Agricultural Sci. J. 46 : 3/1 (Suppl.) : 223-226 (2015) ว. วิทย. กษ. 46 : 3/1 (พิเศษ) : 223-226 (2558)

การพัฒนาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟสำหรับหอมแดงสดปอกเปลือก

Development of Ethanol Vapour Controlled Release Sachet Utilised in Active Packaging for Fresh Peeled Shallot

พัชรี มะลิลา[1] วีรเวทย์ อุทโธ[1]และ ฤทธิรงค์ พฤฑฒิกุล[2]

Patcharee Malila[1], Weerawate Utto[1] and Rittirong Pruthtikul[2]

Abstract

This research has developed ethanol vapour controlled release sachet (size 5×5 cm); the frontal side of the sachet was made from nylon/PE film and the back side was made from Al/PE. The sachet contained silica gel pre-saturated with ethanol liquid. This study consisted of two parts: weight changes of ethanol left on the silica gels, and accumulation of ethanol vapour in active packages kept at 25°C for 7 days. Ethanol weight slightly changed during 3 days in storage. However, the 1.08-1.09% changes were noticeable thereafter. The pattern of such ethanol weight change could be attributed to low permeability to nylon/PE of ethanol vapour, causing slow and continuous ethanol vapour release. Accumulations of ethanol vapour in package headspace of the active package, i.e. solid PP tray with PP film wrap containing shallot and the sachet, were analysed. Concentration of ethanol vapour released continuously increased after an introduction of the sachet into the package. However, the concentration apparently became stable after 3 days. Ethanol vapour accumulated in package headspace contributed to increases in ethanol levels in shallot and delays of changes in texture and colour (L* and h° values). However, ethanol vapour did not have clear effects on concentrations of O_2 and CO_2 in package headspace. Ethanol vapour showed significant effects on minimising microbial loads on fresh peeled shallots kept in the active package, in comparison to those kept in the passive modified atmosphere package (i.e. no sachet; designated as control). The study pointed out that ethanol vapour released from the sachet had practical application on minimising produce deterioration caused by microbes, under a simulated high storage temperature.

Keywords: active packaging, ethanol vapour controlled release sachet, fresh peeled shallot

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้พัฒนาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล (ขนาด 5×5 cm) ด้านหน้าของซองควบคุมฯ ทำจากฟิล์ม nylon/PE และด้านหลังทำจากฟิล์ม Al/PE ซองควบคุมฯ บรรจุซิลิกาเจล (น้ำหนักแห้งประมาณ 1 g) ที่อิ่มตัวด้วยเอทานอลเหลว ในการศึกษานี้ ได้ทำการศึกษา 2 ส่วน คือ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเอทานอลบนซิลิกาเจลภายหลังจากการปล่อยไอระเหยจากซองควบคุมฯ และการสะสมของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศของบรรจุภัณฑ์แอกทีฟ ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 7 วัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า น้ำหนักของเอทานอลลดลงเล็กน้อย แต่มีการลดลงของน้ำหนักในระดับร้อยละ 1.08-1.09 ภายหลังจากเก็บรักษา 3 วัน การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในปริมาณเพียงเล็กน้อยอาจเนื่องจากสมบัติการยอมให้ไอระเหยเอทานอลซึมผ่านฟิล์ม nylon/PE มีค่าต่ำ ซึ่งส่งผลให้การปล่อยไอระเหยเอทานอลออกจากซองควบคุมฯ อย่างช้าๆ และต่อเนื่อง การสะสมไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์แอกทีฟที่บรรจุซองควบคุมฯ และหอมแดงลงในถาดพลาสติกแข็ง PP ปิดปากถาดด้วยฟิล์ม PP พบว่า ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่สูงในช่วงแรกและมีแนวโน้มคงที่ภายหลัง 3 วัน ซึ่งไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์นั้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเอทานอลในหอมแดงบรรจุแอกทีฟและชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและสี (โดยเฉพาะค่า L* และ hº) ของหอมแดงแต่ไม่มีผลอย่างชัดเจนต่อความเข้มข้นก๊าซ O_2 และ CO_2 ในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ โดยระดับของจุลินทรีย์ในหอมแดงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟ มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าในสิ่งทดลองควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ มีศักยภาพในการชะลอการเสื่อมสภาพของหอมแดงสดปอกเปลือกที่เกิดจากจุลินทรีย์ได้ถึงแม้จะเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง

คำสำคัญ: การบรรจุแอกทีฟ, ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล, หอมหัวแดงสดปอกเปลือก

---

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

[2]ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

[1] Department of Food Technology, Faculty of Agriculture, UbonRathchathani University, Warinchamrab district, UbonRathchathani province 34190

[2] National Metal and Materials Technology (MTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Ministry of Science and Technology

คำนำ

หอมแดงเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ในปัจจุบันหอมแดงสดปอกเปลือกเป็นที่นิยมของผู้บริโภค เนื่องจากประหยัดเวลาในการปอกหอมเพื่อรับประทานสดหรือประกอบอาหาร โดยนิยมใช้การบรรจุแบบบรรยากาศดัดแปรในรูปของถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก เช่นเดียวกับการบรรจุผักและผลไม้พร้อมบริโภคทั่วไป แม้ว่าการบรรจุดังกล่าวสามารถทำได้ง่าย แต่อาจส่งผลให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาสูง ซึ่งมักเกิดจากความไม่ต่อเนื่องของการใช้อุณหภูมิต่ำในห่วงโซ่ความเย็นหลังการเก็บเกี่ยว สภาวะอุณหภูมิที่สูงนั้นสามารถเร่งการเสื่อมคุณภาพและการเจริญของจุลินทรีย์ (จริงแท้, 2542) จากข้อจำกัดข้างต้น จึงได้มีแนวคิดการใช้การบรรจุแบบบรรยากาศดัดแปร (modified atmosphere packaging, MAP) ร่วมกับระบบแอกทีฟ (active system) เพื่อชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ทั้งนี้ระบบแอกทีฟที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ คือ ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล (ethanol vapour controlled release sachet) ซึ่งเป็นไอระเหยที่มีฤทธิ์ต้านการเจริญของจุลินทรีย์ และจัดอยู่ในสารเคมีจำพวก GRAS (generally recognised as safe) ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Utama *et al*., 2002) การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล ที่มีส่วนประกอบของฟิล์มพลาสติกที่มีสมบัติกึ่งซึมผ่านได้ ต่อไอระเหยเอทานอลที่ปล่อยจากตัวพา (carrier) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูง และเพื่อทดสอบผลของการใช้ซองควบคุมฯ สำหรับการควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอมแดงสดปอกเปลือก

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การพัฒนาซองควบคุมการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเอทานอลในซองควบคุมฯ

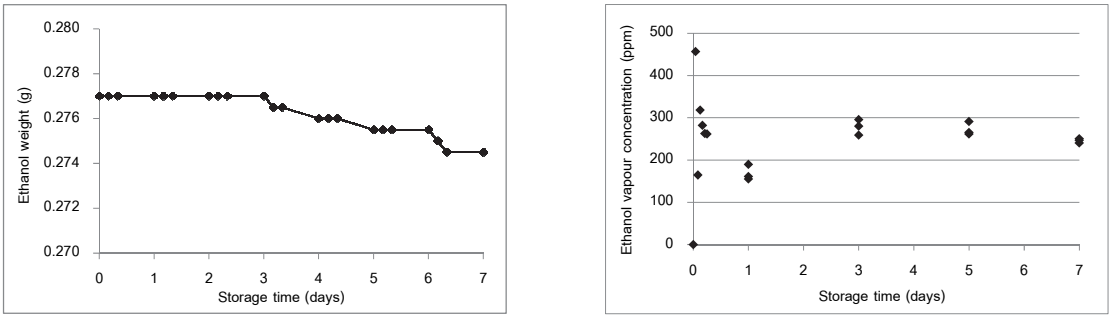
การวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเอทานอลภายหลังจากการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ ทั้งนี้เอทานอลได้ถูกดูดซับบนตัวพาซึ่งเป็นซิลิกาเจล (Silica gel 6-12 mesh grade 40, Davison Chemical, USA) โดยใส่ซิลิกาเจล 1 g (น้ำหนักแห้ง) ลงในขวดขนาดเล็ก (vial) 20 ml เทเอทานอลเหลว (99.9% v/v) ให้ท่วมแล้วปิดฝาขวด เก็บไว้ที่ 25°C เป็นเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ จากนั้นกรองเอาเอทานอลส่วนเกินที่ไม่ถูกดูดซับออกผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman® No.1) นำซิลิกาเจลใส่ลงในซองควบคุมฯ ซึ่งเตรียมจากแผ่นฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนต (Al/PE) ขนาด 5×5 cm ที่ได้ปิดผนึกกับแผ่นฟิล์ม nylon/PE ที่มีขนาดเท่ากันแบบ 3-side-seal ภายหลังจากการบรรจุซิลิกาเจลได้ทำการปิดผนึกด้านที่เปิดทำให้ซองควบคุมฯ มีการปิดผนึกแบบ 4-side-seal ทั้งนี้ฟิล์ม Al/PE มีสมบัติต้านทานการซึมผ่านของก๊าซและไอระเหยต่างๆ ได้สูงมาก (Robertson, 1993) จึงส่งผลให้การปลดปล่อยไอระเหยจากซองควบคุมฯ เกิดขึ้นผ่านฟิล์ม nylon/PE เท่านั้น จากนั้นเก็บรักษาซองควบคุมฯ ที่ 25°C และชั่งน้ำหนักทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน

2. การทดสอบผลของการใช้ซองควบคุมฯสำหรับการควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอมแดงสดปอกเปลือก

ระบบ active MAP ประกอบด้วยหอมแดงสดปอกเปลือก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-3 cm/กลีบ) จำนวน 100 g ในถาดพลาสติกแข็ง polypropylene (PP) (ขนาดกว้าง×ยาว×สูง-9.5×13×6 cm) พร้อมกับซองควบคุมฯ และปิดปากถาดด้วยฟิล์ม PP (หนา 30 μm; Oxygen transmission rate 240 $ml \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$) สภาวะการเก็บรักษา ระบบ active MAP เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 7 วันโดยบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีซองควบคุมฯเป็นสิ่งทดลองควบคุม (Ctrl) การทดสอบคุณภาพ การวัดปริมาณก๊าซ O_2 และ CO_2 ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ ความเข้มข้นเอทานอลในหอมแดงปอกเปลือก (ดัดแปลงจาก Bai *et al*., 2011) การตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดยีสต์และรา (วีรเวทย์ และคณะ, 2555) (n=3 ซ้ำ) สี (L*, C*, h°; HunterLab) และความแน่นเนื้อ (LLOYD model, LR series, USA) (n=10 ซ้ำ) ทั้งนี้การตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซและไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ทำการวัดในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 ส่วนระยะเวลาสำหรับการตรวจวัดอื่นๆ ได้ดำเนินการตาม Bai *et al*. (2011) โดยวัดและเปรียบเทียบค่าในวันที่ 0 และวันที่ 7 การวางแผนการทดลองแบบ completely randomised design (CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และความแตกต่างค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ใช้โปรแกรม SPSS version 16.0

ผล

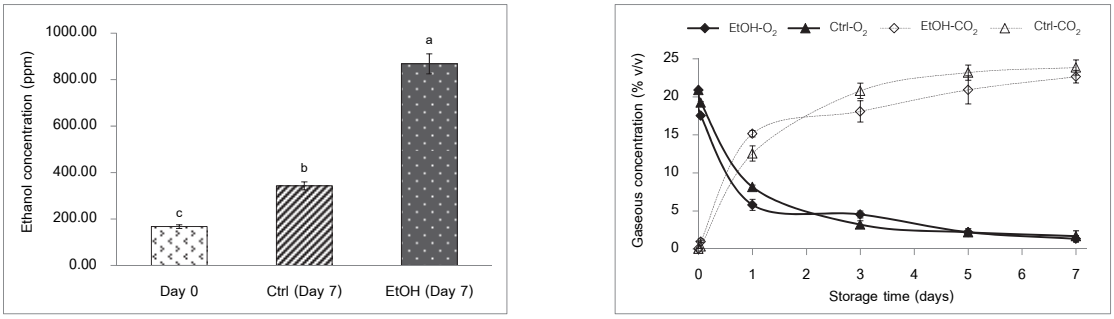
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเอทานอลบนซิลิกาเจล พบว่า น้ำหนักของเอทานอลมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ ภายหลังจากการปล่อยไอระเหยของเอทานอลออกจากซองควบคุมฯ ในช่วง 3 วันแรก จากนั้นมีการลดลงของน้ำหนักที่เห็นได้ชัดเจนและมีการลดลงจากน้ำหนักเอทานอลเริ่มต้นคิดเป็นร้อยละ 1.08-1.09 ในวันที่ 7 (Figure 1A) ภายหลังจากการใส่ซองควบคุมฯ ในบรรจุภัณฑ์ พบว่า ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้น (460 ppm) ในชั่วโมงที่ 1 จากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องใน 24 ชั่วโมงแรก และเข้าสู่ระดับความเข้มข้น ณ สภาวะคงที่ (240-290 ppm) ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน (Figure 1B) ความเข้มข้นเอทานอลในหอมแดงซึ่งบรรจุใน active MAP มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของหอมแดงในบรรจุภัณฑ์ควบคุมและหอมแดงที่วัดในวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Figure 2A)



