



วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at [ThaiJo](https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj)

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj>



การใช้ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลเพื่อยืดอายุสตอร์วเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 ตัดแต่งพร้อมบริโภค

Using envelopes to control the release of ethanol vapors to extend the shelf life of fresh-cut strawberry cv. Pharachatan 80

ไพบูลย์ สุขเจริญจิตต์^{1*}, ดนัย บุญยเกียรติ², วีรเวทย์ อุทโธ^{2,3} และ พิชญา พูลลาภ^{2,4}

Prinutta Sukjareanjit^{1*}, Danai Boonyakiat², Weerawate Utto^{2,3} and Pichaya Poonlarpan^{2,4}

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50100

¹ Division of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100

² ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

² Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400

³ สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

³ Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190

⁴ สาขาวิชาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50100

⁴ Division of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลต้นแบบเพื่อใช้ชะลอการเสื่อมสภาพสตอร์วเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 ตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยซองควบคุมบรรจุซิลิกาเจลที่อิ่มตัวด้วยเอทานอลเหลว ด้านหน้าของซองควบคุมทำจากฟิล์ม low density polyethylene (LDPE) และด้านหลังประกบกับ AL/PE ขนาด 3 x 3 ซม. และ 6 x 6 ซม. โดยบรรจุซิลิกาเจลที่อิ่มตัวด้วยเอทานอลจำนวน 1 และ 2 กรัมตามลำดับ จากนั้นซองปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจะถูกบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์สตอร์วเบอร์รี่ตัดแต่งพร้อมบริโภค จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล และระดับความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 5 °C พบว่าระดับความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลเพิ่มขึ้น จากนั้นเข้าสู่สภาวะคงที่ในช่วงเวลาที่ 48 ชั่วโมงและมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาที่ 72 ชั่วโมง โดยซองขนาด 3 x 3 ซม. มีค่าเท่ากับ 107.95 ± 9.38 ppm และซองขนาด 6 x 6 ซม. มีค่าเท่ากับ 182.50 ± 21.10 ppm จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ซองควบคุมปล่อยไอระเหยเอทานอลร่วมกับบรรจุภัณฑ์เบอร์รี่ตัดแต่งพร้อมบริโภค (200 กรัม) ในกล่องบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 7 วัน ไอระเหยเอทานอลช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณวิตามินซียังไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญภายหลังการเก็บรักษา 1 วัน ปริมาณสารประกอบฟีนอล และ antioxidant activity (DPPH) เพิ่มขึ้นในช่วง 1-3 วันของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นมีแนวโน้มที่ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ทั้งนี้จำนวนจุลินทรีย์เจริญในอัตราที่ช้ากว่าตัวอย่างควบคุม โดยซองควบคุม 1gS3 มีต้นทุนการผลิตที่เหมาะสมเพียงพอต่อการนำไปบรรจุร่วมกับผลสตอร์วเบอร์รี่ตัดแต่งพร้อมบริโภค ซึ่งซองควบคุมฯ แสดงให้เห็นว่าสามารถชะลอการเสื่อมสภาพ และการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ของสตอร์วเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 ตัดแต่งพร้อมบริโภคได้

คำสำคัญ: ซองควบคุมการปล่อยไอระเหย; สตอร์วเบอร์รี่ตัดแต่งพร้อมบริโภค; ไอระเหยเอทานอล

ABSTRACT: This research aims to develop a prototype ethanol vapor-release control package for use to delay the deterioration of fresh-cut strawberry CV. Paratchatan 80. The control sachet contained silica gel saturated with liquid ethanol. The front of the control sachet was made of low-density polyethylene (LDPE) film and the back was made from AL/PE size 3 x 3 cm and 6 x 6 cm. The sachet contains ethanol-saturated silica gel at 1 and 2 g,

* Corresponding author: prinutta.s@gmail.com

Received: date; June 27, 2024 Revised: date; September 9, 2024

Accepted: date; September 19, 2024 Published: date; April 2, 2025

respectively. Then, the ethanol vapor release sachet is packaged into a package of fresh-cut strawberries. Research findings on the relationship between ethanol vapor release and level of ethanol vapor concentration in the packaging atmosphere at 5 °C. Ethanol vapor release was found to continuously increase concentration and then reach a steady state in 48 h and reach a maximum value in 72 h. The sachet sizes 3x3 and 6x6 cm had the highest ethanol vapor concentration values of 107.95 ± 9.38 and 182.50 ± 21.10 ppm, respectively. The study found that using an ethanol vapor control sachet together with fresh-cut strawberries (200 grams) in a packaging box stored at 5 °C for 7 days resulted in ethanol vapor helping to slow down weight loss. The effects of ethanol vapor on anthocyanin content and vitamin C showed no significant difference after one day of storage. Total phenolic content (TPC) and antioxidant activity (DPPH) increased during 1-3 days of storage and then continuously decreased throughout the shelf life. However, the microorganisms grew at a slower rate compared to the control sample. The 1gS3 control sachet has a suitable production cost for packaging fresh-cut strawberries. The control sachet importantly suggests that the ethanol vapor released has slowed down the deterioration and growth of microorganisms in fresh-cut strawberries cv. Praratchatan 80.

