Agricultural Sci. J. 49 : 4 (Suppl.) : 215-218 (2018) ว. วิทย. กษ. 49 : 4 (พิเศษ) : 215-218 (2561)

ผลของการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟโดยการใช้ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลที่ทำจากฟิล์มย่อยสลายได้ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมะละกอสุกผ่าครึ่งลูก

Effects of Active Packaging Using Ethanol Vapour Controlled Release Sachet Made of Biodegradable Plastic Films on Quality Changes of Half-cut Ripe Papaya

วรรณวิภา ถาพร[1] วีรเวทย์ อุทโธ[1,2] และฤทธิรงค์ พฤฑฒิกุล[3]
Wanwipa Thapon[1], Weerawate Utto[1,2] and Rittirong Pruthtikul[3]

Abstract

This research was conducted to develop ethanol vapour controlled release sachet (size 2.5 cm ×6 cm) of which one side was made of biodegradable film and the other was made of aluminium/PE lamimated film (Al/PE). There were two types of the biodegradable films used which were poly(butylene succinate-co-adipate) (PBSA; designated as PB-sachet) and (2) co-extruded film having PBSA, poly(lactic acid) as well as calcium carbonate nanoparticles (PBSA/PLA/$CaCO_3$; designated as PLA-sachet). Each sachet contained silica gel adsorbent which was pre-saturated with ethanol vapour and were 4-side sealed. The sachet was utilised for active packaging purpose i.e. it was placed at the cavity of the half-cut ripe Holland papaya which later was individually wrapped with stretch film, and kept at 10°C 75% RH for 7 days. The papaya with no sachets was designated as control. Experimental results showed that the PB-sachet caused higher ethanol concentrations accumulated in the cavity as well as in the flesh tissue, compared to PLA-sachet did. However the ethanol in both parts of the control could not be measured. Ethanol vapour from both sachets had no effects on flesh's colour, textural and weight changes. The ethanol vapour could delays microbial proliferations measured in terms of total plate count as well as yeast and mould. These effects subsequently could extend the papaya's shelf life.

Keywords: active packaging, ethanol vapour controlled release sachet, biodegradable film, papaya

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้พัฒนาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล ขนาด 2.5 cm ×6 cm โดยด้านหนึ่งของซองเป็นฟิล์มย่อยสลายได้และอีกด้านหนึ่งคือฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนตพอลิเอทิลีน (Al/PE) ซึ่งฟิล์มย่อยสลายได้มี 2 ประเภท คือ (1) ฟิล์ม poly(butylene succinate-co-adipate) (PBSA; PB-sachet) และ (2) ฟิล์มผสมระหว่าง PBSA และ poly(lactic acid) และ calcium carbonate nanoparticles (PBSA/PLA/$CaCO_3$; PLA-sachet) ภายในซองบรรจุซิลิกาเจล 1g ที่อิ่มตัวด้วยไอระเหยเอทานอลและปิดผนึกทั้งสี่ด้าน การศึกษานี้ได้นำซองชนิดต่างๆไปใช้ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ กล่าวคือ นำซองวางบริเวณตรงร่องกลางของมะละกอสุกพันธุ์ฮอลแลนด์ซึ่งผ่าครึ่งลูก แล้วใช้ฟิล์มยืดตัวหุ้มรอบมะละกอและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10°C 75% RH เป็นเวลา 7 วัน เปรียบเทียบกับมะละกอสุกครึ่งลูกที่หุ้มรอบด้วยฟิล์มยืดตัวแต่ไม่มีซอง (สิ่งทดลองควบคุม) ผลการทดลองพบว่า การใช้ซองชนิด PB-sachet ทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลวัดบริเวณช่องว่างตรงกลางและในเนื้อของมะละกอสูงกว่าการใช้ซองชนิด PLA-sachet ทั้งนี้ไม่สามารถตรวจวัดการสะสมเอทานอลในสิ่งทดลองควบคุม ไอระเหยเอทานอลปล่อยจากซองทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อมะละกอ เนื้อสัมผัสและการสูญเสียน้ำหนัก ไอระเหยเอทานอลสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของมะละกอสุกผ่าครึ่งลูก

