

## การพัฒนาต้นแบบของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลสำหรับมะละกอสุกตัดสด Development of Controlled Ethanol Vapour Release Sachet Prototype for Fresh-Cut Ripen Papaya

วีรเวทย์ อุทโท<sup>1,a</sup>, เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด<sup>1,a</sup> และ เรวัตติ ชัยราช<sup>1,a</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้พัฒนาต้นแบบของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล สำหรับการบรรจุบรรยากาศตัดแปรรูปเชิงแอคทีฟ (active MAP) สำหรับมะละกอสุกตัดสด โดยซองควบคุมฯ ประกอบด้วยกระดาษกรองดูดซับเอทานอลเหลว ซึ่งมีปริมาตร 0.5, 1.0 และ 1.5 ml (ตัวย่อ คือ AP0.5, AP1.0 และ AP1.5 ตามลำดับ) บรรจุลงในซองขนาดเล็กที่ทำจากฟิล์ม low density polyethylene (LDPE) ประทับกับ aluminium/PE ผลการศึกษาด้านจลศาสตร์การปล่อยไอระเหยเอทานอล จากซองควบคุมฯ พบว่าอัตราการปล่อยไอระเหยแปรผันตรงกับปริมาณเอทานอลเหลว ความเข้มข้นของไอระเหยในบรรยากาศสามารถทำนายได้ดี โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ด้วยวิธี nonlinear regression (RMSEs 0.33-0.86) เมื่อปล่อย ไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ ภายในถุง LDPE ซึ่งบรรจุมะละกอสุกตัดสด (ขนาด  $2 \times 2 \times 2$  cm จำนวน 8 ชิ้น) บนสภาพพลาสติกแข็ง และเก็บรักษา ณ  $10^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 5 วัน พบว่าความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลเพิ่มขึ้นและถึงจุดสูงสุดภายใน 3-6 ชั่วโมง ระดับความเข้มข้นของระบบ AP1.0 และ AP1.5 มีแนวโน้มคงที่ภายหลัง 24 ชั่วโมง ( $0.02-0.03 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ ) และวันที่ 3 ( $\sim 0.06 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นในระบบ AP0.5 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องภายหลัง 3 วัน ระดับจุลินทรีย์ทั้งหมดของมะละกอสุกใน active MAP ต่ำกว่าใน control (บรรจุภัณฑ์ไม่มีซองควบคุมฯ) ทั้งนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และ antioxidant activity (DPPH radical scavenging activity) เพิ่มขึ้นในช่วงสามวันแรกและลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยค่าเหล่านี้ใน active MAP ลดลงต่ำกว่า control ถึงแม้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อิทธิพลของไอระเหยเอทานอลต่อคุณภาพด้าน สี ความแน่นเนื้อ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตรเตรท และปริมาณวิตามินซีไม่ชัดเจน ผู้บริโภคให้คะแนนด้านกลิ่นของมะละกอสุกตัดสดในระบบ AP0.5 และ AP1.0 ในระดับที่สูง แม้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคะแนนของระบบอื่น ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอทานอล มีศักยภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงสภาพภายหลังการเก็บเกี่ยว และอาจช่วยเพิ่มคุณภาพด้านกลิ่นให้กับมะละกอสุกตัดสด

**คำสำคัญ :** การบรรจุเชิงแอคทีฟ, มะละกอสุกตัดสด, ระบบควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล

### Abstract

A Prototype of ethanol vapour controlled release sachet was developed for incorporating into active modified atmosphere packaging (active MAP) for fresh-cut papaya. The sachet contains an ethanol soaked filter paper. Volumes of ethanol liquid tested were 0.5, 1.0 and 1.5 ml and abbreviations of active MAP having sachets were defined in accordance to the volumes as AP0.5, AP1.0 and AP1.5. One of sachet walls is low density polyethylene (LDPE) and the other is al/PE laminated film. Research findings on kinetic release of ethanol vapour indicate that release rates and levels of ethanol vapour concentrations

<sup>1</sup>คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 (กรุณาติดต่อ นายวีรเวทย์ อุทโท โทร.045-353-500 แฟกซ์ 045-288-373)

<sup>a</sup>ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กทม. 10400

are dependent on ethanol liquid volumes. Concentrations of ethanol vapour released from the sachets into headspace were reasonably predicted by a 1<sup>st</sup> order kinetic reaction model using nonlinear regression (RMSEs 0.33-0.86). After inserting a sachet into a LDPE bag containing fresh-cut papaya (size 2 × 2 × 2 cm; 8 pieces) placed on a solid plastic tray and storing a bag at 10°C for 5 days, ethanol vapour release pattern was found a high initial concentration peak during the first 3-6 h. Ethanol vapour concentrations accumulated in package headspace of AP1.0 and AP1.5 apparently declined to a quasi steady-state concentration, approximately 0.02-0.03  $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  over a period of days and 0.06  $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  after three days, respectively. However ethanol vapour concentration accumulated in AP0.5 continuously increased after 3 days of the storage. Microbial loads on papaya kept in the active MAP appear to be lower compared to those in the control (i.e. no sachets in trays). Total phenolic content (TPC) and antioxidant activity (DPPH radical scavenging activity) increased during first three days and then continuously declined. Although these measured in active MAP apparently were higher than those in the control, the differences were not statistically significant. There were no clear effects of ethanol vapour on other quality attributes of papaya including colour, firmness, titratable acidity and vitamin C studied. Consumer panel tested rated odour of papaya in AP0.5 and AP1.0 with higher scores, although there were no statistic differences among treatments. The results importantly suggest that the ethanol vapour released has potentials to reduce rates of postharvest changes, whilst it may be able to enhance aromatic attribute of fresh-cut ripen papaya.

