วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 25 ฉบับที่ 3 ก.ย.–ธ.ค. 2558
The Journal of KMUTNB., Vol. 25, No. 3, Sep.–Dec. 2015

การยืดอายุข้าวโพดฝักอ่อนด้วยฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน

จิรัฐิติกาล บุณธนากร
นักศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วรรณี ฉินศิริกุล และ นพดล เกิดดอนแฝก
นักวิจัย หน่วยวิจัยโพลิเมอร์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ชาริณี วิโนทพรรษ์
ผู้ช่วยนักวิจัย หน่วยวิจัยโพลิเมอร์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ปกขวัญ หุตางกูร และ เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์*
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 4709 อีเมล: btr@kmutnb.ac.th
รับเมื่อ 17 มีนาคม 2558 ตอบรับเมื่อ 15 มิถุนายน 2558 เผยแพร่ออนไลน์ 31 สิงหาคม 2558
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.06.004 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพข้าวโพดฝักอ่อนในภาชนะบรรจุชนิดพอลิโพรพิลีน (PP) ปิดด้วยฟิล์มต่างชนิดที่มีสภาพให้ก๊าซซึมผ่านต่างกัน โดยเปรียบเทียบคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำหนักบรรจุ 80 กรัม ปิดผนึกด้วยฟิล์มต่างกัน 4 ชนิดคือ ฟิล์ม BOPP ที่เจาะรูขนาดไมครอน คือ MP-9 (OTR 98,000 ml/m^2.day) และ MP-10 (OTR 110,000 ml/m^2.day) ฟิล์ม BOPP ที่ไม่ทำการเจาะรู (OTR 3,500 ml/m^2.day) ฟิล์มยืดชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ (OTR 17,000 ml/m^2.day) และแบบไม่ปิดด้วยฟิล์มเป็นชุดควบคุม เปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรจุ 200 กรัม ปิดผนึกด้วยฟิล์ม MP-11 (OTR 105,000 ml/m^2.day) และ MP-12 (OTR 130,000 ml/m^2.day) โดยจำลองสภาวะการเก็บรักษาสำหรับการส่งออกทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 12 วัน และเปลี่ยนอุณหภูมิขณะวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 8°C เป็นเวลา 10 วัน รวมระยะเวลา 22 วัน ผลการทดลองพบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนขนาดบรรจุ 80 กรัม และ 200 กรัม ปิดผนึกด้วยฟิล์ม BOPP ที่ไม่เจาะรูขนาดไมครอน มีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุดเพียง 9 วัน เนื่องจากภายในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง (มากกว่า 60%) เกิดปฏิกิริยาการหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจนและข้าวโพดฝักอ่อนมีกลิ่นหมัก ข้าวโพดฝักอ่อนขนาดบรรจุ 80 กรัม ปิดด้วยฟิล์ม MP-9 สามารถเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนได้นาน 22 วัน มีคุณภาพด้านกายภาพและทางประสาทสัมผัสดีที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์ม MP-10, PVC และ BOPP ตามลำดับ โดยพบว่า ภายในภาชนะบรรจุมีปริมาณเอทานอลต่ำที่สุด ข้าวโพดฝักอ่อนมีการเปลี่ยนแปลงสี ความแข็ง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และการสูญเสียน้ำหนักน้อย ในขณะที่ข้าวโพดฝักอ่อนขนาดบรรจุ 200 กรัมปิดด้วยฟิล์ม MP-12 สามารถเก็บรักษาได้นาน 20 วัน โดยมีคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสดีที่สุด ผลการศึกษาสรุปว่าการจำลองสภาวะการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อส่งออกไปประเทศญี่ปุ่นควรบรรจุข้าวโพดฝักอ่อนน้ำหนัก 80 กรัมปิดผนึกด้วยฟิล์ม MP-9 ทำให้มีอายุการเก็บรักษานาน 22 วัน โดยคุณสมบัติของฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านของก๊าซที่เหมาะสมและน้ำหนักบรรจุมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อน

คำสำคัญ: อายุการเก็บรักษา ข้าวโพดฝักอ่อน การแพร่ผ่านของฟิล์ม สภาวะบรรยากาศดัดแปลง

การอ้างอิงบทความ: จิรัฐิติกาล บุณธนากร, วรรณี ฉินศิริกุล, นพดล เกิดดอนแฝก, ชาริณี วิโนทพรรษ์, ปกขวัญ หุตางกูร และ เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, "การยืดอายุข้าวโพดฝักอ่อนด้วยฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 3, หน้า 439–448, ก.ย.–ธ.ค. 2558. http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2015.06.004

Shelf Life Extension of Baby Corn (*Zea mays* L.) Using Micro-Perforated Films

Jirutthitikan Boonthanakorn
Student, Department of Agro-Industrial, Food and Environmental Technology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

Wannee Chinsirikul and Noppadon Kerddonfag
Researcher, Polymers Research Unit, National Metal and Materials Technology Center (MTEC), Bangkok, Thailand

Charinee Winotapun
Research Assistant, Polymers Research Unit, National Metal and Materials Technology Center (MTEC), Bangkok, Thailand

