

การพัฒนาของปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลหม่อน Ethanol Vapor Releasing Sachet Development and Physiological Changes of Mulberry Fruit

พฤกษ์ ชูสังข์^{1,3} พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย^{1,3} วีรเวทย์ อุทโท^{2,3} และเฉลิมชัย วงษ์อารี^{1,3}

Preuk Choosung^{1,3}, Panida Boonyaritthongchai^{1,3}, Weerawate Utto^{2,3} and Chalermchai Wongs-Aree^{1,3}

Abstract

The objectives of the study were to develop ethanol releasing sachet for retail mulberry fruit packaging and to observe physiological changes of fresh mulberry during exposing to ethanol vapor. The results found that the lowest disease severity in fruit packed with 3 ml of ethanol in sachet were detected, when the highest concentrations of ethanol and acetaldehyde vapor were detected in the headspace of packaging when compared with others. The package of mulberry fruit packed with 1 and 3 ml of ethanol in sachet showed lower carbon dioxide and ethylene concentrations in the headspace than package of mulberry fruit packed with 0 or 2 ml of ethanol loaded in a sachet. For conclusion, the ethanol vapor decreased physiological changes and disease severity in mulberry fruit under 10 °C.

Keywords: vapor releasing sachet, mulberry fruit, ethanol

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาของปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลเพื่อยืดอายุการวางจำหน่ายผลหม่อนภายใต้บรรจุภัณฑ์ค้ำปลีก และศึกษาผลของไอระเหยต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลหม่อน พบว่าผลหม่อนที่บรรจุร่วมกับซองปลดปล่อยที่บรรจุเอทานอลปริมาตร 3 มิลลิลิตร ปรากฏความรุนแรงของการเข้าทำลายต่ำที่สุดซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณเอทานอลและแอซีทาลดีไฮด์ภายในบรรจุภัณฑ์ได้สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดการทดลอง และตรวจพบความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ในชุดที่บรรจุร่วมกับซองปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลปริมาตร 1 และ 3 มิลลิลิตร ซึ่งต่ำกว่าชุดบรรจุร่วมกับซองที่บรรจุเอทานอลปริมาตร 0 และ 2 มิลลิลิตร จึงสรุปได้ว่าไอระเหยเอทานอลสามารถลดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและความรุนแรงของการเข้าทำลายของโรคในผลหม่อน

คำสำคัญ: ซองปลดปล่อยไอระเหย, ผลหม่อน, เอทานอล

คำนำ

การเข้าทำลายของเชื้อราเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพสำคัญของผลหม่อนสด โดยทั่วไปสามารถพบการเจริญของเชื้อราบนผิวผลหม่อนภายใน 24 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากผลหม่อนเมื่อเข้าสู่ระยะบริบูรณ์มีโครงสร้างของผลที่บอบบาง จึงง่ายต่อการได้รับความเสียหายจากทางกายภาพระหว่างการขนส่งและเคลื่อนย้าย นอกจากนี้การหายใจของผลหม่อนสามารถเกิดขึ้นได้ในอัตราที่สูง เช่น ที่อุณหภูมิ 25 °C ส่งผลให้หม่อนเข้าสู่กระบวนการการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว (พฤกษ์ และคณะ, 2556) การชะลอการเจริญของเชื้อราและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลหม่อนจึงมีความจำเป็นต่อความสามารถทางการตลาดของผลหม่อนสด ปัจจุบันนิยมบรรจุผลหม่อนสดในบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปร (modified atmosphere packaging; passive MAP) ร่วมกับการแช่เย็น โดยบรรจุผลหม่อนในบรรจุภัณฑ์พลาสติก ส่งผลให้ความเข้มข้นของก๊าซ O₂ ในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ลดลง และความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้น เนื่องจากสมดุลของการซึมผ่านบรรจุภัณฑ์พลาสติกของก๊าซและการหายใจของผลผลิต (Kader *et al.*, 1989) การบรรจุภัณฑ์ passive MAP อาจไม่สามารถชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้เกิน 1-2 วันแม้ว่าการบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวลดการสูญเสียและคุณภาพด้านสี (พฤกษ์ และคณะ, 2556) งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้การบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟ (active MAP) ซึ่งเป็นการเพิ่มระบบแอคทีฟ