**Keyword :** active packaging, fresh-cut ripen papaya, ethanol vapour controlled release sachet

## คำนำ

ปัจจุบันผลไม้สดพร้อมบริโภค (fresh-cut fruit) เป็นที่นิยมของผู้บริโภค เพราะสามารถนำไปบริโภคได้ทันที ทำให้ประหยัดเวลาในการเตรียมอาหาร อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์มักมีอายุการเก็บรักษาที่ค่อนข้างสั้น และอาจเกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการผลิตได้ง่าย (दनัย และ นิธิยา, 2535) ระบบการบรรจุแบบบรรยากาศดัดแปร (modified atmosphere packaging systems หรือ passive MAP) เป็นระบบที่นิยมบรรจุผักและผลไม้สด แต่อาจมีข้อจำกัดด้านการชะลอการสุกและการเจริญของเชื้อ โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003) ดังนั้นจึงมีการนำระบบ active packaging (AP) หรือ active MAP มาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ passive MAP ในหลักการ Active MAP คือ การเพิ่มระบบแอคทีฟ (active system) ให้กับระบบ passive MAP (Charles *et al.*, 2003) ระบบแอคทีฟที่ได้รับความนิยมศึกษา คือ ระบบควบคุมการปล่อยไอระเหยที่มีคุณสมบัติด้านการเจริญเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial volatiles; AVs) ตัวอย่างการใช้ AVs กับผักและผลไม้ เช่น ไอระเหยเอทานอล (ethanol vapour) ในบรรจุภัณฑ์สำหรับองุ่น (Lurie *et al.*, 2006) และเชอร์รี่สด (Bai *et al.*, 2011) โดยสาร AVs นั้นจัดเป็นสารเคมีจำพวก GRAS (generally recognised as safe) ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Utama *et al.*, 2002) จากการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่ากลุ่ม GRAS-AVs นั้นมีเพียงเอทานอลที่ได้รับการพัฒนาในเชิงการค้า เช่น ซองควบคุมการปล่อยเอทานอล ภายใต้ชื่อทางการค้า Antimold Mild<sup>®</sup> (Freund Industrial Co., Japan) ทั้งนี้ในการศึกษาสาร GRAS-AVs ประเภทอื่นๆ พบว่า การเตรียมระบบปล่อยสาร AVs จะดำเนินการโดยนำเอาสาร AVs ในรูปของเหลว เกล็ดสั้วสดที่เป็นตัวพา (carrier) ที่มักจะเป็นกระดาษ และไอระเหยของสาร AVs จะระเหยจากตัวพาอย่างต่อเนื่อง (Utto *et al.*, 2005) ซึ่งเป็นผลให้ไอระเหยนั้นมีแนวโน้มที่จะหมดจากตัวพา และไม่เพียงพอต่อการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ ในระหว่างช่วงเวลาที่เก็บรักษาที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเพื่อเป็นการพัฒนาต้นแบบของควบคุมการปล่อยไอระเหย AVs โดยใช้เอทานอลเป็นกรณีศึกษา ทั้งนี้การวิจัยได้ศึกษาระดับของปริมาณเอทานอลในของควบคุมฯ ต่อความสามารถของไอระเหยในการยับยั้งการเจริญเชื้อจุลินทรีย์ และคุณภาพด้านอื่นๆ ของมะละกอสุกตัดสด (กรณีศึกษา) เนื่องจากมะละกอเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ และมีคุณค่าทางโภชนาการ (รสริน, 2551) โดยเฉพาะคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Mahattanatawee *et al.*, 2006) ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ในการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาจากอนุมูลอิสระ ที่อาจส่งผลให้เกิดมะเร็งหรือความผิดปกติอื่นๆ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้มีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา และการลดลงนี้จะถูกเร่งโดยสภาวะอุณหภูมิที่สูง (Burda *et al.*, 1990) หรือในสภาวะอากาศปกติ (Aguayo *et al.*, 2010) ปัจจุบันยังไม่มีกรรารายงานผลของไอระเหย AVs ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงศึกษาในประเด็นดังกล่าวควบคู่กับการพัฒนาต้นแบบของควบคุมเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการจัดการคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวมะละกอสุก

## อุปกรณ์ และวิธีการ

ในการวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษา 2 ส่วน ประกอบด้วย

### 1. การศึกษาจลศาสตร์การปล่อยไอระเหยเอทานอลที่ปล่อยจากซองควบคุมฯ (ethanol vapour controlled release sachet)

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลเหลวบนกระดาษกรองต่ออัตราการปล่อยไอระเหย โดยเตรียมซองควบคุมฯ จากแผ่นฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนต (Al/PE) ขนาด 6 x 6 cm ซึ่งปิดผนึกกับแผ่นฟิล์ม LDPE ที่มีขนาดเท่ากัน โดยปิดผนึกแบบ 3-side-seal จากนั้นนำเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) เทลงไปในกระดาษกรองเบอร์ 1 (ขนาด 5 x 5 cm) ทั้งนี้ปริมาณเอทานอลเหลวที่เทลงบนกระดาษกรองมี 3 ระดับ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 ml แล้วจึงนำกระดาษกรองนั้นใส่ลงในด้านที่เปิด (open-ended) ของซอง จากนั้นทำการปิดผนึก ซองควบคุมฯ (รุ่งรัตน์และคณะ 2554) จากนั้นนำซองควบคุมฯ ใส่ลงในเซลล์ปิด (closed cell) ที่ทำจากวัสดุสแตนเลสสตีล และเก็บรักษา cell ณ 10°C โดยทำการวัดความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในช่วงเวลา 168 ชั่วโมง และวิเคราะห์ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลด้วยเครื่อง flame ionised detector-Gas Chromatogram (GC-2014; Shimadzu, Japan) ประเภทของคอลัมน์คือ Porapak Q (2.0 m length, inner diameter 3.00 mm) โดยมี helium เป็น carrier gas (flow rate 50 ml/min) โดยสภาวะของการวิเคราะห์ คือ injector temperature 150°C, detector temperature 250°C, oven temperature 80°C เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10°C/นาที จนถึง 200°C คงไว้ 3 นาที ในการสู่มตัวอย่างไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศของเซลล์ จะทำการสู่มตัวอย่างก๊าซปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มฉีดยา (gas tight syringe; Hamilton, Nevada, US) ผ่านช่อง (sampling port) ที่มีส่วนประกอบของ rubber septum แล้วนำไปฉีดก๊าซตัวอย่างเข้าไปใน injection port ของเครื่อง GC2014

