Agric. Sci. Innov. J. 55 : 2 (Suppl.) : 167 – 173 (2024) ว. วิทย. นวัต. กษ. 55 : 2 (พิเศษ) : 167 - 173 (2567)

ผลของไอระเหยเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้สุกตัดแต่งพร้อมบริโภค
Effect of an Ethanol Vapor on Physical and Chemical Changes of Ripen Fresh-cut Mango cv. Nam Dok Mai

พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย[1,2,*] ปรียานุช แสงประยูร[1] มธุรส ขุมทองวัฒนา[1] ปุณิกา แสงสุข[1] วาริช ศรีละออง[1,2] และ สุริยัณห์ สุภาพวานิช[3]
Panida Boonyaritthongchai[1,2,*], Preyanuch Sangprayoon[1], Mathurot Khumthongwattana[1], Punika Sangsuk[1], Varit Srilaong[1,2] and Suriyan Supapvanich[3]

Abstract

Browning occurrence after peeling and cutting is another problem of ripe fresh-cut mango. This research aimed to study the effect of ethanol vapor on the quality changes of ripe fresh-cut mango cv. Nam Dok Mai. After washing, peeling, and cutting, mango pieces were packed into semi-rigid plastic boxes with lids containing a 0.3 g ethanol vapor-releasing pad (EP), compared to a non-EP treatment (control). Both treatments were stored at 10°C for 6 days. The EP samples had higher lightness (L^*) and yellowness (b^*) values than the control samples. The ΔE^* value of the EP samples was lower than that of the control samples. The L^*, b^*, and ΔE^* values were also related to browning pigment (BP) and browning score (BS), with these values increasing progressively from the first day of storage. Overall consumer acceptance of the EP treatment showed higher acceptance than the non-EP treatment. After 6 days of storage, PPO activity and total phenolic content of the EP treatment were lower than those of the control. PPO activity of the EP-treated mango and the control set were 2.04 and 2.23 units/mg protein, respectively. Total phenolic content showed a similar trend to PPO activity, with values of 0.52 and 0.60 mg GAE/100 g FW in the EP treatment and control samples, respectively. Antioxidant activity measured by the DPPH assay was also evaluated. EP samples showed a higher value for antioxidant capacity (6.70%) compared to the non-treated sample (5.85%).
Keywords: browning symptom, ethanol vapor, fresh cut mango

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สุกตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยบรรจุชิ้นมะม่วงในบบรจุภัณฑ์พลาสติกกึ่งคงรูปพร้อมฝา ที่บรรจุซองปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลขนาด 0.3 กรัม (EP) เปรียบเทียบกับชิ้นมะม่วงที่บรรจุในภาชนะที่ไม่มี EP (ชุดควบคุม) แล้วเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน พบว่ามะม่วงในชุด EP มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มากกว่ามะม่วงในชุดควบคุม ค่า ΔE^* ของชุดในชุด EP น้อยกว่ามะม่วงในชุดควบคุม อีกทั้งค่า L^* b^* และ ΔE^* ของมะม่วงมีความสัมพันธ์กับค่าการเกิดสีน้ำตาล (BP) และค่าการให้คะแนนการเกิดสีน้ำตาล (BS) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากวันแรกของการเก็บรักษาตามลำดับ จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่ามะม่วง EP ได้รับการยอมรับมากกว่ามะม่วงชุดควบคุม นอกจากนั้นยังพบว่า มะม่วงชุด EP มีค่ากิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) และสารประกอบฟีนอกลิกต่ำกว่าชุดควบคุม โดยมีค่ากิจกรรม PPO เท่ากับ 2.04 และ 2.23 Units/mg protein และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 0.52 และ 0.60 mg GAE/100g FW ตามลำดับ และจากการทดสอบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าการใช้ไอระเหยเอทานอลมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าชุดควบคุม โดยมะม่วงชุด EP มีค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ เท่ากับ 6.70 และในชุดควบคุมเท่ากับร้อยละ 5.85 ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา
คำสำคัญ: การเกิดสีน้ำตาล ไอระเหยเอทานอล มะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภค

---

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน)
49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียนชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150
[1]Division of Postharvest Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi (Bangkhuntien),
49 Tientalay 25, Tha Kham, Bangkhuntien, Bangkok 10150, Thailand
[2]ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม 10400
[2]Postharvest Technology Innovation Center, Science, Research and Innovation Promotion and Utilization Division,
Office of the Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation 10400, Thailand
[3]ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
[3]Department of Agricultural Education, Faculty of Industrial Education, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 1 Soi Chalongkrung 1,
Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520

