

ผลของไอระเหยเอทานอลปลดปล่อยในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกและ
ลักษณะปรากฏของดอกแคสดในระหว่างการเก็บรักษา

Effects of ethanol vapour released in active package on ascorbic acid content and
visual appearances of fresh Humming bird flower (*Sesbania grandiflora*) during storage

วิภาวดี พรหมดวง¹, ศรีธยา จันทรเทศ¹, จินตามณี แสงกาญจนวนิช^{1,4}, พิชญาภา ประดับวงศ์^{1,4}, เรวัต ชัยราช^{1,2}, วัชรพงษ์ วัฒนกุล³, วีรเวทย์ อุทโย^{1,2,4}
และ เบญจมาศ สันต์สวัสดิ์³
Wipawadee Promduang¹, Saranya Jantas¹, Jindamanee Sangkarnjanawanich^{1,4}, Pitchayapa Pradubwong^{1,4},
Raywat Chairat^{1,2}, Wattacharapong Wattanakul³ Weerawate Utto^{1,2,4} and Benjamas Sansawat³

บทคัดย่อ

ดอกแคสดเป็นผักพื้นบ้านมีคุณค่าทางโภชนาการแต่สูญเสียคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้เร็ว การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลที่ปลดปล่อยในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกและลักษณะปรากฏของดอกแค ที่อุณหภูมิ 10°C เวลา 14 วัน บรรจุภัณฑ์แอคทีฟประกอบด้วยซองควบคุมการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล ขนาด 6×6 cm จำนวน 1 ซองซึ่งบรรจุกระดาษกรองขนาด 5×5 cm ที่มีเอทานอลเหลวปริมาณ 0.3 ml วางบนถาดพลาสติก พร้อมดอกแคน้ำหนัก 80 g และบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนและปิดผนึกด้วยความร้อน ปริมาณกรดแอสคอร์บิกและลักษณะปรากฏของดอกแคในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์พาสซีฟ (ไม่มีซองควบคุมฯ แต่บรรจุในถุง) และชุดควบคุม (วางบนถาดอย่างเดียว) ผลการวิจัยพบว่า เนื้อเยื่อดอกแคในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟมีเอทานอลสะสม เท่ากับ 2.70-14.72 mg kg⁻¹ FW แต่ไม่พบในสิ่งทดลองอื่นๆ ความเข้มข้น ณ สภาวะคงที่ของแก๊ส O₂ และ CO₂ ในทุกบรรจุภัณฑ์ เท่ากับ 10-13% และ 5-7% ตามลำดับ ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในทุกสิ่งทดลองลดลงจากค่าเริ่มต้น (39.63 mg 100 g⁻¹ FW) โดยในวันที่ 14 ชุดควบคุมมีค่า (2.96 mg 100 g⁻¹ FW) ต่ำกว่าบรรจุภัณฑ์พาสซีฟและแอคทีฟ ซึ่งเท่ากับ 6.30 และ 9.26 mg 100 g⁻¹ FW ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกสามารถทำนายได้ดีด้วยสมการ FOFC model โดยมีค่า R²≈0.98 และค่า RMSE เท่ากับ 0.98-1.58 ดอกแคในชุดควบคุมมีอาการเหี่ยวและสีคล้ำชัดเจน ขณะที่ดอกแคในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟคงความสดและสีขาวกว่าในบรรจุภัณฑ์พาสซีฟ

คำสำคัญ: ดอกแค, บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ, กรดแอสคอร์บิก, การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

Abstract

Fresh Hummingbird flower (*Sesbania grandiflora*) is a nutritious indigenous vegetable. However, it rapidly loses quality after harvested. This research aimed to study the effects of ethanol vapor released from active packages on ascorbic acid contents and flower appearance during storage at 10 °C for 14 days. Each active package contained a 6×6 cm ethanol vapor controlled release sachet with a 5×5 cm filter paper loaded with 0.3 ml liquid ethanol, and 80 g flowers placed on a plastic tray (10×14×1.9 cm width×length×depth) enclosed in a heat-sealed polyethylene bag. Ascorbic acid contents and flower appearances in the active packages were compared with passive packages (no sachets but bag-packed) and controls (trays only). Results showed ethanol accumulated in flower tissues of the active packages at 2.70–14.72 mg kg⁻¹ FW, but was not detected in others. Steady-state O₂ and CO₂ concentrations in all packages were 10–13% and 5–7%, respectively. Ascorbic acid (AA) contents in all treatments decreased from the initial value (39.63 mg 100 g⁻¹ FW). On day 14th, the AA contents of controls (2.96 mg 100 g⁻¹ FW) were lower than those of passive and active packages, i.e. 6.30 and 9.26 mg 100 g⁻¹ FW, respectively. Changes in the AA contents were well described by the First-Order Fractional Conversion (FOFC) model, with R²≈0.98 and Root Mean Square Error (RMSE) values

¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

² ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400
Postharvest Technology Innovation Center, Office of the Higher Commission, Bangkok 10400

³ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300
Faculty of Agricultural Technology, Chaing Mai Rajabhat University, Chaing Mai 50300

⁴ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารพื้นบ้าน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190
Indigenous Food Research and Industrial Development Center, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, 34190

of 0.98–1.58. Controls exhibited obvious wilting and darkening, meanwhile flowers in active packages maintained fresher appearance and whiter color than those in passive packages.

Keywords: Humming bird flower, active packaging, ascorbic acid, postharvest management

คำนำ

ผู้บริโภคมีแนวโน้มการบริโภคผักและผลไม้เพิ่มมากขึ้นจากการตระหนักในสุขภาพโดยเฉพาะหลังสถานการณ์ระบาดของไวรัส COVID-19 (พรศรี, 2564) การบริโภคดอกไม้เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีส่วนช่วยบำรุงสุขภาพเนื่องจากเป็นแหล่งของสารสำคัญที่มีประโยชน์ เช่น สารสี วิตามิน แร่ธาตุ สารประกอบฟีนอล อัลคาลอยด์ และเทอพินอยด์ (บุญชริกา และคณะ, 2566) การวิจัยนี้ให้ความสนใจศึกษา “ดอกแค” หรือ vegetable humming bird flower (*Sesbania grandiflora* (L.) Desv.) เนื่องจากดอกแคมีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่สูงถึง 35 mg 100 g⁻¹ FW มีฤทธิ์ป้องกันโรคตาบอดกลางคืน รักษาแผลในกระเพาะอาหาร (พริมา และคณะ, 2557) อย่างไรก็ตาม ดอกแคมีแนวโน้มเสื่อมเสียคุณภาพได้ง่าย โดยเฉพาะการสูญเสียน้ำหนักสด ที่นำไปสู่การเหี่ยวเฉาและเกิดสีคล้ำบนผิวดอก ส่งผลให้ดอกแคมีมูลค่าและการยอมรับที่ลดลง แม้ว่า ดอกแคมีจำหน่ายตลอดปี แต่การเข้าถึงของผู้บริโภคที่ใช้ชีวิตเร่งรีบอาจมีข้อจำกัดโดยเฉพาะการซื้อในตลาดสด การเข้าถึงเพื่อบริโภคดอกแคสดในช่องทางการค้าปลีกที่สะดวก เช่น ร้านสะดวกซื้อ ซูเปอร์มาร์เก็ต จึงเป็นการสร้างทางเลือกให้กับผู้บริโภค ทั้งนี้ บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยชะลอการเสื่อมเสียและคงความสดใหม่ได้นานมีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผักสดของผู้บริโภคในร้านสะดวกซื้อ (จักริน และ สายพิน, 2565) ดังนั้นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับดอกแคสดจึงมีความสำคัญต่อการสร้างโอกาสและความยั่งยืนทางธุรกิจของผู้ประกอบการ

บรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟ หรือ active modified atmosphere packaging (active MAP) ซึ่งเป็นการใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกร่วมกับระบบแอคทีฟ (active system) ได้รับความสนใจจากนักวิจัยและผู้ประกอบการเพื่อประยุกต์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ผักและผลไม้สด เนื่องจากสภาวะบรรยากาศดัดแปร และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบแอคทีฟกับเป้าหมาย เช่น แก๊สไอน้ำ หรือเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้เกิดการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (วีรเวทย์, 2562) ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจในการบรรจุภัณฑ์ active MAP ซึ่งมีของควบคุมการปล่อยโอโซนเอทานอลเป็นระบบแอคทีฟ เนื่องจากโอโซนเอทานอลชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสี ลักษณะปรากฏของบรอกโคลี (Fukasawa *et al.*, 2010) หรือคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของลูกหม่อนสด (Choosung *et al.*, 2019) และหอมแดงสดเปลือกเปลือก (Utto *et al.*, 2018) ในปัจจุบันยังไม่พบรายงานการวิจัยของการประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟกับดอกแค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้บรรจุภัณฑ์ active MAP ซึ่งมีของควบคุมการปล่อยโอโซนเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดอกแคสด ทั้งนี้ การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อทราบถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโอโซนเอทานอลกับดอกแคด้วยการวิเคราะห์การสะสมเอทานอลในเนื้อเยื่อดอกแค และผลของเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกและลักษณะปรากฏ

วิธีการศึกษา

การบรรจุภัณฑ์สำหรับดอกแคสด แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้ (1) บรรจุภัณฑ์ active MAP ประกอบด้วย ดอกแคสดระยะดอกตูม 80 g ซึ่งทำการล้างด้วยสารละลายไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 150 mg L⁻¹ และของควบคุมการปล่อยโอโซนเอทานอล วางบนภาชนะขนาด 10×14×1.9 cm (กว้าง×ยาว×ลึก) และบรรจุลงในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (รูปแบบ tray-in-bag) และปิดผนึกด้วยความร้อน (2) บรรจุภัณฑ์ passive MAP ประกอบด้วย ดอกแคสดวางบนภาชนะและบรรจุลงในถุงพลาสติก (ไม่มีของควบคุม) ซึ่งมีขนาดเท่ากับบรรจุภัณฑ์ active MAP จากนั้นปิดผนึกด้วยความร้อน และ (3) ดอกแคสดวางบนภาชนะ (สิ่งทดลองควบคุม) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 75-80% RH เป็นเวลา 14 วัน ทำการวิเคราะห์ในวันที่ 1 3 7 10 และ 14 ทั้งนี้ ของควบคุมฯ เป็นของขนาดเล็กปิดผนึก 4 ด้าน (four-side-sealed) เตรียมโดยใช้ฟิล์มพลาสติก LDPE ขนาด 6×6 cm บรรจุกระดาษกรองขนาด 5×5 cm ที่มีการหยดเอทานอลเหลวปริมาตร 0.3 ml (ดัดแปลงจาก Utto *et al.*, 2018)

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อของดอกแค นำตัวอย่างดอกแคสด 15 g ผสมกับสารละลายเกลืออิ่มตัว (อัตราส่วนเกลือต่อน้ำ deionized เท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก) ปั่นผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างปริมาณ 3 g ใส่ลงในขวดขนาดเล็ก (vial) ขนาด 20 ml และปิดผนึกด้วยจุกยาง (septum) และครอบด้วยกรอบอะลูมิเนียม นำไปต้มที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างแก๊สปริมาตร 1 ml จากภายในขวดด้วยเข็ม gas-tight แล้วทำการฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตแกรม ประเภท flame-ionized detector gas chromatogram (FID-GC; เครื่อง GC-2014, Shimadzu, Japan) ซึ่งมีสถานะของการวิเคราะห์ด้วย FID-GC ที่รายงานใน Utto *et al.* (2018)

การวัดปริมาณกรดแอสคอร์บิก ด้วยวิธีไตเตรตสารละลายมาตรฐานอินโดฟีนอล และศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก โดยประยุกต์สมการ First-Order Fractional Conversion Model (FOFC; Eq. 1) การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของ FOFC ใช้วิธี non-linear regression ดังรายงานใน ปลายมณี และคณะ (2567)

$$\frac{C_t^{AA} - C_{t_\infty}^{AA}}{C_{t_0}^{AA} - C_{t_\infty}^{AA}} = \exp(-k_{AA}t) \quad \text{Eq. 1}$$

โดย C_t^{AA} ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิก ณ เวลาใดๆ (mg 100⁻¹g FW) $C_{t_\infty}^{AA}$ ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิก ณ infinite time (mg 100⁻¹g FW) $C_{t_0}^{AA}$ ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิกเริ่มต้น (mg 100⁻¹g FW) k_{AA} ค่าสัมประสิทธิ์ (day⁻¹) และ t เวลา (day)