¹ สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

¹ Division of Postharvest Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi (Bangkhuntien), Bangkok 10150

² สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

² Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190

³ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400

³ Postharvest Technology Innovation Center, Office of the Higher Commission, Bangkok 10400

(active system) ที่สามารถควบคุมเป้าหมายที่ต้องการ ในที่นี้ คือ เชื้อจุลินทรีย์ ให้กับบรรจุภัณฑ์ passive MAP ระบบแอคทีฟที่ศึกษา คือ ของปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล เนื่องจากเอทานอลมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ มีความปลอดภัย และอาจเพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Utto, 2014) บรรจุภัณฑ์ active MAP ซึ่งมีการปล่อยไอระเหยเอทานอลสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Utto, 2014) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบของปลดปล่อยฯ ในบรรจุภัณฑ์ active MAP สำหรับผลหมอนสดและศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลหมอน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ต้นแบบของปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลและบรรจุภัณฑ์ active MAP สำหรับผลหมอนสด

ต้นแบบของปลดปล่อยฯ ได้ประยุกต์วิธีที่รายงานใน วีระเวทย์ และคณะ (2555) มีขนาด 10X12 เซนติเมตร ประกอบด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด low density polyethylene (LDPE) ความหนา 50 μm (transmission rates to O_2 , CO_2 และ water vapour เท่ากับ 2,500, 13,500 $\text{ml m}^{-2} \text{day}^{-1}$ และ 8 $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ตามลำดับ) ปิดผนึกด้วยความร้อนกับฟิล์มอะลูมิเนียมพอลิเอทิลีน (Al/PE) ความหนา 110 μm ความหนารอยปิดผนึก 1.00 ± 0.1 cm การปิดผนึกอยู่ในรูปแบบ 3-side seal มีด้านเปิดไว้เพื่อรอการบรรจุกระดาษกรอง (Whatman No. 1) ขนาด 8X10 cm ซึ่งมีการดูดซับด้วยเอทานอลเหลว (analytical grade, 97%) ภายหลังจากการบรรจุกระดาษกรอง ทำการปิดผนึกด้านที่เปิด การเลือกใช้ฟิล์ม LDPE เนื่องจากมีสมบัติในการยอมให้ไอระเหยเอทานอลซึมผ่านได้สูง (Utto et al., 2016) มีค่าเท่ากับ $0.015 \text{ pmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 10°C ความเข้มข้น 1.33 mol m^{-3} การวิจัยนี้ศึกษาจลนศาสตร์ของการปล่อยเอทานอลจากของต้นแบบ ทำการศึกษาผลของปริมาณเอทานอลเหลวบนกระดาษกรองต่ออัตราการปลดปล่อยและความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลสะสมในบรรจุภัณฑ์เปล่า ปริมาณเอทานอลเหลวมี 3 ระดับ คือ 0 (ไม่มีเอทานอลเหลว หรือชุดควบคุม) 1 2 และ 3 ml นำของปลดปล่อยฯ ที่ได้เตรียมในถาดพลาสติกแข็ง polyethylene terephthalate (PET ขนาดของถาดเท่ากับ 17 x 12 x 4.7 cm ยาว x กว้าง x ลึก ความจุปริมาตร 850 มิลลิลิตร) จำนวน 1 ของ ต่อ 1 ถาด วางด้านฟิล์มอะลูมิเนียมพอลิเอทิลีนลง แล้วปิดผนึกปากถาดด้วยฟิล์ม FF3 (ถุงพลาสติก Fresh and Fresh, บริษัททานตะวันอุตสาหกรรม จำกัด (มหาชน) หนา 30 μm ; transmission rates to O_2 , CO_2 และ water vapour เท่ากับ 18,272, >30,00 $\text{ml m}^{-2} \text{day}^{-1}$ และ 25 $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ตามลำดับ) เก็บถาด ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 3 วัน ทำการสุ่มตัวอย่างก๊าซจากในบรรจุภัณฑ์ระหว่างเวลาต่างๆ ด้วยเข็ม gas-tight (Hamilton, US) และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FID-GC (GC-2014; Shimadzu; Porapak Q 2.0 m length, 3.00 mm I.D.; helium carrier gas) โดยประยุกต์วิธีของ พัชรี มะลิลา และคณะ (2558) รูเข็มบนฟิล์มของถาดจากการเจาะด้วยเข็มถูกปิดด้วยอะลูมิเนียมเทป

2. การศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลจากของปลดปล่อยฯ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลหมอนสด

การศึกษาใช้บรรจุภัณฑ์ active MAP ที่พัฒนาขึ้นบรรจุผลหมอนสดพันธุ์เชียงใหม่ ระยะความสมบูรณ์ทางการค้า (ผลเปลี่ยนสีเป็นสีม่วงดำมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์แต่ไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์) ผลหมอนจากจังหวัดชลบุรีขนส่งมายังห้องปฏิบัติการคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน คัดแยกสิ่งปลอมปนและผลที่มีความสุกแก่ไม่สม่ำเสมอออกจากนั้น ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ บรรจุผลหมอนน้ำหนัก 150 g ลงในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับของปลดปล่อยฯ มีของเหลว 3 ระดับเช่นเดียวกับการศึกษาข้างต้น เก็บรักษาบรรจุภัณฑ์ที่ 10°C เป็นเวลา 3 วัน ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ O_2 , CO_2 ไอระเหยเอทานอลและอะเซทิลไฮโดรเจนและเอทิลีนในบรรยากาศของบรรจุภัณฑ์ การเกิดโรคด้วยการสังเกตและบันทึก การวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซใช้เครื่อง FID-GC ยกเว้นก๊าซ O_2 และ CO_2 วิเคราะห์ตามวิธีของ พุกฤษ และคณะ (2556) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ผลการทดลองนำมาวิเคราะห์ analysis of variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วย Duncan Multiple Range Test (DMRT) ณ $p < 0.05$

ผลการทดลอง

1. จลนศาสตร์การปล่อยและการสะสมไอระเหยเอทานอลในต้นแบบบรรจุภัณฑ์ active MAP

ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่ปล่อยจากของปลดปล่อยฯ และสะสมในบรรจุภัณฑ์มีค่าสูงสุดในวันที่ 1 จากนั้นความเข้มข้นจะลดลงเล็กน้อยแล้วมีแนวโน้มค่าคงที่ตลอดการเก็บรักษา (Figure 1) อัตราเร็วของการปลดปล่อยและระดับความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณของเหลวที่ดูดซับบนกระดาษกรอง บรรจุภัณฑ์ที่มีเอทานอลเหลวเท่ากับ 3 ml ในของปลดปล่อยฯ มีความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลสูงที่สุด (19669.38 ± 610.42 ppm) บรรจุภัณฑ์ที่มีเอทานอลเหลว มีความเข้มข้นต่ำสุด (2685.74 ± 483.67 ppm) (Figure 1A) และไม่พบในสิ่งทดลองควบคุม