Keyword: vapor controlled release sachet; fresh-cut strawberry; ethanol vapor

บทนำ

สตรอว์เบอร์รีเป็นผลไม้ที่คนทั่วโลกชื่นชอบและบริโภคกันมากที่สุด มักนิยมรับประทานสด และนำไปแปรรูป เช่น ทำสาลี่ น้ำผลไม้ ของหวาน และแปรรูปเป็นผง (Li et al., 2018; Priyadarshi et al., 2024) สตรอว์เบอร์รีที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยจะเป็นพันธุ์พระราชทาน 80 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่รับประทานสด มีลักษณะเด่นคือ เมื่อสุกมีกลิ่นหอม มีรสชาติหวาน เนื้อผลแน่น สีแดงสด ผลทรงกรวยถึงกลมปลายแหลม น้ำหนักต่อผล 12-15 กรัม ผิวผลสีส้มแดงถึงแดงสด เนื้อสีแดงสลับขาว (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2566) นอกจากนี้สตรอว์เบอร์รียังมีส่วนผสมที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์มากมาย รวมถึงส่วนประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน วิตามินซี แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถช่วยยับยั้งและป้องกันการเกิดโรคมะเร็งได้อีกด้วย (ณรงค์ชัย, 2543; Giampieri et al., 2015) อย่างไรก็ตามเมื่อนำสตรอว์เบอร์รีมาตัดแต่งพร้อมบริโภค พบว่าผลิตภัณฑ์มักมีอายุการเก็บรักษาที่ค่อนข้างสั้น เนื่องจากผิวที่บอบบาง และมีความชื้นสูง สตรอว์เบอร์รีจึงเสี่ยงต่อการติดเชื้อแบคทีเรีย ความเสียหายทางกลได้ และอาจเกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการผลิตได้ง่าย (มานพ และคณะ, 2547) โดยเฉพาะผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคยังเป็นเนื้อเยื่อพืชที่มีชีวิตอยู่ มีการหายใจ และการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้นภายในเซลล์ตลอดเวลา การตัดแต่งผลไม้เช่นการหั่น การปอกเปลือก การนำเมล็ดออก จะทำให้เกิดรอยตัดและการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อ ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เกิดการเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของสารชีวโมเลกุลต่างๆ และเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย (दनัย และ นิธิยา, 2535; พนิตา, 2560) รวมทั้งสตรอว์เบอร์รียังเป็นผลไม้ที่ไม่เหมาะแก่การเก็บเกี่ยวเมื่อโตเต็มที่ เพราะผลไม้ที่เก็บเกี่ยวจะมีอัตราการหายใจสูงและคุณภาพการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว (Olatunde and Benjakul, 2018; Maryam et al., 2021) ดังนั้นความปลอดภัยของอาหารถือเป็นประเด็นสำคัญสำหรับผู้บริโภค การบริโภคอาหารที่ไม่ปลอดภัยอาจนำไปสู่การเกิดโรคหรือภาวะสุขภาพที่เป็นอันตราย (Gallo et al., 2020) จึงสนใจเพิ่มระบบแอคทีฟ (active system) ที่บรรจุภัณฑ์สามารถสร้างปฏิสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์ด้วยการคัดแปรบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ (สุชาติ, 2018) โดยบรรจุของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล (antimicrobial volatiles; AVs) ซึ่งไอระเหยเอทานอลที่ปล่อยจากของควบคุมฯ เป็นสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ใช่ชีวภาพ สำหรับการถนอมอาหารผลไม้และผักมานาน รวมทั้งได้รับการรับรองให้เป็นสารประกอบที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค (generally recognized as safe; GRAS) จากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (food and drug administration; FDA) (Ji et al., 2021) ไอระเหยเอทานอลไม่เพียงแต่มีฤทธิ์ฆ่าจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ยังเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ชะลอการแก่ของผลิตภัณฑ์จากพืชสวน และอาจเพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้อีกด้วย (Li et al., 2018; พัทรี และคณะ, 2562) ทั้งยังมีรายงานการบำบัดไอระเหยเอทานอลกับผลไม้และผักหลายชนิดเช่น เชอร์รี่ตัดผลสด (Bai et al., 2011) มะละกอดัดแต่งพร้อมบริโภค (Utto et al., 2012) ลองกอง (อัญชลี และคณะ, 2557) พริกหวาน (นฤมล, 2563) และกีวี (Ji et al., 2021) เป็นต้น นอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลไม้เกิดการเสื่อมเสียได้ช้าหรือเร็ว โดยอุณหภูมิสูงจะเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ของผลิตผลให้เกิดเร็วขึ้น (จรัสแท้, 2546) เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพของผลไม้ จึงใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษา มาช่วยลดอุณหภูมิของผลิตผลเพื่อชะลออัตราการหายใจ การคายน้ำ ชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลให้นานขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาของควบคุมการปลดปล่อยไธราฟิโอสโตรบิล อีทังงานวิจัยในลักษณะดังกล่าวยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะกับสตรอว์เบอร์รีตัดแต่งพร้อมบริโภค ที่สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยไธราฟิโอสโตรบิลให้คงที่ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา และช่วยรักษาคุณภาพทางเคมีกายภาพ ชะลอการเสื่อมสภาพ ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในสตรอว์เบอร์รี

วิธีการศึกษา

การพัฒนาต้นแบบของควบคุมปลดปล่อยไธราฟิโอสโตรบิล

ต้นแบบของควบคุมปลดปล่อยไธราฟิโอสโตรบิลดัดแปลงจาก Utto et al. (2018) โดยใช้ซิลิกาเจลเกรด 40 ขนาด 6-12 mesh เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.70–3.35 มม. (Sigma-Aldrich, US) ที่แห้งสนิท 3 กรัม มาใช้เป็นตัวพาไธราฟิโอสโตรบิลบรรจุลงในขวด vial ขนาด 20 มล. ที่ปิดเข้บดกั้นอากาศออก จากนั้นใช้กระบอกฉีดยาดูดเอทานอลเหลว 0.96 มล. ความเข้มข้น 99.7 % ฉีดลงบนผนังด้านในขวด vial จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C ให้ซิลิกาเจลดูดซับไธราฟิโอสโตรบิลจนอิ่มตัวเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นนำซิลิกาเจลจำนวน 1 และ 2 กรัม ไปบรรจุลงในด้านเปิดของซอง (sachet) ที่ทำจากฟิล์ม LDPE 1 ด้านประกบกับแผ่นอะลูมิเนียมลามิเนต (AL / PE) อีก 1 ด้านโดยปิดผนึกแบบ 3 ด้าน (3-side-seal) ขนาด 3 x 3 ซม. (บรรจุซิลิกาเจลปริมาณ 1 กรัม โดยกำหนดสัญลักษณ์คือ ซอง 1gS3) และ 6 x 6 ซม. (บรรจุซิลิกาเจล ปริมาณ 2 g โดยกำหนดสัญลักษณ์คือ ซอง 2gS6) ตามลำดับ จากนั้นปิดผนึกโดยใช้ความร้อน (heat seal) **Figure 1** แล้วนำซองไปเก็บรักษาไว้ในภาชนะปิด (closed cell) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C ตัวอย่างไธราฟิโอสโตรบิลจะถูกนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของไธราฟิโอสโตรบิลด้วยเครื่อง Gas Chromatography (บริษัท Agilent รุ่น 7820A ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยใช้ชนิดของดีเทคเตอร์ คือ Flame Ionization Detector (FID) และใช้ column J&W DB-WAX Ultra Inert ยาว 30 ม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 250 µm ความหนาของฟิล์ม 0.25 µm โดยสภาวะการวิเคราะห์ของเครื่องคือ injector temperature 150 °C, detector temperature 80 °C oven temperature 60 °C เป็นเวลานาน 4 นาที จากนั้นอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเป็น 20 °C ต่อนาที จนมีอุณหภูมิเท่ากับ 120 °C แล้วคงไว้เป็นเวลา 2 นาที โดยมีก๊าซฮีเลียมทำหน้าที่เป็น gas carrier สุ่มดูดตัวอย่างไธราฟิโอสโตรบิลโดยใช้ gas tight syringe ดูดขึ้นมา จากนั้นฉีดเข้าไปใน injector port ของเครื่อง GC โดยสุ่มตัวอย่างไธราฟิโอสโตรบิลในบรรยากาศของภาชนะปิดสนิท 1 มล. ทุกชั่วโมงใน 6 ชั่วโมงแรก จากนั้นสุ่มทุกวัน (24 ชั่วโมง) จนครบ 7 วัน