### 2. การศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลที่ปล่อยจากซองควบคุมฯ ต่อคุณภาพมะละกอสุกตัดสด

โดยจะทำการบรรจุซองควบคุมฯ ร่วมกับมะละกอสุกตัดสด (พันธุ์ฮอลแลนด์ หั่นลูกเต๋ารายขนาด 2 x 2 x 2 cm และแช่ในสารละลายเอทานอล 70% (v/v) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อลดการปนเปื้อนหลังการหั่น-ตัดแต่ง) จำนวน 8 ชิ้น น้ำหนักรวมประมาณ 65-70 g ลงบนถาดพลาสติกแข็ง Polypropylene (PP) (ขนาดกว้าง x ยาว x สูง- 9.5 x 13 x 6 cm) โดยวางซองควบคุมฯ (ด้าน Al) บนชั้นมะละกอ เพื่อให้เอทานอลสามารถระเหยจากซองควบคุมฯ ได้ง่าย จากนั้นทำการบรรจุถาดลงในถุงพลาสติก LDPE (ความหนา 30  $\mu\text{m}$  และ ขนาด 15 x 23 cm) ค่า permeability to  $\text{O}_2$  และ  $\text{CO}_2$  ของถุง LDPE มีค่าประมาณ 1.46 และ 4.25  $\text{fmol}\cdot\text{m}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$  ตามลำดับ ทั้งนี้ระบบการบรรจุที่มีซองควบคุมฯ มีอักษรย่อ คือ AP0.5, AP1.0 และ AP1.5 ตามลำดับของปริมาณเอทานอลเหลวบนกระดาษกรอง ส่วนระบบการบรรจุที่ไม่มีซองควบคุมฯ จัดเป็นสิ่งทดลองควบคุม (control หรือ ctrl)

ภายหลังจากการบรรจุ นำบรรจุภัณฑ์ ไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 5 วัน และได้ตรวจวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างวันที่ 1, 3, และ 5 ประกอบด้วย (1) ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (AOAC, 1990), (2) ปริมาณ titratable acidity (TA) (AOAC, 1990), (3) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents; TPC) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2003) โดยใช้ Folin-Ciocalteu reagent และ กรดแกลลิก เป็นสารมาตรฐาน, (4) ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ ดำเนินการวิเคราะห์โดยการประยุกต์วิธีของ Brand-Williams *et al.* (1995) ตามวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay, (5) เนื้อสัมผัสของมะละกอสุกตัดสด ทำการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Universal Testing (LLOYD model, LR, series, USA) โดยใช้หัวทดสอบแบบ Warner Bratzler Shear ใช้แรงกด 50 N (จันทร์สุดา, 2540), (6) สี โดยการใช้เครื่อง Minolta CR300 (ในระบบ CIE; L, C, h°), (7) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (total soluble solid; TSS) โดยใช้เครื่อง hand refractometer (ATAGO), (8) การตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์ และรา (รุ่งรัตน์และคณะ 2554), และ (9) การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิม (ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน และใช้สเกล 1-9 ซึ่ง 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ซึ่งทำการทดสอบ ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา เนื่องจากระดับเชื้อจุลินทรีย์นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานเมื่อพิจารณาประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 2553 สำหรับ อาหารพร้อมบริโภค ผัก ผลไม้ สลัด และส้มตำ โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า  $1 \times 10^6$  CFU/g และยีสต์และราน้อยกว่า  $1 \times 10^4$  CFU/g นอกจากนี้การวัดคุณภาพต่างๆ ที่กล่าวข้างต้น การวิจัยนี้ได้ทำการวัดความเข้มข้นก๊าซ O<sub>2</sub> และ CO<sub>2</sub> (วัดโดยเครื่อง MAP test 3050, England) และไอระเหยเอทานอล (ด้วยเครื่อง GC2014) ในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ โดยในวันที่ 0 จะทำการวัดทุกๆ ชั่วโมงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัด (ทำการวัด 1 ครั้ง) ในวันที่ 1 (24 ชั่วโมง), 3 และ 5

การวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยการวัดคุณภาพต่างๆ ในแต่ละสิ่งทดลอง ทำการวัด 3 ซ้ำตัวอย่าง และดำเนินการวิจัย 3 ซ้ำการทดลอง ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 การทดลองที่ได้นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) และความแตกต่างค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS การทดลองนี้ดำเนินการระหว่างกันยายน 2553-กันยายน 2554

## ผลการวิจัยและวิจารณ์

### 1. การศึกษาจุลศาสตร์การปล่อยไอระเหยเอทานอลจากของควบคุมฯ

อัตราการปล่อยไอระเหยและระดับความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับเอทานอลเหลวในของควบคุมฯมีค่าเพิ่มขึ้น แนวโน้มดังกล่าวสามารถเห็นได้ชัดเจนโดยเฉพาะ ในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา (Figure 1) ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นภายหลังวันที่ 4 ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างระบบ อาจเนื่องจากความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นที่วัดซึ่งอาจเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลโดยประเก็นยางของเซลล์ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Smith *et al.* (1987), Suzuki *et al.* (2004) และ Lurie *et al.* (2006) ซึ่งรายงานว่ ณ อุณหภูมิคงที่ อัตราการปล่อยไอระเหยและระดับความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับ เอทานอลเหลว เมื่อทำการทำนายความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (eq. 1) โดยวิธี non-linear regression พบว่าแบบจำลองนี้สามารถทำนายความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลได้อย่างดี (Figure 1) โดยค่า root mean square errors (RMSEs) ของการทำนายอยู่ในช่วง 0.33-0.86 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 2 และค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นทราบว่ค่าที่ได้จากการประมาณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีความน่าเชื่อถือ (Yang and Chinnan, 1988) ทั้งนี้ค่าประมาณของค่า  $A_i$  ของระบบ AP0.5, AP1.0 และ AP1.5 เท่ากับ 10.47, 11.47 และ 10.30 ppm ตามลำดับ และ  $k_i$  ของระดับดังกล่าว เท่ากับ 0.03, 0.02 และ 0.04 hr<sup>-1</sup> ตามลำดับ เมื่อพิจารณา โดยเฉพาะค่า  $k_i$  พบว่ค่า  $k_i$  ของ