Pokkwan Hutangura and Benjawan Thumthanaruk*
Assistant Professor, Department of Agro-Industrial, Food and Environmental Technology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-2555-2000 Ext. 4709, E-mail: btr@kmutnb.ac.th
Received 17 March 2015; Accepted 15 June 2015; Published online: 31 August 2015
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.06.004 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research aimed to study the shelf life extension of baby corn using different packaging films. The baby corn was packed in the tray sealed with microperforated films (MP film). The microperforated films with various oxygen transmission rate (OTR) were fabricated and used in this study. The comparisons were conducted among categories of baby corn weighing 80 grams packed in the tray and sealed with neat biaxially oriented polypropylene film without microhole (neat BOPP, OTR 3,500 ml/m^2.day) and two different BOPP films with microhole MP-9 film (OTR 98,000 ml/m^2.day) and MP-10 (OTR 110,000 ml/m^2.day). In addition, the comparison was made by varying the packing size of 200 grams and sealed with neat BOPP (OTR 3,500 ml/m^2.day) and two different BOPP films with microhole MP-11 film (OTR 105,000 ml/m^2.day) and MP-12 film (OTR 130,000 ml/m^2.day). The effects of commercial packaging film, polystyrene foam packaging type (commonly used) sealed with PVC shrink film (OTR 17,000 ml/m^2.day) were also investigated. Quality and weight loss of baby corn were monitored and analyzed at the simulated storage conditions for ship exporting (from Thailand to Japan) at 4°C for 12 days (on sea freight) followed by conditioning in the supermarket (Japan) at 8°C for 10 days. The total incubation time was 22 days. The experimental results indicated that the package of baby corn sealed with neat BOPP (without microhole) could preserve the product only for 9 days. This is the shortest time period due to high concentration of carbon dioxide (over 60%). This phenomenon induced anaerobic respiration and created the fermentation odor in baby corn. The baby corn with the packing size of 80 grams retained good quality under MP-9 film for 22 days. The MP-9 film could create the modified atmosphere inside the packaging. The lowest ethanol generated by baby corn, low dehydration, less changing in color and texture and less total soluble solids could be achieved by using MP-9. The browning index and sensory qualities remained acceptable. The increased packing size of 200 grams can extend the shelf life of baby corn to 20 days. Thus, the appropriate method for exporting the baby corn to Japan is the 80-gram packing size sealed with MP-9 where the shelf life of baby corn can be extended up to 22 days. The factors of microperforated films with proper oxygen transfer rate and packing size have a direct impact on product quality.

Keywords: Shelf-life, Baby Corn, Film Permeability, Modified Atmosphere Package

Please cite this article as: J. Boonthanakorn, W. Chinsirikul, N. Kerddonfag, C. Winotapun, P. Hutangura, and B. Thumthanaruk, "Shelf Life Extension of Baby Corn (*Zea mays* L.) Using Micro-Perforated Films," *J. KMUTNB*, Vol. 25, No. 3, pp. 439–448, Sep.–Dec. 2015 (in Thai). http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2015.06.004

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนมากเป็นอันดับที่ 1 ของโลก แต่พบว่าปัจจุบันมีปริมาณการส่งออกลดลงเนื่องจากการจัดการผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตผลสด เป็นปัญหาหลักในการส่งออกผักและผลไม้สดในปัจจุบัน [1]

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีสภาวะบรรยากาศภายในดัดแปลงให้เป็นสภาวะสมดุล มีคุณสมบัติยอมให้ก๊าซที่ใช้ในกระบวนการหายใจผ่านเข้าออกได้ดี สอดคล้องกับอัตราการใช้และสร้างก๊าซในกระบวนการหายใจของผักและผลไม้สดที่บรรจุทำให้เกิดบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลขึ้นในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซออกซิเจน 2–10% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10–20% ส่งผลให้เกิดการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้สดนานขึ้น 2–5 เท่า และผลิตผลมีคุณภาพและรสชาติที่ดี โดยสามารถพัฒนาให้ฟิล์มมีความใส เกิดฝ้าน้อย เหมาะสำหรับใช้งานจริงในอุตสาหกรรม [2]

ข้าวโพดฝักอ่อน (Baby Corn หรือ Young Corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* L. อยู่ในวงศ์ Gramineae [3] ข้าวโพดฝักอ่อนเป็นข้าวโพดที่เก็บมาบริโภคเมื่อฝักยังอ่อน เป็นพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 45 วัน มีเส้นไหมหรือก้านเกสรเพศเมียโผล่พ้นจากฝักราว 2–3 เซนติเมตร ยอดซึ่งมีตายอดที่จะเจริญเป็นช่อดอกเพศผู้มีช่วงเก็บเกี่ยว 7–10 วัน รวมเวลาปลูกไม่เกิน 60 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่ใช้ [4] พันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนที่เกษตรกรใช้คือ พันธุ์ผสมเปิด ปัจจุบันมีเพียง 2 พันธุ์หลัก ได้แก่ พันธุ์สุวรรณ 2 พันธุ์เชียงใหม่ 90 และพันธุ์ลูกผสม ข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสมส่วนใหญ่จะเป็นพันธุ์ของบริษัทเอกชนและบางพันธุ์เป็นของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [1] ข้าวโพดฝักอ่อนคุณภาพดีมีลักษณะดังนี้คือ มีความสด ไม่มีกลิ่น และหรือรสชาติที่แปลกปลอม ไม่เน่าเสีย หรือเสียหายทำให้ไม่เหมาะสมกับการบริโภค [3] ข้าวโพดฝักอ่อนพบว่ามีปัญหาในระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การเก็บรักษาและการวางจำหน่ายส่งผลต่อคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อน คือเกิดการสูญเสียน้ำมาก ทำให้ฝักเหี่ยวเกิดสีน้ำตาล น้ำหนักลดลง ความหวานลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา และเกิดอาการฝักเน่าและบวม [1] จึงทำให้การส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนในปัจจุบันมีปริมาณลดลง

ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตผล ขึ้นกับปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย คือปัจจัยภายใน ได้แก่ การหายใจของผลิตผล ส่วนของพืชที่ทำการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ องค์ประกอบของก๊าซในภาชนะบรรจุ และสภาพการให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม การเกิดบาดแผลและรอยช้ำ เป็นต้น [5] ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษาได้แก่ อุณหภูมิ เมื่อทำการลดอุณหภูมิให้กับผลิตผล กระบวนการต่าง ๆ ทางสรีรวิทยาจะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลง ทำให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนปัจจัยอื่นๆ ก็มีผลชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ปริมาณ O_2 ในอากาศมีผลต่อการหายใจ การสร้างเอทิลีน โดยปกติอากาศมี O_2 ประมาณ 21% และ CO_2 0.03% หากสภาพแวดล้อมของผลิตผลที่มีปริมาณ O_2 ลดลง และ CO_2 เพิ่มสูงขึ้น ทำให้พืชเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นได้ [6] ดังนั้นสภาพให้ซึมผ่านของก๊าซของบรรจุภัณฑ์ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญเพราะเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบก๊าซภายในภาชนะบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง โดยสมบัตินี้ขึ้นอยู่กับการแพร่และสภาพสารละลาย สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ (Permeability Coefficient, P) เป็นตัวแปรเสริมที่เกิดจากสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) และสัมประสิทธิ์สภาพละลายได้ (Solubility Coefficient) ตัวแพร่ผ่าน เกิดการเคลื่อนที่ 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นแรกคือการควบแน่นและการผสม (การละลาย) ของตัวแพร่ผ่านลงในพื้นผิวฟิล์ม ต่อมาเป็นการแพร่ผ่านไปยังพื้นผิวฝั่งตรงข้ามของฟิล์ม อาศัยความแตกต่างของความเข้มข้นและขั้นสุดท้ายคือการระเหยจากพื้นผิวไปสู่บรรยากาศโดยรอบ สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ (P) สามารถหาได้จากผลคูณของสัมประสิทธิ์สภาพละลาย (S) และสัมประสิทธิ์การแพร่ (D) โดยสัมประสิทธิ์สภาพให้

ซึมผ่านได้ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (PCO_2) เมื่อนำมาหารด้วยสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจน (PO_2) จะได้เป็น Permselectivity (β) [7] ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการให้แพร่ผ่านได้ของฟิล์ม โดยฟิล์มทางการค้าทั่วไป มีค่า β สูง (>1) ซึ่งบ่งบอกถึงอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณสูงกว่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มยืดอายุผลิตผลผักผลไม้สด โดยฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเป็นเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ร่วมกับการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่สามารถดัดแปลงสภาวะบรรยากาศแบบสมดุลภายในภาชนะบรรจุของผลิตผล เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงชีวภาพของผลิตผลสด และป้องกันการเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้ผลิตผลยังคงความสดและมีคุณภาพทางโภชนาการ การศึกษาการเก็บรักษาผลลำไยสดบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลในถุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดพิเศษ (OTR 5,800–7,200 ml/m^2.day) พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยสดเพื่อการส่งออกได้นานถึง 41 วัน [8] โดยสภาวะบรรยากาศดัดแปลงอาศัยคุณสมบัติของฟิล์มที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านได้สูงกว่าฟิล์มปกติทั่วไป มีสมบัติการผ่านของก๊าซออกซิเจนสูง อยู่ในช่วง 12,000–25,000 ml/m^2.day โดยอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่อก๊าซออกซิเจน (O_2) (Permeability ratio, PCO_2/PO_2) นั้น สามารถทำได้โดยการออกแบบจำนวนและขนาดของรูเจาะบนฟิล์ม เพื่อให้เหมาะสมกับ อัตราการหายใจ สภาวะบรรยากาศควบคุมของผลิตผลแต่ละชนิด [7] ในงานวิจัยนี้จึงนำเทคโนโลยีการเจาะรูขนาดไมครอนมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขข้อจำกัดในด้านการซึมผ่านของก๊าซของฟิล์มพอลิโพรพิลีนชนิด BOPP (Biaxillaly Polypropylene Film) ที่มีคุณสมบัติการแพร่ผ่านของก๊าซต่ำ ให้มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้สูง ส่งผลให้ภายในภาชนะบรรจุสามารถสร้างสภาวะบรรยากาศดัดแปลง [9] มีผลทำให้ช่วยชะลอการหายใจ การคายน้ำ ลดการเสื่อมสภาพและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนสดบรรจุในถาดพอลิโพรพิลีนที่มีสภาพซึมผ่านของก๊าซแตกต่างกันและมีน้ำหนักบรรจุที่ต่างกัน โดยจำลองสภาวะการศึกษา เช่นเดียวกับสภาวะการเก็บรักษาที่ใช้สำหรับการส่งออก