การทดสอบผลของการใช้ต้นแบบของควบคุมปลดปล่อยไธราฟิโอสโตรบิลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพและปริมาณจุลินทรีย์

เตรียมของควบคุมปลดปล่อยไธราฟิโอสโตรบิลด้วยวิธีเดียวกันกับต้นแบบของควบคุมปลดปล่อยไธราฟิโอสโตรบิล จากนั้นนำตัวอย่างสตรอว์เบอร์รีสายพันธุ์พระราชทาน 80 (*Fragaria X ananassa* Duchesne cv. Pharachatan 80) ที่เก็บเกี่ยวที่ระยะความแก่ของสตรอว์เบอร์รีโดยพิจารณาจากสีผิวที่มีสีแดง 70 % จากแหล่งปลูกศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งถูกขนส่งมาที่โรงคัดบรรจุของศูนย์ผลิตผลโครงการหลวงเชียงใหม่ และเคลื่อนย้ายต่อมายังห้องปฏิบัติการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง โดยใช้สตรอว์เบอร์รีที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 โดยทำการทดลอง 2 รอบการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ สตรอว์เบอร์รีที่ได้รับจะบรรจุในกล่องพลาสติก จากนั้นสตรอว์เบอร์รีจะถูกคัดแยกและคัดเลือกให้ได้สีและขนาดที่สม่ำเสมอ และไม่มีตำหนิที่มองเห็นได้ เตรียมสตรอว์เบอร์รีตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยตัดขั้วสีเขียวด้านบนของสตรอว์เบอร์รีออก และล้างทำความสะอาดด้วยน้ำผสมคลอรีนความเข้มข้น 200 ppm แล้วบรรจุในกล่องพลาสติกแข็งน้ำหนักประมาณ 200 กรัม ขนาดซึ่งวัดจากขอบด้านนอก กว้าง x ฐานกว้าง x สูง : 11.5 ซม. x 9.5 ซม. x 7 ซม. จากนั้นตัวอย่างสตรอว์เบอร์รีไม่ถูกบรรจุของควบคุม (control) บรรจุของปลดปล่อยไธราฟิโอสโตรบิลของ 1gS3 และของ 2gS6 โดยบรรจุ 1 ซองต่อ 1 บรรจุภัณฑ์ และจะวางของควบคุม (ด้าน AL) ติดกับฝากล่องพลาสติกเพื่อให้ไธราฟิโอสโตรบิลสามารถปลดปล่อยเอทานอลได้ง่าย จากนั้นปิดฝาแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C โดยในแต่ละกรรมวิธีทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยทำการสุ่มตัวอย่างสตรอว์เบอร์รีตัดแต่งพร้อมบริโภค 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน บันทึกผลการทดลอง ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักสด (Zhan et al., 2013) ปริมาณแอนโทไซยานิน (Ranganna, 1997) ปริมาณวิตามินซี (Ranganna, 1986) ปริมาณสารประกอบฟีนอลโดยดัดแปลงมาจากวิธีของ Sellappan et al. (2002) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (diphenylpicrylhydrazyl radical

scavenging capacity assay) โดยวิธีของ Brand-Williams et al. (1995) การเปลี่ยนแปลงสีวัดโดยใช้เครื่อง chroma meter (ของบริษัท Minolta รุ่น CR-300 ประเทศญี่ปุ่น) ปัจจัยทางเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา (PetrifilmsTM บริษัท 3M ประเทศไทย)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดสอบผลของการใช้ต้นแบบของควบคุมร่วมกับสตรอร์เบอร์รี วางแผนการทดลองแบบ randomized completely blocks design (CRBD) ทำการทดลอง 2 รอบการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ในแต่ละรอบการทดลองทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยศึกษาของควบคุมการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล 3 กรรมวิธี คือ ไม่บรรจุของควบคุม บรรจุของควบคุมขนาด 3x3 ซม. บรรจุซิลิกาเจลจำนวน 1 กรัม (ซอง 1gS3) และบรรจุของควบคุมขนาด 6x6 ซม. บรรจุซิลิกาเจลจำนวน 2 กรัม (ซอง 2gS6) คือ กรรมวิธีละ 3 กล่องบรรจุภัณฑ์ และแต่ละกล่องบรรจุภัณฑ์บรรจุของปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล 1 ซอง

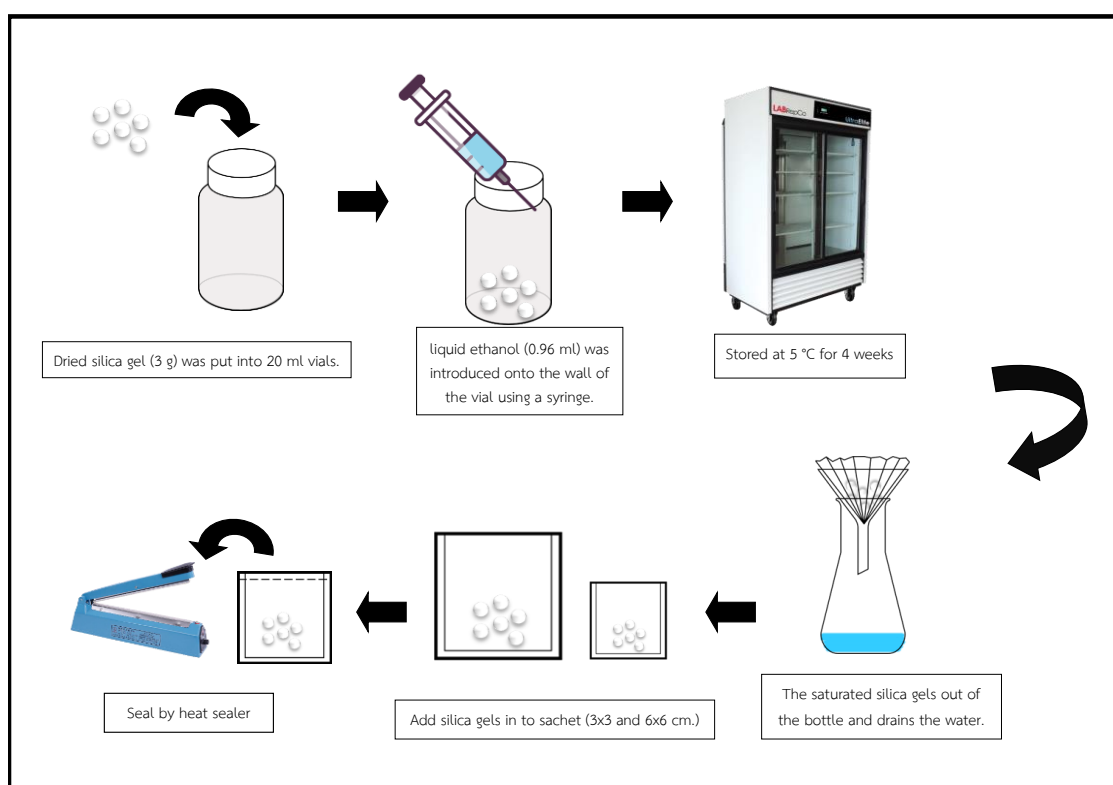


Figure 1 Preparation of prototype sachet for controlled release of ethanol vapors