การประเมินลักษณะปรากฏ ทำการสังเกตด้วยตาเปล่า จดบันทึกและถ่ายภาพ

ผลและการอภิปราย

ความเข้มข้นของเอทานอลสะสมภายในเนื้อเยื่อของดอกแคเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ active MAP แสดงใน Fig. 1A พบว่าความเข้มข้นของเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 1 และเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 7 เท่ากับ 11 mg kg⁻¹ จากนั้นมีค่าลงในวันที่ 10 เหลือเพียง 3.71 mg kg⁻¹ อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 14 พบว่า ความเข้มข้นได้เพิ่มขึ้นอีกครั้งประมาณ 5 เท่า ระดับความเข้มข้นของเอทานอลซึ่งสะสมในเนื้อเยื่อดังกล่าว ผู้วิจัยพบว่า การสะสมเอทานอลไม่ส่งผลให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การหมักหรือเน่าเสีย แต่ให้กลิ่นร่วมกับกลิ่นหอมผลไม้ดังรายละเอียดนำเสนอในส่วนต่อไป ทั้งนี้ ไม่พบการสะสมเอทานอลในดอกแคในสิ่งทดลอง passive MAP และสิ่งทดลองควบคุม นอกจากนี้ ความเข้มข้นในสภาวะคงที่ของแก๊ส O₂ และ CO₂ ภายในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองประเภทซึ่งเกิดขึ้นภายหลังเก็บรักษา 3 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 10-13% และ 5-7% (v/v) ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) ในบรรจุภัณฑ์ active MAP ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไธราเฮนเอทานอลที่ปลดปล่อยจากของควบคุมฯ สู่บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ กับดอกแค ส่งผลให้เกิดการดูดซับไธราเฮนเอทานอลเข้าสู่เนื้อเยื่อของดอกแค โดยมีความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในเนื้อเยื่อและบรรจุภัณฑ์เป็นแรงขับเคลื่อนของการเกิดปฏิกิริยา (วีรเวทย์, 2562) ในภาพที่ Fig. 1A พบว่า ผลการศึกษาเอทานอลในเนื้อเยื่อของดอกแคสนับสนุนองค์ความรู้ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไธราเฮนเอทานอลกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ เช่น ลูกหม่อนสด (Choosung *et al.*, 2019) และ หอมแดงสดปกเปลือก (Utto *et al.*, 2018) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไธราเฮนเอทานอลและดอกแคเป็นหนึ่งในสามกระบวนการถ่ายโอนมวลที่สำคัญภายในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ โดยอีก 2 กระบวนการถ่ายโอนมวล ประกอบด้วย (1) กระบวนการปลดปล่อยไธราเฮนจากของควบคุมฯ สู่บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และ (2) การซึมผ่านของไธราเฮนเอทานอลจากภายในบรรจุภัณฑ์สู่สิ่งแวดล้อมภายนอก (วีรเวทย์, 2562)

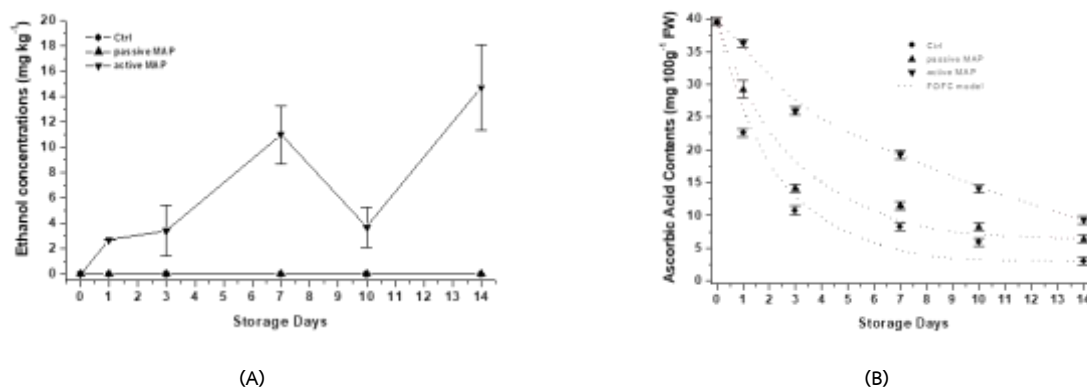


Fig. 1 (A) Ethanol concentrations accumulated in tissues of Humming bird flower packaged in active MAP, (B) Kinetic changes of ascorbic acid contents in the flowers kept in all packaging treatments with FOFC model prediction during storage at 10°C for 14 days (n=3, points and bars representing average $\pm$ standard deviation)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นเอทานอลในเนื้อเยื่อ ณ วันที่ 10 (Fig. 1A) พบว่า ค่าความเข้มข้นได้ลดลงอย่างมาก (ประมาณ 4 เท่า) จากค่าที่วัดได้ในวันที่ 7 การลดลงดังกล่าวอาจคาดคะเนว่ามีสาเหตุสำคัญจากการเปลี่ยนแปลงของเอทานอลในระดับโมเลกุลให้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนอื่นโดยเฉพาะสารประกอบเอสเตอร์ (esters หรือ ethyl esters) เป็นผลจากกระบวนการทางเอนไซม์ โดยมีตัวอย่างของเอนไซม์สำคัญ คือ alcohol acyltransferase (AAT) วีรเวทย์, 2562 ในการศึกษาของ Choosung *et al.* (2019) พบว่า ลูกหม่อนในบรรจุภัณฑ์ active MAP เกิดการสะสมสารระเหยกลุ่มเอสเตอร์ในเนื้อเยื่อ เช่น methyl benzoate, ethyl benzoate, ethyl acetate, ethyl butanoate และ ethyl hexanoate ในปริมาณที่มากกว่าลูกหม่อนที่เก็บในอากาศ

