

ผลของไอระเหยเอทานอลที่ปลดปล่อยในการบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟ และการเจาะรูบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพการเก็บรักษาของพริกหวานสด

Effects of Ethanol Vapour Released in Active Modified Atmosphere Packages as well as Packaging Perforation on Storage Quality of Fresh Bell Pepper

นฤมล พิลาคุน^{1*}, วีรเวทย์ อุทโท^{1,4}, ฤทธิรงค์ พฤษพิณกุล² และ เฉลิมชัย วงษ์อารีย์^{3,4}
Naruemol Pilakhun^{1*}, Weerawate Utto^{1,4}, Rittirong Pruthtikul² and Chalermchai Wongs-Aree^{3,4}

บทคัดย่อ

การวิจัยศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลที่ปลดปล่อยในบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟ และการเจาะรูบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพการเก็บรักษาพริกหวานสด (*Capsicum annuum*) เก็บรักษาที่ 25°C เป็นเวลา 7 วัน ระบบแอคทีฟคือ ซองขนาดเล็ก (ซองแอคทีฟ) ที่ควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลทำจากฟิล์ม LDPE และ AL/PE มีกระดาษกรองเป็นตัวพาเอทานอลเหลว ซองแอคทีฟบรรจุลงในถุงฟิล์ม LDPE พร้อมกับพริกหวาน ถุงพลาสติกเจาะรูมีพื้นที่เจาะรูเท่ากับร้อยละ 0.6 มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูและจำนวนรู คือ 3 มิลลิเมตรและ 30 รู ตามลำดับ ถุงที่ไม่เจาะรูและไม่มีซองแอคทีฟเป็นสิ่งทดลองควบคุม ผลการศึกษพบว่าไอระเหยเอทานอลถูกปล่อยจากซองแอคทีฟและสะสมในบรรจุภัณฑ์และเนื้อเยื่อพริกหวาน ความเข้มข้นของเอทานอลสะสมในทั้งสองสถานะในถุงไม่เจาะรูมีค่าสูงกว่าในถุงเจาะรู พริกหวานในถุงเจาะรูมีการสูญเสีย น้ำหนักที่สูงกว่า แต่ความแน่นเนื้อและสีเขียวไม่มีความแตกต่างกันเมื่อพิจารณาถุงที่ใช้พบว่า ถุงเจาะรูลดการเกิดหยดน้ำในบรรจุภัณฑ์ได้ พริกหวานในสิ่งทดลองควบคุมมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และเน่าเสียสูงมากภายหลังเก็บรักษา 3 วัน ในขณะที่ถุงบรรจุของแอคทีฟชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่า แต่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในถุงที่เจาะรูมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ, พริกหวาน, พลาสติกเจาะรู, ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล

Abstract

The research was undertaken to study effects of ethanol vapor released in active modified atmosphere packages as well as packaging perforations on storage quality of fresh bell peppers (*Capsicum annuum*) kept at 25°C for 7 days. An active system utilized was a sachet (active sachet) that could control releases of ethanol vapor. The sachet was made of low density polyethylene (LDPE) and aluminum laminated polyethylene (AL/PE) film. It contained a filter paper as a liquid ethanol carrier. The sachet was packed into LDPE plastic bags together with pepper. perforated bag had 0.6% perforated area i.e. individual hole diameter and number of holes were 3 mm and 30 holes, respectively. Non-perforated bags contained the bell peppers without sachets were designated as control. Experimental results showed that ethanol vapor was released from the sachet and accumulated in packages as well as in pepper tissues. Concentrations in both phases were found higher in non-perforated bags compared to those in the perforated ones. Whilst higher weight loss was measured among the peppers kept in

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ถนนสถลมารค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

¹ Department of Food Technology, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Warinchamrab, Ubon Ratchathani

² ห้องปฏิบัติการพลาสติก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

² Laboratory Plastics, National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³ Department of Postharvest Technology, Faculty of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi

⁴ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม กทม. 10400

⁴ Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400, Thailand

* Corresponding author: naruemol.pilakhun@gmail.com

perforated bag, firmness as well as green color was not clearly different regarding bag types. Perforated bags could limit condensation in the bag. Higher microbial proliferation and rotten incidence were observed in the control after being kept for 3 days. Whilst both plastic bags containing the sachets could delay microbial proliferation compared to the control, microbial loads in the perforated bags were slightly higher.

Keywords: active packaging, bell pepper, perforated plastic film, ethanol vapor controlled release sachet