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ข้าวโพดฝักอ่อนอินทรีย์ พันธุ์ SG 17 Super เกรด A (ความยาวฝัก 8–12 เซนติเมตร) จากบริษัท สวิฟท์ โฟรเซ่น จำกัด ที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งและทำความสะอาดด้วยสารละลายคลอรีน 150 ppm เป็นเวลานาน 3–5 นาที ผ่านการปอกเปลือก ลอกไหม และหักก้านฝักออกจนเหลือแต่ฝัก มีรังไข่สมบูรณ์ไม่ฝ่อ ไม่มีบาดแผล ฝักตรงไม่คด ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ นำมาบรรจุ 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดบรรจุ 80 กรัม ทำการบรรจุข้าวโพดฝักอ่อนลงในถาดพอลิโพรพิลีน ปิดด้วยฟิล์ม BOPP ที่ไม่ทำการเจาะรู และฟิล์มชนิด BOPP ที่ทำการเจาะรูขนาดไมครอน ชนิด MP-9 และ MP-10 ขณะที่ขนาดบรรจุ 200 กรัม ปิดด้วยฟิล์ม BOPP ที่ไม่ทำการเจาะรู และฟิล์มชนิด BOPP ที่ทำการเจาะรูขนาดไมครอน ชนิด MP-11 และ MP-12 เปรียบเทียบกับข้าวโพดฝักอ่อนที่ทำการบรรจุในถาดพอลิสไตรีนทำการปิดด้วยฟิล์มยืดชนิด PVC และข้าวโพดฝักอ่อนที่ไม่ทำการปิดฟิล์มให้เป็นชุดควบคุม วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยแปรปัจจัย 2 ปัจจัยคือ

1. ปัจจัยด้านฟิล์ม โดยทำการศึกษาฟิล์มทั้งหมด 6 ชนิด คือ MP-9, MP-10 สำหรับขนาดบรรจุ 80 กรัม และ MP-11, MP-12 สำหรับขนาดบรรจุ 200 กรัม ที่พัฒนาจากฟิล์ม BOPP ซึ่งทำการเจาะรูด้วยเลเซอร์ขนาดไมครอนที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ฟิล์ม BOPP และฟิล์มยืดชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ใช้ในการค้าทั่วไป โดยเปรียบเทียบกับข้าวโพดฝักอ่อนที่ไม่ทำการปิดด้วยฟิล์ม (ชุดควบคุม)

2. ปัจจัยด้านอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการเก็บรักษา โดย

บรรจุข้าวโพดฝักอ่อนลงในภาชนะบรรจุ และทำปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ และไม่ปิดฟิล์ม นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 12 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุกๆ 3 วัน ถึงวันที่ 12 (0, 3, 6, 9, 12) หลังจากนั้นทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8°C นาน 10 วัน และสุ่มเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุกๆ 2 วัน จนถึงวันที่ 22 (14, 16, 18, 20, 22) ของการเก็บรักษาตัวอย่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาข้างต้นนี้ เป็นการจำลองสภาวะในการส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อส่งออกสู่ประเทศญี่ปุ่นโดยวิธีการขนส่งทางเรือ ในแต่ละขนาดบรรจุทำการทดลองทั้งหมด 5 ทรีทเมนต์ๆ ละ 3 ซ้ำ

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพ

2.1.1 สมบัติของฟิล์ม อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (WVTR) อัตราการแพร่ผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการแพร่ผ่านก๊าซออกซิเจนของฟิล์มที่ทำการเจาะรู [10] ฟิล์ม BOPP และฟิล์มยืดชนิด PVC [2]

2.1.2 คุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อน ตรวจสอบ

2.1.2.1 การวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในบรรจุภัณฑ์ ทำการวัดโดยใช้เครื่อง Gas Analyzer (MOCON, USA)

2.1.2.2 สี วัดด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น JR-103 ยี่ห้อ Hunter Lab ประเทศสหรัฐอเมริกา ค่าสีวัดค่า L* เป็นค่าความสว่าง 0–100, a* ค่าสีแดง (+), b* ค่าสีเหลือง (+)

2.1.2.3 การสูญเสียน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนักข้าวโพดฝักอ่อนก่อนและหลังการทดลอง นำมาคำนวณดังสมการ

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

2.1.2.4 ปริมาณเอทานอล โดยดัดแปลงตามวิธีของ Larsen และ Watkins [11]

2.1.2.5 ค่าความแข็ง (Hardness) ใช้เครื่องวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส (Universal Testing Machine รุ่น Testometric Micro 350) ที่ติดตั้ง Load Cell ขนาด 25 กิโลกรัมโดยใช้หัวทดสอบแบบใบมีด HDP/BSK Blade ค่าความเร็วของหัวทดสอบภายหลังการตัดตัวอย่างเท่ากับ 10.0 มิลลิเมตรต่อวินาที บันทึกค่าแรงตัดสูงสุดที่ใช้ในการตัดขาดในหน่วยนิวตันต่อกรัม

2.1.2.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids, TSS) โดยคั้นน้ำข้าวโพดฝักอ่อนแล้ววัดด้วยเครื่อง Refractometer ยี่ห้อ ATAGO® ประเทศญี่ปุ่น

2.1.2.7 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity, TA) โดยคั้นน้ำข้าวโพดฝักอ่อนแล้วมาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ใช้สารฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณปริมาณกรดที่ได้ (%TA) ดังนี้

$$\%TA = \frac{(\text{ml NaOH})(\text{N NaoH})\ (\text{meq wt of citric acid})}{\textit{ml of sample}} \times 100$$