คำสำคัญ: การบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ, ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล, ฟิล์มย่อยสลายได้, มะละกอ

บทนำ

มะละกอสุกตัดสดหรือแปรรูปเบื้องต้นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทาน เช่น ปอกเปลือกแล้วหั่นชิ้นตามยาว หั่นแบบลูกเต๋า หรือผ่าครึ่งลูกได้รับความนิยมจากผู้บริโภค เนื่องจากมีประโยชน์ต่อร่างกายและสามารถรับประทานได้สะดวก

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ถนนสถลมาร์ค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
[1] Department of Food Technology, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, StlMark Road, Warinchamrab district., Ubon Ratchathani
[2] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร
[2] Postharvest Technology Innovation Center, Commission on Higher Education, Bangkok 10400, Thailand.
[3] ห้องปฏิบัติการพลาสติก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
[3] Laboratory Plastics, National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency

อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เหล่ามีแนวเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย โดยเฉพาะการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า แม้ว่าผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้รับการบรรจุในบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปร (modified atmosphere packaging; MAP) เช่น การบรรจุในถาด/ถุงพลาสติก หรือการหุ้มด้วยฟิล์ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (10-15ºC) สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 3-4 วัน (วีรเวทย์ และคณะ, 2555) การบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟซึ่งเป็นการเพิ่มระบบแอคทีฟ (active system) ให้กับ MAP สามารถทำปฏิกิริยากับเป้าหมาย โดยเฉพาะการควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้รับความสนใจศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้ตัดสด (Utto, 2014) การใช้ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล (ethanol vapour controlled release sachet) เป็นระบบแอคทีฟประเภทหนึ่ง ร่วมกับบรรจุภัณฑ์ MAP สามารถชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เช่น มะละกอสุกหั่นลูกเต๋า (วีรเวทย์และคณะ, 2555) หอมแดงสดปอกเปลือก (พัชรี และคณะ, 2558) องุ่น (Candir *et al*., 2012) และเชอรี่หวาน (Bai *et al*., 2011) ซองควบคุมฯ ที่รายงานในเอกสารอ้างอิงทำจากฟิล์มพลาสติก เช่น low density polyethylene (LDPE) หรือ spun-bond high density polyethylene (ชื่อทางการค้าว่า Tyvek®) (Utto, 2014) กระแสการอนุรักษ์ธรรมชาติด้วยการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพหรือ biodegradable plastic package ได้มีบทบาทสำคัญต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค (Rahbar and Wahid, 2011) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบซองควบคุมฯ ซึ่งมีส่วนประกอบของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะละกอสุกผ่าครึ่งลูก ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ ซองควบคุมฯดังกล่าว ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเชิงพาณิชย์ของซองควบคุมฯ ต่อไป

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมตัวอย่างมะละกอสุกผ่าครึ่งและการบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟ

มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ ซื้อจากตลาดเจริญศรี อ. วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี มีค่าเฉลี่ยของ hue angle (hº) ของสีผิวเปลือกอยู่ในช่วง 85-90 นำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10ºC เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำมะละกอมาทำการผ่าครึ่งตามแนวยาว (ค่าเฉลี่ยความยาวของลูก เท่ากับ 25 cm) และนำเม็ดออกจากร่องกลางของมะละกอ (ความกว้างและความลึก ณ ตรงกลางผลประมาณ 7-8 และ 4-6 cm ตามลำดับ) ภายหลังนำมะละกอมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 150 ppm เป็นเวลา 30 วินาที นำมะละกอขึ้นจากสารละลายและวางเก็บไว้ในถาดอะลูมิเนียมให้สะเด็ดน้ำ บรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟ (ActiveMAP) คือ การใช้ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลร่วมกับการห่อหุ้มมะละกอผ่าครึ่งลูกด้วยฟิล์มยืด ซองควบคุมฯซึ่งมีส่วนประกอบของฟิล์มพลาสติกที่ย่อยสลายได้ มีขนาด 2.5×6 cm โดยแผ่นฟิล์มด้านบนเป็นฟิล์มพลาสติกที่ย่อยสลายได้ ในขณะที่แผ่นฟิล์มด้านล่างเป็นพลาสติกอะลูมิเนียมฟอล์ยลามิเนต ที่ป้องกันการซึมผ่านของไอระเหยเอทานอลได้สูงมาก (Robertson, 2005) แผ่นฟิล์มด้านบนและด้านล่างของซองควบคุมฯปิดผนึกด้วยความร้อนแบบ 3 ด้าน หรือ 3-side-sealed เหลือด้านเปิดไว้หนึ่งด้านเพื่อบรรจุซิลิกาเจล (grade 40, Sigma Aldrich) น้ำหนัก 1g ที่อิ่มตัวด้วยเอทานอลเหลว 0.24 ml (พัชรี และคณะ, 2558) ฟิล์มย่อยสลายได้มี 2 ประเภท ประกอบด้วย (1) poly(butylene succinate-co-adipate) หรือ PBSA และ (2) ฟิล์มผสมระหว่าง PBSA และ poly(lactic acid) และ calcium carbonate nanoparticles หรือ PBSA-PLA-$CaCO_3$ ฟิล์มทั้งสองนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาสติก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เพื่อทดสอบความสามารถในการควบคุมอัตราเร็วของการปล่อยไอระเหยเอทานอลก่อนนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป ภายหลังบรรจุซิลิกาเจลในซองควบคุมฯ ทำการปิดผนึกปากด้วยความร้อน นำซองควบคุมฯใส่ลงในร่องกลางของมะละกอ (1 ซอง ต่อ 1 ซีกมะละกอ และวางด้านอะลูมิเนียมลง) จากนั้นหุ้มมะละกอด้วยฟิล์มยืดตัว polyvinyl chloride ความหนา 12μm หน้ากว้าง 30.50 cm; film transmission rates to O_2, CO_2 และ water vapour เท่ากับ 150, 970 ml m^{-2} day^{-1} และ 4 g m^{-2} day^{-1} ตามลำดับ ทั้งนี้มะละกอที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มและไม่มีซองควบคุมฯในร่องกลางจัดเป็นสิ่งทดลองควบคุม นำมะละกอทั้งหมดไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10ºC เป็นเวลา 7 วัน เพื่อความกระชับของเนื้อหาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่มีซองควบคุมฯซึ่งมีส่วนประกอบของฟิล์ม PBSA และ PBSA-PLA-$CaCO_3$ มีตัวย่อว่า PB-sachet และ PLA-sachet ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

2.1. ความเข้มข้นก๊าซ O_2, CO_2 และไอระเหยเอทานอลที่สะสมบริเวณร่องกลางของผลมะละกอ เก็บตัวอย่างก๊าซจากบรรยากาศในร่องกลางของผลด้วยเข็ม gas-tight โดยประยุกต์วิธีที่รายงานใน พัชรี มะลิลา และคณะ (2558) การวิเคราะห์ก๊าซ O_2 และ CO_2 ใช้เครื่อง MAP test (England) ไอระเหยเอทานอลใช้เครื่อง Gas Chromatogram ประเภท flame ionised detector (FID) (GC-2014; Shimadzu, Japan) ประเภทของคอลัมน์คือ Porapak Q (2.0 m length, 3.00 mm I.D.) โดยมี helium เป็น carrier gas สภาวะของการวิเคราะห์ คือ injector temperature 150ºC, Detector temperature 250ºC และ Oven temperature 80ºC เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 นาที จนถึง 200ºC คงไว้ 3 นาที ทั้งนี้ตัวอย่างก๊าซได้ทำการวัดจากมะละกอลูกเดิมตลอดอายุการเก็บรักษา ทั้งนี้รูที่เกิดจากการเจาะเก็บตัวอย่างถูกปิดด้วยเทปกาวอะลูมิเนียมขนาด 1×1 cm **2.2 ความเข้มข้นเอทานอลในเนื้อเยื่อมะละกอ** นำตัวอย่างมะละกอ 15 g ผสมกับสารละลาย

