Agricultural Sci. J. 42 : 3 (Suppl.) : 709-718 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 3 (พิเศษ) : 709-712 (2554)

อิทธิพลของไอระเหยเอทานอลในระบบการบรรจุแบบบรรยากาศดัดแปรเชิงแอคทีฟ ต่อสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวมะละกอสุกหั่นชิ้น

Influences of ethanol vapour released in active modified atmosphere packaging (active MAP) on total phenolic content, antioxidant activity, and postharvest qualities of fresh-cut ripen papaya

วีรเวทย์ อุทโธ[1], ทองมี แสวงพันธ์[1] และ นิตยา พรมนาค[1]
Weerawate Utto[1], Thongmee Sawaengpan[1] and Nittaya Pomnak[1]

Abstract

A Prototype of active modified atmosphere packaging (active MAP) was developed for fresh-cut papaya. The active system comprised ethanol vapour controlled release sachet which was a low density polyethylene sachet containing an ethanol soaked filter paper. Papaya and a sachet were placed on a solid plastic tray which later was wrapped with LDPE film and stored at 10ºC for 7 days. In general ethanol vapour release pattern was found a high initial concentration peak during the first 3-6 h which declined to a quasi steady-state concentration, approximately 0.02-0.03 $\mu L \cdot L^{-1}$ over a period of days. Regardless having sachets, the product became unmarketable after 5 days importantly due to visible microbial appearance and swollen plastic films wrapped. However, trends of 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. Other quality attributes of papaya including colour, firmness, titratable acidity and vitamin C studied tended to continuously decline and there were generally no statistic significances among them in regardless to packaging treatments. Consumer panel tested accepted overall quality of the products packaged in the Active MAP of which the odour of papaya appeared to be rated with higher scores. The results importantly suggest that the ethanol vapour released has potentials to reduce rates of changes in TPC and DPPH, whilst it may be able to enhance aromatic attribute of the product.

Keywords: active packaging, fresh-cut papaya, ethanol controlled release sachet

บทคัดย่อ

ต้นแบบระบบการบรรจุบรรยากาศดัดแปรเชิงแอคทีฟ (Active MAP) สำหรับมะละกอสุกหั่นชิ้นได้พัฒนาขึ้น โดยระบบแอคทีฟคือ ระบปล่อยไอระเหยเอทานอล ซึ่งประกอบด้วยกระดาษกรองดูดซับเอทานอลเหลว บรรจุลงในซองฟิล์ม LDPE ขนาดเล็ก ในการศึกษานี้ใช้ผลมะละกอสุกหั่นชิ้น และซองขนาดเล็ก บรรจุลงบนถาดและหุ้มด้วยฟิล์ม LDPE เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 7 วัน พบว่า การปล่อยไอระเหยของเอทานอลจากซองขนาดเล็ก มายังบรรยากาศบรรจุภัณฑ์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและถึงจุดสูงสุดภายใน 3-6 ชั่วโมง และลดลงมาถึงระดับคงที่ (0.02-0.03 $\mu L \cdot L^{-1}$) เนื้อมะละกอเกิดการเสื่อมเสีย ภายหลังเก็บรักษา 5 วัน โดยเฉพาะมีการเจริญของจุลินทรีย์ และการบวมของฟิล์มหุ้มถาด ถึงแม้ว่าในบรรจุภัณฑ์มีซองปล่อยไอระเหยเอทานอล อย่างไรก็ตามระดับจุลินทรีย์ใน Active MAP ต่ำกว่าในระบบควบคุม (control) เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และ antioxidant activity (DPPH radical scavenging activity) พบว่าเพิ่มขึ้นในช่วงสามวันแรกและลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ค่าเหล่านี้ในระบบ Active MAP ลดลงช้ากว่าในระบบ Control ถึงแม้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาด้าน สี ความแน่นเนื้อ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตรเตรท และปริมาณวิตามินซี พบว่าลดลง แต่อิทธิพลของเอทานอลต่อค่าเหล่านี้ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับคุณภาพโดยรวมและให้คะแนนด้านกลิ่นของมะละกอใน Active MAP ที่สูงกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอทานอล มีศักยภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และอาจช่วยเพิ่มคุณภาพด้านกลิ่นให้กับมะละกอสุกหั่นชิ้น

คำสำคัญ: การบรรจุเชิงแอคทีฟ, มะละกอสุกหั่นชิ้น, ระบบควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล

---

[1] คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อำเภอ วารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานี / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
[1] Faculty of Agriculture, Ubon Rathchathani University, Warinchamrab district, Ubon Rathchathani province/ Postharvest Technology Innovation Centre, Commision on Higher Education

คำนำ

ผลการศึกษาเพื่อพัฒนาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล (ethanol vapour controlled release sachet) (รุ่งรัตน์และคณะ 2554) พบว่า ซองควบคุมฯ นั้นสามารถปล่อยไอระเหยให้กับบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์มะละกอสุกหั่นชิ้น และมีศักยภาพในการชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10ºC และผู้บริโภคให้การยอมรับคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวไม่ได้ดำเนินการศึกษาอิทธิพลของไอระเหยเอทานอลต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอะนุมูลอิสระของมะละกอสุกหั่นชิ้น เนื่องจากมะละกอเป็นแหล่งวิตามินซีที่สำคัญ (50-60 mg/100gFW) ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพ รวมถึงการต้านอนุมูลอิสระ ปัจจุบันยังไม่พบว่ามีรายงานผลของไอระเหยเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถการต้านอนุมูลอิสระของมะละกอสุกหั่นชิ้นและผักผลไม้ประเภทอื่นๆ ถึงแม้จะมีรายงานว่าไอระเหยเอทานอลมีศักยภาพในการชะลอการเสื่อมสภาพของผักและผลไม้ เช่น การชะลอการสลายของคลอโรฟิลล์ในบรอกโคลี่หั่นเป็นดอกย่อย (broccoli florets) (Suzuki et al., 2004) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอิทธิพลของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตลอดจนคุณภาพอื่นๆ ระหว่างการเก็บรักษา