2.1.2.8 โดยวิธีทดสอบแบบ Hedonic Scaling ใช้สเกลแบบ 5 จุด (Five Point Scale) ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning Index) พิจารณาจากการเกิดสีน้ำตาลโดยเทียบจากร้อยละต่อความยาวฝัก และให้คะแนนการเกิดสีน้ำตาล คะแนน 0 ไม่เกิดสีน้ำตาล คะแนน 1 เกิดสีน้ำตาล 1–5% คะแนน 2 เกิดสีน้ำตาล 6–25% คะแนน 3 เกิดสีน้ำตาล 25–50% คะแนน 4 เกิดสีน้ำตาล 50% ขึ้นไป

2.1.2.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลการทดลอง

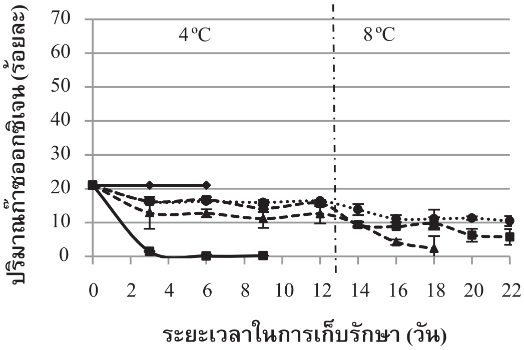
คุณภาพของฟิล์มพอลิโพรพิลีน (PP) ชนิด BOPP ที่ไม่ทำการเจาะรู ฟิล์มยืดชนิด PVC ฟิล์มเจาะรูชนิด MP-9 และ MP-10 ที่ใช้ในการทดลอง สำหรับขนาดบรรจุ 80 กรัมและชนิด MP-11 และ MP-12 สำหรับขนาด 200 กรัม พบว่าฟิล์ม BOPP มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) ก๊าซออกซิเจน (OTR) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2TR) ต่ำกว่าฟิล์ม MP-9, MP-10, MP-11 และ MP-12 (ตารางที่ 1) และมีค่า Permselectivity

(β) ไม่เหมาะสมสำหรับบรรจุผลิตผลในสภาวะบรรยากาศดัดแปลง และฟิล์มยืดชนิด PVC มีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำสูงสุด ส่งผลให้ผลิตผลมีการสูญเสียความชื้นสูงสุดเมื่อเทียบกับฟิล์มชนิดอื่น

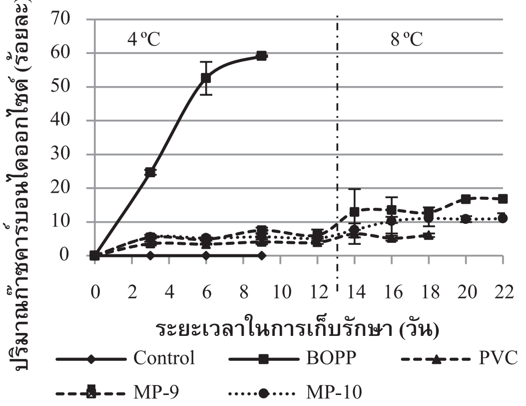
ตารางที่ 1 สมบัติของฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

Film	ความหนาของฟิล์ม (ไมครอน)	Transmission Rate ml/m²/day		Water vapor Transmission rate (WVTR) g./m².day	β
		OTR	CO_2TR		
BOPP[1]	25	3,500	8,000	3–4	2.50
PVC[1]	12	17,000	45,000	27–28	2.50
MP-9[2]	25	98,000	84,000	19–20	0.80
MP-10[2]	25	110,000	93,000	21–22	0.80
MP-11[2]	25	105,000	90,000	20–21	0.80
MP-12[2]	25	130,000	111,000	24–25	0.80

** ค่า OTR และ CO_2TR [1] ที่อุณหภูมิ 23°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0
[2] ที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60
ค่า WVTR [1,2] ที่อุณหภูมิ 37.8°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90



(A)



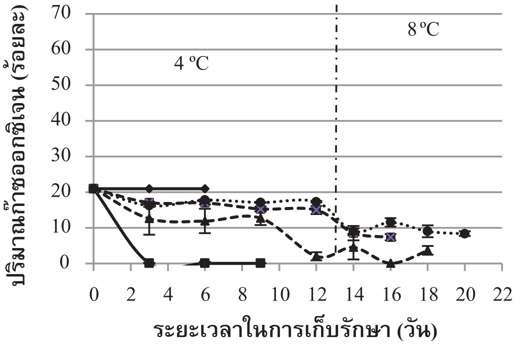
(B)

รูปที่ 1 ปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ของข้าวโพดฝักอ่อน ขนาด 80 กรัม (A) ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ (B) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์

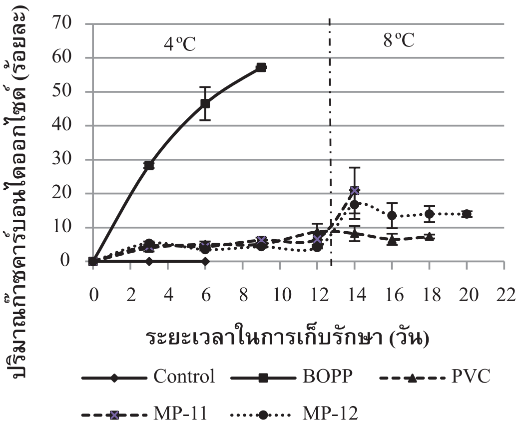
ผลการวิเคราะห์เมื่อนำมาบรรจุข้าวโพดฝักอ่อน พบว่าก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลง โดยปริมาณก๊าซออกซิเจนจะลดลงพร้อมกับการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเมื่อสภาพการแพร่ของก๊าซในฟิล์มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในทุกทรีทเมนต์