เกลือ (7.5 g และน้ำ Deionized 7.5 g) ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน และแบ่งตัวอย่างมา 3 g ใส่ในขวด Vial ขนาด 20 ml และปิดผนึก นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างก๊าซปริมาตร 1 ml จากขวดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FID-GC **2.3 คุณภาพด้านอื่นๆ** ประกอบด้วย (1) การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ประกอบด้วยจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) และเชื้อยีสต์และเชื้อรา (Yeast and mould) (2) การเปลี่ยนแปลงสี วัดในระบบ L*, C*, h° (3) การสูญเสียน้ำหนัก ด้วยการชั่งน้ำหนักและความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Universal Testing (LLODY model, LR series, USA) หัวทดสอบ Warner Bratzler Shear ใช้แรงกด 50 N **3. การวางแผนการทดลอง** ได้วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomised Design (CRD) จำนวน 2 ซ้ำ (replicates) โดยทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองโดย analysis of variance (ANOVA) ณ $p < 0.05$ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลอง โดยใช้ Duncan Multiple's range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SAS

ผล

3.1. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซ O_2 CO_2 ไอระเหยเอทานอลที่สะสมบริเวณร่องกลางของผลมะละกอ และความเข้มข้นเอทานอลในเนื้อเยื่อ

ความเข้มข้นของก๊าซ O_2 ที่สะสมบริเวณร่องกลางมีค่าลดลง ในขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 เพิ่มขึ้น ไอระเหยเอทานอลไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซทั้งสอง (Figure 1 A) ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศของร่องกลางของมะละกอในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟทุกประเภทมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าคงที่ในช่วงวันที่ 3-5 จากนั้นความเข้มข้นได้ลดลง ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นใน PB-sachet มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ PLA-sachet ทั้งนี้ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในสิ่งทดลองควบคุมได้ (Figure 1 B) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อมะละกอมีแนวโน้มเหมือนกับไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรยากาศของร่องกลางของมะละกอ (Figure 1 C) ความแน่นเนื้อของมะละกอสุกลดลงอย่างต่อเนื่องแต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง (Figure 2 A) ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ชิมผลิตผลในสิ่งทดลองที่มีซองควบคุมฯ พบว่าไม่มีรสขมหรือรสชาติที่แตกต่างจากมะละกอในสิ่งทดลองควบคุม ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์และราของมะละกอสุกในสิ่งทดลองควบคุมมีค่าสูงกว่าในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟทั้งสองประเภท ทั้งนี้การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ใน PB-sachet มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้ช้ากว่า PLA-sachet (Figure 2 B & C) โดยเฉพาะสิ่งทดลอง PB-sachet สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณยีสต์และราได้ 3 วัน ก่อนที่ปริมาณจะเพิ่มจาก 0 เป็น 3.5 log CFU g^{-1} ในขณะที่สิ่งทดลอง PLA-sachet ชะลอได้เพียง 2 วัน (Figure2) นอกจากนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีและน้ำหนักของมะละกออย่างมีนัยสำคัญตลอดการเก็บรักษา (ไม่แสดงข้อมูล)

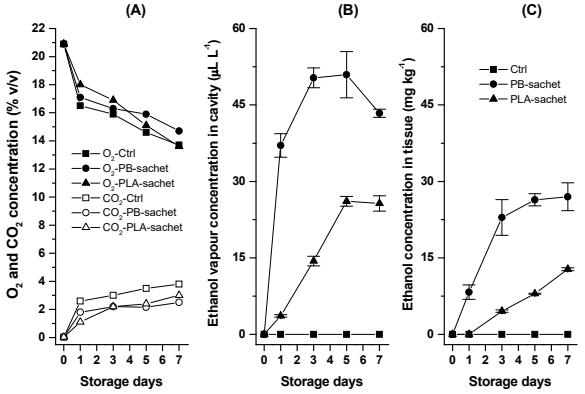

Figure 1 Changes in concentrations of oxygen and carbon dioxide (A) and ethanol vapour (B) accumulated in papaya cavities as well as of ethanol in tissues (C)

