะทำการตัดผลมะเขือเปราะเป็น 4 ส่วน และล้างในน้ำกลั่นก่อนนำไปแช่สารละลายหรือเคลือบสาร ดังนี้ ทรีตเมนต์ที่ 1 แช่ในน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว นาน 2 นาที (ชุดควบคุม) ทรีตเมนต์ 2 แช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate, SBC) ความเข้มข้น 0.5% นาน 2 นาที ทรีตเมนต์ 3 เคลือบมะเขือเปราะตัดแต่งด้วยไคโตแซน ความเข้มข้น 1% (โดยใช้ Acetic acid ความเข้มข้น 0.3% เป็นตัวทำละลายไคโตแซน) (ซึ่งความเข้มข้นของ SBC และไคโตแซนที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการทดสอบเบื้องต้น และพบว่าเป็นความเข้มข้นที่ลดการเกิดสีน้ำตาลได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม) จากนั้นผึ่งตัวอย่างให้แห้ง ก่อนบรรจุในถาดพลาสติกชนิด Polypropylene (PP ขนาด 5.5x7.5x2.5 ซม.) สีดำ จำนวน 10 ชิ้น/ถาด และสวมถาดใส่ในถุงพลาสติกชนิด Low Density Polypropylene (LDPE ขนาด 7x11 ซม.) ปิดผนึกด้วยเครื่องซีล และเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±1℃. วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) แต่ละทรีตเมนต์มี 4 ซ้ำ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมะเขือเปราะทุก ๆ 2 วัน จนครบ 6 วัน เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ ชีวเคมี และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์

### การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพและชีวเคมีของมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง

1. การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดของมะเขือเปราะตัดแต่ง ทำโดยใช้เครื่อง Minolta colorimeter 400 และรายงานผลค่าความสว่าง (L* value) ค่าสีเขียว–แดง (a* value) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ตามวิธีการของ Palou *et al*. (1999)

2. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด นำมะเขือเปราะตัดแต่งแต่ละทรีตเมนต์ นำมาชั่งน้ำหนักสด โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

3. อัตราการหายใจ นำมะเขือเปราะตัดแต่งบรรจุลงในกล่องพลาสติกปิดสนิทขนาดปริมาตรกล่อง 240 มล. เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4±1°ซ. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นดูดแก๊สจากกล่องปริมาตร 1 มล. มาหาปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเครื่อง Gas analyzer (LI-7000, USA) รายงานผลการทดลองในหน่วย mg CO2/kg.hr

4. ความแน่นเนื้อ นำมะเขือเปราะตัดแต่งมาวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง SHIMADZU (EZ-LX, 500N) ใช้อุปกรณ์เป็นหัวตัด ตั้งค่าแรงกดให้สามารถกดวัตถุได้สูงสุด 450 นิวตัน (N) ความเร็วในการกดเท่ากับ 10 มม. นาที/บันทึกผลค่าของแรงที่ใช้ในการกดวัตถุมากที่สุด ค่าที่วัดได้รายงานในหน่วย N

5. ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีการของ Singleton *et al*., 1999) นำเนื้อผลมะเขือเปราะตัดแต่งน้ำหนัก 2 กรัม ผสมกับเอทานอลความเข้มข้น 80% ปริมาณ 5 มล. ปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง Homogenizer แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4°ซ. เป็นระยะเวลา 20 นาที ดูดสารละลายตัวอย่าง 0.04 มล. เติมน้ำกลั่น 1.58 มล. และสารละลาย Folin-Ciocaltou's phenol reagent ปริมาตร 0.1 มล. จากนั้นเติมสารละลาย Sodium carbonate ($Na_2CO_3$) ความเข้มข้น 20% ปริมาตร 0.3 มล. นำไปบ่มที่มืดที่อุณหภูมิ 40°ซ. นาน 30 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 nm นำค่าที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย Gallic acid และรายงานผลในหน่วย mg/100g Fresh weight

6. กิจกรรมเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) (ดัดแปลงจากวิธีการของ Benjamin and Montgomery, 1973) นำเนื้อเยื่อผลมะเขือเปราะตัดแต่งน้ำหนัก 1.5 กรัม ผสมกับ Sodium phosphate buffer (SPB) ความเข้มข้น 0.05 M pH 7; ปริมาตร 5 มล. ร่วมกับสาร Poly (vinylpolypyrrolidone) (PVPP) ปริมาตร 0.05 กรัม และ Triton X-100 ความเข้มข้น 1% ปริมาตร 0.05 มล. หลังจากนั้นทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง Homogenizer แล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4°ซ. นาน 20 นาที จากนั้นดูดสารละลายปริมาตร 0.25 มล. ผสมกับ SPB 0.75 มล. และ 4-methyl catechol ความเข้มข้น 23 N ปริมาตร 0.75 มล. แล้วจึงวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 410 nm นาน 1 นาที ค่าที่ได้นำมาคำนวณร่วมกับปริมาณโปรตีนทั้งหมดตามวิธีการของ Bradford (1976) และรายงานผลกิจกรรมของเอนไซม์ในหน่วย unit/mg protein

**การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์**

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด โดยนำตัวอย่างมะเขือเปราะตัดแต่งจำนวน 25 กรัม ใส่ในถุง Stomacher และเติมน้ำเปปโตนความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 225 มล. นำไปตีปั่นด้วยเครื่อง Stomacher นาน 1 นาที จากนั้นนำตัวอย่างปริมาณ 100 µl หยดบนหน้าอาหาร Plate Count Agar (PCA) เกลี่ยให้ทั่วแล้วจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°ซ. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนโคโลนี และรายงานผลการทดลองในหน่วย $log_{10}$CFU/g (Beltran *et al*., 2005)

**การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) แต่ละทรีตเมนต์มี 4 ซ้ำ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลา 6 วัน และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SAS version 9.0 ด้วยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

## ผลการวิจัย

### ผลของ SBC และไคโตแซนต่อการเกิดสีน้ำตาลของมะเขือเปราะตัดแต่ง

มะเขือเปราะตัดแต่งที่จุ่มในสารละลาย SBC มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสว่าง (L* value) ที่มีค่ามากที่สุดและค่าสีแดง (a* value) ที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมะเขือเปราะตัดแต่งในชุดควบคุมและมะเขือเปราะที่เคลือบไคโตแซนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่มะเขือเปราะที่เคลือบไคโตแซน มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่มีค่ามากที่สุด ค่าความสว่างน้อยที่สุดและมีค่าสีแดงมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 1)

### ผลของ SBC และไคโตแซนต่อคุณภาพของมะเขือเปราะตัดแต่ง

การแช่มะเขือเปราะตัดแต่งใน SBC และเคลือบไคโตแซน ไม่สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักสดของมะเขือเปราะตัดแต่งทุกทรีตเมนท์มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.52-2.78% (Figure 2A) มะเขือเปราะตัดแต่งที่แช่ใน SCB และที่เคลือบไคโตแซน มีอัตราการหายใจสูงในวันแรก (1.00 และ 1.24 mg $CO_2$/kg.hr ตามลำดับ) จากนั้นลดลงในวันที่ 2 และคงที่ในวันที่ 4-6 ของการเก็บรักษา โดยมะเขือเปราะที่แช่ใน SBC มีอัตราการหายใจน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (0.22-0.99 mg $CO_2$/kg.hr) และที่เคลือบไคโตแซนมีอัตราการหายใจมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (0.36-1.27 mg $CO_2$/kg.hr) (Figure 2B) ความแน่นเนื้อของมะเขือเปราะตัดแต่งมีค่าลดลงเล็กน้อยและไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันสุดท้ายมีค่าอยู่ระหว่าง 22.60-25.00 N (Figure 2C)

มะเขือเปราะตัดแต่งจุ่มสารละลาย SBC มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด (28.20-33.39 มก./100 กรัมน้ำหนักสด) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่มะเขือเปราะตัดแต่งที่เคลือบไคโตแซน มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดในวันแรก และมีปริมาณลดลงระหว่างการเก็บรักษาอยู่ในช่วงระหว่าง 32.62-43.72 มก./100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าสูงกว่ามะเขือเปราะตัดแต่งในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3A) สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของมะเขือเปราะตัดแต่งทุกทรีตเมนต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยจากวันแรกถึงวันที่ 4 และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละทรีตเมนต์ (มีค่าอยู่ระหว่าง 26.66-37.13 Unit/mg protein) และในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา มะเขือเปราะที่เคลือบไคโตแซนมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มสูงมากที่สุด เท่ากับ 54.13 Unit/mg protein (Figure 3B)