AP1.5 มีค่าสูงกว่าระบบอื่นซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการปล่อยไอระเหยมีแนวโน้มเกิดได้เร็วกว่า แต่ค่า  $k_i$  ของ AP1.0 ซึ่งน้อยกว่าค่า AP0.5 อาจเกิดจากความแปรปรวนของข้อมูล เพราะการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นในช่วง 48 ชั่วโมงแรก เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงส่งผลทำให้การประมาณค่า  $k_i$  โดย regression นั้นมีความคลาดเคลื่อนสูง

$$C_{pk}^{EtOH} = A_i (1 - \exp(-k_i t)) \quad \text{eq.1}$$

โดยตัวแปรในสมการ คือ

- $C_{nk}^{EtOH}$  = ความเข้มข้นเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ (ppm)  
 $k_i$  = ค่าคงที่ของปฏิกิริยา โดย  $i$  ผันแปรกับปริมาณเอทานอลเหลวบนกระดาษกรอง ( $\text{hr}^{-1}$ )  
 $A_i$  = ค่าประมาณความเข้มข้นสูงสุดของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ (ppm)  
 $t$  = Time (hr)

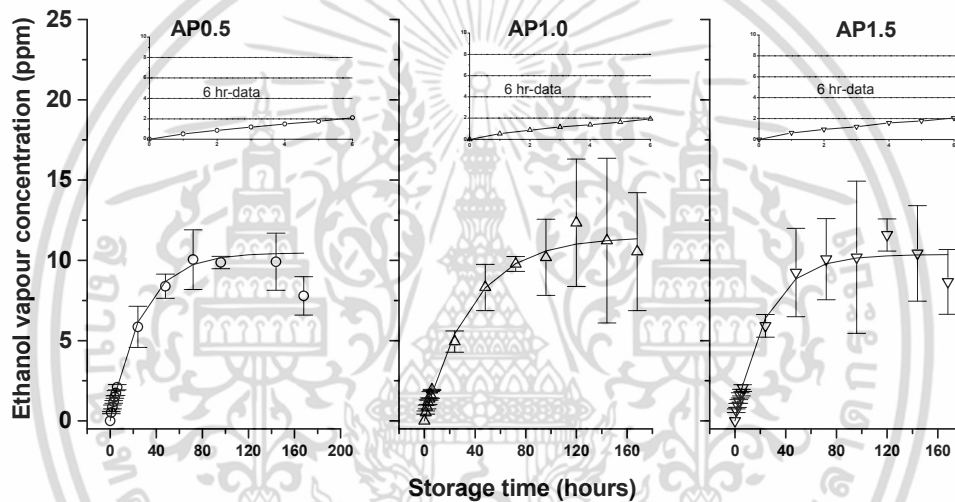


Figure 2 Kinetics of ethanol vapour release from controlled release sachets at 10°C (both 6 hours and 168 hours). Lines represent predicted concentrations using a 1<sup>st</sup> order kinetic model (saturation exponential curve) with non-linear regression method. Data points represent average and standard deviation bars (3 replicates)

## 2. การศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลที่ปล่อยจากซองควบคุมฯ ต่อคุณภาพมะละกอสุกตัดสด

การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในระหว่างการเก็บรักษามีแนวโน้มไม่แน่นอน โดยการลดลงของปริมาณวิตามินซีในช่วง 24 ชั่วโมง ในทุกสิ่งทดลอง เมื่อเปรียบปริมาณวิตามินซี ณ วันที่ 0 (Table 1) อาจเกิดจากการชราภาพ การปกเปลือก และการหั่นชิ้นทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมากขึ้นจึงมีโอกาสสูญเสียวิตามินได้ง่าย (Chan, 1993) อย่างไรก็ตามภายหลังจากเก็บรักษา 3 วัน ปริมาณวิตามินซีใน Active MAP มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาวันที่ 5 พบว่าปริมาณวิตามินซีของมะละกอในระบบ AP1.0 และ AP1.5 มีค่าลดลง แต่ปริมาณวิตามินซีในระบบ AP0.5 และ โดยเฉพาะ Ctrl นั้นมีค่าที่สูงขึ้น (Table 1) การเพิ่มขึ้นของปริมาณวิตามินซีของมะละกอในระหว่างการเก็บรักษาอาจยังไม่มีรายงานที่แน่ชัด แต่มีรายงานว่าปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศ (Klein, 1987) และ พริกหวานตัดสด (fresh-cut bell pepper) (González-Aguilar *et al.*, 2004) มีการเพิ่มขึ้นในการสุก (ripening) เนื่องจากมะละกอสุกที่ใช้ใน

การศึกษานี้ มีระดับความเสียหายของผิวเปลือกระหว่าง 50-75% ซึ่งแสดงถึงระยะความสุกที่ไม่สุกงอมจนเกินไป ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของวิตามินซีในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกเช่นเดียวกับกรณีของมะเขือเทศและพริกหวาน Tudela *et al.* (2002) รายงานว่าการแปรรูปเบื้องต้นและการเก็บรักษาภายใต้การแช่เย็นสามารถทำให้ปริมาณวิตามินซีของมันฝรั่งเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นได้ โดยกระตุ้นให้เกิดการสะสมกลูโคส และถูกใช้ไปในการสังเคราะห์แอสคอเบต (ascorbate biosynthesis) (Noctor and Foyer, 1998) จึงอาจตั้งสมมติฐานได้ว่าการตัดแต่ง-การหั่น และการแช่เย็นมะละกอสุก เป็นสาเหตุสำคัญหนึ่งที่ทำให้ปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยการเปลี่ยนแปลงระดับกลูโคสในมะละกอสุกเพิ่มขึ้นระหว่างการแช่เย็นและสภาวะบรรยากาศตัดแปรจะได้รับการศึกษาในการวิจัยครั้งต่อไป หากพิจารณาผลการศึกษาในวันที่ 1 และ 3 พบว่า อัตราการลดลงของวิตามินซีใน Active MAP มีแนวโน้มลดลงในอัตราที่ช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เก็บรักษาใน ctrl แม้ว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นศักยภาพของเอทานอลในการชะลอการสูญเสียวิตามินซี ซึ่งอาจเกิดจากการชะลอการชราภาพของมะละกอสุกตัดสดโดยไธโรเฮยเอทานอล ในการศึกษาการเก็บรักษาบรอกคอลลี Suzuki *et al.* (2004) รายงานว่า ไธโรเฮยเอทานอลชะลอการชราภาพของบรอกคอลลีโดยการชะลอกิจกรรมของ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) oxidase (ACC oxidase) ที่เป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการสร้างเอทิลีนที่ส่งผลต่อการสุกและชราภาพของผักและผลไม้