ผลการศึกษา

ผลของการพัฒนาต้นแบบของควบคุมปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล และระดับความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ของซองควบคุม 2 ขนาดคือ ซอง 1gS3 และ ซอง 2gS6 ที่อุณหภูมิ 5 °C เพื่อหาอัตราการปล่อยไอระเหยให้คงที่ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา พบว่าปริมาณซิลิกาเจลในซองปล่อยไอระเหยเอทานอลที่ขนาดแตกต่างกันมีผลต่อปริมาณการปล่อยไอระเหยเอทานอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยอัตราการปลดปล่อย และระดับความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซิลิกาเจลที่บรรจุในซองมากขึ้น ดังนั้นซอง 2gS6 ที่บรรจุซิลิกาเจลจำนวน 2 กรัม จึงมีอัตราการปลดปล่อย และระดับความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลสูงกว่าซอง 1gS3 ที่บรรจุซิลิกาเจลจำนวน 1 กรัม และสามารถพบความแตกต่างได้ชัดเจนในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละวันของการเก็บรักษา จากนั้นเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ 48 ชั่วโมง และมีค่าความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลสูงสุดในชั่วโมงที่ 72 โดยซอง 1gS3 มีค่าเท่ากับ 107.95 ± 9.38 ppm และซอง 2gS6 มีค่า

เท่ากับ 182.50 ± 21.10 ppm **Figure 2** ซึ่งเป็นผลจากการสะสมของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศของบรรจุภัณฑ์เนื่องจากสมดุลของการถ่ายโอนมวล โดยปริมาณไอระเหยเอทานอลที่สูงในช่วง 6 ชั่วโมงแรกเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลเริ่มต้นในบรรจุภัณฑ์ และของซิลิกาเจลทำให้มีอัตราการปล่อยไอระเหยเอทานอลที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเริ่มมีไอระเหยเอทานอลภายในบรรจุภัณฑ์ก็จะส่งผลให้มีอัตราการปล่อยไอระเหยเอทานอลลดน้อยลงรวมทั้งการลดลงของเอทานอลบนตัวพาซิลิกาเจลในของ (Utto, 2014) ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Choosung et al. (2019) ซึ่งรายงานว่า ณ อุณหภูมิคงที่ ความเข้มข้นของไอเอทานอลและอัตราการปล่อยไอระเหยมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเอทานอลเหลวที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น

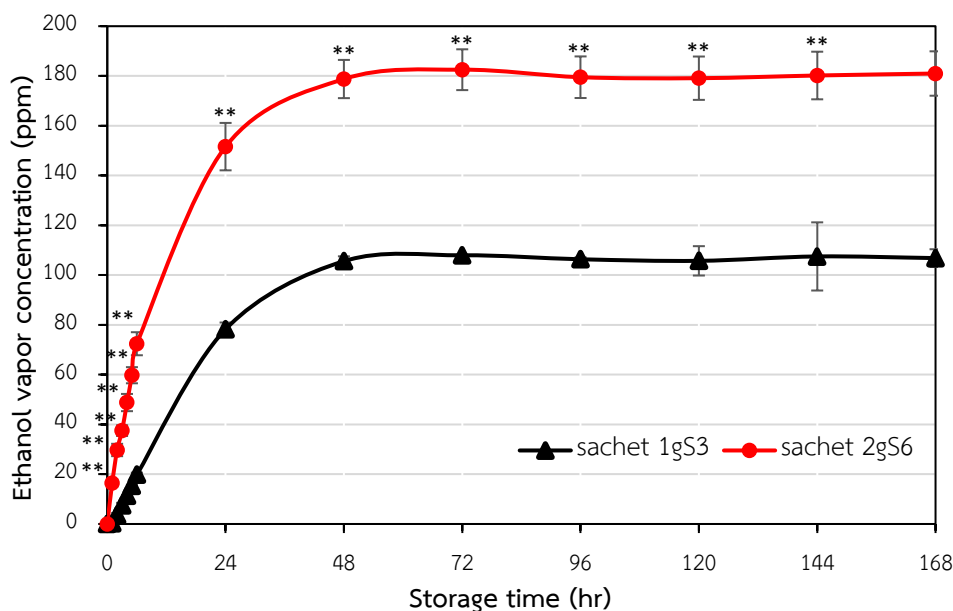


Figure 2 The ethanol vapor was released from controlled release sachets at a temperature of 5 °C. Data presented were averages and standard deviations (three replicates).

** represent significant differences between treatments at $p \leq 0.05$.

การทดสอบผลของการใช้ต้นแบบของควบคุมปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพ และจุลินทรีย์

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเป็นตัวบ่งชี้สำคัญในการพิจารณาการวางจำหน่ายของสตอร์เบอร์รี่โดยตรง การสูญเสีย น้ำหนักของทุกกลุ่มทดลองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และพบสตอร์เบอร์รี่ที่ดัดแปลงพร้อมบริโภคที่ใช้ของ ควบคุมไอระเหยเอทานอลของ 1gS3 และของ 2gS6 รวมถึงชุดควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ภายหลังจากเก็บ รักษาเป็นเวลา 5 และ 7 วัน โดยตัวอย่างสตอร์เบอร์รี่ที่ใช้ของ 1gS3 และ 2gS6 มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าตัวอย่างในชุดควบคุม **Table 1** ซึ่งอาจเป็นผลมาจากไอระเหยเอทานอล และปริมาณความเข้มข้นของเอทานอลที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ Li et al. (2018) รายงานว่ารูพรุนในเยื่อหุ้มเซลล์จะแคบลงเมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ทำปฏิกิริยากับเอทานอล เป็นผลให้ชั้นไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะไม่ชอบ น้ำมากขึ้น และความสามารถในการซึมผ่านของน้ำของเยื่อหุ้มเซลล์ลดลง ในขณะเดียวกันนพรัตน์ และคณะ (2560) พบว่าการใช้ปริมาณ ซิลิกาเจลที่เหมาะสมมีผลต่อการลดการสูญเสียน้ำหนักของผลลองกอง ซึ่งอาจเกิดจากไอระเหยเอทานอลสามารถชะลอการหายใจของ ผลผลิตจึงทำให้ลดการคายน้ำ อย่างไรก็ตามการสูญเสียน้ำหนักสด มีค่าไม่เกิน 6% จึงยังสามารถยอมรับได้สำหรับการวางจำหน่าย