สำหรับข้าวโพดฝักอ่อนที่ไม่ทำการปิดฟิล์ม (ชุดควบคุม) จะมีปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับบรรยากาศทั่วไปคือ ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 21.00 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 ขณะที่ฟิล์มยืดชนิด PVC ที่อุณหภูมิ 8°C ขนาดบรรจุ 80 กรัม และ 200 กรัม มีปริมาณก๊าซออกซิเจนประมาณร้อยละ 2–4 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5–7 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน (รูปที่ 1 (A), 1 (B) และรูปที่ 2 (A), 2 (B))

ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มที่ใช้ทางการค้าทั่วไป (BOPP) ให้สภาวะไม่เหมาะสมกับความต้องการของผลิตผล เมื่อนำไปบรรจุข้าวโพดฝักอ่อนที่เป็นผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูง ผลิตผลจะใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ภายในทำให้ขาดก๊าซออกซิเจน และเกิดการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ จึงทำให้ผลิตผลเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดกลิ่นหมักขึ้น แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของฟิล์มที่มีสภาพการแพร่ผ่านได้ของก๊าซทั้งสองสูงขึ้น ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซและสร้างสภาวะบรรยากาศแบบสมดุลที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้



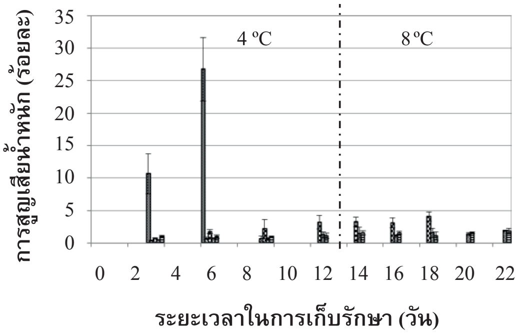
(A)



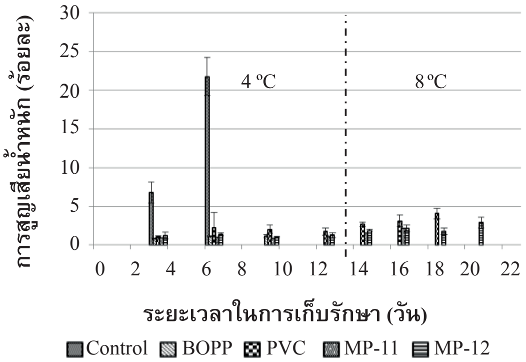
(B)

รูปที่ 2 ปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ของข้าวโพดฝักอ่อน ขนาด 200 กรัม (A) ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ (B) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลพบว่าในบรรจุภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อนขนาด 80 กรัมและ 200 กรัม ที่ปิดด้วยฟิล์ม BOPP มีปริมาณเอทานอลสูงสุดในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา มีค่าปริมาณเอทานอลสูงที่สุด (ร้อยละ 5–6) เมื่อเทียบกับฟิล์มชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นผลมาจากภายในบรรจุภัณฑ์มีก๊าซออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ 1 และคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าร้อยละ 50 ส่งผลให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ก่อให้เกิดการสะสมของสารระเหยกลิ่นหมัก จำพวกเอทานอลและอะเซทตัลดีไฮด์



(A)



(B)

รูปที่ 3 ผลของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ต่อการสูญเสียน้ำหนัก (A) ขนาดบรรจุ 80 กรัม และ (B) ขนาดบรรจุ 200 กรัม

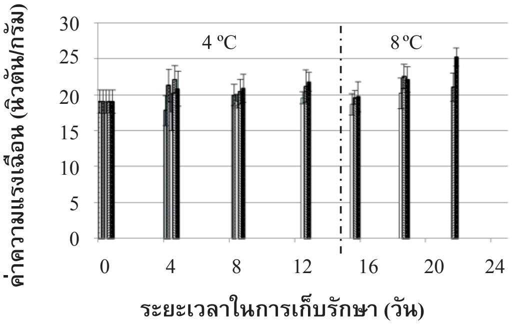
คุณภาพหลังการเก็บรักษาด้านการสูญเสียน้ำหนัก พบว่าข้าวโพดฝักอ่อนขนาด 80 และ 200 กรัมแต่ละทรีทเมนต์มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากอัตราการหายใจและอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้น ทำให้ผลิตผลเกิดการคายน้ำเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในผลิตผลให้มีค่าคงที่ จึงทำให้ข้าวโพดฝักอ่อนที่ไม่ปิดฟิล์มมีการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด เนื่องจากพืชที่อยู่ในสภาวะบรรยากาศปกติจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าในสภาวะบรรยากาศดัดแปลง (รูปที่ 3 (A) และ 3 (B))

ค่าสีของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่าข้าวโพดฝักอ่อนในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ทำการปิดฟิล์มและทำการปิดฟิล์มจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีมากสุดคือ ค่า L* ค่าความสว่าง