(A) (B)

Figure 1 Weight change of ethanol absorbed on silica gel (A) and ethanol vapor concentration in the package headspace (B) at 25°C

เมื่อภายในบรรจุภัณฑ์เกิดสภาวะบรรยากาศดัดแปร ความเข้มข้นของก๊าซ O_2 มีค่าลดลงจนถึงระดับ 1.34-1.60% (v/v) ส่วนความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 มีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงระดับ 27% (v/v) ในวันที่ 7 ทั้งนี้ในช่วง 24 ชั่วโมงแรก การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองใน active MAP (EtOH-O_2 และ EtOH-CO_2) เกิดขึ้นได้ในอัตราที่เร็วกว่าในบรรจุภัณฑ์ควบคุม แต่ภายหลังจาก 3 วันการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างอย่างชัดเจน (Figure 2B) ค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสของหอมแดงใน active MAP มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่วัดในวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Table 1) ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างในค่าสี L* และ C* ระหว่างหอมแดงใน active MAP และค่าที่วัดในวันที่ 0 แต่ค่า h° ของหอมแดงในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองประเภทลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดในวันที่ 0 โดยค่า h° ของหอมแดงใน active MAP มีค่าสูงกว่าหอมในบรรจุภัณฑ์ควบคุม ($p<0.05$) (Table 1) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของหอมแดงใน active MAP มีค่าต่ำกว่าในสิ่งทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างเริ่มต้นเล็กน้อย (Table 1)



(A) (B)

Figure 2 Ethanol concentrations in shallot (A); changes in O_2 and CO_2 concentrations in package headspace (B) during storage at 25°C for 7 days. Data presented are means and standard deviation (n=3).

Table 1 Changes in maximum load (N), color, total plate count (log CFU/g), and yeast and mold (log CFU/g) of fresh peeled shallot after storage at 25°C for 7 days

Parameter	Day 0	Day 7	
		Control	EtOH-nylon/PE
Maximum load (N)	6.33±0.55[b,1]	6.19±0.59[b]	7.39±0.50[a]
L*	49.90±1.23[a]	45.61±2.81[b]	49.56±1.39[a]
C*	5.98±0.50[a]	5.16±0.85[b]	5.61±0.51[ab]
h°	356.82±2.93[a]	341.69±2.70[c]	349.39±2.34[b]
Total plate count	3.68±0.04[c]	4.46±0.01[a]	3.83±0.04[b]
Yeast and mold	3.15±0.22[b]	4.20±0.02[a]	3.24±0.17[b]

[1] Same letter in each row represents no statistical difference at 95% confidential interval.

วิจารณ์ผล

การปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ ส่งผลให้เกิดการลดลงของน้ำหนักเอทานอลที่ถูกดูดซับบนซิลิกาเจล โดยมีแรงขับจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในซองควบคุมฯ และในสภาวะแวดล้อม ทั้งนี้การ

เปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่เกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ นั้น (Figure 1A) เนื่องจากสมบัติการยอมให้ไอระเหยเอทานอลซึมผ่านฟิล์ม nylon/PE มีค่าที่ต่ำ (Robertson, 1993) มีค่าประมาณ 9.23×10^{-15} mol·m·m^{-2}·s^{-1}·Pa^{-1} ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์มีค่าสูงในชั่วโมงที่ 1 (Figure 1B) เกิดจากการซึมผ่านซองควบคุมฯ ในอัตราที่สูง ตามกฎการแพร่ของ Fick อันเป็นผลจากแรงขับของการซึมผ่านที่มีค่าสูงภายหลังจากการปิดผนึกถุง (ณ เวลาที่ 0 ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 0 แต่ในซองควบคุมฯ มีค่าเท่ากับความดันไอที่ 25°C) หลังจากนั้น เกิดการสะสมของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศ ซึ่งเป็นผลจากสมดุลระหว่างกระบวนการถ่ายโอนมวล 3 กระบวนการ (Utto, 2014) คือ (1) การปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ (2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเอทานอลกับหอมแดงปอกเปลือก (3) การซึมผ่านไอระเหยเอทานอลจากบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ไปยังสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้การสะสมไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศนั้น ทำให้แรงขับของการซึมผ่านมีค่าลดลง จึงทำให้การปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ เกิดในอัตราที่ช้า ส่งผลให้ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศลดลง และเข้าสู่สถานะคงตัว (Figure 1B)