### ผลของ SBC และไคโตแซนต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในมะเขือเปราะตัดแต่ง

มะเขือเปราะตัดแต่งที่จุ่มในสารละลาย 0.5% SBC และการเคลือบด้วยไคโตแซน สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม ซึ่งมีปริมาณการปนเปื้อนเพียง 0.36-1.11 $\log_{10}$ CFU/g ในขณะที่ชุดควบคุมมีการปนเปื้อนสูง เท่ากับ 2.06 $\log_{10}$ CFU/g (Figure 4)

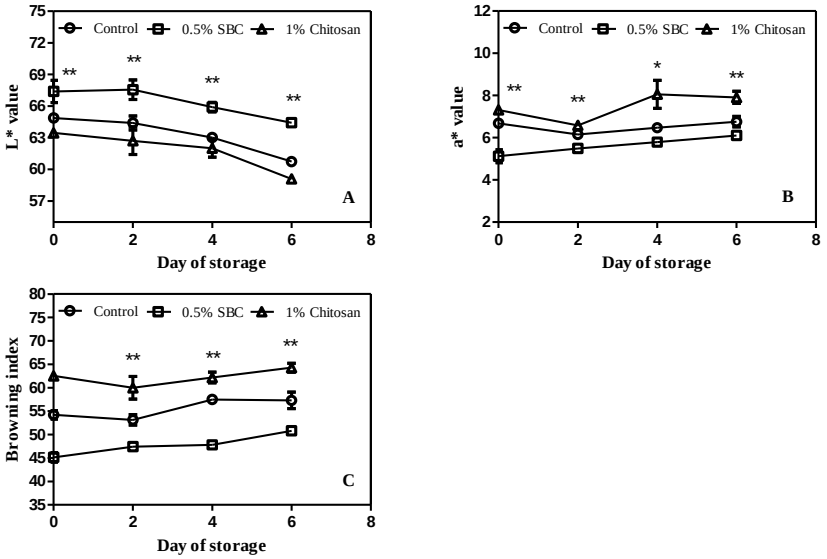



**Figure 1** Effect of sodium bicarbonate solution and chitosan coating on L* value (A), a* value (B), and browning index (C) of ready-to-cook eggplant during storage; Vertical bars represent the standard deviation of the means of triplicate assays. The symbols (*) and (**) showed significant differences at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

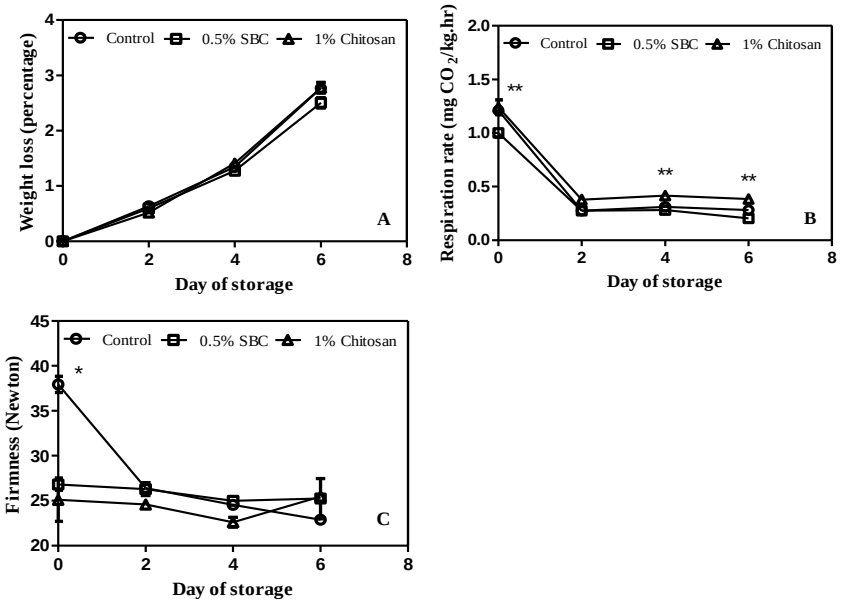



**Figure 2** Effect of sodium bicarbonate solution and chitosan coating on weight loss (A), respiration rate (B), and firmness (C) of ready-to-cook eggplant during storage; Vertical bars represent the standard deviation of the means of triplicate assays; The symbols (*) and (**) showed significantly different at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