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินในทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา และ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินของสตอร์เบอร์รี่ที่ดัดแปลงพร้อมบริโภคในชุดควบคุมมีปริมาณ แอนโทไซยานินน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 5.01 ± 1.17 mg/100g.FW เมื่อเทียบกับของ 1gS3 และของ 2gS6 มี

ปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 6.45 ± 0.44 และ 5.99 ± 0.55 mg./100g.FW ตามลำดับ **Table 1** โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานิน อาจเป็นผลมาจากการสังเคราะห์แอนโทไซยานินตามกลไกทางธรรมชาติเนื่องจากสตรอว์เบอร์รีเป็นผลไม้บ่มสุก และการวัดผลสุกใน สตรอว์เบอร์รีสามารถวัดได้จากการสะสมของปริมาณแอนโทไซยานิน (Choosung 2019; Fan et al., 2022) พฤษ์ และคณะ (2556) รายงานว่าผลหม่อนที่บำบัดด้วยไธเรเฮเอทานอลมีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศที่ปรับเปลี่ยนใน บรรจุกัณฑ์ และมีรายงานของ El Kereamy et al. (2502) ที่ฉีดพ่นเอทานอล 5 % ที่ veraison ขององุ่นพันธุ์ Cabernet Sauvignon ช่วยเพิ่มการสะสมของปริมาณแอนโทไซยานิน และการพัฒนาสี การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าไธเอทานอลอาจช่วยเพิ่มสีของผลไม้เล็กน้อย ระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนั้นพบการลดลงของปริมาณวิตามินซีของทุกลองในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา และหลังจากนั้น ค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการตัดแต่งผลไม้โดยการตัดที่ขั้วด้านบนของสตรอว์เบอร์รีออกทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมากขึ้นจึงทำ ให้กรดแอสคอร์บิกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้สูญเสียวิตามินได้ง่าย (วีรเวทย์ และคณะ, 2555; Lee และ Kader, 2000) นอกจากนี้พบว่าปริมาณวิตามินซีของสตรอว์เบอร์รีที่บรรจุของควบคุมไธเรเฮเอทานอลของ 1gS3, ของ 2gS6 และชุดควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา และภายหลังวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ไม่พบความแตกต่าง กันของปริมาณวิตามินซีในผลไม้ที่มีการบรรจุของควบคุมร่วมกันในบรรจุกัณฑ์ **Table 1**

สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่พบในสตรอว์เบอร์รีตัดแต่งพร้อมบริโภครวมที่ไม่ใช่ของควบคุม (ชุดควบคุม) เพิ่มขึ้นอย่าง ต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้งหมด ในขณะที่ปริมาณฟีนอลในตัวอย่างสตรอว์เบอร์รีที่ใช้ของ 1gS3 และของ 2gS6 ช่วยเพิ่ม ปริมาณสารประกอบฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ภายหลังการเก็บรักษา 1 และ 3 วัน อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บรักษาวันที่ 3 ในตัวอย่างที่ใช้ของ 1gS3 และของ 2gS6 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 7 ของการ เก็บรักษา และค่าความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอล **Table 1** การเพิ่มของ สารประกอบฟีนอลระหว่างการเก็บรักษาสตรอว์เบอร์รีตัดแต่งพร้อมบริโภคอาจเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ทางชีวภาพของ สารประกอบฟีนอลิกที่เกิดขึ้นโดยการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักของเส้นทาง ฟีนิลโพรพานอยด์ และเป็นตัวกำหนดอัตราการผลิตสารประกอบฟีนอลิกในพืช (Xu et al., 2012) หรืออาจเกิดจากผลไม้สัมผัสกับ อุณหภูมิต่ำและไธเรเฮเอทานอล ทำให้เกิดความเครียดและกระตุ้นการตอบสนองของเนื้อเยื่อส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทาง สรีรวิทยาภายในเซลล์ และระดับอนุมูลอิสระ (Yang et al., 2023) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไธเรเฮเอทานอลมีแนวโน้มช่วย ชะลอการลดลงของสารประกอบฟีนอล และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ภายหลังการเก็บรักษา 3 วัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ของวีรเวทย์ และคณะ (2555) ที่รายงานว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของมะละกอดัดสดเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งภายหลังจาก การเก็บรักษา นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลเป็นกลุ่มสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลจึง สัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Llorach et al., 2004)

Table 1 Changes of weight loss, total anthocyanins, total Vitamin C, total phenolic content and antioxidant activity DPPH of fresh-cut strawberry stored at 5 °C

Weight loss (%)					
Day	0	1	3	5	7
Ctrl	0.00±0.00	0.03±0.01	0.11±0.02	0.17±0.04 ^a	0.24±0.05 ^a
Sachet 1gS3	0.00±0.00	0.04±0.02	0.09±0.04	0.12±0.04 ^b	0.15±0.02 ^b
Sachet 2gS6	0.00±0.00	0.03±0.02	0.07±0.02	0.09±0.02 ^b	0.12±0.05 ^b
Total Anthocyanins (mg./100g.FW)					
Day	0	1	3	5	7
Ctrl	4.55±1.29	5.01±1.17 ^b	6.49±1.40	5.30±2.10	5.63±0.78
Sachet 1gS3	5.63±1.60	6.45±0.44 ^a	7.63±1.60	7.09±3.19	5.25±0.39
Sachet 2gS6	5.11±1.42	5.99±0.55 ^{ab}	7.50±0.30	6.83±1.48	5.49±0.63
Total Vitamin C (mg./100g.FW)					
Day	0	1	3	5	7
Ctrl	72.00±4.68	56.32±8.04 ^b	59.74±6.88	65.18±3.26	65.67±9.08
Sachet 1gS3	76.24±8.32	62.73±3.08 ^a	52.79±11.06	68.25±3.63	67.77±8.94
Sachet 2gS6	74.61±7.59	60.36±2.165 ^{ab}	63.19±3.51	65.83±6.96	66.25±8.36
Total Phenolic Content (mgGAE/100gFW)					
Day	0	1	3	5	7
Ctrl	38.39±4.26	22.73±4.12 ^c	58.51±6.64 ^b	55.30±21.90	63.04±6.56 ^a
Sachet 1gS3	38.39±4.26	31.09±3.90 ^b	63.34±18.60 ^{ab}	58.89±6.88	51.09±5.91 ^b
Sachet 2gS6	38.39±4.26	43.59±5.37 ^a	74.31±23.15 ^a	52.06±16.26	55.04±1.90 ^{ab}
Antioxidant activity DPPH (µgTrolox/100gFW)					
Day	0	1	3	5	7
Ctrl	391.40±77.70	333.02±16.75 ^c	439.20±36.50	522.50±91.10	499.73±12.72 ^a
Sachet 1gS3	391.40±77.70	389.40±36.70 ^b	484.40±59.60	486.10±28.90	448.50±34.30 ^b
Sachet 2gS6	391.40±77.70	454.90±39.70 ^a	514.10±77.80	488.30±42.20	451.09±14.20 ^b