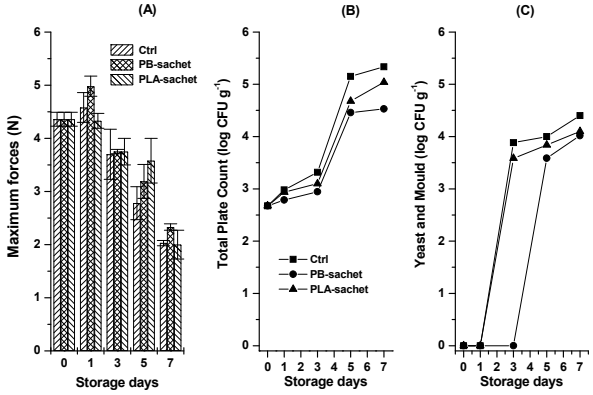

Figure 2 Changes in firmness (A) as well as total plate counts (B) and yeast and mould (C) measured in papaya kept in both active packages and control.

วิจารณ์ผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซ O_2 และก๊าซ CO_2 ในร่องกลางของมะละกอเป็นผลจากสมดุลของกระบวนการถ่ายเทมวลระหว่างการซึมผ่านฟิล์มหดรัดของก๊าซทั้งสองและการหายใจของมะละกอ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่เกิดขึ้นเมื่อบรรจุผลิตผลสดในบรรจุภัณฑ์พลาสติก (Kader *et al*., 1989) ทั้งนี้ไอระเหยเอทานอลที่สะสมในร่องกลางไม่ส่งผลต่อกระบวนการถ่ายเทมวลทั้งสอง สอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานในการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่มีการใช้ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในผลิตผล เช่น องุ่น (Candir *et al*., 2012) และหอมแดงปอกเปลือก (Utto *et al*., 2018)

การสะสมไอระเหยเอทานอลในร่องกลางมะละกอเป็นผลจากสมดุลของกระบวนการถ่ายเทมวลระหว่าง (1) การปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ (2) การทำปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเอทานอลกับมะละกอ และ (3) การซึมผ่านฟิล์มยืดของไอระเหยเอทานอลจากร่องกลางสู่สิ่งแวดล้อม (Utto, 2014) ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลใน PB-sachet ซึ่งมีค่าสูงนั้นมีสาเหตุจากฟิล์ม PBSA มีค่าสมบัติการยอมให้ไอระเหยเอทานอลซึมผ่านที่สูง (0.35 pmol m m^{-2} s^{-1} Pa^{-1} ที่ 10ºC ณ ความเข้มข้น 1.33 mol m^{-3}) ดังนั้นไอระเหยเอทานอลจึงเกิดการซึมผ่านออกมายังร่องกลางได้ในอัตราที่สูง ในขณะที่ฟิล์ม PBSA-PLA-$CaCO_3$ มีค่าสมบัติดังกล่าวที่ต่ำกว่า (0.35 pmol m m^{-2} s^{-1} Pa^{-1} ที่สภาวะเดียวกับ PBSA) จึงเห็นได้ว่าการเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกสามารถส่งผลต่ออัตราเร็วของการปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ การทำปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเอทานอลส่งผลให้เกิดการสะสมของเอทานอลภายในเนื้อเยื่อและเพิ่มกลิ่นหอมของผลิตผลเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพนำไปสู่การสะสมของสารให้กลิ่นรสกลุ่มเอสเตอร์ (Bai *et al*., 2011) ผลการทดลองนี้สนับสนุนความรู้ด้านการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของไอระเหยเอทานอล เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราของมะละกอใน ActiveMAP เจริญได้ช้ากว่าในสิ่งทดลองควบคุม ไอระเหยเอทานอลทำปฏิกิริยากับเชื้อจุลินทรีย์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติของเซลเมมเบรน เสียสภาพและการตายของจุลินทรีย์ (Hamilton-Kemp *et al*., 1992) การต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และปริมาณเอทานอลที่สะสมในเนื้อเยื่อของมะละกอมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศ สอดคล้องกับองค์ความรู้ที่รวบรวมใน Utto (2014) การลดลงของความแน่นเนื้อของมะละกอเกิดจากการสูญเสียน้ำของมะละกอผ่านฟิล์มไปยังสิ่งแวดล้อม แต่เกิดได้ในระดับที่ต่ำเนื่องจากฟิล์มยืดที่ใช้สามารถต้านการซึมผ่านไอน้ำได้ดี (Robertson, 2005) นอกจากนี้การเก็บรักษาในอุณหภูมิแช่เย็นช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีและความแน่นเนื้อของผลิตผล (Kader *et al*., 1989)