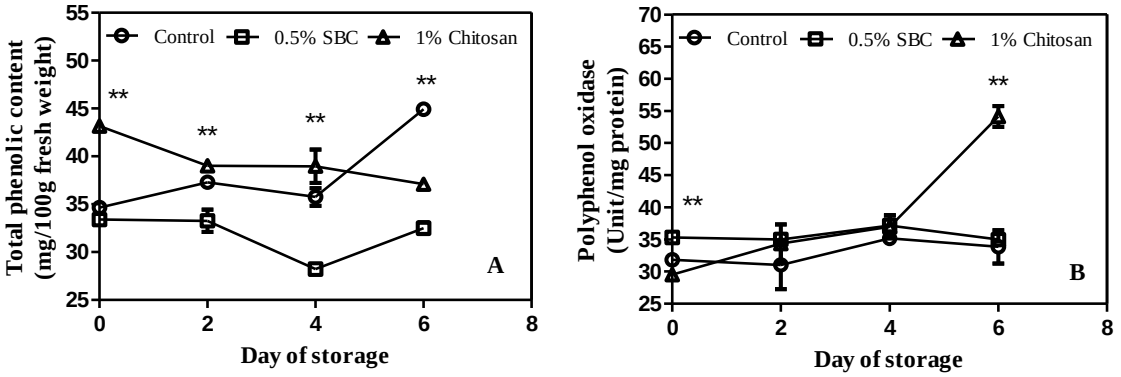



**Figure 3** Effect of sodium bicarbonate solution and chitosan coating on total phenolic content (A) and polyphenol oxidase (B) of fresh-cut eggplant during storage; Vertical bars represent the standard deviation of the means of triplicate assays. The symbols (*) and (**) showed significant differences at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

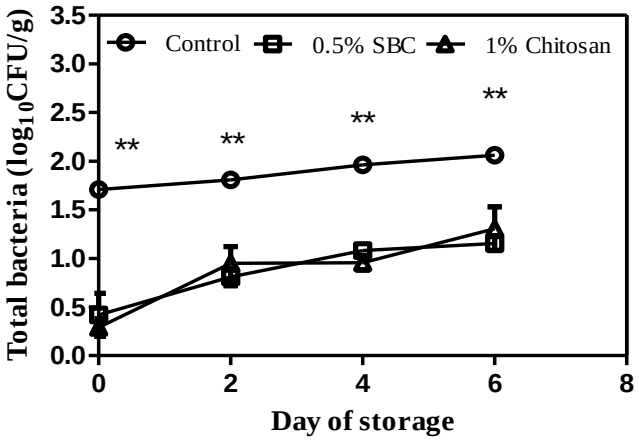



**Figure 4** Effect of sodium bicarbonate solution and chitosan coating on total bacteria of ready-to-cook eggplant during storage; Vertical bars represent the standard deviation of the means of triplicate assays. The symbols (*) and (**) showed significant differences at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