1/ Data on Day 0 represents average ± standard deviation (3 replicates)

2/ Values are the mean of three replicates ± SD. Different letter in the same column of each storage period indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

สตรอว์เบอร์รีตัดแต่งพร้อมบริโภคมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีผิว L^* และ hue angle โดยมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับตัวอย่างชุดควบคุม ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา โดยพบว่าของ 1gS3 มีค่าสีผิว L^* และ hue angle สูงที่สุดเท่ากับ 39.54 ± 3.61 และ 34.29 ± 3.63 ตามลำดับ รองลงมาเป็นของ 2gS6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 37.35 ± 3.62 และ 32.13 ± 4.19 ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 36.20 ± 1.92 และ 30.53 ± 2.76 ตามลำดับ สำหรับค่า chroma ของสตรอว์เบอร์รีมีแนวโน้มไม่แน่นอน โดยในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาพบชุดควบคุมมีค่า chroma สูงที่สุด คือ 42.78 ± 5.37 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างสตรอว์เบอร์รีที่ใช้ของ 1gS3 และของ 2gS6 เท่ากับ 38.92 ± 2.02 และ 36.61 ± 4.51

ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) **Table 2** มีรายงานของ Bai et al. (2011) ที่รายงานว่าไธเรเฮเอทานอลชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของผลเชอรี่ โดยตัวอย่างมี ค่า L^* และ hue angle ที่สูงขึ้นกว่าตัวควบคุม รวมทั้งสอดคล้องกับรายงานของ Wang et al. (2014) รายงานว่าการรมไธเรเฮเอทานอลแก่หัวแก่นตะวัน (sunchoke) ภายหลังการหั่นเป็นชิ้นบางๆ ที่ความเข้มข้น $300 \mu\text{L/l}$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าสีในระหว่างการเก็บรักษาได้ และมีรายงานการวิจัยในมะเขือเทศที่รายงานว่าเอทานอลสามารถยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีที่เกี่ยวข้องกับการสุก/การชราภาพ และการผลิตไลโคปีน (Kelly and Saltveit, 1988)

Table 2 Changes in skin color (L^* , C^* and h°) of fresh-cut strawberry stored at 5°C

L* value					
Day	0	1	3	5	7
Ctrl	41.51±2.32	41.18±2.50	36.20±1.92 ^b	36.39±4.09	36.28±2.52
Sachet 1gS3	40.25±2.35	39.04±2.45	39.54±3.61 ^a	36.34±1.11	37.26±0.81
Sachet 2gS6	43.11±1.04	40.13±3.66	37.35±3.62 ^{ab}	37.31±4.22	36.21±2.72
Chroma value (C^*)					
Day	0	1	3	5	7
Ctrl	40.07±2.29	41.20±3.73	38.46±1.79	41.38±3.04	42.78±5.37 ^a
Sachet 1gS3	40.00±3.59	37.39±4.12	35.93±1.60	39.34±3.84	38.92±2.02 ^b
Sachet 2gS6	40.07±1.86	37.93±2.71	38.07±1.71	43.36±2.28	36.61±4.51 ^b
hue angle value (h°)					
Day	0	1	3	5	7
Ctrl	41.40±3.17	39.64±4.72	30.53±2.76 ^b	31.17±5.53	32.96±3.99
Sachet 1gS3	42.36±0.55	38.79±1.82	34.29±3.63 ^a	33.34±3.29	35.27±2.18
Sachet 2gS6	43.09±2.22	38.20±5.95	32.13±4.19 ^{ab}	35.44±1.57	34.07±3.27

1/ Data on Day 0 represents average $\pm$ standard deviation (3 replicates)

2/ Values are the mean of three replicates $\pm$ SD. Different letter in the same column of each storage period indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา และตัวอย่างสตอร์เบอรี่ที่ตัดแต่งชุดควบคุมมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดแตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้ของ 1gS3 และของ 2gS6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ภายหลังวันที่ 0 ของการเก็บรักษา **Figure 3** โดยกระทรวงสาธารณสุขในประเทศไทยได้กำหนดเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารที่เกี่ยวข้องกับผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคโดยจำกัดจำนวนจุลินทรีย์ต้องน้อยกว่า 1×10^6 CFU/g หรือ $6 \log$ CFU/g ปริมาณยีสต์น้อยกว่า 1,000 CFU/g หรือ $3 \log$ CFU/g ปริมาณราน้อยกว่า 500 CFU/g หรือ $2.7 \log$ CFU/g (Bureau of Quality and Safety of Food, 2017) จากการศึกษาเมื่อเทียบกับเกณฑ์คุณภาพ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และ ปริมาณยีสต์ มีค่าต่ำกว่า $6 \log$ CFU/g และ $3 \log$ CFU/g ตามลำดับตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ขณะที่ปริมาณเชื้อราในตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่ใช้ของควบคุมของ 1gS3 มีปริมาณเชื้อราเท่ากันทั้งสองตัวอย่างเท่ากับ $2.70 \pm 0.00 \log$ CFU/g ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานในวันที่ 7 ทั้งนี้การชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เกิดจากการดูดซับไธเรเฮของเอทานอลเข้าสู่ผลผลิตทำให้เกิดปฏิกิริยากับเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้ค่าพีเอชของเซลล์ผิวในเชื้อจุลินทรีย์ลดลงและมีสภาพเป็นกรด การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้สภาพแวดล้อมไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์เชื้อจุลินทรีย์และนำไปสู่การตายในที่สุด (Nguyen and Prunier, 1989; Davidson, 2001; Utto, 2014) โดย Bai et al. (2011) รายงานว่าไธเรเฮเอทานอลที่ความเข้มข้นสูงเป็นพิษต่อเชื้อรา โดยเข้าไป

ยับยั้งการงอกของสปอร์ นอกจากนี้ Homaida et al. (2017) แสดงให้เห็นว่าเอทานอลเหลว (300 มล./ล.) ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ในอ้อยตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C