คำนำ

สภาพชีวิตความเป็นอยู่ในปัจจุบันโดยเฉพาะในสังคมเมืองชีวิตผู้คนค่อนข้างเร่งรีบในทุกเรื่อง รวมถึงเรื่องอาหารสำหรับบริโภค เพื่อเป็นการตอบสนองต่อการดำรงชีวิตของผู้คน ในปัจจุบันการพัฒนาด้านผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค (fresh-cut fruit) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค คือ ผลไม้ที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การปอก การหั่น การตัดแต่ง โดยที่ผลไม้ยังมีชีวิตอยู่ซึ่งการตัดแต่งแปรรูปในลักษณะนี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่บอบบาง และเชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่าย ทำให้อายุการวางจำหน่ายสั้น แต่ข้อดีของผลไม้สดพร้อมบริโภคที่ได้จะมีคุณภาพและความสด มีคุณค่าทางอาหารที่ใกล้เคียงกับผลสด นอกจากนี้ผลไม้สดพร้อมบริโภคยังสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่สามารถนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปรับประทานได้ทันที และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับตัวผลิตผลได้อีกทางหนึ่งด้วย การนำผลไม้มาตัดแต่งแปรรูปเบื้องต้นให้พร้อมต่อการบริโภคนั้น จัดเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งสำหรับการเพิ่มศักยภาพของผลิตผลเกษตรไทยและให้เป็นที่รู้จักกันดีสำหรับคนต่างชาติ แต่ในการแปรรูปตัดแต่งนั้นยังพบปัญหาของอายุการเก็บรักษาที่สั้น เช่น การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อมะม่วง หรือเนื้อแอปเปิ้ลภายหลังการตัดแต่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งก่อนและหลังการแปรรูป ซึ่งการตัดแต่งผลไม้โดยการผลิตเป็นผลไม้สดแปรรูปพร้อมบริโภค ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ชีวเคมี และจุลชีววิทยาของผลผลิตสดที่ผ่านกระบวนการแปรรูป การปฏิบัติในแต่ละขั้นตอนข้างต้นทำให้สารต่าง ๆ ภายในเซลล์ออกมาบริเวณรอยแผลที่เกิดจากการตัดแต่ง ส่งผลต่อการเร่งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมี เกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดแต่ง ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และเกิดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าว มีผลทำให้ผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคมีคุณภาพลดลง เสื่อมเสียง่าย ไม่ปลอดภัย ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และมีอายุการวางจำหน่ายสั้นกว่าผลไม้ที่ไม่ได้ผ่านการตัดแต่งแปรรูป ปัญหาที่สำคัญของผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค ได้แก่ การมีอายุการเก็บรักษาสั้นประมาณ 2-4 วันขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิตสด เช่น ทุเรียนตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอายุการวางจำหน่าย 3-4 วัน เมื่อเก็บรักษาที่ 28 องศาเซลเซียส มะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคมีอายุการวางจำหน่าย 2-3 วัน เมื่อเก็บรักษาที่ 13 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงมีความจำเป็นการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลและลดการเกิดเชื้อในผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค เอทานอล (ethanol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง สามารถผลิตได้โดยกระบวนการหมักของพืช โดยการเปลี่ยนแปลงแป้งเป็นน้ำตาล แล้วเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ในที่สุด นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อทางการแพทย์และเภสัชกรรม เอทานอลถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เช่น ใช้เป็นเครื่องดื่ม เป็นอาหาร เช่น น้ำส้มสายชู เจลาติน ใช้เป็นตัวรีเอเจนต์ในห้องปฏิบัติการและอื่นๆ เป็นต้น โดยทั่วไปเอทานอลจัดเป็นสารที่มีความปลอดภัย สามารถใช้ร่วมกับอาหารได้ เอทานอลในสถานะแก๊สถูกใช้งานในการยืดอายุอาหารอย่างแพร่หลาย เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อาหารแห้งที่มีความไวต่อการเสื่อมสภาพจากความชื้น และชีส แต่การใช้เอทานอลในอาหารมักส่งผลให้สูญเสียรสสัมผัสที่ดี เกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว และผู้บริโภคอาจไม่ยอมรับ การใช้ไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์อาหาร มักใช้ในรูปแบบของ encapsulated ที่จะเกิดการแตกตัวเมื่อทำปฏิกิริยากับไอน้ำที่ปลดปล่อยจากอาหาร มีรายงานว่าการใช้ไอระเหยเอทานอลสามารถควบคุมการเจริญของเชื้อรา ได้แก่ *Aspergillus* spp. และ *Pennicillium* spp. สามารถควบคุมการเจริญของแบคทีเรีย ได้แก่ *Staphylococcus* spp., *Salmonella* spp. และ *E. coli* (Brody *et al*., 2001) ในด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวใช้เอทานอลเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และคุณภาพด้านการยอมรับของแอปเปิ้ล (Zhang *et al*., 2007) ลดความฝาดของกล้วยและลูกพลับ (Kato, 1990; Esguerra *et al*., 1993) ชะลอการสุกของมะเขือเทศ (Salviet and Sharaf, 1992) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สุกตัดแต่งพร้อมบริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

นำมะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมาคัดเลือกผลที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ ปราศจากร่องรอยการเข้าทำลายของโรค แมลง และไม่มีตำหนิ น้ำหนักประมาณ 200-250 กรัมต่อผล ทำการคัดระยะความสุกแก่ใกล้กัน โดยอาศัยความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงที่จมลอยในน้ำหรือน้ำเกลือ โดยการคัดเลือกมะม่วงน้ำดอกไม้โดยทำการเลือกผลที่จมในน้ำ แต่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 5 นาที ทิ้งไว้ให้แห้ง หลังจากนั้นทำการปอกเปลือก หั่นเนื้อมะม่วงตามยาวแล้วหั่นแบ่งเป็น 4 ชิ้น นำชิ้นมะม่วงบรรจุในกล่องพลาสติกแบบ semi-rigid packaging ขนาด 11.5 × 17 × 4.5 เซนติเมตร บรรจุ 4 ชิ้นต่อกล่อง โดยแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 ไม่มีซองปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ (ชุดควบคุม) และชุดการทดลองที่ 2 บรรจุร่วมกับซองปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลขนาด 0.3 กรัม นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80-90 สุ่มตัวอย่างครั้งละ 4 ซ้ำ (1 กล่องต่อซ้ำ) นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองทุก 2 วัน ในวันที่ 0 2 4 และ 6 โดยวิเคราะห์ค่าสี ปริมาณการเกิดสีน้ำตาล (browning pigment)) ตามวิธีการของ Supapvanich *et al*. (2011) คะแนนการเกิดสีน้ำตาล คะแนนการยอมรับของผู้บริโภค กิจกรรมเอนไซม์พอลิฟีนอ

ลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) ตามวิธีการของ Flurkey and Jen (1978) ปริมาณสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) ดัดแปลงจากวิธีการของ Slinkard and Singleton (1997) เปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH radical scavenging) ตามวิธีการของ Brand-Williams *et al.* (1995) กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ตามวิธีการของ Benzie and Strain (1996)

ผล

1. ลักษณะทางกายภาพของชิ้นเนื้อมะม่วง

การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุไอระเหยเอทานอลความเข้มข้นต่าง ๆ กัน พบว่าสีผิวของเนื้อมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในแต่ละชุดการทดลองมีสีคล้ำเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา 6 วัน (Figure 1) แต่อย่างไรก็ตามลักษณะทางกายภาพของมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

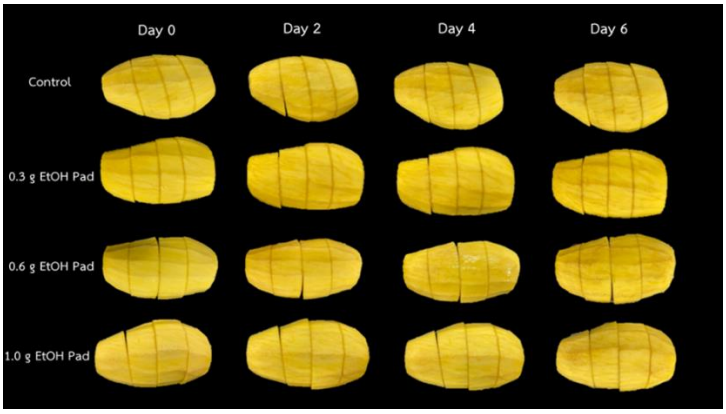

Figure 1 Appearance of fresh-cut mango kept in package with EP and untreated fruit (control) storage at 4°C for 6 days.

2. การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อมะม่วง

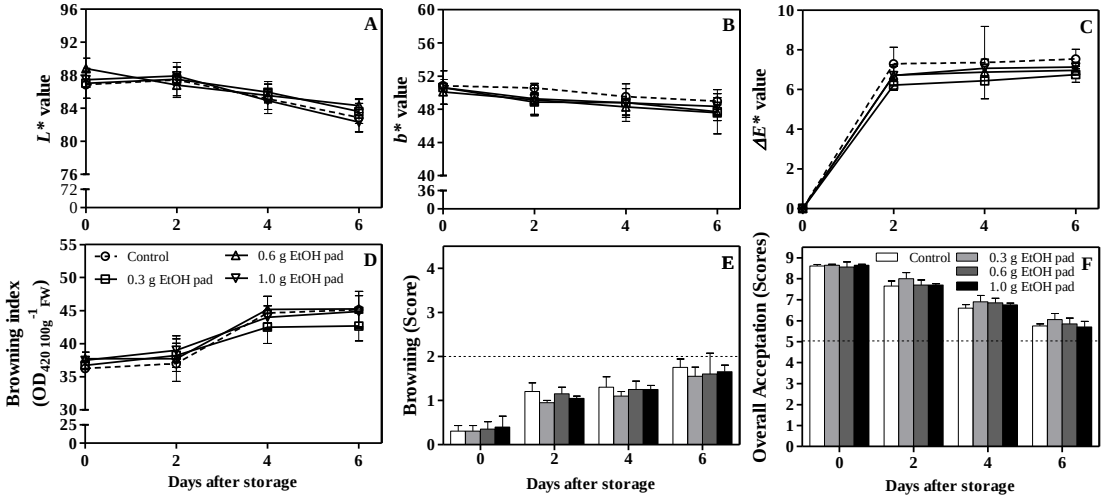

Figure 2 Color attributes, browning pigment, browning score and overall acceptation of fresh-cut mango kept in package with EP and untreated fruit (control) storage at 4°C for 6 days.

การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณผิวของมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (*L**) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b**) ของสีผิวเนื้อมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามะม่วงมีสีผิวคล้ำขึ้น ในวันแรกของการเก็บรักษา มีค่า *L** อยู่ในช่วง 86.85-88.80 และมีค่า *b** อยู่ในช่วง 50.10-50.83 ในวันสุดท้ายของเก็บรักษา ค่า *L** อยู่ในช่วง 82.32-84.33 และมีค่า *b** อยู่ในช่วง 47.58-48.96 อย่างไรก็ตามค่า *L** และค่า *b** ของมะม่วงในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา 6 วัน (Figure 2A-B) ในขณะที่ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) ในทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 2C) ในวันแรกของการเก็บรักษา มีค่า ΔE^* มีค่าเท่ากับ 0 และวันสุดท้ายของเก็บรักษา ค่า ΔE^* อยู่ในช่วง 6.76-7.53 โดยทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อมีการให้ประเมินคะแนนการเกิดสีน้ำตาลบริเวณผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค (Figure 2E) มี 4 ระดับ คะแนน 0 หมายถึงไม่เกิดสีน้ำตาลเลยของพื้นที่ผิวทั้งหมด (no browning) คะแนน 1 หมายถึงเกิดสีน้ำตาลอ่อนร้อยละ 1-25 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด (slight browning) คะแนน 2 หมายถึงเกิดสีน้ำตาลปานกลางร้อยละ 26-50 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด (moderate browning) คะแนน 3 หมายถึงเกิดสีน้ำตาลเข้มร้อยละ 51-75 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด (severe browning) คะแนน 4 หมายถึงเกิดสีน้ำตาลเข้มมากร้อยละ 76-100 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด (extreme browning) ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองมีค่าคะแนนการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 2E) ซึ่งสอดคล้องกับค่า *L* b** และ ΔE^* (Figure 2A-C) และพบว่าในวันที่ 4 และ 6 ของการเก็บรักษา มะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคชุดควบคุมมีแนวโน้มของค่าคะแนนการเกิดสีน้ำตาลมากกว่ามะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในชุดการทดลองอื่น แต่อย่างไรก็ตามมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในแต่ละชุดการทดลองมีค่าคะแนนการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา 6 วัน โดยมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในแต่ละชุดการทดลองมีค่าคะแนนการเกิดสีน้ำตาลประมาณ 0.30-0.40, 0.95-1.20, 1.10-1.30 และ 1.55-1.75 คะแนน ในวันที่ 0, 2, 4 และ 6 ตามลำดับ โดยค่า *L* b** ΔE^* และค่าคะแนนการเกิดสีน้ำตาล (Figure 2A-D) ยังมีความสอดคล้องกับค่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคของมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภค มี 9 ระดับ โดย 9 คะแนน หมายถึงชอบมากที่สุด และคะแนนค่อยๆ ตามการยอมรับของผู้บริโภค 1 คะแนน หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด ในมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคของทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 2F) และพบว่าในวันที่ 2 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา มะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคชุดควบคุมมีค่าคะแนนคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคน้อยกว่ามะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในชุดการทดลองอื่น อย่างไรก็ตามมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองมีค่าคะแนนคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 วัน โดยมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในแต่ละชุดการทดลองมีค่าคะแนนคะแนนการยอมรับของผู้บริโภค 8.55-8.65, 7.70-8.00, 6.60-6.95 และ 5.70-6.05 คะแนน ในวันที่ 0, 2, 4 และ 6 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์การเกิดสีน้ำตาล พบว่ามะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองมีค่าปริมาณการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา (Figure 2D) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผิวของมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคมีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น และพบว่าในวันที่ 4 และ 6 ของการเก็บรักษา มะม่วงชุด EP ขนาด 0.3 กรัม มีแนวโน้มของค่าปริมาณการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่ามะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในชุดการทดลองอื่น แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในแต่ละชุดการทดลองมีค่าปริมาณการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 วัน โดยมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในแต่ละชุดการทดลองมีค่าปริมาณการเกิดสีน้ำตาลประมาณ 36.25-37.75, 37.00-39.00, 42.50-45.17 และ 42.67-45.25 OD420 / 100 g FW ในวันที่ 0, 2, 4 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ามะม่วงชุด EP ขนาด 0.3 กรัม มีแนวโน้มชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