คำนำ

การจัดจำหน่ายพริกหวาน (bell pepper; *Capsicum annuum* L.) ในห้างสรรพสินค้าทั่วไปมีรูปแบบทั้งวางจำหน่ายเป็นลูก (loose) และบรรจุในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติก มีจำนวน 1-3 ลูกต่อถุง โดยวางจำหน่ายและเก็บรักษาไว้ในชั้นควบคุมอุณหภูมิ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจในเบื้องต้นที่ห้างสรรพสินค้าในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่าพริกหวานที่เก็บในถุงพลาสติกมีแนวโน้มเกิดการเสียหาย โดยเฉพาะการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่บริเวณซั้วและก้าน และพบว่า บริเวณซั้วนั้นมีการสะสมหยดน้ำซึ่งเป็นผลจากการเกิดหยดน้ำ (condensation) ภายในบรรจุภัณฑ์ แม้ว่าบางห้างสรรพสินค้าได้ใช้ถุงพลาสติกเจาะรู (perforated plastic bag) แต่การเกิดหยดน้ำยังคงเกิดได้ในระดับที่มาก และนำไปสู่การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ามีลักษณะเป็นเส้นใยสีดำบริเวณซั้วและก้าน ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของพริกหวานสั้น เช่น 2-3 วัน ทั้งนี้ราคาจำหน่ายพริกหวานต่อลูกประมาณ 15-20 บาท ซึ่งมีมูลค่าที่สูง ดังนั้นการเก็บรักษาและจัดจำหน่ายในระยะเวลาที่สั้นจึงอาจไม่เหมาะสมต่อมูลค่าทางเศรษฐกิจและคุณค่าทางอาหารของพริกหวาน จากข้อมูลที่ได้นำเสนอข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการบรรจุภัณฑ์ในปัจจุบันของพริกหวานอาจไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมเสียคุณภาพโดยเฉพาะการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แม้ว่าการบรรจุภัณฑ์ที่ใช้อยู่จัดเป็นบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปร หรือ passive modified atmosphere packaging (passive MAP) ซึ่งเป็นการบรรจุพริกหวานหรือผลิตภัณฑ์พลาสติกและส่งผลให้เกิดการดัดแปรของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ กล่าวคือ ความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ลดลง และความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแก๊สทั้งสองในบรรยากาศปกติ

เนื่องจากสมดุลของกระบวนการหายใจ (การใช้แก๊ส O_2 และการผลิตแก๊ส CO_2) และกระบวนการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของแก๊สทั้งสอง โดยฟิล์มพลาสติกมีสมบัติยอมให้แก๊สซึมผ่านได้บ้าง (semi-permeable) จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของแก๊สทั้งสองภายในบรรจุภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง (Kader *et al.*, 1989; Robertson, 2012) จากการศึกษาข้อมูลในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง พบว่า แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในผักและผลไม้สดในบรรจุภัณฑ์ passive MAP ประการหนึ่ง อาจทำได้โดยการเพิ่มระบบแอคทีฟ (active system) ซึ่งปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลเข้าสู่บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรจุภัณฑ์ทำปฏิกิริยากับเชื้อจุลินทรีย์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์เมมเบรนของเชื้อจุลินทรีย์และนำไปสู่การสูญเสียความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารในเซลล์ และสิ่งแฉล้ม ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ตายและชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Utto, 2014) ทั้งนี้ไอระเหยเอทานอลมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคจัดให้อยู่ในกลุ่มของ GRAS (generally recognised as safe) และระบบแอคทีฟที่ใช้มักอยู่ในรูปของซองขนาดเล็ก (sachet) ที่บรรจุร่วมกับผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ ตัวอย่างการวิจัยที่ได้ประยุกต์ใช้ของเอทานอลเพื่อชะลอการเสื่อมเสียของผักและผลไม้สด เช่น องุ่น (Lurie *et al.*, 2006) แอปเปิ้ลตัดแต่งพร้อมบริโภค (Bai *et al.*, 2004) หอมแดงสดปอกเปลือก (พัชรี, 2559) มะม่วงน้ำดอกไม้ (เจนจิรา และคณะ, 2561) และผลหม่อนสด (พลุข และคณะ, 2561) ทั้งนี้การบรรจุภัณฑ์ passive MAP ที่มีการเพิ่มระบบแอคทีฟมีชื่อเรียกโดยรวมว่า การบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟ (active modified atmosphere packaging; active MAP) (Charles *et al.*, 2003; Utto *et al.*, 2005)

ปัจจุบันยังไม่พบการศึกษาผลของ active MAP ประเภทของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลสำหรับการบรรจุภัณฑ์สำหรับพริกหวาน นอกจากนี้จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบได้ว่าการเจาะรูของถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุพริกหวานอาจยังไม่สามารถลดการเกิดหยดน้ำได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของไอระเหยเอทานอลซึ่งปลดปล่อยจากซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกเจาะรูต่อคุณภาพของพริกหวานสดในระหว่างการเก็บรักษา

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ พริกหวานสีเขียว (ค่าเฉลี่ยของค่า a^* -10.59 ซึ่งเป็นค่าสีในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ ที่แสดงสีเขียว) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5-10 cm ซื้อมาจากตลาดวารินเจริญศรี ซึ่งเป็นตลาดขายส่งผักและผลไม้สด และขนส่งมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จากนั้นทำการคัดแยกสิ่งปลอมปนและผลเน่าเสีย ภายหลังได้นำพริกหวานมาล้าง และนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ $100 \mu L L^{-1}$ เป็นเวลา 3 นาที ทิ้งไว้ให้แห้งบนกระดาษทิชชูที่สะอาด จากนั้นนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ $25^\circ C$ เพื่อรอ

การบรรจุและศึกษาต่อไป การวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาที่อุณหภูมิ 25°C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิของการจำหน่ายพริกหวานในห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี

การบรรจุภัณฑ์ ประกอบด้วย **1) บรรจุภัณฑ์ถุงฟิล์มพลาสติก** การวิจัยนี้ใช้ถุงพลาสติกฟิล์ม low density polyethylene (LDPE) ซึ่งมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 30 μm และสมบัติ transmission rates of 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 บรรจุภัณฑ์ถุงฟิล์มพลาสติกมีขนาด 12.70x15.24 cm (หรือ 5x6 นิ้ว) จากที่ได้กล่าวข้างต้นว่าได้ศึกษาถุงฟิล์มพลาสติกเจาะรู ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำฟิล์มพลาสติก LDPE มาทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm จำนวน 30 รู หรือมีพื้นที่ของรูที่เจาะเท่ากับร้อยละ 0.6 ทั้งนี้การเจาะรูดังกล่าวได้ประยุกต์จากงานวิจัยของ Meir *et al.* (1995) ที่ได้รายงานเกี่ยวกับการใช้ถุงพลาสติกเจาะรูบรรจุพริกหวาน (*Capsicum annuum* 'Maor') การเจาะรูใช้หัวตะปูเหล็กขนาดตามที่ได้รายงานข้างต้นและใช้ค้อนตีเพื่อเจาะผ่านฟิล์มพลาสติก **2) ระบบแอคทีฟ** การวิจัยนี้ได้ทดสอบของควบคุมการปล่อยไธระเหยเอทานอล (ในที่นี้เรียกว่า ซองแอคทีฟ) ในถุงบรรจุพริกหวาน โดยซองแอคทีฟได้ประยุกต์จากวีรเวทย์ และคณะ (2555) กล่าวคือ ซองแอคทีฟมีขนาด 8x8 cm โดยด้านหน้าของซองแอคทีฟทำจาก LDPE (ชนิดเดียวกันกับที่ใช้ทำถุงพลาสติก) และปิดผนึกกับแผ่นฟิล์มด้านหลังจากฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนต (Al/PE) ที่ปิดผนึกแบบ 3-side-seal ภายหลังจากเสร็จการเตรียมซองแอคทีฟ ผู้วิจัยได้เตรียมวัสดุเอิบซุมด้วยเอทานอล โดยเลือกใช้กระดาษกรอง (Whatman No. 1) เป็นวัสดุหรือตัวพาสำหรับเอทานอล (ethanol carrier) เนื่องจากดูดซับเอทานอลไว้ได้ดีและไธระเหยเอทานอลสามารถระเหยออกจากกระดาษกรองได้ง่าย การดูดซับเอทานอลทำได้โดยเตรียมกระดาษกรองขนาด 7x7 cm จากนั้นนำเอทานอลความเข้มข้น 99.9% (v/v) ปริมาตร 0.5 ml เทลงไปในกระดาษกรอง จากนั้นนำกระดาษกรองใส่ลงในซองแอคทีฟที่เตรียมไว้ และทำการปิดผนึกซองแอคทีฟในด้านที่เหลือด้วยการใช้ความร้อน (heat-sealing) **(2.3) การบรรจุ** นำพริกหวานจำนวน 1 ลูก บรรจุลงต่อ 1 ถุงพลาสติก (ทั้งถุงที่เจาะและไม่เจาะรู) จากนั้นนำซองแอคทีฟจำนวน 1 ซองบรรจุลงในถุงที่บรรจุพริกหวานทั้งเจาะ (มีตัวย้อยสิ่งทดลอง คือ perforated 0.6%) และไม่เจาะรู (มีตัวย้อยสิ่งทดลอง คือ non-perforated) จากนั้นปิดผนึกด้วยความร้อน ทั้งนี้ถุงที่ไม่เจาะรูและไม่มีซองแอคทีฟจัดเป็นการทดลองควบคุม (control) การเลือกใช้ถุงไม่เจาะรูเป็นสิ่งทดลองควบคุมเพื่อเปรียบเทียบลักษณะของการเกิดหยดน้ำในบรรจุภัณฑ์กับถุงที่เจาะรูที่ได้พัฒนาขึ้น บรรจุภัณฑ์ทุกประเภทเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 7 วัน สภาวะอุณหภูมิดังกล่าวจำลองอุณหภูมิที่พริกหวานวางจำหน่าย

การทดสอบคุณภาพการเก็บรักษา ประกอบด้วย **1) ความเข้มข้นไธระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์** วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatogram FID-GC (GC-2014; Shimadzu; Porapak Q 2.0 m length, 3.00 mm I.D.; helium carrier gas) โดยประยุกต์วิธีของ พัทรี และคณะ (2558) การเก็บตัวอย่าง (sampling) ไธระเหยเอทานอลจากบรรจุภัณฑ์ active MAP (ทั้งถุงเจาะและไม่เจาะรู) ทำได้โดยการใช้เข็มฉีดยา ประเภท gas tight (Hamilton, Nevada, USA) โดยดูดตัวอย่างแก๊สในถุงมาด้วยปริมาตร 1 ml จากนั้นนำตัวอย่างฉีดเข้าไปใน injection port ของเครื่อง FID-GC ความเข้มข้นไธระเหยเอทานอลรายงานผลในหน่วย $\mu\text{L L}^{-1}$ เมื่อทำการเก็บตัวอย่างแล้วเสร็จ ได้ทำการปิดรูบนผิวพลาสติกที่เกิดจากเข็มแทงที่โดยใช้อลูมิเนียมเทปขนาด 1 x 1 cm ทั้งนี้ช่วงเวลาการวิเคราะห์ คือ ในวันที่ 0 (วันที่บรรจุและปิดผนึก) ทำการวัดทุกชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการวิเคราะห์ในรอบ 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 1, 3, 5 และ 7 วัน **2) ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อพริกหวาน** ทำโดยนำตัวอย่างพริกหวานในแต่ละสิ่งทดลองน้ำหนัก 15 g มาทำการบดปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลายเกลืออิ่มตัว 7.5 g และน้ำ deionized 7.5 g จากนั้นนำตัวอย่างที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้วมา 3 g ใส่ในขวด vial ขนาด 20 ml และปิดผนึกด้วยจุกยาง (septum) และครอบด้วยกรอบอะลูมิเนียม นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างแก๊สจากบรรยากาศในขวดด้วยปริมาตร 1 ml ภายหลังจากนั้นจึงนำไปฉีดเข้าเครื่อง FID-GC เพื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเอทานอล รายงานในหน่วย mg kg^{-1} **3) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก** โดยทำการชั่งน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์บรรจุพริกหวานและ/หรือซองแอคทีฟ (gross weight) ณ วันที่ทำการศึกษา แล้วทำการเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นของบรรจุภัณฑ์ (initial gross weight) ทั้งนี้ผู้วิจัยได้มีข้อสันนิษฐานว่าซองแอคทีฟไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพริกหวาน เนื่องจากเมื่อพิจารณาข้อมูลในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง เช่น พัทรี และคณะ (2558) หรือ พฤกษ์ และคณะ (2561) พบว่า การเพิ่มซองควบคุมการปล่อยไธระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ในขณะที่ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก คือ การเจาะรู (perforation) บนถุงพลาสติก รายละเอียดของปัจจัยนี้ได้ทำการอภิปรายในส่วนต่อไป **4) ความแน่นเนื้อ** โดยใช้เครื่อง penetrometer แบบ Effegi รายงานในหน่วย N **5) สี** ทำการวัดด้วยเครื่อง Hunter lab ColorFlex (model 4510 Lab, USA) เป็นการวัดด้วยระบบ CIE L^* a^* และ b^* และ **6) การตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา** โดยประยุกต์จากวิธีที่รายงานใน พัทรี และคณะ (2558)