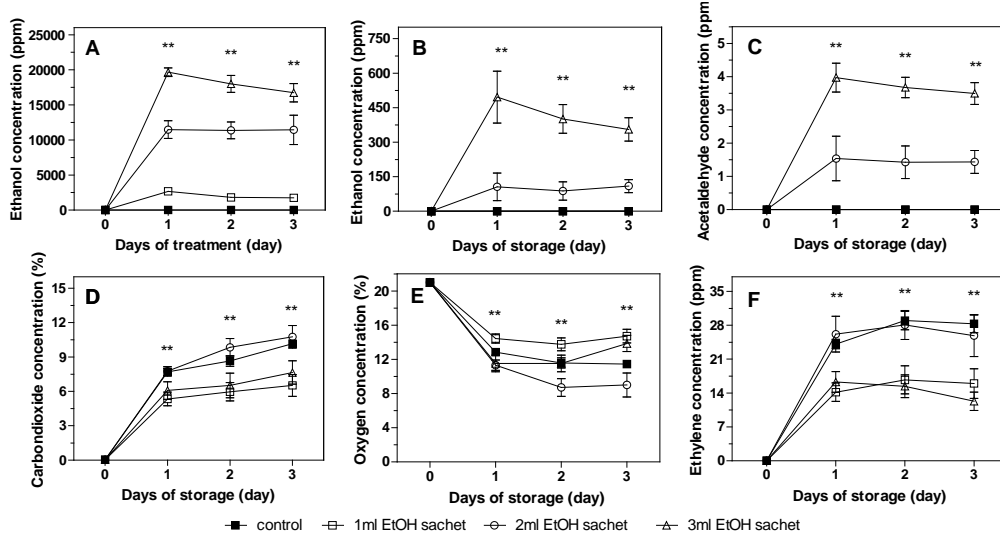


Figure 1 Kinetics of ethanol vapour releases and accumulations in headspaces of active MAP packaging prototypes (A) and changes in ethanol (B), acetaldehyde (C), CO₂ (D) O₂ (E) and C₂H₄ (F) concentrations in headspaces of active MAP containing fresh mulberry and ethanol vapour controlled release sachets of which individual sachets contained different ethanol liquid volumes i.e. 0, 1, 2 and 3 ml. The packages were kept at 10°C for 3 days. Data presented were average and standard deviations (n=3). Symbols ** represent significant differences between treatments at p<0.05.

2. ผลของไอระเหยเอทานอลจากซองปลดปล่อยฯ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลหม่อนสด

ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลและอะเซทัลดีไฮด์มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่คล้ายกัน สามารถตรวจวัดความเข้มข้นสูงสุดได้ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา จากนั้นลดลงเล็กน้อยและคงที่ในระหว่างเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์ active MAP ซึ่งมีเอทานอลเหลวปริมาณเท่ากับ 3 ml ในซองปลดปล่อยฯ มีความเข้มข้นของไอระเหยทั้งสองสูงที่สุด ในขณะที่ไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลและอะเซทัลดีไฮด์ในบรรจุภัณฑ์ที่มีเอทานอลเหลวปริมาณเท่ากับ 0 และ 1 ml (Figure 1B and 1C) ความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ และเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ในชุดที่บรรจุร่วมกับซองปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลปริมาตร 1 และ 3 ml ต่ำกว่าชุดบรรจุร่วมกับซองปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลปริมาตร 0 และ 2 มิลลิลิตร (Figure 1d and 1F) ในขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่มีซองบรรจุเอทานอลปริมาตร 1 ml สูงกว่าชุดควบคุมตลอดการทดลอง (Figure 1E) เมื่อพิจารณาการเกิดโรคพบว่าทุกชุดการทดลองปรากฏการเจริญของเชื้อราในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา แต่ชุดบรรจุร่วมกับซองปลดปล่อยไอระเหย เอทานอลปริมาตร 3 ml ปรากฏความรุนแรงโรคต่ำที่สุดในวันที่ 3 (Table 1)

Table 1 Visual appearance on mulberry fruit skin packed with 0 (control), 1, 2 and 3 ml absolute ethanol in prototype sachet under 10 °C for 3 days of storage

Treatment	Days of storage (day)				
	0	1	2	3	4
0ml EtOH	-	-	-	-	++
1ml EtOH	-	-	-	-	++
2ml EtOH	-	-	-	-	++
3ml EtOH	-	-	-	-	+

Remark (-): Disappear mold spot on fruit surface, (+): mold spot appears 1-2% on fruit surface of display area, (++): mold spot appears 1-2% on fruit surface of display area

วิจารณ์ผล

การปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองปลดปล่อยฯ เป็นผลความแตกต่างของความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลระหว่างซองปลดปล่อยฯและบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่สูงในช่วงแรก (24 ชั่วโมง) เป็นผลจากความแตกต่างของความเข้มข้นที่สูงมาก เนื่องจากในบรรจุภัณฑ์ยังไม่มีไอระเหยเอทานอล ส่งผลให้อัตราการปล่อยไอระเหยเอทานอลมีค่าที่สูง (Utto, 2014) แต่เมื่อมีไอระเหยเอทานอลสะสมในบรรจุภัณฑ์ส่งผลให้ความแตกต่างของความเข้มข้นลดลงนำไปสู่การลดลงของอัตราการปล่อยฯ ทั้งนี้การสะสมไอระเหย เอทานอลในบรรจุภัณฑ์ เป็นผลจากสมดุลของการถ่ายโอนมวลใน active MAP ของกระบวนการ ประกอบด้วย (1) การปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองปลดปล่อยฯ (2) การทำปฏิกิริยา