**Table 1** Changes of vitamin C, total phenolic content and antioxidant activity of fresh-cut papaya stored in different packaging systems

		Total Vitamin C (mg/100g)			
Day		Ctrl	AP0.5	AP1.0	AP1.5
0 <sup>1/</sup>	58.75±1.25				
1		50.28 ± 7.12 <sup>a,2/</sup>	57.50 ± 8.80 <sup>a</sup>	56.39 ± 4.70 <sup>a</sup>	53.33 ± 4.51 <sup>a</sup>
3		56.11 ± 8.11 <sup>a</sup>	58.89 ± 10.01 <sup>a</sup>	60.56 ± 6.82 <sup>a</sup>	60.55 ± 6.09 <sup>a</sup>
5		64.72 ± 15.63 <sup>a</sup>	59.17 ± 10.08 <sup>a</sup>	54.72 ± 2.60 <sup>a</sup>	58.05 ± 13.33 <sup>a</sup>
		Total Phenolic Content (mgGAE/100gFW)			
Day		Ctrl	AP0.5	AP1.0	AP1.5
0	25.51± 4.21				
1		34.41 ± 13.79 <sup>a</sup>	39.49 ± 13.20 <sup>a</sup>	37.13 ± 7.37 <sup>a</sup>	37.67 ± 13.61 <sup>a</sup>
3		34.76 ± 15.05 <sup>a</sup>	34.39 ± 16.30 <sup>a</sup>	40.45 ± 8.09 <sup>a</sup>	31.33 ± 8.17 <sup>a</sup>
5		35.06 ± 5.70 <sup>a</sup>	37.60 ± 7.57 <sup>a</sup>	35.45 ± 1.93 <sup>a</sup>	33.81 ± 5.57 <sup>a</sup>
		Antioxidant activity (mgAA/100gFW)			
Day		Ctrl	AP0.5	AP1.0	AP1.5
0	20.47±2.12				
1		35.71 ± 16.96 <sup>a</sup>	45.26 ± 24.87 <sup>a</sup>	31.51 ± 3.98 <sup>a</sup>	39.52 ± 13.42 <sup>a</sup>
3		35.94 ± 8.67 <sup>a</sup>	33.63 ± 10.95 <sup>a</sup>	34.99 ± 9.44 <sup>a</sup>	30.42 ± 5.57 <sup>a</sup>
5		29.30 ± 5.11 <sup>a</sup>	31.87 ± 5.49 <sup>a</sup>	28.33 ± 7.63 <sup>a</sup>	35.16 ± 16.02 <sup>a</sup>

<sup>1/</sup> Data on Day 0 represents average ± standard deviation (9 replicates) and they were not used in analysis of variance (ANOVA)

<sup>2/</sup> Mean (± SD) values (9 replicates) followed by the same letter within rows are not significantly different at P = 0.05 according to ANOVA and the Duncan Multiple Range Test

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 1-3 วันของการเก็บรักษา และลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดอายุการเก็บรักษา แต่ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของมะละกอสุกตัดสดในแต่ละวันที่ทำการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) การเปลี่ยนแปลงของค่าความสามารถการต้านอนุมูลอิสระจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Table 1) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นดังกล่าว อาจเกิดจากการ

เก็บรักษามะละกอในสภาวะแช่เย็น และอาจส่งผลให้เกิดภาวะ chilling stress เช่น ในกรณีการเก็บรักษามะเขือเทศแช่เย็น ซึ่ง Javanmardi and Kubota (2006) ได้ตั้งสมมติฐานการเพิ่มขึ้นของ antioxidant activity ในมะเขือเทศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ว่าอาจเกิดจาก chilling stress เหนียว่นการเพิ่มอนุมูลอิสระ (free radicals) และส่งผลให้เกิดเมแทบอลิซึมของสารประกอบฟีนอลและเพิ่มระดับ antioxidant activity ผลการวิจัยในมะละกอสุกตัดสดนี้ และมะเขือเทศ แสดงให้เห็นถึงประโยชน์การเก็บรักษาอุณหภูมิเย็นต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ เมื่อพิจารณา Table 1 พบว่า ไอรอะเหยเอทานอลมีแนวโน้มชะลอการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากไอรอะเหยเอทานอลไปเพิ่มความเครียดให้กับมะละกอ (ไอรอะเหยเอทานอลจัดเป็น environmental or abiotic stress) และความเครียดนั้นอาจส่งผลต่อเมแทบอลิซึมของสารประกอบฟีนอลิกและการเปลี่ยนแปลงอนุมูลอิสระในทิศทางที่คล้ายคลึงกับ chilling stress ดังนั้นจึงอาจตั้งสมมติฐานในเบื้องต้นจากผลการวิจัยนี้ ได้ว่าทั้งไอรอะเหยเอทานอลและการแช่เย็นส่งผลทำให้มะละกอเกิด abiotic stress และเพิ่มระดับของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในช่วงระยะเวลาหนึ่งภายหลังจากการเก็บรักษา ทั้งนี้กลไกและอิทธิพลของปัจจัยทั้งสองควรได้รับการศึกษาต่อไป

อิทธิพลของเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีแดงของเนื้อมะละกอ ความแน่นเนื้อ TSS และ TA ไม่ชัดเจน (ไม่แสดงข้อมูล) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาในองุ่น (Candir *et al.* 2012) อย่างไรก็ตาม Bai *et al.* (2011) รายงานว่าไอรอะเหยเอทานอลชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเชอร์รี่ด้านสี ความแน่นเนื้อ TSS และ TA ทั้งนี้ความแตกต่างในอิทธิพลของไอรอะเหยเอทานอลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวอาจมาจากการตอบสนองของผลผลิตต่อไอรอะเหยเอทานอลที่ต่างกัน ใน Figure 2 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา และ Active MAP มีศักยภาพในการชะลอการเจริญเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีกว่าสิ่งทดลองควบคุม โดยเฉพาะในช่วง 1-3 วันแรก ของการเก็บรักษา (Figure 2A) ทั้งนี้กลไกการชะลอหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โดยไอรอะเหยเอทานอลและ AVs อื่นๆ ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัด แต่นักวิจัยส่วนใหญ่ตั้งสมมติฐานว่ากลไกดังกล่าวอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือเสถียรภาพของ cell membrane ของจุลินทรีย์ เช่น alterations of cell permeability, membrane disruption หรือ deformation (Nychas, 1995; Gardini *et al.*, 1995; Davison, 2001)

การเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบ AP0.5 นั้นสูงกว่า AP1.0 และ AP1.5 โดยเฉพาะเมื่อเก็บรักษาเกิน 3 วัน ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณเอทานอลเหลวในของควบคุมฯ แม้ว่าความสามารถดังกล่าวอาจไม่ชัดเจนในกรณีของระบบ AP1.0 และ AP1.5 ที่อาจเกิดจากความแปรปรวนของขึ้นมะละกอสุกตัดสด เมื่อพิจารณา Figure 2B พบว่าอิทธิพลของไอรอะเหยเอทานอลต่อการเจริญของยีสต์และรานั้นไม่ชัดเจน อาจเป็นผลมาจากความแปรปรวนที่สูงของเชื้อจุลินทรีย์ และการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการตัดแต่ง (दनัย และ นิธยา, 2535) ทั้งนี้ประสิทธิภาพโดยรวมในการควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยไอรอะเหยเอทานอลในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lurie *et al.* (2006) ที่ได้รายงานว่าไอรอะเหยเอทานอลสามารถชะลออัตราการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ (pathogenic decays) ที่เกิดกับองุ่นสด ที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิ 0°C ตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ นอกจากนี้ Bai *et al.* (2011) รายงานว่าไอรอะเหยเอทานอลสามารถชะลอการเกิด brown rot ในเชอร์รี่ตัดสด เก็บรักษา ณ อุณหภูมิ 20°C

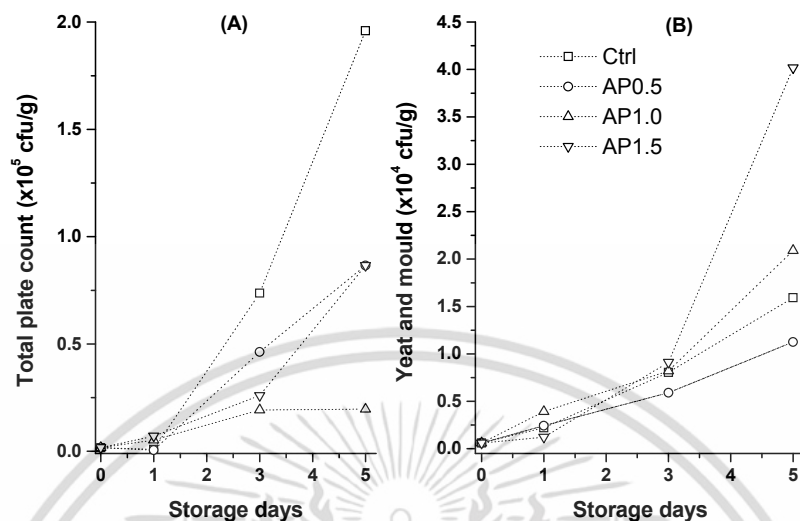


Figure 2 Changes in total plate counts (A) and yeast and mould (B) (mean values) of fresh-cut papaya in different packaging systems

ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับการบรรจุระบบ Active MAP โดยเฉพาะการให้คะแนนที่ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่เก็บในctrl (Table 2) ทั้งนี้ผู้บริโภคให้คะแนนกลิ่นมะละกอสุกตัดสดใน AP0.5 และ AP1.0 สูงกว่าระบบอื่นๆ แม้ว่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) โดยคะแนนด้านกลิ่นที่สูงนั้น อาจตั้งสมมติฐานว่าเกิดจากการสังเคราะห์เอสเทอร์จากไอระเหยเอทานอลซึ่งถูกดูดซับโดยมะละกอ Bai *et al.* (2011) รายงานการดูดซับไอระเหยเอทานอลโดยเชอร์รี่ตัดสด และเอทานอลที่ดูดซับนั้นส่วนหนึ่งถูกใช้ไปในกระบวนการสังเคราะห์สารให้กลิ่นกลุ่มเอสเทอร์ โดยกระบวนการเอนไซม์ ซึ่งมีเอนไซม์สำคัญที่เกี่ยวข้อง เช่น alcohol acetyl transferase (AAT E.C. 2.3.1.84)(Song *et al.*, 1996) อย่างไรก็ตาม คะแนนด้านกลิ่นในระบบ AP1.5 มีค่าต่ำ (Table 2) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากมีการสะสมไอระเหยเอทานอลสูงกว่าระบบอื่นๆ โอกาสที่ผู้บริโภคสามารถรับรู้กลิ่นเอทานอลจึงเกิดได้สูง

Table 1 Sensory test of fresh-cut papaya in different packaging systems

Attributes	Ctrl	AP0.5	AP1.0	AP1.5
Appearance	6.70 ± 1.16 <sup>a,b 1/</sup>	7.35 ± 0.98 <sup>a</sup>	6.40 ± 1.73 <sup>a,b</sup>	6.20 ± 1.61 <sup>a,b</sup>
Colour	6.85 ± 1.46 <sup>a</sup>	7.25 ± 1.20 <sup>a</sup>	6.65 ± 1.73 <sup>a</sup>	6.45 ± 1.60 <sup>a</sup>
Odour	6.95 ± 1.09 <sup>a,b</sup>	7.25 ± 1.16 <sup>a</sup>	7.05 ± 1.79 <sup>a,b</sup>	6.10 ± 1.86 <sup>b</sup>
Taste	6.80 ± 1.50 <sup>a,b</sup>	7.35 ± 1.03 <sup>a</sup>	6.10 ± 2.29 <sup>a,b</sup>	6.70 ± 1.89 <sup>a,b</sup>
Texture	6.85 ± 1.38 <sup>a,b</sup>	7.35 ± 1.03 <sup>a</sup>	6.20 ± 2.21 <sup>b</sup>	6.75 ± 1.80 <sup>a,b</sup>
Overall acceptance	7.05 ± 1.09 <sup>a,b</sup>	7.60 ± 1.14 <sup>a</sup>	7.00 ± 1.65 <sup>a,b</sup>	6.50 ± 2.09 <sup>b</sup>