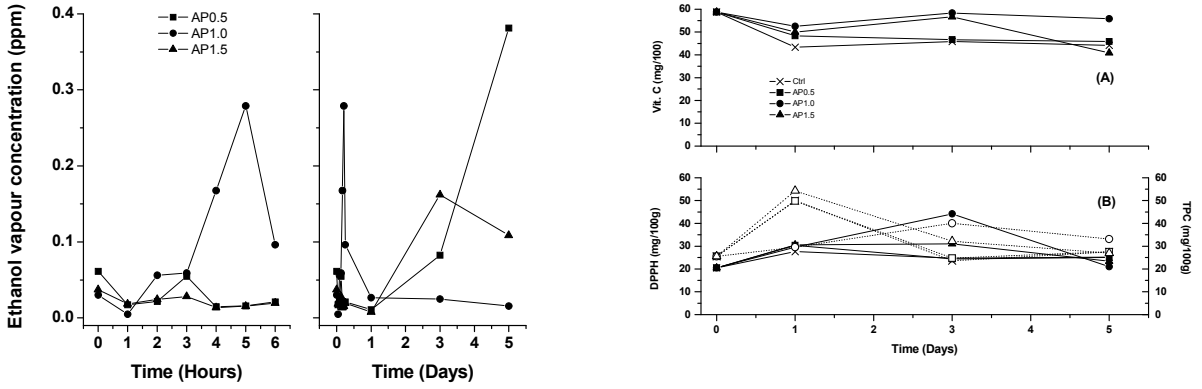
อุปกรณ์และวิธีการ

ระบบ Active MAP ได้ใช้ระบบซึ่งนำเสนอโดย รุ่งรัตน์และคณะ (2554) ประกอบด้วย มะละกอสุกหั่นชิ้น (พันธุ์ฮอลแลนด์ หั่นลูกเต๋าขนาด 2 x 2 x 2 cm) จำนวน 8 ชิ้น น้ำหนักรวมประมาณ 65-70 g วางบนถาดพลาสติกแข็ง Polypropylene (PP) (ขนาดกว้าง x ยาว x สูง- 9.5 x 13 x 6 cm) และทำการบรรจุพร้อมกับซองขนาดเล็กควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล (ethanol vapour controlled release sachet ขนาด 6 × 6 cm) ลงในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติก Low Density Polyethylene (LDPE) (ความหนา 30 μm และ ขนาด 15 × 23 cm) ทั้งนี้ปริมาตรเอทานอลเหลว (95% v/v) ซึ่งเทลงบนกระดาษกรองบรรจุในซองฯ มี 3 ระดับ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 ml และอักษรย่อของระบบ Active MAP คือ AP0.5, AP1.0 และ AP1.5 ทั้งนี้ Lurie et al (2006) ได้รายงานว่าระดับของเอทานอลที่แตกต่างกัน บนวัสดุที่เป็นตัวพา (carrier) ประเภทเดียวกันส่งผลทำให้เกิดการสะสมความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลที่ต่างกัน **สภาวะการเก็บรักษา** ระบบ Active MAP เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 ºC เป็นเวลา 7 วัน และได้ตรวจวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างวันที่ 1, 3, 5 และ 7 โดยบรรจุภัณฑ์มะละกอสุกหั่นชิ้นที่ไม่มีซอง ขนาดเล็กควบคุมการปล่อยสารระเหยเอทานอล เป็นสิ่งทดลองควบคุม (control ; ตัวย่อคือ Ctrl) **การทดสอบคุณภาพ** ประกอบด้วย สารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (total phenolic contents; TPC), ความสามารถการต้านอะนุมูลอิสระ (วัดจาก Scavenging activity โดยใช้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging assay) (Brand-Williams et al., 1995), ปริมาณกรดแอสคอร์บิกโดยวิธีการไตรเตรท (AOAC, 1990), สี (L, a*, b*; Minolta CR300), Total Soluble Solids (hand refractometer), titratable acidity, ความแน่นเนื้อ (LLODY model, LR series, USA), ความเข้มข้นเอทานอล (FID-GC; Shimadzu GC-2014) และความเข้มข้นออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (MAP test 3050), การตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์ และรา และ การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิม (ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน และใช้สเกล 1-9 ซึ่ง 1= ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) **การวางแผนการทดลอง** วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยสิ่งทดลอง ประกอบด้วย 3 ซ้ำ และนำผลการศึกษาไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) และความแตกต่างค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % โดยใช้โปรแกรม SPSS การทดลองนี้ดำเนินการระหว่าง พฤศจิกายน 2552-พฤษภาคม 2553

ผลและวิจารณ์

ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลจะเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา (Figure 1-I) การเปลี่ยนแปลงเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ เป็นผลจากสมดุลของกระบวนการสำคัญประกอบด้วย (1) กระบวนการปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองฯ, (2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับมะละกอ ซึ่งอาจมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยา ดังเช่น กระบวนการสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง SO_2 และข้าวโพด ที่ประกอบด้วย การ Uptake และการแพร่ผ่าน (Diffusion) ของ SO_2 ในเนื้อข้าวโพด (Haros et al., 2005) และ (3) การซึมผ่านไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ไปยังสิ่งแวดล้อม ในระบบ AP1.0 และ AP1.5 พบว่าความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์เพิ่มสูงมากขึ้น ณ เวลา 4 ชั่วโมง และ 3 วัน หลังจากนั้นความเข้มข้นลดลง ทั้งนี้ความเข้มข้นในระบบ AP1.0 มีแนวโน้มที่คงที่ (ประมาณ 0.02-0.03 ppm) ภายหลัง 24 ชั่วโมง (Figure 1-I) ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lurie et al (2006) ที่รายงานว่าการเกิด concentration peaks ที่เวลาที่ต่างกันนั้นขึ้นกับปริมาณเอทานอล โดยระบบที่มีเอทานอลน้อยกว่าจะเกิด peak ใน

บรรยากาศบรรจุภัณฑ์ก่อนระบบที่มีปริมาณเอทานอลมาก ในขณะที่ระดับของ peak (peak level) ของระบบที่มีเอทานอลน้อยจะต่ำกว่า peak level ของระบบที่มีปริมาณเอทานอลมาก อย่างไรก็ตามระดับ peak ของระบบ AP1.5 ต่ำกว่า AP1.0 อาจเกิดจากอัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลและมะละกอ และ/หรืออัตราการซึมผ่านฟิล์มของเอทานอล ซึ่งอัตราเหล่านี้เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของ Organic vapours เช่น การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเฮกซาแนลและมะเขือเทศและฟิล์ม LDPE (Utto, 2008)



(I) (II)