## วิจารณ์ผลการวิจัย

มะเขือเปราะตัดแต่งที่ในจุ่มสารละลาย 0.5% SBC นาน 2 นาที สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมเอนไซม์ PPO ที่พบว่ามีค่าต่ำสุด ส่งผลให้มะเขือเปราะตัดแต่งมีค่าความสว่าง (L* value) มากที่สุด มีค่าสีแดง (a* value) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองเดียวกับงานวิจัยของ Kumari *et al.* (2021) ที่รายงานว่าการแช่รากบัวตัดแต่งในสารละลาย SBC ความเข้มข้น 2-6% นาน 10 นาที ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาล และมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น ซึ่งการศึกษาของ Fallir *et al.* (1997) พบว่าเมื่อ SCB ละลายในน้ำ จะเกิดไอออนประจุลบส่งผลให้สารละลายมีความด่างสูง (pH 8.2) ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์ PPO ซึ่งปกติจะทำงานได้ดีที่ pH 5-7 (Concellon *et al.*, 2004) สำหรับการใช้สารเคลือบไคโตแซน มีผลทำให้บริเวณรอยตัดของมะเขือเปราะปรากฏสีน้ำตาลขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์ของพืชได้รับความเสียหายจาก Acetic acid ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายของไคโตแซน ซึ่งยืนยันได้จากการนำมะเขือเปราะตัดแต่งมาจุ่มใน Acetic acid ความเข้มข้น 0.3% พบว่าเนื้อเยื่อบริเวณรอยตัดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วภายใน 15 นาที (Figure 5) มะเขือเปราะตัดแต่งที่เคลือบไคโตแซนมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดและมีกิจกรรมเอนไซม์ PPO สูง ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชได้รับบาดเจ็บจาก Acetic acid ทำให้พืชสังเคราะห์ฟีนอลิกเพิ่มขึ้น และกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์ PPO ให้สูงเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Siatka and Kašparová, 2010) (Figure 3B)

มะเขือเปราะตัดแต่งที่จุ่มใน 0.5% SBC มีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียต่ำที่สุด เนื่องจาก SBC มีค่า pH สูง (pH 8.2) และมีไอออนลบ เมื่อไปสัมผัสกับพื้นผิวของแบคทีเรีย ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียเกิดการรั่วไหล และไม่สามารถดำรงชีวิตได้ (Farha *et al.*, 2018) ในขณะเดียวกับ การเคลือบผิวมะเขือเปราะด้วยไคโตแซนก็สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากไคโตแซนมีคุณสมบัติเป็นประจุบวก เมื่อสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประจุลบ ทำให้เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เสียสภาพ นำไปสู่การรั่วไหลของสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ ทำให้ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ (Bautista-Baños *et al.*, 2006)

การจุ่มมะเขือเปราะตัดแต่งใน SBC และการเคลือบไคโตแซนไม่สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ และความแน่นเนื้อ ของมะเขือเปราะตัดแต่งได้ เนื่องจากสารละลาย SBC ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มเหมือนไคโตแซนได้ จึงไม่สามารถช่วยลดการหายใจและการคายน้ำของพืชได้ ส่งผลให้มะเขือเปราะมีน้ำหนักสดและความแน่นเนื้อลดลง อย่างไรก็ตามพบว่า สารเคลือบไคโตแซนมีผลเร่งให้มะเขือเปราะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อมะเขือเปราะได้รับความเสียหายจาก Acetic acid ที่ใช้เป็นตัวทำละลายไคโตแซน ทำให้พืชเกิดสภาพเครียดจึงมีอัตราการหายใจสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ochoa-Velasco and Guerrero-Beltrán (2014) พบว่าไคโตแซนที่ใช้ 2.5% Acetic acid เป็นตัวทำละลาย มีผลทำให้ผลสาลี่มีอัตราการหายใจสูง ส่งผลทำให้สาลี่มีการสูญเสียน้ำหนักสดอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา

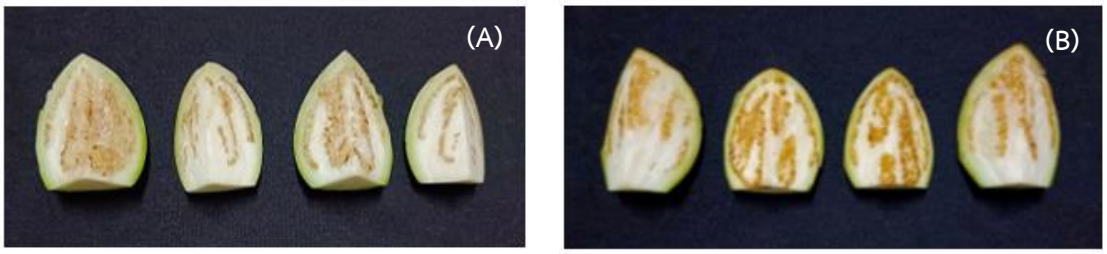



**Figure 5** Ready-to-cook eggplant dipped in distilled water for 2 min (A) and 0.3% acetic acid for 2 min (B); after that, dried at room temperature for 15 min