ระหว่างไอร่หะเหยเอทานอลกับผลหม่อน และ (3) การซ้มน้ผ่านของไอร่หะเหยเอทานอลจากฟิล์มปิดถาดไปยังสิ่งแวดล้อม ความซ้มน้ของไอร่หะเหยเอทานอลในบรรจุภณัฑ์ซ้มน้พัน้กับปริมาณเอทานอลเหลวน้ในซองปลดปล้อยซ้ (Figure 1A) สอดคล้องกับ Utto (2014) ที่ได้สรุปร้ว่าหากระบบควบคุมการปลดปล้อยไอร่หะเหยเอทานอลมีปริมาณเอทานอลบนตัวพา เช่น กระจาดซ้กรอง ที่มาก ทำให้การลดลลงของไอร่หะเหยเอทานอลในซองปลดปล้อยซ้ และในบรรจุภณัฑ์เกิดซ้ขึ้นได้ซ้่า ใน Figure 1B พบว่า ความซ้มน้ของไอร่หะเหยเอทานอลในบรรจุภณัฑ์ที่มีผลหม่อนมีค่าต่ำกว่าในบรรจุภณัฑ์เปล้่า เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยากับผลหม่อนและนำ้ไปสู่การควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แม้ว่าในการศึกษาซ้ยังไม่สามารถควบคุมได้แตกต่างอย่างซ้ัดเจนกับสิ่งทลลงควบคุม แต่พบว่าระดับความรุนแรงใน active MAP มีระดับที่ต่ำกว่า (Table 1) อาจเป็นผลจากปริมาณความซ้มน้/หยดน้ำที่สูงในบรรจุภณัฑ์ การซ้ลดการเจริญเชื้อจุลินทรีย์ของไอร่หะเหยเอทานอล เกิดจากการปฏิกิริยากับเยื่อหุ้มเซลล์ซ้ของจุลินทรีย์นำ้ไปสู่การเสียสภาพของเซลล์และตายในที่สุด (Utto, 2014) ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าไอร่หะเหยเอทานอลที่ซ้สมในบรรจุภณัฑ์ทำให้ลูกหม่อนมีกลิ่นหอมเพิ่มซ้ขึ้น อาจเป็นผลจากการเปล้ยนไอร่หะเหยเอทานอลให้เป็นสารประกอบเอสเตอร้ด้วยเอนไซม์ alcohol acyl transferase (Utto, 2014) การเพิ่มซ้ของอะซ้ีทลดีไฮด์ภายหลังการได้รับไอร่หะเหยเอทานอลสามารถพบได้เช่นเดียวกันในซ้อดอกปล้อกโคล้ที่รมด้วยไอร่หะเหยเอทานอล (อาจเป็นผลส่วนหน้ึ่งจากความเครียดของหม่อนภายใด้บรรจุภาคที่ม้ไอร่หะเหยเอทานอล และนำ้ไปสู่การกระตุ้นกระบวนการ glycolysis ของการซ้งเคราะห์ซ้ีทลดีไฮด์ (Corcuff *et al.*, 1996) จากผลของก๊าซ O₂, CO₂ และเอธิลีน ในบรรจุภณัฑ์ active MAP ทำให้เห็นได้ว่าผลหม่อนมีการตอบสนองที่แตกต่างต่อระดับความซ้มน้ของไอร่หะเหยเอทานอลที่แตกต่างจากพืชชนิดอื่น เช่น Suzuki *et al.* (2004) พบว่าการบรรจุซ้อบรร้คโคล้ด้วยซองปลดปล้อยไอร่หะเหยเอทานอลสามารถลดอัตราการทำายและการผลิตเอทิลีน และกิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase ความแตกต่างนี้้เป็นผลการตอบสนองที่ต่างกันต่อไอร่หะเหยเอทานอลระหว่างผลผลิต (Utto, 2014) ในขณะที่การตอบสนองต่อไอร่หะเหยเอทานอลที่แตกต่างระหว่างความซ้มน้ของไอร่หะเหยเอทานอลในลูกหม่อน พบว่าไม่มีความซ้มน้พัน้ที่เป็นแนวโนมซ้ัดเจนกับความซ้มน้ แม้ว่าอัตราการผลิตปฏิกิริยามักเพิ่มซ้ขึ้นแบบเอกโปเนนเชียลกับความซ้มน้ของไอร่หะเหยเอทานอล (Utto, 2014) ลักษณะการตอบสนองดังกล่าวของผลหม่อนอาจมีผลจากการเปล้ยนเปล้งในเนื้อเยื่อของลูกหม่อนที่้เป็นผลจากกระบวนการดูดซ้บไอร่หะเหยเอทานอลลงในเนื้อเยื่อ การแพร่ผ่านของเอทานอลในเนื้อเยื่อและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลและองค์ประกอบต่างๆของเนื้อเยื่อ นอกจากนี้การตอบสนองอาจเป็นผลจากความเครียดของหม่อนภายใด้บรรจุภาคที่ม้ไอร่หะเหยเอทานอล กลไกการตอบสนองต่อความซ้มน้ไอร่หะเหยเอทานอลของลูกหม่อนจะใด้มีการศึกษาซ้ิงลึกต่อไป