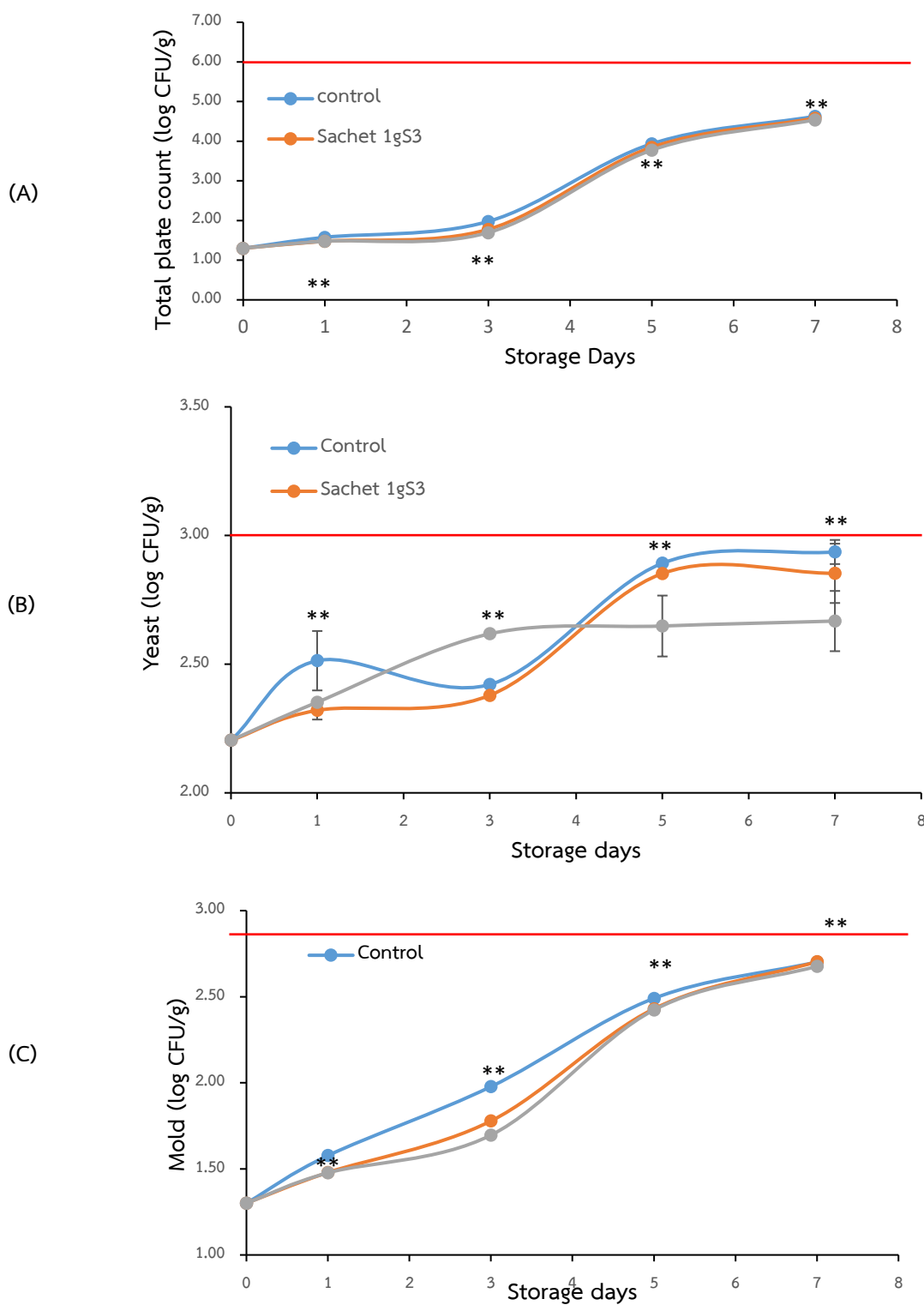


Figure 3 Changes in total plate count (A), yeast (B) and mold (c) of fresh-cut strawberry in packages stored at 5 °C for 7 days. Symbols

** represent significant differences between treatments at $p \leq 0.05$.

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตของปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล และประเมินจากผลการทดลอง พบว่าของ 1gS3 ราคาเท่ากับ 1.28 บาทต่อของ Table 4 เพียงพอต่อการนำไปบรรจุร่วมกับผลสตรอว์เบอร์รีตัดแต่งพร้อมบริโภค เนื่องจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของควบคุมของ 1gS3 และของ 2gS6 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยแต่ราคาของของ 2gS6 แพงกว่าหนึ่งเท่าของของ 1gS3

Table 4 Comparison of production costs for ethanol vapor-release control sachets used in strawberry packaging.

Ethanol vapor-release control sachets	Unit production cost (Bath)
1gS3	1.28
2gS6	2.74

สรุป

ของควบคุมปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถปล่อยไอระเหยเอทานอลภายในบรรจุภัณฑ์กล่องสตรอว์เบอร์รี ได้ตลอดการทดลอง และมีปริมาณเอทานอลในของควบคุมเพียงพอต่อการเก็บรักษา จึงเป็นผลให้พบแนวโน้มชะลอการลดลงของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างที่ใช้ของควบคุมร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยของควบคุม 1gS3 เพียงพอต่อการนำไปบรรจุร่วมกับผลสตรอว์เบอร์รีตัดแต่งพร้อมบริโภค และมีศักยภาพในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลโดยตรงต่ออายุการวางจำหน่ายของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 ตัดแต่งพร้อมบริโภค

คำขอบคุณ

คณะวิจัยขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ที่สนับสนุนงบประมาณวิจัยประจำปี 2563 คณะอุตสาหกรรมเกษตร และคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะวิจัยขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ สถานที่ และข้อมูล รวมถึงอำนวยความสะดวก และประสานงานในระหว่างการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- ครองใจ ไสมรักษ์, ณัฐพงษ์ วงษ์มา และอังคณา เทียนกล้า. 2560. การเจริญเติบโตและผลผลิตสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกในจังหวัดสกลนคร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 19: 77-85.
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวศ์. 2543. สตรอว์เบอร์รี: พืชเศรษฐกิจใหม่. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวศ์. 2560. งานวิจัยสตรอว์เบอร์รีโครงการหลวง กับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. แหล่งข้อมูล: <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=40028>. ค้นเมื่อ 31 กรกฎาคม 2563.
- ดนัย บุญเกียรติ และนิธยา รัตนพานนท์. 2535. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- นพรัตน์ ทัดมาลา, วาริช ศรีละออง และสมักร แก้วสุกแสง. 2560. การประยุกต์ใช้ Ethanol Vapor Releasing Pad ในการควบคุมคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลองกอง. วารสารแก่นเกษตร. 45: 1191-1196.
- นฤมล พิลาคูณ, วีรเวทย์ อุทโย, ฤทธิรงค์ พงษ์พิบูล และเฉลิมชัย วงษ์อารีย์. 2563. ผลของไอระเหยเอทานอลที่ปลดปล่อยในการบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดีดแอคทีฟ และการเจาะรูบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพการเก็บรักษาของพริกหวานสด. น. 1-8. ใน: ประชุมวิชาการ พืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 18 เรื่องพืชสวนก้าวหน้า นำไทยมั่นคง 5-7 พฤศจิกายน 2562. ณ โรงแรมริชมอนด์ สโตร์ลิชคอนเวนชั่น, นนทบุรี.