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลซึ่งมีส่วนประกอบของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ สามารถสรุปได้ว่าซองควบคุมฯมีศักยภาพในการปล่อยไอระเหยเอทานอลได้ตลอดช่วงระยะเวลาที่เก็บรักษา ประเภทของฟิล์มพลาสติกของซองควบคุมฯมีผลต่ออัตราเร็วของการปล่อย ไอระเหยเอทานอลสะสมในร่องกลางมะละกอชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านอื่นๆและสภาวะบรรยากาศดัดแปรในร่องกลาง ความรู้จากการวิจัยนี้สนับสนุนการประยุกต์ใช้ฟิล์มย่อยสลายได้ เพื่อการพัฒนาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลสำหรับการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนการศึกษาโครงการสร้างปัญญาวิทย์ ผลิตนักเทคโน (Young Scientist and Technology Programme; YSTP) ประจำปีการศึกษา 2559 สำหรับนางสาววรรณวิภา ถาพร นักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาสติก (MTEC) สวทช. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เอื้อเฟื้อทุนวิจัยและเครื่องมือ/อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

พัชรี มะลิลา, วีรเวทย์ อุทโธ และ ฤทธิรงค์ พฤฑฒิกุล 2558. การพัฒนาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟสำหรับหอมแดงสดปอกเปลือก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46 (3/1 พิเศษ): 223-226.

วีรเวทย์ อุทโธ, เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด และเรวัติ ชัยราช. 2555. การพัฒนาต้นแบบซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลสำหรับมะละกอตัดสด. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30: 39-49.

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.

Candir, E., A. E., Ozdemir, O. Kamiloglu, E. M. Soylu, R. Dilbaz, and D. Ustun. 2012. Modified atmosphere packaging and ethanol vapor to control decay of 'Red Globe' table grapes during storage. Postharvest Biology and Technology 63: 98-106.

Hamilton-Kemp, T. R., C. T. McCracken, J. H. Loughrin, R.A. Andersen and D.F. Hildebrand. 1992. Effects of some natural volatile compounds on the pathogenic fungi *Alternaria alternata* and *Botrytis cinerea*. Journal of Chemical Ecology 18: 1083-1091.

Kader, A. A., D. Zagory and E.L. Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 28:1-30.

Rahbar, E. and N. A. Wahid. 2011. Investigation of green marketing tools' effect on consumers' purchase behavior. Business Strategy Series 12: 73-83.

Robertson G. L. 2005 Permeability of thermoplastic polymers. Food Packaging: Principles and Practice. Boca Raton: Taylor & Francis Group. pp. 43-78.

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.

Utto, W., R. Preutikul, P. Malila, A. Noomhorm and J. E. Bronlund. 2018. Delaying microbial proliferation in fresh peeled shallots by active packaging incorporating ethanol vapour controlled release sachets and low storage temperature. Food Science and Technology International 24: 132-144.