สรุป

ต้นแบบของปลดปล้อยซ้ ที่พัฒนาซ้ขึ้นสามารถปลดปล้อยไอร่หะเหยเอทานอลได้ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา และมีศักยภาพซ้ลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการเปล้ยนเปล้งทางสรีระวิทยาของผลหม่อนสด การวิจัยต่อไปจะใด้พัฒนาของปลดปล้อยซ้ ให้มีความสามารถควบคุมการเปล้ยนเปล้งหลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มซ้ขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คป.ก.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่สนับสนุนทุนวิจัยและศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษาที่อนุเคราะห์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- พัชรี้ มะลิลา, วีระเวทย์ อุทโธ และฤทธิรงค์ พฤษฒิมกุล. 2558. การพัฒนาของควบคุมการปลดปล้อยไอร่หะเหยเอทานอลในบรรจุภณัฑ์แอกทีฟสำหรับหม่องแดงสดปกเปล้ือก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46(3/1 พิเศษ): 223-226
- พฤษฒิ์ ชูสังซ้, วิโรจน์ แก้วเรือง, ชัยรัตน์ เตชะวุฒิพร, พินดา บุญฤทธิรงค์ และเฉลิมชัย วงษ์อารี. 2556. ประสิทธิภาพของไอร่หะเหยเอทานอลต่อการเปล้ยนเปล้งทางคุณภาพของผลหม่อน (*Morus alba* L.) พันธุ์ซ้ียงใหม่ระหว่างการวางจำหน่าย วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 44(3 พิเศษ): 386-389.
- วีระเวทย์ อุทโธ, เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด และเรวัติ ชัยราช. 2555. การพัฒนาต้นแบบของควบคุมการปลดปล้อยไอร่หะเหยเอทานอลสำหรับมะละกอตัดสด. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30: 39-49.
- Corcuff, R., J. Arul, F. Hamza, F. Castaigne and J. Makhlouf. 1996. Storage of broccoli florets in ethanol vapor enriched atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 7(3): 219-229.
- Kader, A.A., D. Zagory and Kerbel, E. L. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 28:1-30.
- Suzuki, Y., T. Uji and H. Terai. 2004. Inhibition of senescence in broccoli florets with ethanol vapor from alcohol powder. *Postharvest Biology and Technology* 31(2): 177-182.
- Utto, W. 2014. Factor affecting release of ethanol vapour in active modified atmosphere packaging systems for horticultural products. *Maejo international Journal of Science and Technology* 8(01): 75-85.
- Utto, W., R. Pruthitkul, P. Maliila, A. Noomhorm and J.E. Bronlund. 2017. Concentration and Temperature Dependences of Effective Ethanol Vapor Permeance of Plastic Films Utilized in Controlled Release-Based Active Packaging for Horticultural Products. *Key Engineering Materials* (718): 45-48.