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์สถิติ การศึกษานี้วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ดำเนินการ 2 ซ้ำการทดลอง (replicates) ในแต่ละสิ่งทดลองมีจำนวน 5 บรรจุภัณฑ์ (ในแต่ละบรรจุภัณฑ์บรรจุพริกหวาน 1 ผล เป็นลักษณะของการจัดจำหน่ายที่ห้างสรรพสินค้า) ค่าที่วัดได้จะนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) และความแตกต่างค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS

ผล

ไธระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ทุกประเภทมีค่าเพิ่มขึ้นสูงภายใน 24 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา ภายหลังจากนั้นความเข้มข้นของไธระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์มีค่าที่ลดลง เมื่อพิจารณาในถุงที่ไม่เจาะรูพบว่า ความเข้มข้นได้ลดลงจากค่าสูงสุดในวันที่ 1 แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา จากนั้นค่าความเข้มข้นได้ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดอายุการเก็บรักษา (Figure 1A) ในขณะที่ในถุงที่เจาะรูพบว่ามีความเข้มข้นที่ลดลงมาภายหลังจากการเก็บรักษา 3 วัน ทั้งนี้ความเข้มข้นของไธระเหยเอทานอลในวันที่ 7 ของการเก็บรักษามีค่าลดลงต่ำกว่าค่าที่วัดในวันที่ 0 ประมาณ 1.2-1.5 เท่า ความเข้มข้นของไธระเหยเอทานอลในบรรยากาศในถุง active MAP ที่มีการเจาะรูมีค่าโดยเฉลี่ยต่ำกว่าในถุง active MAP ที่ไม่เจาะรูโดยเฉลี่ยประมาณ 1.7-2 เท่า (Figure 1A) ความเข้มข้นของไธระเหยเอทานอลในบรรยากาศของสิ่งทดลองควบคุมในระหว่างวันที่ 0-3 มีค่าที่ต่ำมาก (ประมาณ $0 \mu\text{L L}^{-1}$; ไม่แสดงข้อมูล) ในขณะที่วันที่ 5 และ 7 ไม่ได้ทำการวัดเนื่องจากพริกหวานภายในถุงเกิดการเน่าจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

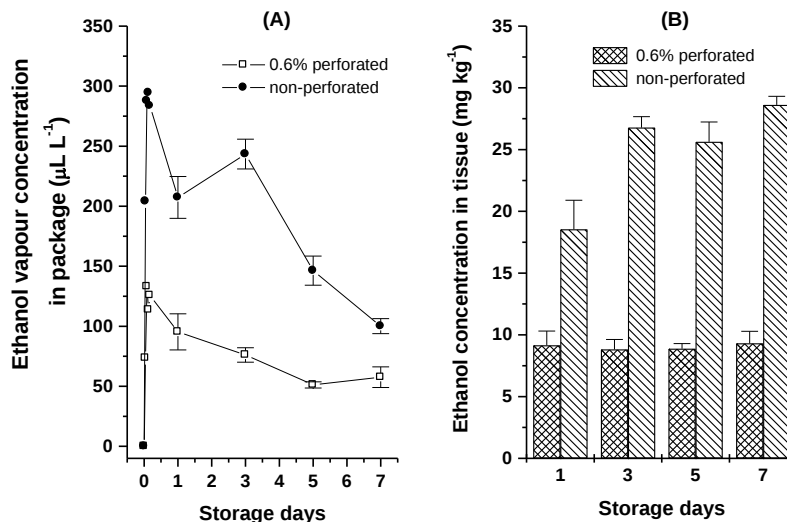


Figure 1 Ethanol vapour concentration levels accumulated in headspaces of either perforated or non-perforated package (denoted with perforated 0.6% and non-perforated, respectively) (A) and ethanol concentration levels accumulated in bell pepper tissues (B). Data shown represent average with standard error bars ($n = 4$).

ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อพริกหวานในวันที่ 0 มีค่า 0 mg kg^{-1} ทั้งนี้ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อพริกหวานในบรรจุภัณฑ์ active MAP แบบไม่เจาะรู มีค่าสูงกว่าในบรรจุภัณฑ์ active MAP แบบเจาะรู ประมาณ 2-2.5 เท่า ตลอดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อในทุกลักษณะการทดลองมีแนวโน้มที่คงที่ ภายหลังจากการเก็บรักษา 24 ชั่วโมง (Figure 1B) ในทำนองเดียวกันกับความเข้มข้นของไธระเหยเอทานอลในบรรยากาศพบว่า ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อของพริกหวานในสิ่งทดลองควบคุมระหว่างวันที่ 0-3 มีค่าที่ต่ำมาก (ประมาณ $0 \mu\text{L L}^{-1}$ ไม่แสดงข้อมูล) ส่วนค่าของวันที่ 5 และ 7 ไม่ได้ทำการวัดเนื่องจากพริกหวานในสิ่งทดลองนี้เกิดการเน่าเสียร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานในทุกบรรจุภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยพริกหวานในบรรจุภัณฑ์ active MAP ประเภทเจาะรูมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของสิ่งทดลองควบคุมและ active MAP ประเภทไม่เจาะรูมีค่าใกล้เคียงกัน ในภาพรวมร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานมีต่ำกว่าร้อยละ 5 (Table 1) เมื่อพิจารณาลักษณะการเกิดหยดน้ำภายในบรรจุภัณฑ์พบว่า ถุงไม่เจาะรูมีการเกิดหยดน้ำ ในขณะที่ไม่พบการเกิดหยดน้ำในบรรจุภัณฑ์ที่มีการเจาะรูตลอดการเก็บรักษา (ไม่แสดงข้อมูล) ความแน่นเนื้อของพริกหวานในทุกลักษณะการทดลองมีค่าลดลงจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษาและไม่มี ความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างสิ่งทดลอง ทั้งนี้ค่าความแน่นเนื้อของพริกหวานที่เก็บรักษาภายหลัง 24 ชั่วโมง มีแนวโน้มที่คงที่ตลอดการเก็บรักษา (Table 1) ค่าสีเขียวของผิวของพริกหวานซึ่งแสดงด้วยค่า a^* พบว่ามีค่าที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าสีของเปลือกพริกหวานที่ทำการรักษามีสีเขียวตลอดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจนด้านการเปลี่ยนแปลงสีเขียวหรือค่า a^* ในระหว่างสิ่งทดลอง (Table 1)

Table 1 Effects of ethanol vapour accumulated in headspaces of either perforated or non-perforated package (denoted with perforated 0.6% and non-perforated, respectively) on weight loss percentage (A) firmness (B) and green colour (a* values). Data shown represent average with standard error (n= 4 and 10 for weight loss as well as firmness and colour, respectively).

Quality parameters	Packaging	Storage time (days)			
		1	3	5	7
Weight loss percentage	Ctrl	2.13 ^c ±0.04	2.49 ^c ±0.95	2.76 ^c ±1.17	3.49 ^b ±1.61
	perforation	4.26 ^a ±0.22	4.40 ^a ±0.83	4.26 ^a ±0.04	4.73 ^a ±0.38
	Non-perforation	2.57 ^c ±0.56	2.57 ^c ±0.11	2.89 ^c ±0.37	3.36 ^b ±0.16
Firmness (N)	Ctrl	5.84 ^a ±0.16	5.53 ^a ±0.18	5.53 ^a ±0.07	5.49 ^a ±0.17
	perforation	5.83 ^a ±0.18	5.73 ^a ±0.10	5.70 ^a ±0.08	5.83 ^a ±0.14
	Non-perforation	5.43 ^a ±0.18	5.42 ^a ±0.18	5.39 ^a ±0.19	5.16 ^a ±0.16
a*	Ctrl	-10.35 ^a ±0.08	-8.68 ^b ±0.40	-8.94 ^b ±0.27	-10.80 ^a ±0.30
	perforation	-10.09 ^a ±0.18	-9.64 ^{ab} ±0.23	-10.53 ^a ±0.13	-9.91 ^{ab} ±0.42
	Non-perforation	-10.21 ^a ±0.20	-9.90 ^{ab} ±0.18	-10.45 ^a ±0.14	-9.79 ^{ab} ±0.24

For individual quality parameters, data followed by the same letter presented are not significantly different at the 5% level.

การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของพริกหวานในทุกลองมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของจุลินทรีย์ทั้งหมดในสิ่งทดลองควบคุมมีค่าสูงกว่าในสิ่งทดลองประเภท active MAP โดยเฉพาะเมื่อทำการเก็บรักษามากกว่า 3 วัน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของจุลินทรีย์ทั้งหมดของพริกหวานในถุง active MAP ประเภทไม่เจาะรูมีค่าต่ำกว่าในถุงที่เจาะรูแม้ว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Figure 2A) ในทำนองเดียวกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณยีสต์และราของพริกหวานในสิ่งทดลองควบคุมมีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างสิ่งทดลอง active MAP พบว่าปริมาณยีสต์และราของพริกหวานใน ถุง active MAP ประเภทไม่เจาะรูมีค่าต่ำกว่าในถุงที่เจาะรูแม้ว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Figure 2B) เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏของการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า พริกหวานในสิ่งทดลองควบคุมมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อย่างชัดเจนหลังจากการเก็บรักษา 3 วัน เกิดการเน่าและมีเนื้อสัมผัสที่เละ และมีการสะสมของหยดน้ำมากภายหลังจากเก็บรักษา 5 วัน ดังนั้นจึงไม่ได้แสดงค่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และราของสิ่งทดลองควบคุมในวันที่ 5 และ 7