<sup>1/</sup> Mean (± SD) values followed by the same letter within rows are not significantly different at P = 0.05 according to ANOVA and the Duncan Multiple Range Test

จากผลการศึกษาระบบบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์มีสภาวะบรรยากาศตัดแปร (โดยที่ระดับก๊าซ ณ สภาวะคงที่ ภายหลังจากเก็บรักษา 2-3 วัน ประมาณ 9% O<sub>2</sub> และ 5% CO<sub>2</sub>) อย่างไรก็ตามเอทานอลไม่มีอิทธิพลอย่างสำคัญทางสถิติต่อการเกิดสภาวะบรรยากาศตัดแปรในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ที่มีหรือไม่มีชของควมคุมฯ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ซึ่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าไอระเหยของเอทานอลไม่มีผลกระทบต่ออัตราการหายใจของมะละกอสุก ตัดสด และ film permeability to oxygen and carbon dioxide ของฟิล์ม LDPE ที่ใช้ในการศึกษานี้ ปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลต่อการสร้างสภาวะบรรยากาศตัดแปรในบรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้ ทั้งนี้ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Utto (2008) ที่รายงานว่าไอระเหยเอทานอล (ความเข้มข้น < 40 ppm ณ 20°C) ซึ่งสะสมในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์มะเขือเทศ (ทั้งลูก) ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการหายใจของมะเขือเทศ และค่า film permeability เหล่านั้น

ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลจะเพิ่มขึ้นในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษาและลดลง (Figure 3) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลจาก สมดุลมวล (mass balance) ของกระบวนการสำคัญประกอบด้วย (1) กระบวนการปล่อยไอระเหยเอทานอลจากช่องฯ, (2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับมะละกอสุกตัดสด เช่น การทำปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลและเชื้อจุลินทรีย์ และ/หรือการสังเคราะห์เอสเทอร์ ดังที่ได้อภิปรายในผลการทดสอบประสาทสัมผัส และ (3) การซึมผ่านไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ไปยังสิ่งแวดล้อม ระดับความเข้มข้นของไอระเหยในระบบ AP1.0 คงที่ภายหลังจาก 24 ชั่วโมงของการเก็บรักษา ส่วนความเข้มข้นที่สะสมในระบบ AP0.5 และ AP1.5 มีการเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นในระบบ AP1.5 ได้ลดลงในวันที่ 5 แต่ระดับความเข้มข้นในระบบ AP0.5 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา และในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในระบบ AP0.5 นั้นสูงกว่าความเข้มข้นในระบบ AP1.5 (Figure 3) ซึ่งการเพิ่มสูงขึ้นนี้อาจเกิดจากการหายใจในสภาวะที่มีออกซิเจนความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้เอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญจากการหายใจในสภาวะดังกล่าว ซึ่งสภาวะการหายใจดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบ AP0.5 ณ วันที่ 5 (Figure 2) เมื่อพิจารณาผลการศึกษาโดยรวม ผู้วิจัยพบว่า ระบบ AP1.0 ควรจะได้รับการพัฒนาต่อไปควบคู่กับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวอื่นๆ ที่เหมาะสม เช่น การจุ่มน้ำร้อน (hot water dipping) เพื่อลดปริมาณยีสต์และราในมะละกอสุกตัดสด นอกจากนี้ต้นแบบของมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมการปล่อยไอระเหยของสาร AVs อื่นๆ เช่น thymol, hexanal หรือ eugenol

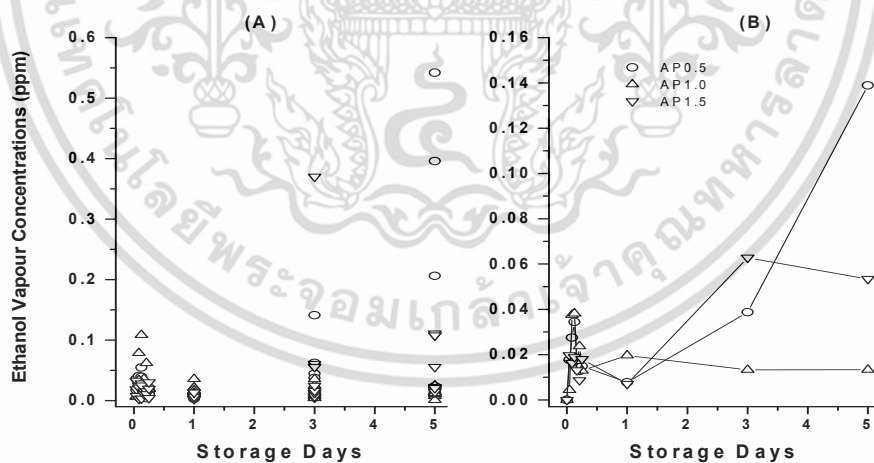


Figure 3 Raw data of ethanol vapour concentration accumulated in headspaces of different packaging systems during 5 day storage at 10°C (A) and trends of concentration changes (mean values) during storage period (B)

## สรุป

ต้นแบบของควบคุมไอรยะเหยเอทานอลที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถปล่อยไอรยะเหยเอทานอลสู่บรรยากาศบรรจุภัณฑ์ตลอดอายุการเก็บรักษา ทั้งนี้อัตราการปล่อยและความเข้มข้นไอรยะเหยเอทานอลที่สะสมในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์สัมพันธ์กับปริมาณเอทานอลเหลวในของควบคุมฯ ระบบ Active MAP มีศักยภาพในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และเพิ่มคุณภาพด้านกลิ่นมะละกอสุกที่ดีที่สุด นอกจากนี้ไอรยะเหยเอทานอลมีแนวโน้มให้ผลเสริม (additive effects) กับการแช่เย็น ด้านชะลอการลดลงของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. 10400