## สรุปผลการวิจัย

การแช่มะเขือเปราะตัดแต่งใน SBC ความเข้มข้น 0.5% นาน 2 นาที สามารถช่วยรักษาค่าความสว่าง ชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลและการสะสมปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ตลอดจนช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนักสดและความแน่นเนื้อของมะเขือเปราะตัดแต่งพร้อมปรุง ในขณะที่การเคลือบไคโตแซน เพิ่มการเกิดสีน้ำตาล การสะสมปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและอัตราการหายใจ อย่างไรก็ตามไคโตแซนสามารถช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด และไม่มีผลกระทบต่อการสูญเสียน้ำหนักสดและความแน่นเนื้อของมะเขือเปราะตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษา

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Petchra Pra Jom Klao Master's Degree Scholarship, King Mongkut's University of Technology Thonburi ที่สนับสนุนทุนการศึกษาแก่นายพรมงคล จิระกิตติดุลย์ และผู้วิจัยทั้งหมดขอขอบคุณ The United Graduated School of Agricultural Science (UGSAS), Gifu University ประเทศญี่ปุ่น ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัยบางส่วนในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

Bautista-Baños, S., A.N. Hernandez-Lauzardo, M.G. Velazquez-Del Valle, M. Hernández-López, E.A. Barka, E. Bosquez-Molina and C. L. Wilson. 2006. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. **Crop Protection** 5(2): 108-118.

Beltran, D., M.V. Selma, J.A. Tudela and M.I. Gill. 2005. Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. **Postharvest Biology and Technology** 37(1): 37-46.

Benjamin N.D. and M.W. Montgomery. 1973. Polyphenol oxidase of royal ann cherries: purification and Characterization. **Journal of Food Science** 38: 799-806.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry** 72: 248-254.

Cao, G., E. Sofic and R.L. Prior. 1996. Antioxidant capacity of tea and common vegetable. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 44: 3426-3431.

Chanasut, U. and N. Rattanapanone. 2008. Screening method to measure antioxidant activities of phenolic compound extracts from some varieties of Thai eggplant. **ISHS Acta Horticulturae** 765: 291-296.

Chumyam, A., K. Whangchai, J. Jungklang, B. Faiyue and K.J.S.A. Saengnil. 2013. Effects of heat treatments on antioxidant capacity and total phenolic content of four cultivars of purple skin eggplants. **ScienceAsia** 39: 246-251.

Concellon, A., M.C. Anon and A.R. Chaves. 2004. Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) during storage at low temperature. **Food Chemistry** 88: 17-24.

Dranca, F. and M. Oroian. 2017. Total monomeric anthocyanin, total phenolic content and antioxidant activity of extracts from eggplant (*Solanum Melongena* L.) peel using ultrasonic treatments. **Journal of Food Process Engineering** 40(1): e12312.

Fallir, E., S. Grinberg and O. Ziv. 1997. Potassium bicarbonate reduces postharvest decay development on bell pepper fruit. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology** 72: 35-41.

Fan, X. and W. Wang. 2022. Quality of fresh and fresh-cut produce impacted by nonthermal physical technologies intended to enhance microbial safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 62(2): 362-382.

Farha, M.A., S. French, J.M. Stokes and E.D. Brown. 2018. Bicarbonate alter bacterial susceptibility to antibiotics by targeting the proton motive force. **ACS Infection Diseases** 4: 382-390.

Geng, P., S. Chen, M. Hu, M. Rizwan-Ul-Haq, K. Lai, F. Qu and Y. Zhang. 2011. Combination of *Kluyveromyces marxianus* and sodium bicarbonate for controlling green mold of citrus fruit. **International Journal of Food Microbiology** 151: 190-194.