การดูดซับไอระเหยเอทานอลโดยหอมแดง สอดคล้องกับรายงานวิจัยในพืชชนิดอื่น เช่น เชอรี่พร้อมบริโภค (Bai *et al*., 2011) ส่งผลให้เกิดการควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ดังแสดงใน Table 1 ทั้งนี้เอทานอลที่ถูกดูดซับอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนพีเอชของเซลล์ผิวให้อยู่ในช่วงที่เป็นกรด (Nguyen and Prunier, 1989) หรืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติหรือการเสียสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ (Davidson, 2001) ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ ไอระเหยเอทานอลส่งผลให้เนื้อสัมผัสและสี (โดยเฉพาะค่า L* และ h°) ของหอมแดงเปลี่ยนแปลงได้ช้าลง (Table 1) สอดคล้องกับผลวิจัยของ Wang *et al*. (2014) ที่ได้รายงานว่า เมื่อทำการรมแก่นตะวันด้วยไอระเหยเอทานอลสามารถชะลอการเปลี่ยนสีได้ 30 วัน

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซ O_2 และก๊าซ CO_2 ในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ active MAP ที่เกิดขึ้นในอัตราที่สูงในช่วง 24 ชั่วโมง เป็นไปตามที่ Rychter *et al*. (1979) ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า เอทานอลกระตุ้นให้มีการผลิตสารมัธยันตร์หรืออาจเข้าไปเป็นส่วนหนึ่ง (ซับสเตรต) ในกระบวนการหายใจ อย่างไรก็ตามภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวลดลง และไม่ต่างจากในบรรจุภัณฑ์ควบคุม อาจเนื่องมาจากสภาวะบรรยากาศดัดแปรในบรรจุภัณฑ์ได้ชะลออัตราการหายใจ ดังผลการศึกษาที่ได้รายงานในระบบการบรรจุแอกทีฟของมะละกอสุกพร้อมบริโภค (วีรเวทย์ และคณะ, 2555) แต่ความเข้มข้นที่สถานะคงตัวของก๊าซ O_2 ที่ต่ำและก๊าซ CO_2 ที่สูงมากในทุกบรรจุภัณฑ์ เป็นผลจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เร่งอัตราการหายใจและการเสื่อมสภาพของผลิตผล (จริงแท้, 2542)

สรุป

ซองควบคุมฯ สามารถปล่อยไอระเหยเอทานอลได้อย่างต่อเนื่อง และมีปริมาณเอทานอลในซองฯ เหลือเพียงพอในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ไอระเหยเอทานอลสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย (ทุน TGIST ประจำปี 2557) และคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือวิจัยต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2542. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 น.

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.

Davidson, P.M. 2001. Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. pp. 593-627. *In*: M.P. Doyle, L.R. Beuchat and T.J. Montville (eds.). Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers. 2nd ed. D.C: ASM Press. Washington. 593-627.

Nguyen, C. and J.P. Prunier. 1989. Involvement of pseudomonads in deterioration of 'ready-to-use' salad. International Journal of Food Science and Technology 24: 47-58.

Robertson, G.L. 1993. Food Packaging: Principles and Practice. Marcel Dekker. New York.

Rychter, A., H.W. Janes, C.K. Chin and C. Frenkel. 1979. Effect of ethanol, acetaldehyde, acetic acid, and ethylene on changes in respiration and respiratory metabolites in potato tubers. Plant Physiology 64: 108-111.

Utama, I.M.S., R.B.H. Wills, S. Ben-Yehoshua and C. Kuek. 2002. *In vitro* efficacy of plant volatiles for inhibiting the growth of fruit and vegetable decay microorganisms. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 6371-6377.

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.

Wang, Q., X. Nieand and M. Cantwell. 2014. Hot water and ethanol treatments can effectively inhibit the discoloration of fresh-cut sunchoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. Postharvest Biology and Technology 94: 49–57.