## เอกสารอ้างอิง

- จันทร์สุตา จงสวัสดิ์. 2540. คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลไม้สดพร้อมบริโภค (มะละกอสุก ฝรั่ง และแคนตาลูป). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- दनัย บุญยเกียรติ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2535. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพมหานคร: โอ. เอส. พันธ์ตั้งเฮ้าส์.
- รสริน เกลียงเกล้า. 2551. รายด้วยมะละกอบางแนวทางการลงทุนอย่างมืออาชีพ. บริษัท นาคา อินเตอร์มีเดีย จำกัด. กรุงเทพฯ.
- รุ่งรัตน์ จันทร์คาศ, ปราตนา พิมพ์สุดตะ, วิภา ผลจันทร์ และ วีระเวทย์ อุทโย. 2554. การพัฒนาระบบควบคุมการปล่อยไอรยะเหยเอทานอลในการบรรจุแบบบรรยากาศดัดแปรเชิงแอคทีฟ สำหรับมะละกอดัดสด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42(พิเศษ): 635-638.
- Aguayo, E., Requejo-Jackman, C. Stanley, R. and Woolf, A. 2010. Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices. *Postharvest Biol. Technol.* 57(1): 52-60.
- AOAC, 1990. Official of Association of Analytical Chemists. Washington D.C.: Association of Analytical Chemist.
- Bai, J., Plotto, A., Spotts, R. and Rattanapanone, N. 2011. Ethanol vapor and saprophytic yeast treatments reduce decay and maintain quality of intact and fresh-cut sweet cherries. *Postharvest Biol. Technol.* 62(2): 204-212.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28(1): 25-30.
- Burda, S., Oleszek, W. and Lee, C.Y. 1990. Phenolic compounds and their changes in apples during maturation and cold storage. *J. Agric. Food Chem.* 38: 945-948.
- Candir, E., Ozdemir, A.E., Kamiloglu, O., Soyulu, E.M. and Dilbaz, R. 2012. Modified atmosphere packaging and ethanol vapour to control decay of 'Red Globe' table grapes during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 63(2): 98-106.
- Chan, H.T. 1993. Papaya. pp. 3408-3411. In R. MacRae, R. K. Robinson and M. J. Sadler (ed), *Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*, Academic Press, New York.
- Charles, F., Sanchez, J. and Gontard, N. 2003. Active modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables: modeling with tomatoes and oxygen absorber. *J. Food Sci.* 68(5): 1736-1742.
- Davidson, P.M. 2001. Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. pp. 593-627. In M. P. Doyle, L.R. Beuchat and T. J. Montville (ed), *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*, ASM Press, Washington, D.C.
- Gardini, F., Lanciotti, R., Caccioni, D. R. L. and Guerzoni, M. E. 1997. Antifungal activity of hexanal as dependent on its vapor pressure. *J. Agric. Food Chem.* 45(11): 4297-4302.
- González-Aguilar, G.A., Ayala-Zavala, J.F., Ruiz-Cruz, S., Acedo-Félix, E. and Díaz-Cinco, M.E. 2004. Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *Postharvest Biol. Technol.* 37(8): 817-826
- Javanmardi, J. and Kubota, C. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 41(2): 151-155.

- Kim, D.O., Jeong, S.W. and Lee, C.Y. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem.* 81: 321-326.
- Kline, B. 1987. Nutritional consequences of minimally processing of fruits and vegetables. *J. Food Quality* 10(3): 179-193.
- Lurie, S., Pesis, E., Gadiyeva, O., Feygenberg, O., Ben-Arie, R., Kaplunov, T., Zutahy, Y. and Lichter, A. 2006. Modified ethanol atmosphere to control decay of table grapes during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 42(3): 222-227.
- Mahattanatawee K., Manthey, J. A., Luzio, G, Talcott, S. T., Goodner, K. and Baldwin, E.A. 2006. Total Antioxidant Activity and Fiber Content of Select Florida-Grown Tropical Fruits. *J. Agric. Food Chem.* 54(19): 7355-7363.
- Noctor, G. and Foyer, C.H. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 249-279
- Nychas, G.J.E. 1995. Natural antimicrobials from plants. pp. 58-89. In G.W. Gould (ed), *New Methods of Food Preservation*, Blackie Academic & Professional, London.
- Smith, J.P., Oraikul, B., Koersen, W.J., van de Voort, F.R., Jackson, E.D. and Lawrence, R. A. 1987. Shelf life extension of a bakery product using ethanol vapor. *Food Microbiol.* 4(4): 329-337.
- Soliva-Fortuny, R.C. and Martin-Belloso, O. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends Food Sci. Tech.* 14(9): 341-353.
- Song, J., Leepipattanawit, R., Deng, W.M. and Beaudry, R.M. 1996. Hexanal vapor is a natural, metabolizable fungicide: inhibition of fungal activity and enhancement of aroma biosynthesis in apple slices. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121(5): 937-942.
- Suzuki, Y., Uji, T. and Terai, H. 2004. Inhibition of senescence in broccoli florets with ethanol vapor from alcohol powder. *Postharvest Biol. Technol.* 31(2): 177-182.
- Tudela, J.A., Espin, J.C. and Gil, M.I. 2002. Vitamin C retention in fresh-cut potatoes. *Postharvest Biol. Technol.* 26(1): 75-84.
- Utama, I.M.S., Wills, R.B.H., Ben-Yehoshua, S. and Kuek, C. 2002. *In vitro* efficacy of plant volatiles for inhibiting the growth of fruit and vegetable decay microorganisms. *J. Agric. Food Chem.* 50(22): 6371-6377.
- Utto, W. 2008. *Mathematical Modelling of Active Packaging Systems for Horticultural Products*. Massey University.
- Utto, W., Mawson, A.J., Bronlund, J.E. and Wong, K.K.Y. 2005. Active packaging technologies for horticultural produce. *Food NZ.* 5(2): 21-32.
- Yang, C.C. and Chinnan, M.S. 1988. Modeling the effect of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> on respiration and quality of stored tomatoes. *T. ASAE.* 31(3): 920-925.