3. ปริมาณสารประกอบฟีนอล และกิจกรรมเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

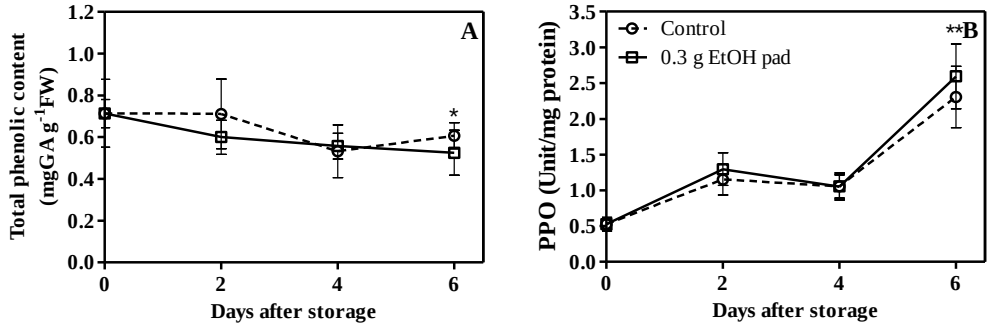

Figure 3 Total phenolic content and polyphenol oxidase of fresh-cut mango kept in package with 0.3 g EP and untreated fruit (control) storage at 4°C for 6 days.

มะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงระหว่างการเก็บรักษา (Figure 3A) ในวันเริ่มต้นจนถึงวันที่สี่ของการเก็บรักษา มะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองมีค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในวันที่ 0, 2 และ 4 ของการเก็บรักษา โดยแสดงค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.71, 0.60-0.71 และ 0.53-0.56 mg.g^{-1}FW ตามลำดับ และในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ชุดควบคุมมีปริมาณค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่ามะม่วงชุด EP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ที่ 0.61 และ 0.52 mg g^{-1}FW ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ระหว่างการเก็บรักษา โดยมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 วัน (Figure 3B) โดยพบว่าในวันที่ 0 2 และ 4 ของการเก็บรักษา มะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในแต่ละชุดการทดลองมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าประมาณ 0.53, 1.15-1.30 และ 1.41-1.58 Unit/mg protein และพบว่าในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคชุดควบคุมมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO มากกว่ามะม่วงชุด EP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.23 และ 2.04 Unit/mg protein ตามลำดับ ดังนั้นมะม่วงชุด EP มีแนวโน้มในการชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและเอนไซม์ PPO ในระหว่างการเก็บรักษา 6 วัน

4. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

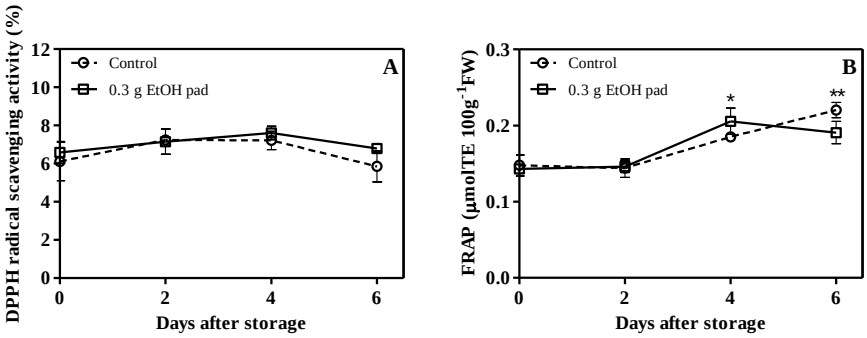

Figure 4 DPPH radical scavenging activity (%) and antioxidant capacity by FRAP of fresh-cut mango kept in package with 0.3 g EP and untreated fruit (control) storage at 4°C for 6 days.

ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในสี่วันแรกของการเก็บรักษา และลดลงในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (Figure 4A) แต่อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Figure 4B) ในวันเริ่มต้นและวันที่ 2 ของการเก็บรักษา มะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคในทุกชุดการทดลองมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าประมาณ 0.14-0.15 µmolTE 100g^{-1}FW ในวันที่สี่ของการเก็บรักษา มะม่วงชุด EP มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่ามะม่วงชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.21 และ 0.18 µmolTE 100g^{-1}FW ตามลำดับ และในวันสุดท้ายกลับพบว่า มะม่วงชุด EP มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่ามะม่วงชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.19 และ 0.22 µmolTE 100g^{-1}FW ซึ่งจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ามะม่วงชุด EP มีแนวโน้มกระตุ้นค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการเก็บรักษา

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนดให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลิตผลตัดแต่งพร้อมบริโภคสามารถพบได้ไม่เกิน 6 log10CFU ต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าในช่วงระหว่างวันที่ 0 ถึงวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคทุกชุดการทดลอง ในขณะที่วันที่ 6 ของการเก็บรักษา ตรวจพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะม่วงชุด EP ขนาด 0.6 กรัมเท่ากับ 0.02 log10CFU ต่อกรัมน้ำหนักสด อย่างไรก็ตามปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบนั้นมีปริมาณไม่เกินเส้นมาตรฐานที่ทางกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนด (ไม่ได้นำเสนอข้อมูล)