Figure 1 (I) Changes of ethanol vapour concentrations in headspaces of packages containing sachets of which volumes of ethanol liquid soaked on filter papers (in individual sachet) were varied, and (II) Changes of vitamin C content (A), and antioxidant activity (DPPH represented by solid lines and symbols) and total phenolic content (TPC represented by dotted and open symbols) (B) of papaya packaged in different modified atmosphere packaging systems

ส่วนระบบ AP0.5 พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลมาก ณ วันที่ 3 แต่ระดับความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ทำการวัด ณ วัน ที่ 5[2]) (Figure 1-I) ซึ่งการเพิ่มสูงขึ้นนี้อาจเกิดจากการหายใจในสภาวะที่มีออกซิเจนความเข้มข้นต่ำ (~3.67%) ทั้งนี้เอทานอลเป็นผลิตผลสำคัญจากการหายใจในสภาวะดังกล่าวจึงอาจเป็นสาเหตุให้เกิดไอระเหยเอทานอลเพิ่มเติมในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์และส่งผลให้เกิดความเข้มข้นสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์มีสภาวะบรรยากาศดัดแปร (โดยที่ระดับก๊าซ ณ สภาวะคงที่ภายหลังการเก็บรักษา 2-3 วัน ประมาณ 9% O_2 และ 5% CO_2) อย่างไรก็ตามเอทานอลไม่มีอิทธิพลอย่างสำคัญทางสถิติต่อการเกิดสภาวะบรรยากาศดัดแปรในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ที่มีหรือไม่มีซองควบคุมฯ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ผลการศึกษาดังกล่าวอาจสรุปได้ว่าระดับความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรจุภัณฑ์ไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการหายใจ และการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของ O_2 และ CO_2 ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลให้เกิดสภาวะบรรยากาศดัดแปรในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ (Utto et al., 2005)

ปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอัตราการลดลงของวิตามินซีในกลุ่มระบบ Active MAPนั้นมีการลดลงในอัตราที่ช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบสิ่งทดลองควบคุม (Figure 1-II A) ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นศักยภาพของเอทานอลในการชะลอการสูญเสียวิตามินซี เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าการเปลี่ยนแปลงทั้งสองนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันโดยมีการเพิ่มขึ้นในช่วง1-3 วันของการเก็บรักษา และลดลงในช่วงหลัง (Figure 1-II B) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ อาจเกิดจากการเก็บรักษามะละกอในสภาวะแช่เย็น ซึ่งการเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดภาวะ chilling stress เช่น ในกรณีการเก็บรักษามะเขือเทศแช่เย็น ซึ่ง Javanmardi and Kubota (2006) ได้ตั้งสมมติฐานการเพิ่มขึ้นของ antioxidant activity ในมะเขือเทศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5ºC ว่าอาจเกิดจาก chilling stress เหนี่ยวนำการเพิ่มอนุมูลอิสระและส่งผลให้เกิดการเมแทบอลิซึมของสารประกอบฟีนอลและเพิ่มระดับ antioxidant activity จาก Figure 1-II B พบว่าไอระเหยเอทานอลมีแนวโน้มชะลอการลดลงของสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

[2] จากการศึกษาพบว่าสามารมองเห็นการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บนผิวหน้าของมะละกอตัดสด ในทุกสิ่งทดลอง (ทั้ง Active MAP และ Control) ได้ภายหลังจากเก็บรักษา 5 วัน ดังนั้นการศึกษาอายุการเก็บรักษาจึงศึกษาเพียง 5 วัน

ทั้งนี้อาจเป็นผลจากไอระเหยเอทานอลไปเพิ่มความเครียดให้กับมะละกอ (ไอระเหยเอทานอลจัดเป็น environmental or abiotic stress) และความเครียดนั้นน่าจะส่งผลต่อการเมแทบอลิซึมของสารประกอบฟีนอลิคและการเปลี่ยนแปลงอนุมูลอิสระในทิศทางที่คล้ายคลึงกับ chilling stress ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ผลการวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราพบว่าระบบ Active MAP นั้นมีศักยภาพในการชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสิ่งทดลองควบคุม (Passive MAP) โดยเฉพาะในช่วง 1-3 วันแรก ของการเก็บรักษา ซึ่งศักยภาพนี้อาจเกิดจากคุณสมบัติการชะลอการเจริญเชื้อจุลินทรีย์ของไอระเหยเอทานอล แต่การเจริญของจุลินทรีย์บนผิวหน้าของมะละกอสุกหั่นชิ้นในทุกสิ่งทดลอง สามารถมองเห็นด้วตาเปล่าภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน ความสามารถในการชะลอการเจริญเชื้อจุลินทรีย์ของเอทานอลสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lurie et al (2006)

เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านอื่นๆ พบว่า ค่าสีแดง ความแน่นเนื้อ TSS และ TA ลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา แต่อิทธิพลของเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเหล่านั้นไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับการบรรจุระบบ Active MAP เมื่อพิจารณาคะแนนด้านกลิ่นพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนกลิ่น AP0.5 และ AP1.0 สูงกว่าระบบอื่นๆ ทั้งนี้ค่าคะแนนที่สูงกว่าอาจมาจากผู้บริโภครับรู้ถึงกลิ่นของสารประกอบเอสเทอร์ที่อาจเกิดจากการแปลงไอระเหยแอลกอฮอล์เป็นสารประกอบเอสเทอร์ ผ่านกระบวนการ biological conversions ของ volatile compounds โดยผักและผลไม้ ซึ่งช่วยให้กลิ่นของผักและผลไม้ดีขึ้น (Hamilton-Kemp et al., 1996) อย่างไรก็ตามผู้บริโภคให้คะแนนลดต่ำลงในระบบ AP1.5 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากมีการสะสมไอระเหยเอทานอลสูงกว่าระบบอื่นๆ โอกาสที่ผู้ประเมินสามารถรับรู้กลิ่นเอทานอลจึงเกิดได้สูง และผู้ประเมินอาจพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์นั้นใกล้หมดอายุการเก็บรักษา

สรุป

ไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถการต้านอนุมูลอิสระและวิตามินซี ผู้ประเมินส่วนใหญ่ให้การยอมรับคุณภาพโดยเฉพาะด้านกลิ่นของมะละกอสุกหั่นชิ้นในระบบ Active MAP แต่ความสามารถในการชะลอการเจริญเชื้อจุลินทรีย์ของเอทานอลยังจำกัด แม้ว่าได้เพิ่มปริมาณเอทานอลเหลวในซองควบคุมฯ จากผลการศึกษานี้อาจตั้งสมมติฐานเพื่อการศึกษาต่อไปว่าหากใช้ซองควบคุมฯ ร่วมกับการจัดการด้านจุลินทรีย์อื่นๆ เช่น hot water dipping อาจช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะละกอหั่นชิ้นได้นานขึ้น

คำขอบคุณ

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำหรับเงินทุนและอุปกรณ์การวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

รุ่งรัตน์ จันทคาศ ปราถนา พิมสุตตะ วิภา ผลจันทร์ และ วีรเวทย์ อุทโธ. 2554. การพัฒนาระบบควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในการบรรจุแบบบรรยากาศดัดแปรเชิงแอคทีฟ สำหรับมะละกอตัดสด. ว. วิทย. กษ. 42 (1 พิเศษ): 635-638.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical. Chemists. U.S.A. Association of Official Analytical Chemists. Inc. 910-930. 1045-1114.

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

Hamilton-Kemp, T.R., D.D. Archbold, J.H. Loughrin, R.W. Collins and M.E. Byers. 1996. Metabolism of natural volatile compounds by strawberry fruit. J. Agri. Food Chem. 44:2802-2805.

Haros, C.M., R.J. Aguerre and C. Suarez. 2005. Modeling sulfur dioxide uptake in dent corn during steeping. LWT. 38: 393-398.

Javanmardi, J. and C. Kubota. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. Postharvest Biol Tech 41:151-155.

Lurie, S., E. Pesis, O. Gadiyeva, O. Feygenberg, R. Ben-Arie, T. Kaplunov, Y. Zutahy and A. Lichter. 2006. Modified ethanol atmosphere to control decay of table grapes during storage. Postharvest Biol Tech 42:222-227.

Suzuki, Y., T. Uji and H. Terai. 2004. Inhibition of senescence in broccoli florets with ethanol vapor from alcohol powder. Postharvest Biol Tech 31:177-182.

Utto, W. 2008. Mathematical Modelling of Active Packaging Systems for Horticultural Products. Palmerston North, New Zealand: Massey University.

Utto, W., A.J. Mawson, J.E. Bronlund and K.K.Y. Wong. 2005. Active packaging technologies for horticultural produce. Food NZ 5:21-32.