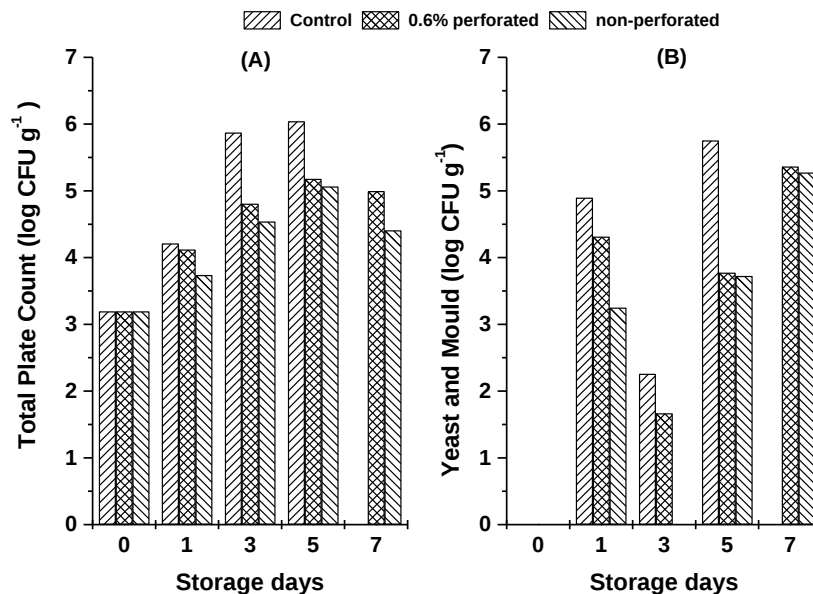


Figure 2 Effects of ethanol vapour accumulated in headspaces of either perforated or non-perforated package (denoted with perforated 0.6% and non-perforated, respectively) on microbial proliferation measured in terms of total plate counts as well as yeast and mould. Data shown represent average (n= 3).

วิจารณ์

การสะสมของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศของบรรจุภัณฑ์เป็นผลจากสมดุลของกระบวนการถ่ายโอนมวลที่สำคัญ 3 กระบวนการ ประกอบด้วย การปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากช่องแอคทีฟ การทำปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเอทานอลและผลิตภัณฑ์ (ณ ที่นี้คือ พริกหวาน) และการซึมผ่านของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศผ่านบรรจุภัณฑ์ไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอก (Utto, 2014) ในการศึกษานี้ได้ใช้ถุงพลาสติกเจาะรูเป็นบรรจุภัณฑ์ของ active MAP เปรียบเทียบกับถุงที่ไม่เจาะรู ดังนั้นระดับความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรยากาศของถุงที่เจาะรูจึงมีค่าต่ำกว่าในถุงที่ไม่เจาะรู (เมื่อตั้งข้อสันนิษฐานว่าอัตราเร็วของการปลดปล่อย และของกระบวนการทำปฏิกิริยา ไม่แตกต่างกัน) เนื่องจากฟิล์มพลาสติกที่เจาะรูมีอัตราเร็วของการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำได้ที่สูงกว่าฟิล์มพลาสติกที่ไม่เจาะรู โดยรูที่เจาะนั้นเป็นช่องทางสำคัญในการซึมผ่าน (Robertson, 2012) เมื่อพิจารณาลักษณะของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรจุภัณฑ์ พบว่า ในช่วง 4 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเข้าถึงจุดสูงสุด หรือ release peak เป็นผลจากความแตกต่างของความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลระหว่างช่องแอคทีฟและบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ กล่าวคือ ในช่วงแรกภายหลังจากการใส่ช่องแอคทีฟเข้าไป ในบรรจุภัณฑ์จะยังไม่มี ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอล ส่งผลให้มีความแตกต่างที่สูง ดังนั้นอัตราเร็วของการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากช่องแอคทีฟจึงเกิดได้สูงมาก แต่ภายหลังจากการเก็บรักษา 24 ชั่วโมง พบว่ามีค่าความเข้มข้นลดลง เป็นผลจากความแตกต่างของความเข้มข้นมีค่าลดลง เนื่องจากการสะสมของไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์และปริมาณเอทานอลในช่องแอคทีฟลดลง จึงทำให้อัตราการปลดปล่อยลดลงด้วย (Utto, 2014) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลภายในถุงที่ไม่เจาะรูในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา อาจเป็นผลจากการลดลงของความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างพริกหวานกับไอระเหยเอทานอล ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในบรรจุภัณฑ์และช่องแอคทีฟเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว จึงทำให้อัตราเร็วของการปลดปล่อยเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้มีไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้น แต่ภายหลังจากนั้นความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลจากการสะสมของไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์และการลดลงของเอทานอลบนผิวพาในช่องแอคทีฟดังที่ได้กล่าวข้างต้น

ผลของความเข้มข้นของเอทานอลในพริกหวานสนับสนุนระดับความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศโดยพริกหวานในถุง active MAP ที่ไม่เจาะรูมีค่าความเข้มข้นของเอทานอลสูงกว่าในถุงที่เจาะรู ทั้งนี้การสะสมเอทานอลในพริกหวานเป็นผลจากปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเอทานอลกับพริกหวานซึ่งนำไปสู่การดูดซับและแพร่ผ่านของเอทานอลในเนื้อเยื่อ ตลอดจนทำปฏิกิริยากับเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้ชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Utto, 2014) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเอทานอลและผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล (exponential

relationship) กับความเข้มข้นของโอโรเซเหเอทานอล (Utto, 2014; Utto *et al.*, 2018) ดังนั้นจึงคาดคะเนได้ว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาในถุงที่ไม่เจาะรูจึงเกิดได้ในระดับที่สูงกว่าถุงที่เจาะรู

การสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานและผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนส่วนใหญ่เกิดจากการสูญเสียไอน้ำ เนื่องจากความแตกต่างของความดันไอน้ำในผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม ความดันไอน้ำในผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าเนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 70 (จริงแท้, 2549) ความแตกต่างของความดันไอน้ำจึงเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการถ่ายโอนของไอน้ำจากผลิตภัณฑ์ไปยังฟิล์มพลาสติกที่ใช้ส่วนใหญ่ เช่น LDPE หรือกรณีของถุงฟิล์ม LDPE ที่ไม่เจาะรูในการศึกษานี้ มีความต้านทานต่อการซึมผ่านของไอน้ำที่สูง (Robertson, 2012) ส่งผลให้ไอน้ำที่ถ่ายโอนจากพริกหวานผ่านไปยังภายนอกถุงในอัตราที่ช้า และนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความดันไอน้ำในบรรจุภัณฑ์ การเพิ่มขึ้นดังกล่าวทำให้ความดันภายในบรรจุภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกับความดันภายในพริกหวาน จึงส่งผลให้เกิดการชะลอการถ่ายโอนไอน้ำจากพริกหวาน ดังที่กล่าวข้างต้นว่าฟิล์มพลาสติกเจาะรูสามารถยอมให้แก๊สและไอน้ำซึมผ่านได้ง่าย ดังนั้นไอน้ำที่ถ่ายโอนจากพริกหวานมายังบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์จึงสามารถซึมผ่านฟิล์มพลาสติกไปยังสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ถุงได้ง่าย ส่งผลให้ความดันของไอน้ำในถุงต่ำกว่าความดันไอน้ำในผลิตภัณฑ์และเกิดการสูญเสียไอน้ำอย่างต่อเนื่อง และมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของพริกหวานที่สูงกว่าถุงที่ไม่เจาะรู ทั้งนี้พบว่าภายในถุงที่ไม่เจาะรูไม่เกิดหยดน้ำ แต่ในขณะที่ถุงที่ไม่เจาะรูมีการเกิดหยดน้ำจำนวนมาก ความแตกต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดการเกิดหยดน้ำของฟิล์มพลาสติกที่เจาะรู การสูญเสียไอน้ำจากผลิตภัณฑ์เป็นสาเหตุสำคัญหนึ่งของการลดลงของความแน่นเนื้อ (งามทิพย์, 2549) เมื่อพิจารณาผลการศึกษา (Table 1) พบว่าการเพิ่มช่องแอคทีฟในบรรจุภัณฑ์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพริกหวานซึ่งสอดคล้องและสนับสนุนผลการศึกษาก่อนหน้านี้ของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น หอมแดง (พัชร และคณะ, 2558) มะม่วง (เจนจิรา และคณะ, 2561) และหม่อน (พฤกษ์ และคณะ, 2561) ในขณะที่ประเภทของฟิล์มพลาสติกที่เลือกใช้ (เจาะรู หรือไม่เจาะรู) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพริกหวานดังที่ได้กล่าวข้างต้น

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อไม่ต่างกันในทุกสิ่งทดลองอาจมีสาเหตุจากการบรรจุด้วยฟิล์มพลาสติก จึงช่วยชะลอการสูญเสียไอน้ำแม้ว่าฟิล์มเจาะรูจะยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ง่ายกว่าฟิล์มที่ไม่เจาะรู แต่พื้นที่ของการเจาะรูในการศึกษานี้คิดเป็นเพียงร้อยละ 0.6 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ต่ำและขนาดของรูมีขนาดเล็ก ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Meir *et al.* (1995) กล่าวคือ บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกเจาะรูช่วยลดการสูญเสียไอน้ำและความแน่นเนื้อของพริกหวาน โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับพริกหวานที่ไม่ได้เก็บในบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ Meir *et al.* (1995) รายงานว่าการเก็บพริกหวานในถุงที่เจาะรูให้ผลด้านการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ไม่แตกต่างกับการบรรจุพริกหวานในถุงพลาสติกที่ไม่เจาะรู ใน Table 1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษาที่ไม่แตกต่างกันในแต่ละสิ่งทดลอง อาจเป็นผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาไม่สูงจนเกิดการเร่งการเปลี่ยนสี ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงสี ดังเช่น การเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีอื่น ๆ เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ และอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับอุณหภูมิแบบเอกซ์โปเนนเชียล หรือเป็นความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียส (González-Aguilar *et al.*, 2004)