หรือในบรรจุภัณฑ์ passive MAP ทั้งนี้ สารระเหยกลุ่มนี้มีกลิ่นที่หอมของผลไม้ (fruity aroma) ซึ่งสอดคล้องกับการรับรู้กลิ่นหอมของดอกแคโดยผู้วิจัย แต่ผู้วิจัยไม่ได้ทำการวัดสารประกอบเอสเทอร์ในเนื้อเยื่อดอกแค ดังนั้นจึงควรได้รับการศึกษาต่อไปในอนาคตจาก Fig. 1A พบว่า ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อในวันที่ 14 มีค่าสูงเพิ่มขึ้นจากวันที่ 10 การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเป็นผลจากเนื้อเยื่อของดอกแคบางส่วนได้อิ่มตัวกับสารระเหยเอสเทอร์ที่ผลิตขึ้น ดังนั้นเอนไซม์ AAT จึงชะลอการเปลี่ยนเอทานอลเป็นสารประกอบเอสเทอร์ ส่งผลให้สามารถวัดค่าความเข้มข้นเอทานอลในเนื้อเยื่อของดอกแคได้เพิ่มขึ้น จากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของพืชเมื่อได้รับไอระเหยเอทานอลที่อภิปรายข้างต้น อาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ยังไม่มีรายงานข้อมูลในปัจจุบันซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นของเอทานอลที่ทำให้ผู้บริโภคเกิดการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

ปริมาณแอสคอร์บิกของดอกแคในทุกลองระหว่างการเก็บรักษามีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจากค่าเริ่มต้น (39.63 ± 0.64 mg $100g^{-1}$ FW) ($p < 0.05$) โดยเฉพาะในสิ่งทดลองควบคุมซึ่งเกิดการลดลงมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ในขณะที่ดอกแคในสิ่งทดลองบรรจุภัณฑ์ active MAP มีการลดลงต่ำที่สุด (Fig. 1B) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของไอระเหยเอทานอลชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกโดยมีกลไกสำคัญหลายประการ เช่น การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโมเลกุลของเอทานอลและเอนไซม์แอสคอร์บิกออกซิเดส (เอนไซม์ ACO) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิก ให้เป็นดีไฮโดร-แอสคอร์เบต (dehydroascorbate) นอกจากนี้ ไอระเหยเอทานอลช่วยชะลอการหายใจและ/หรือการชะลอการชราภาพ (senescence) (Gao *et al.*, 2017) หรือการชะลอกระบวนการ gene expression ของเอนไซม์ เช่น คลอโรฟิลเลสของบรอกโคลี (Fukasawa *et al.*, 2010) และถั่วเขียว (green bean) (Awad *et al.*, 2021) ดังนั้นจึงอาจทำให้เกิดการชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ ACO ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของดอกแคที่ช้าลง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของตัวอย่างผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ active MAP ที่นำเสนอข้างต้น ทั้งนี้ ผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลต่อ gene expression และ เอนไซม์ต่อระบบและกลไกทางชีวเคมีและสรีรวิทยาเชิงลึกของดอกแคและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป เมื่อพิจารณาข้อมูลใน Fig. 1B และ Table 1 พบว่า จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของดอกแคทำนายได้ดีด้วยสมการ FOFC (ค่า $R^2 \sim 0.98$ และค่า RMSE เท่ากับ 0.98-1.58) ทั้งนี้ ค่า ในแต่ละสิ่งทดลองแสดงถึงอัตราเร็วในการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิก โดยเกิดการลดลงที่เร็วที่สุดในสิ่งทดลองควบคุม จึงทำให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ต่ำสุดในวันที่ 14 ในทำนองเดียวกัน ข้อมูลใน Table 2 แสดงให้เห็นว่าดอกแคในบรรจุภัณฑ์ active map มีลักษณะปรากฏที่สดกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับดอกแคสด (Day0) ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดอกแคสดโดยไอระเหยเอทานอล ทั้งนี้ ยังไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อย่างชัดเจน แต่จากการสังเกตพบจุดสีน้ำตาลเล็กน้อย บริเวณซอของสิ่งทดลองควบคุม ซึ่งอาจเป็นระยะเริ่มต้นของการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