วิจารณ์ผล

เนื่องจากลักษณะปรากฏเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยพบว่าปัญหาสำคัญของมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคนั้นเกิดจากการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดบนผิวหน้า ซึ่งส่งผลเชิงลบต่อคุณภาพ และอายุการเก็บรักษา ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้เป็นปฏิกริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปอกเปลือกผลมะม่วง ทำให้เซลล์เกิดความเสียหาย ส่งผลให้สารภายในเซลล์เช่น เอนไซม์ PPO ที่สะสมในพลาสติด และสารประกอบฟีนอลลิกที่สะสมแวคิวโอลเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกจากเซลล์อย่างอิสระและเกิดปฏิกิริยากัน โดยเอนไซม์ PPO ซึ่งจะไปกระตุ้นให้สารประกอบฟีนอลเปลี่ยนไปเป็น quinone โดยมีออกซิเจนร่วมในปฏิกิริยา เมื่อ quinone รวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่จะเกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น (จักรพงษ์ และ จริงแท้, 2536; Zhou and Tan, 1997) นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการตัดแต่งเนื้อมะม่วงนั้นมีของเหลวและองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ที่ถูกทำลายจะไหลออกมาภายนอกเซลล์ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์ได้ง่าย ซึ่งปัจจุบันเริ่มมีการนำเอทานอลซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเป็นสารฆ่าเชื้อที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง และไม่เกิดสารตกค้างในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยมีการใช้เอทานอลเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในรูปแบบสารปล่อยไอระเหยของเอทานอล โดยนิยมบรรจุในซอง (sachet) ซึ่งมีการเจาะรูขนาดเล็กระดับไมโครเพื่อให้ไอของเอทานอลแพร่ผ่านออกมาสู่บริเวณช่องว่าง ทั้งนี้ความชื้นจากผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล เนื่องจากความชื้นจะเข้าละลายเอทานอลบนวัตถุดูดซับซึ่งจะแพร่ผ่านซองออกมาสัมผัสผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีค่าเพิ่มขึ้นจึงมีปริมาณไอระเหยของเอทานอล ซึ่งไอระเหยเอทานอล หรือ ethanol vapor ทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากเอทานอลสามารถต้านทานการเจริญเติบโตของยีสต์และราได้ดี (งามทิพย์, 2550) และจากงานวิจัยของ Franke *et al*. (2002) พบว่ายิ่งใช้ปริมาณหรือขนาดวัตถุปล่อยเอทานอลเพิ่มขึ้นก็จะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์มากขึ้นด้วย ทั้งนี้การเลือกใช้ขนาดของวัตถุปล่อยเอทานอลนั้นต้องขึ้นอยู่กับน้ำหนัก และระยะเวลาที่ต้องการจะยืดอายุของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันมีการใช้ไอระเหยของเอทานอลกับผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด ซึ่งไอระเหยของเอทานอลเป็นวิธีการที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษา และชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผลสด อีกทั้งการใช้ไอของเอทานอลกับผลผลิตทางการเกษตรถูกจัดว่าเป็นวิธีการที่ปลอดภัย (generally-recognised-as safe, GRAS) และการใช้ไอของเอทานอลสามารถใช้ในการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงควบคุมคุณภาพในด้านอื่นๆ ของผลิตผลทางการเกษตรได้อีกด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาของนพรัตน์ (2560) รายงานว่าการใช้ไอระเหยเอทานอลขนาด 3 กรัม สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด การเปลี่ยนแปลงค่า *L** และการเกิดสีน้ำตาลของเปลือก รวมถึงการหลุดร่วงของผลลองกองได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น และมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด 14 วัน และ Franke *et al*. (2002) รายงานว่าการใช้ไอระเหยเอทานอลขนาด 0.3 กรัม สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้นานตลอดการเก็บรักษาถึง 35 วัน Wang *et al*. (2015) รายงานว่าการใช้ไอระเหยเอทานอลสามารถยับยั้งการแสดงออกของโรคแอนแทรกโนสในผลโลควอท และสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อ *C. acutatum* ได้ แต่อย่างไรก็ตามการยับยั้งจุลินทรีย์โดยไอระเหยเอทานอลนั้น ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน แต่นักวิจัยที่ศึกษาก่อนหน้านี้ได้ตั้งสมมติฐานว่ากลไกดังกล่าวอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือเสียสภาพของ cell membrane ของจุลินทรีย์ (Berger and Drawert, 1984; Nychas, 1995; Gardini *et al*., 1995) ซึ่งจากการทดลองการศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลขนาด 0.3, 0.6 และ 1.0 กรัม ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคนั้น พบว่าการใช้ไอระเหยเอทานอลในแต่ละความเข้มข้น ไม่ได้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ สีผิว และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภค แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ไอระเหยเอทานอลขนาด 0.3 กรัม มีแนวโน้มในการชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล และมีค่าคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่ามะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภคชุดการทดลองอื่นในระหว่างการเก็บรักษา 6 วัน เนื่องจากไม่พบกลิ่นผิดปกติในขณะที่การใช้ไอระเหยเอทานอลขนาด 0.6 และ 1.0 กรัม พบกลิ่นหืนเล็กน้อย นอกจากนี้การใช้ไอระเหยเอทานอลขนาด 0.3 กรัม มีแนวโน้มกระตุ้นกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและลดเอนไซม์ PPO ซึ่งเกี่ยวข้องการเกิดสีน้ำตาลอีกด้วย มีรายงานว่าการใช้ไอระเหยของเอทานอลเป็นวิธีการที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษา และชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผลสดหลายชนิด เช่น สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาและรักษาคุณภาพทางด้านการยอมรับของผลแอปเปิ้ล (Zhang *et al*., 2007) ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ไอระเหยของเอทานอลขนาด 0.3 กรัมในการชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลำไย (วาริชและคณะ, 2558) และการใช้ไอระเหยของเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 25-100 ยังสามารถชะลอการเน่าเสียในผลหม่อนได้ (พฤกษ์และคณะ 2556) Lichter *et al*. (2002) ยังรายงานว่า การใช้ไอระเหยเอทานอลช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล และยืดอายุการเก็บรักษาผลองุ่นได้ ทั้งนี้ไอระเหยเอทานอลยังส่งผลโดยตรงกับการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล เช่น เอนไซม์ PPO โดยตรง รวมถึงสามารถชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ Shao *et al*. (2020) ยังรายงานว่า การใช้เอทานอลสามารถรักษาคุณภาพของผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในผลมะไฟจีน ดังนั้นการใช้ไอระเหยของเอทานอลมีแนวโน้มในการรักษาคุณภาพ ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีและการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อีกทั้งยังมีแนวโน้มกระตุ้นสารสำคัญในมะม่วงอีกด้วย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และศูนย์รวมผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และ The United Graduate School of Agricultural Science (UGSAS), Gifu University ประเทศญี่ปุ่น สำหรับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร (Food packaging). เอส.พี.เอ็ม. กรุงเทพฯ.