การที่บรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรมีศักยภาพในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในผักและผลไม้ เนื่องจากสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ (Kader *et al.*, 1989) ระบบแอคทีฟ หรือในการศึกษานี้ คือ ช่องแอคทีฟที่ปลดปล่อยโอโรเซเหเอทานอลซึ่งเพิ่มเข้าไปในถุงพลาสติก มีศักยภาพในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม ทั้งนี้ประสิทธิภาพของช่องแอคทีฟสัมพันธ์กับบรรจุภัณฑ์ที่เลือกใช้ การใช้ถุงเจาะรูทำให้มีความเข้มข้นของโอโรเซเหเอทานอลซึ่งสะสมในบรรยากาศต่ำกว่าในถุงที่ไม่เจาะรู จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ความสามารถในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ต่ำกว่า ทั้งนี้ความสามารถในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของโอโรเซเหเอทานอลสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโอโรเซเหเอทานอล (Utto, 2014) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีการพัฒนาของแอคทีฟให้สอดคล้องกับถุงเจาะรู โดยอาจเพิ่มขนาดของตัวพาเพื่อรับเอทานอลเพิ่มขึ้น หรืออาจเปลี่ยนวัสดุด้านหน้าของช่องแอคทีฟจาก LDPE เป็นพลาสติกอื่นที่ยอมให้โอโรเซเหเอทานอลซึมผ่านได้เร็วกว่า เพื่อให้โอโรเซเหเอทานอลสามารถปลดปล่อยจากช่องแอคทีฟได้เร็วมากขึ้นและทำปฏิกิริยากับเชื้อจุลินทรีย์ในพริกหวานได้ในอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น

สรุป

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ช่องแอคทีฟที่พัฒนาขึ้นสามารถปลดปล่อยโอโรเซเหเอทานอลเข้าสู่บรรยากาศของบรรจุภัณฑ์ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา และสามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่การใช้ถุงพลาสติกที่เจาะรูส่งผลให้ความเข้มข้นของโอโรเซเหเอทานอลต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นในถุงไม่เจาะรู ทั้งนี้ถุงพลาสติกเจาะรูสามารถลดการสะสมของหยดน้ำในบรรจุภัณฑ์ได้ การวิจัยในลักษณะนี้จะได้รับการพัฒนา โดยปรับปรุงช่องแอคทีฟให้มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับการใช้ถุงเจาะรูเพื่อบรรจุพริกหวาน โดยเฉพาะด้านการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำหรับทุนสนับสนุนการศึกษาระดับปริญญาโทของโครงการ TGIST ประจำปีการศึกษา 2561-2563 และ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับเงินสนับสนุนการวิจัย และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร

เอกสารอ้างอิง

- งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2549. การบรรจุอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- จรัสแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เจนจิรา พากวาลย์, ปฐมพงศ์ เพ็ญไชยา, พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย, วีรเวทย์ อุทโธ, สมโภชน์ น้อยจินดา และ เฉลิมชัย วงษ์อารีย์. 2561. การใช้ไอระเหยเอทานอลในการควบคุมโรคเชื้อผลเน่าและโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์สี่สุก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 49 (4) (พิเศษ): 11-14.
- พฤกษ์ ชูสังข์, พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย, วีรเวทย์ อุทโธ และ เฉลิมชัย วงษ์อารีย์. 2561. การพัฒนาของปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลหม่อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 49 (4) (พิเศษ): 203-206.
- พัชรี มะลิลา, วีรเวทย์ อุทโธ และ ฤทธิรงค์ พงษ์พิบูล. 2558. การพัฒนาของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอทพีสำหรับหอมแดงสดปกเปลือก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46 (3/1) (พิเศษ): 223-226.
- พัชรี มะลิลา. 2559. การศึกษาสมบัติการยอมให้ไอระเหยเอทานอลซึมผ่านของฟิล์มพลาสติกที่แปรตามอุณหภูมิและความเข้มข้นเพื่อการพัฒนาของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในการบรรจุแอทพีสำหรับอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- วีรเวทย์ อุทโธ, เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด และ เรวัต ชัยราช. 2555. การพัฒนาของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลสำหรับมะละกอสุกดีดสด. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30: 39-49.
- Bai, J., E. A. Baldwin, R. C. S. Fortuny, J. P. Mattheis, R. Stanley, C. Perera and J. K. Brecht. 2004. Effect of pretreatment of intact 'Gala' apple with ethanol vapor, heat, or 1-Methylcyclopropene on quality and shelf life of fresh-cut slices. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129 (4): 583-593.
- Charles, F., J. Sanchez and N. Gontard. 2003. Active modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables: modeling with tomatoes and oxygen absorber. *Journal of Food Science* 68 (5) : 1736-1742.
- González-Aguilar, G. A., J. F. Ayala-Zavala, S. Ruiz-Cruz, E. Acedo-Félix and M. E. Díaz-Cinco. 2004. Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *LWT - Food Science and Technology* 37 (8): 817-826.
- 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.
- Lurie, S., E. Pesis, O. Gadiyeva, O. Feygenberg, R. Ben-Arie, T. Kaplunov, Y. Zutah and A. Lichter. 2006. Modified ethanol atmosphere to control decay of table grapes during storage. *Postharvest Biology and Technology* 42 (3): 222-227.
- Meir, S., I. Rosenberger, Z. Aharon, S. Grinberg and E. Fallik. 1995. Improvement of the postharvest keeping quality and colour development of bell pepper (cv. 'Maor') by packaging with polyethylene bags at a reduced temperature. *Postharvest Biology and Technology* 5 (4): 303-309.
- Robertson, G. L. 2012. Structure and related properties of plastic polymers. 3rd ed. pp. 11-48. *In Food Packaging: Principles and Practice*. Taylor & Francis Group, New York.
- 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 (1) : 75-85.
- Utto, W., A. J. Mawson, J. E. Bronlund and K. K. Y. Wong. 2005. Active packaging technologies for horticultural produce. *Food New Zealand* 5 (2): 21-32.
- Utto, W., R. Preutikul, P. Malila, A. Noomhorm and J. E. Bronlund. 2018. Delaying microbial proliferation in freshly peeled shallots by active packaging incorporating ethanol vapour-controlled release sachets and low storage temperature. *Food Science and Technology International* 24 (2): 132-144.