Table 1 Values of k_{AA} , R^2 and RMSE estimated from the non-linear regression for changes in ascorbic acid contents predicted by the FOFC model (Eq. 1)

Treatments	k_{AA} (day ⁻¹)	R^2	RMSE
control	0.53	0.98	1.58
passive MAP	0.40	0.98	1.19
active MAP	0.18	0.98	0.98

Table 2 Comparisons on Humming bird flower appearances photographically recorded on Day 0 and Day 14

Day0	Ctrl/Day 14	passive MAP/Day 14	active MAP/Day 14
			

สรุปผลการทดลอง

ไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟเกิดปฏิกิริยากับดอกแคสด ส่งผลให้ความเข้มข้นเอทานอลภายในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น การเกิดปฏิกิริยาชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกและลักษณะปรากฏในระหว่างการเก็บรักษา ข้อมูลดังกล่าวจัดเป็นความรู้พื้นฐานสำหรับการศึกษาการบรรจุภัณฑ์ active MAP สำหรับดอกแคและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารพื้นบ้าน และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ สถานที่ และอุปกรณ์การวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จักริน เวียนบุญนาค และสายพิน ปั่นทอง. 2565. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผักสดของผู้บริโภคจากร้านสะดวกซื้อในกรุงเทพมหานคร. วารสารสุทธิปริทัศน์ 36 (3): 133-151.
- บุญทริกา นันทนา, ปรีชาดิ ดิษฐกิจ, จรรยา สิงห์คำ และณอม สิงห์จ้อย. 2566. ดอกไม้กินได้: คุณค่ามากกว่าการเป็นไม้ประดับ. วารสารเกษตรและอาหาร มรวอ 2 (2): 1-12.
- ปลายมณี บุราณ, พรพิมล ไชยวงษ์, สุกัญญา บุญตะนัย, เรวัตติ ชัยราช, กฤตยา อุทโร และวีรเวทย์ อุทโร. 2567. อัตราการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของผลมะสังในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมเกษตร 55(2): 157-161.
- พรศรี เหล่าจุสวัสด์. 2564. กลยุทธ์เพื่อส่งเสริมการบริโภคผักและผลไม้ในยุคโควิด-19: กรณีศึกษา: กลุ่มผู้บริโภคเยาวชนคนรุ่นใหม่. วารสารพัฒนาเทคนิคการศึกษา 34 (123): 113-121.
- พริมา พิริยางกูร, ไพลิน ศิริสวัสดิ์ และจุฑาทิพย์ โพธิ์อุบล. 2557. ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของดอกแค. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 45 (3/1 พิเศษ): 257-260.
- วีรเวทย์ อุทโร. 2562. การบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟสำหรับผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี. 192 หน้า.
- Awad, A. H. R., Parmar, A., Ali, M. R., El-Mogy, M. M., & Abdelgawad, K. F. (2021). Extending the shelf-life of fresh-cut green bean pods by ethanol, ascorbic acid, and essential oils. *Foods* 10 (5): 1103.
- Choosunga, P., Utto, W., Boonyariththongchaia, P., Wasusrid, T., and Wongs-Areea, C. 2019. Ethanol vapor releasing sachet reduces decay and improves aroma attributes in mulberry fruit. *Food Packaging and Shelf Life* 22: 1-8.
- Fukasawa, A., Suzuki, Y., Terai, H, and Yamauchi, N. 2010. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on activities and gene expression of chlorophyll catabolic enzyme in broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*. 55. 97-102.
- Gao, J., Luo, Y., Turner, E. R., & Zhu, Y. 2017. Mild concentration of ethanol in combination with ascorbic acid inhibits browning and maintains quality of fresh-cut lotus root. *Postharvest Biology and Technology*, 128, 169–177.
- Utto, W., Preutikul, R., Mailia, P., Noomhorm, A., and Bronlund, J.E. 2018. Delaying microbial proliferation in freshly peeled shallots by active packaging incorporating ethanol vapour-controlled release sachets and low storage temperature. *Food Science and Technology International*. 24 (2): 132-144.