จักรพงษ์ พิมพ์พิมล และจริงแท้ ศิริพานิช. 2536. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดและวิธีป้องกัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 27: 421-430.

นพรัตน์ ทัดมาลาม, วาริช ศรีละออง และสมัคร แก้วสุกแสง. 2560. การประยุกต์ใช้ Ethanol Vapor Releasing Pad ในการควบคุมคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลลองกอง. วารสารแก่นเกษตร. 45(1): 1191-1196.

พฤกษ์ ชูสังข์, วิโรจน์ แก้วเรือง, ชัยรัตน์ เตชะวุฒิพร, พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย และ เฉลิมชัย วงษ์อารี. 2556. ประสิทธิภาพของไอระเหยเอทานอล ต่อการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของผลหม่อน (*Morus alba* L.) พันธุ์เชียงใหม่ระหว่างการวางจำหน่าย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 44 (พิเศษ): 386-389.

วาริช ศรีละออง, ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ, พรพรรณ เล็กขำ และเปมิกา พรหมแก้ว. 2558. ผลของการใช้ไอระเหยของเอทานอลต่อคุณภาพของผลลำไย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 46 (พิเศษ): 513-516.

Benzie, I.F.F. and J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “Antioxidant power. The FRAP assay”. Analytical Biochemistry 239: 70-76.

Berger, R.G. and F. Drawert. 1984. Changes in the composition of volatiles by postharvest application of alcohols to Red Delicious apples. Journal of the Science of Food and Agriculture 35: 1318-1325.

Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology 28: 25–30.

Brody, A.L., E.R. Strrupinsky, and L.R.Kline. 2001.Active packaging for food application. Pensylvania: Technomic Publishing company Inc., Lancaster. p.218.

Esguerra Kato, N., S. Sato, A. Yamanaka, H. Yamada, N. Fuwa and M. Nomura. 1993. Silk protein, sericin, inhibits lipid peroxidation and tyrosinase Activity. Bioscience Biotechnology and Biochemistry 62: 145-147.

Flurkey, W.H. and J.J. Jen. 1978. Peroxidase and polyphenol oxidase activities in developing peaches. Journal of Food Science 43: 1826-1831.

Franke, I., E. Wijima and K. Bouma. 2002. Shelf life of pre-baked buns by an active packaging ethanol emitter. Food Additives and Contaminants 19: 314-322.

Gardini, F., R. Lanciotti, D.R.L. Caccioni and M.E. Guerzoni. 1995. Antifungal activity of hexanal as dependent on its vapor pressure. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45: 4297-4302.

Kato, K. 1990. Astringency removal and ripening in persimmon treated with ethanol and ethylene. Journal of horticulture science 25: 205-207.

Lichter, A., Y. Zutkhy, L. Sonego, O. Dvir, T. Kaplunov, P. Sarig and R. Ben-Arie. 2002. Ethanol controls postharvest decay of table grapes. Postharvest Biology and Technology 24: 301–308.

Nychas, G.J.E. 1995. Natural antimicrobials from plants. p. 58-89. *In:* G.W. Gould (ed.). New Methods of Food Preservation, Blackie Academic & Professional, London.

Saltviet, M.E. and A.R. Sharaf. 1992. Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various degrees of ripeness without affecting subsequence quality. Journal of the American society for horticultural science 117: 793-798.

Shao, Y., Z. Jiang, J. Zeng and W. Li. 2020. Effect of ethanol fumigation on pericarp browning associated with phenol metabolism, storage quality, and antioxidant systems of wampee fruit during cold storage. Food Science and Nutrition. 8:3380–3388.

Slinkard, K. and V. Singleton. 1997. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture 37: 49-55.

Supapvanich, S., J. Pimsaga and P. Srisujan. 2011. Physiochemical changes in freshcut wax apple (*Syzygium samarangenese* [Blume] Merrill & L. M. Perry) during storage. Food Chemistry 127: 912-917.

Wang, K., S. Cao, Y. Di, Y. Liao and Y. Zheng. 2015. Effect of ethanol treatment on disease resistance against anthracnose rot in postharvest loquat fruit. Scientia Horticulturae 188: 115-121.

Zhang, W., X. Li, X.X. Wang, G.Y. Wang, J.T. Zheng, D.C. Abeysinghe, I.B. Ferguson and K.S. Chen. 2007. Ethanol vapour treatment alleviates postharvest decay and maintains fruit quality in Chinese bayberry. Journal of postharvest biology and technology 46: 195-198.

Zhou, Y. and X. Tan. 1997. Mechanism of blackheart development induced by low temperature and gibberellic acid in pineapple fruit. Acta Horticulturae 425: 587-593.