Gonzalez, G.A., E. Valenzuela-Soto, J. Lizardi-Mendoza, F. Goycoolea, M.A. Martinez-Tellez, M.A. Villegas-Ochoa, I.N. Monroy-Garcia and J. F. Ayala-Zavala. 2009. Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya 'Maradol'. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 89(1): 15-23.

Grzegorzewska, M., E. Badetek, M. Szczech, R. Kosson, A. Wrzodak, B. Kowalska, G. Colelli, J. Szwejda-Grzybowska and R. Maciorowski. 2022. The effect of hot water treatment on the storage ability improvement of fresh-cut Chinese cabbage. **Scientia Horticulturae** 291: 110551.

Jiraphothithum, J., W. Kongyougyen, K. Namjaidee, P. Nartwaranun and A. Bunsiri. 2010. Effect of dipping temperatures on browning symptom of fresh-cut eggplant. **Agricultural Sciences Journal** 41(1): 440-443.

Karim, R.R.A. and N.S. Aljarah. 2023. The inhibitory effect of sodium bicarbonate, phylex and seaweed extract against penicillium digitatum causing green rot disease in locallemon fruits. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** 1225(1): 012097. DOI: 10.1088/1755-1315/1225/1/012097

Kumari, R., PK. More, S. Kumar, M. Sahgal, A. Kumar and A. Kumar. 2021. Optimization of pretreatment for prevention of enzymatic browning of fresh-cut lotus root slices. **Journal of AgriSearch** 8(4): 342-350.

Labaiden, M., H. Kasai, M. Yoshimizu and S. Direkbusrakom. 2013. Elimination of *Escherichia* coli from oysters using sodium bicarbonate. **Walailak Journal of Science and Technology** 10(6): 601-606.

Mohebbi, M.E. Ansarifar, N. Hasanpour and M.R. Amiryousefi. 2012. Suitability of aloe vera and gum tragacanth as edible coatings for extending the shelf life of button mushroom. **Food and Bioprocess Technology** 5(8): 3193-3202.

Ochoa-Velasco, C.E. and J.A. Guerrero-Beltrán. 2014. Postharvest quality of peeled prickly pear fruit treated with acetic acid and chitosan. **Postharvest Biology and Technology** 92: 139-145.

Palou, E., A. Lopez-Malo, G.V. Barbosa-Canovas, J. Welti-Chanes and B.G. Swanson. 1999. Polyphenol oxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal of Food Science** 64(1): 42-45.

Peng, L., S. Yang, Q. Li, J. Jiang and D.C. Joyce. 2008. Hydrogen peroxide treatment inhibit the browning of fresh-cut Chinese water chestnut. **Postharvest Biology and Technology** 47(2): 260-266.

Pinto, L., A. Ippolito and F. Baruzzi. 2015. Control of spoiler *Pseudomonas* spp. On fresh cut vegetable by neutral electrolyzed water. **Food Microbiology** 50: 102-108.

Qi, H., W. Hu, A. Jiang, M. Tian and Y. Li. 2011. Extending shelf-life of fresh-cut 'Fuji' apples with chitosan coatings. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 12: 62-66.

Siatka, T. and M. Kašparová. 2010. Seasonal variation in total phenolic and flavonoid contents and DPPH scavenging activity of *Bellis perennis* L. flowers. **Molecules** 15(12): 9450-9461.

Singleton, V.L., R. Orthofer and R.M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology** 299: 152-178.

Suttirak, W. and S. Manurakchinakorn. 2010. Potential application of ascorbic acid, citric acid and oxalic acid for browning inhibition in fresh-cut fruit and vegetables. **Walailak Journal of Science and Technology** 7(1): 5-14.

Teixeira, G.H.A., J.F. Durigan, R.E. Alves and T.J. O'Hare. 2008. The response of minimally processed carambola to chemical treatments and low-oxygen atmospheres. **Postharvest Biology and Technology** 48(3): 415-421.

Xiao, Z., Y. Luo, Y. Luo and Q. Wang. 2011. Combined effects of sodium chlorite dip treatment and chitosan coatings on the quality of fresh-cut d'Anjou pears. **Postharvest Biology and Technology** 62: 319-326.

Yildiz, G. 2018. The effect of different chemical agent on the prevention of enzymatic browning in banana. **Journal of Food Science and Engineering** 7: 91-96.