- พงษ์ศิลป์ สมบูรณ์ชัย. 2550. ส่วนประสมทางการตลาดสตรอว์เบอร์รี่ของเกษตรกรในอำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- พินดา งามเชื้อจิต. 2560. เนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง: สรีรวิทยาและปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 12: 17-34.
- พฤกษ์ ชูสังข์, วิโรจน์ แก้วเรือง, ชัยรัตน์ เตชะวุฒิพร, พินดา บุญฤทธิ์ธงไชย และเฉลิมชัย วงษ์อารี. 2556. ประสิทธิภาพของไอระเหยเอทานอล ต่อการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของผลหม่อน (*Morus alba* L.) พันธุ์เชียงใหม่ระหว่างการวางจำหน่าย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 44: 386-389.
- มานพ จันทุนทด, เกียรติศักดิ์ นามารุง และณฐนนท์ ดราชู. 2547. อาหารแปรรูปต่ำ (minimally processed food). วารสารจารย์พา. 11: 23-26.
- วีรเวทย์ อุทโท, เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด และเรวัตติ ชัยราช. 2555. การพัฒนาด้านแบบของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลสำหรับมะละกอดัดสด. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 30: 39-49.
- สุชาดา เลหาศิลป์สมจิตร. 2561. การบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับชาอบแห้ง. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 17: 34-41.
- อัญชลี ศิริโชติ, ศุภชัย ภิษฐ์เพ็ญ, บุปผา จอญญาเลิศ และชัยรัตน์ พึ่งเพียร. 2557. ผลของการรมไอระเหยเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของลองกองผลเดี่ยวในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 45: 213-216.
- Bai, J., A. Plotto, R. Spotts, and N. Rattanapanone. 2011. Ethanol vapor and saprophytic yeast treatments reduce decay and maintain quality of intact and fresh-cut sweet cherries. *Postharvest Biology and Technology*. 62: 204-212.
- Belay, Z. A., O. J. Caleb, and U. L. Opara. 2016. Modelling approaches for designing and evaluating the performance of modified atmosphere packaging (MAP) systems for fresh produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life*. 10: 1-15.
- Bureau of Quality and Safety of Food. 2017. Quality criteria of microbiology of foods and utensils (Vol. 3). Available: <http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/wp-content/uploads/2017/Publish/e-book/micro-ISBN60.pdf>. Accessed Sep.20, 2023.
- Choosung, P., W. Utto, P. Boonyaritthongchai, T. Wasusri, and C. Wongs-Aree. 2019. Ethanol vapor releasing sachet reduces decay and improves aroma attributes in mulberry fruit. *Food Packaging and Shelf Life*. 22: article ID 100398.
- Fan, D., W. Wang, Q. Hao, and W. Jia. 2022. Do non-climacteric fruits share a common ripening mechanism of hormonal regulation?. *Frontiers in Plant Science*. 13: article ID 923484.
- Gallo, M., L. Ferrara, A. Calogero, D. Montesano, and D. Naviglio. 2020. Relationships between food and diseases: What to know to ensure food safety. *Food Research International*. 137: article ID 109414.
- Giampieri, F., T. Y. Forbes-Hernandez, M. Gasparri, J. M. Alvarez-Suarez, S. Afrin, S. Bompadre, J. L. Quiles, B. Mezzetti, and M. Battino. 2015. Strawberry as a health promoter: an evidence based review. *Food and function*. 6: 1386-1398.
- Homaida, M. A., S. Yan, and H. Yang. 2017. Effects of ethanol treatment on inhibiting fresh-cut sugarcane enzymatic browning and microbial growth. *LWT*. 77: 8-14.
- Ji, Y., W. Hu, J. Liao, Z. Xiu, A. Jiang, Y. Guan, X. Yang, and K. Feng. 2021. Ethanol vapor delays softening of postharvest blueberry by retarding cell wall degradation during cold storage and shelf life. *Postharvest Biology and Technology*. 177: article ID 111538.

- Kelly, M. O., and M. E. Saltveit Jr. 1988. Effect of endogenously synthesized and exogenously applied ethanol on tomato fruit ripening. *Plant Physiology*. 88: 143-147.
- Lei, T. T., J. Qian, and C. Yin. 2022. Equilibrium modified atmosphere packaging on postharvest quality and antioxidant activity of strawberry. *International Journal of Food Science and Technology*. 57: 7125-7134.
- Li, M., X. Li, J. Li, Y. Ji, C. Han, P. Jin, and Y. Zheng. 2018. Responses of fresh-cut strawberries to ethanol vapor pretreatment: Improved quality maintenance and associated antioxidant metabolism in gene expression and enzyme activity levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 66: 8382-8390.
- Liu, C., H. Zheng, K. Sheng, W. Liu, and L. Zheng. 2018. Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 139: 47-55.
- Llorach, R., F. A. Tomás-Barberán, and F. Ferreres. 2004. Lettuce and chicory byproducts as a source of antioxidant phenolic extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 5109-5116.
- Maryam, A., A. Maryam, R. Anwar, A. U. Malik, and S. A. Khan. 2021. Influence of macro-perforated polyethylene terephthalate and low-density polyethylene packaging films on quality and storability of strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*. 45: article ID e15068.
- Nguyen-the, C., and J. P. Prunier. 1989. Involvement of pseudomonads in deterioration of 'ready-to-use' salad. *International Journal of Food Science and Technology*. 24: 47-58.
- Noma, Y., Y. Suzuki, H. Terai, and N. Yamauchi. 2009. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on quality of Sudachi (*Citrus suchachi* hort. ex. shurAl) fruit. *Food Preservation Science*. 35: 187-193.
- Olatunde, O. O., and S. Benjakul. 2018. Natural preservatives for extending the shelf-life of seafood: A revisit. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 17: 1595-1612.
- Priyadarshi, R., A. Jayakumar, C. K. de Souza, J. W. Kim, and J. T. Kim. 2024. Advances in strawberry postharvest preservation and packaging: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 23: article ID e13417.
- Utto, W. 2014. Factors affecting release of ethanol vapour in active modified atmosphere packaging systems for horticultural products. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 8: 75-85.
- Wang, D., H. Xiao, X. Lyu, H. Chen, and F. Wei. 2023. Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. *Oil Crop Science*. 8: 35-44.
- Wang, Q., X. Nie, and M. Cantwell. 2014. Hot water and ethanol treatments can effectively inhibit the discoloration of fresh-cut sunchoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Postharvest Biology and Technology*. 94: 49-57.
- Xu, F., X. Chen, P. Jin, X. Wang, J. Wang, and Y. Zheng. 2012. Effect of ethanol treatment on quality and antioxidant activity in postharvest broccoli florets. *European Food Research and Technology*. 235: 793-800.
- Zhang, Y., Y. Zhao, J. Feng, H. Dong, W. Liao, X. Yang, S. Chen, and Q. He. 2024. Development of equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for postharvest strawberries based on material modification of permeability and selectivity: Theoretical design, model validation, and application effects. *Postharvest Biology and Technology*. 211: article ID 112799.