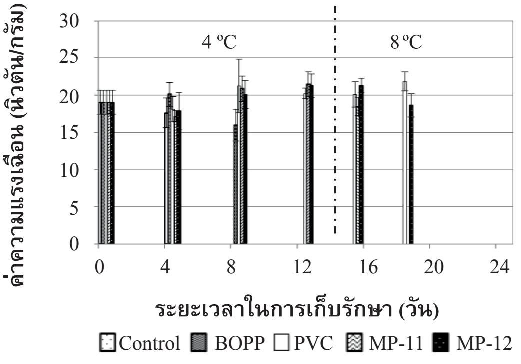
และค่าสีเหลือง b* ต่ำ ในขณะที่ค่าสีแดง a* มีค่าสูงขึ้น ข้าวโพดฝักอ่อนที่บรรจุในชุดควบคุม (ไม่ปิดฟิล์ม) มีค่าความ L* และ b* ต่ำสุด และค่า a* สูงสุด ในขณะที่ข้าวโพดฝักอ่อนที่ปิดด้วยฟิล์ม MP-9 มีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีน้อยที่สุด เนื่องจากทำการเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศที่เหมาะสม และค่า b* มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นที่ข้าวโพดฝัดฝักอ่อนทำให้มีค่า a* ที่แสดงถึงความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และค่า b* ที่แสดงถึงความเป็นสีเหลืองลดลง และพบว่าบริเวณปลายฝักมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีมากกว่าบริเวณกลางฝัก เพราะเป็นบริเวณที่เกิดการบาดเจ็บได้ง่าย ทำให้สารประกอบฟีนอลภายในเกิดการสัมผัสกับก๊าซออกซิเจนภายนอกและเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [12]

ค่าความแข็งโดยวัดจากแรงตัดสูงสุดบริเวณกลางฝัก พบว่าขนาดบรรจุ 80 และ 200 กรัม ค่าแรงตัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเนื้อเยื่อถูกดึงน้ำออกไปทำให้เนื้อมีความเหนียวเพิ่มและค่าความแข็งเพิ่มขึ้น การที่มีเยื่อใยเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา [13] โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานนั้นเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำ ความชื้นของข้าวโพดฝักอ่อนสดลดลง เมื่อเนื้อเยื่อถูกดึงน้ำออกไปจะส่งผลทำให้ข้าวโพดฝักอ่อนมีลักษณะแห้งและเหนี่ยวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4) [14]

ข้าวโพดฝักอ่อนที่เก็บรักษาไว้พบว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลงในทุกทรีทเมนต์เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจาก ผลิตผลมีการหายใจและกระบวนการชีวเคมีอื่นๆ ทำให้ปริมาณสารในเซลล์ เช่น ปริมาณน้ำตาล กรดอินทรีย์ เกิดการเปลี่ยนแปลง พบว่าในบรรจุภัณฑ์บรรจุข้าวโพดฝักอ่อนที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะมีปริมาณลดลงมากขึ้น [15] และพบว่าภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือในระหว่างการเก็บรักษาผักผลไม้ ปริมาณความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มที่ลดลง [16]



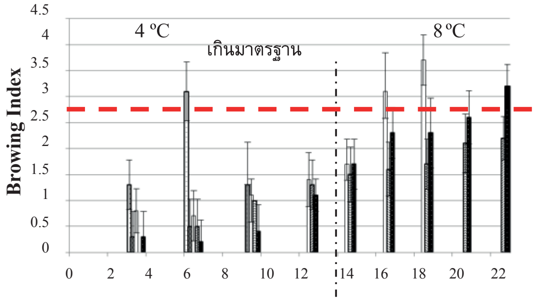
(A)



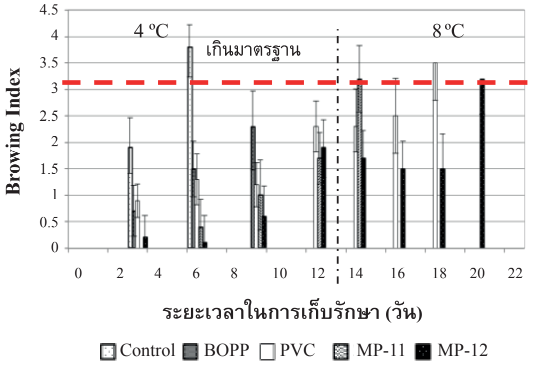
(B)

รูปที่ 4 ผลของค่าแรงเฉือนหน่วย นิวตัน/กรัม (A) ขนาดบรรจุ 80 กรัม และ (B) ขนาดบรรจุ 200 กรัม

ผลการประเมินคุณภาพดัชนีการเกิดสีน้ำตาลพบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษา สภาวะบรรยากาศ และอุณหภูมิมีผลต่อค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล โดยเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากข้าวโพดฝักอ่อนมีการสูญเสียน้ำมากขึ้น ทำให้เนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลแห้งตายเกิดเป็นสีน้ำตาล ในสภาวะบรรยากาศปกติพบว่าข้าวโพดฝักอ่อนมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลสูงที่สุดเนื่องจาก ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งมักพบที่บริเวณตำแหน่งที่มีการปอกเปลือกลอกไหมเป็นส่วนที่ทำให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้ง่ายขึ้น โดยพบว่าภาชนะบรรจุที่ปิดฟิล์ม MP-9 ที่ขนาด 80 กรัม มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด (< 3) (รูปที่ 5)



(A)



(B)

รูปที่ 5 ผลของค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (A) ขนาดบรรจุ 80 กรัม และ (B) ขนาดบรรจุ 200 กรัม

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวม พบว่าคะแนนมีแนวโน้มลดลงจากวันแรกที่เก็บรักษา โดยชุดควบคุม (ไม่ปิดฟิล์ม) มีอายุการเก็บรักษาน้อยสุดคือ 6 วัน ฟิล์ม BOPP เก็บรักษาได้ 9 วัน โดยคุณภาพด้านกลิ่นมีค่าการยอมรับน้อยที่สุด บรรจุภัณฑ์ที่ปิดด้วยฟิล์มยืดชนิด PVC พบว่ามีอายุการเก็บรักษาสูงสุดที่ 18 วัน และบรรจุภัณฑ์ที่ปิดด้วยฟิล์ม MP-9 และ MP-10 มีอายุการเก็บรักษาสูงสุดคือ 22 วัน โดยข้าวโพดฝักอ่อนที่ปิดด้วยฟิล์ม MP-9 มีค่าการยอมรับได้สูงที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์ม MP-10 เช่นเดียวกับขนาดบรรจุ 200 กรัม ที่พบว่าฟิล์ม BOPP มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นได้เพียง 9 วันของการเก็บรักษา ขณะที่การปิดผนึกด้วยฟิล์ม MP-12 มีอายุการเก็บรักษาสูงสุด 20 วัน โดยในวันที่ 22 พบว่าผลิตผลเกิดการเน่าเสีย

4. สรุป

การบรรจุข้าวโพดฝักอ่อนที่ปิดด้วยฟิล์ม BOPP ไม่เหมาะสม ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 9 วัน จึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้สำหรับบรรจุผักผลไม้สดเพื่อการส่งออก เนื่องจากภายในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้ข้าวโพดฝักอ่อนเกิดกลิ่นหมักซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค บรรจุภัณฑ์ที่ปิดด้วยฟิล์มยืดชนิด PVC มีอายุการเก็บรักษานาน 18 วัน แต่พบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนจะเกิดการสูญเสียน้ำมาก ส่งผลให้ผลิตผลเกิดการแห้งเหี่ยวและไม่เป็นที่ยอมรับ ดังนั้น ขนาดบรรจุ 80 กรัม ที่ปิดด้วยฟิล์ม MP-9 อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับผลิตผล จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา 22 วัน (เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 12 วัน แล้วเปลี่ยนเป็น อุณหภูมิ 8°C เป็นเวลา 10 วัน) คือก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดฝักอ่อน จึงเหมาะสมและสามารถใช้สำหรับการบรรจุเพื่อการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อนสดไปต่างประเทศได้ตามความต้องการของทางบริษัทส่งออก ในขณะที่การบรรจุและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดอื่นๆ เช่น BOPP, MP-10, MP-11, MP-12 และ PVC ให้คุณภาพที่ยอมรับได้ต่ำกว่า 22 วัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ธัญญารัตน์ จิญกาญจน์ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ทำการทดลอง ขอขอบคุณ นายเชาวน์ ศรีเพชรดี ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ได้ให้โอกาสในการทำงานร่วมกัน และกรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ระหว่างการทำงานวิจัย ขอขอบคุณทุนสร้างปัญญาวิทย์ ผลิตนักเทคโนฯ (YSTP) สวทช. ที่สนับสนุนทุนวิจัยปริญญานิพนธ์ ตามสัญญาทุน เลขที่ SP57-MT03

เอกสารอ้างอิง

[1] Bureau of Agriculture Economic Research, *Baby*

and Sweet Corns Production for Processing Industry, Chainat: Department of Agriculture, 2003 (in Thai).

[2] A. Fuongfuchat, W. Chinsirikul, N. Kerddonfag, T. Trongsatitkul, S. Phiboonkulsumrit, S. Chaiwong, and V. Chonhenchob, "The utilization of simple mathematical model in developing equilibrium modified atmosphere inside the package of fresh produce," *Agricultural Science Journal*, vol. 37, no. 5, pp. 62–65, 2006.

[3] Thai agricultural standard, TAS 1504-2007, *Baby Corn*, National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, Ministry of Agriculture and Cooperatives, published in the Royal Gazette vol. 125 section 15D, dated 22 January B.E. 2551.

[4] K. Kanganaphisut, *Baby Corn*, 4th ed. Nonthaburi: Agriculture Base Publishers, 1999.

[5] J. Siripanich, *Postharvest Physiological of Fruits and Vegetables*, 5th ed. Bangkok: Kasetsart University, 2003.

[6] V. Chonhenchob, W. Chinsirikul, A. Fuongfuchat, N. Kerddonfag, S. Chaiwong, and K. Boonruang, "High permeable films used for modified atmosphere packaging improve quality and shelf life of baby corn," *Journal of Applied Packaging Research*, vol. 3, no. 2, pp. 57–74, 2009.

[7] T. Al-Ati and J. H. Hotchkiss, *Application of packaging and modified atmosphere to fresh-cut fruits*, In O. Lamikanra, eds. Fresh-Cut Fruits and Vegetables," Science, Technology, and Market. Washington, D.C: CRC Press, pp. 305–338, 2002.

[8] P. Chantanop, W. Chinsirikul, C. Winotapun, V. Domrongpokkaphan, and B. Thumthanaruk, "Quality and shelf-life of fresh longan under modified atmosphere packaging," *Journal of KMUTNB*, vol. 24, no. 3, pp. 615–623, 2014 (in Thai).

[9] D. L. Lange, "New film technologies for horticultural products," *HortTechnology*, vol. 10, no. 3, pp. 487–490, 2000.

[10] J. R. Gorny, *Packaging Design for Fresh-Cut Produce*, Alexandria, Va: International Fresh-cut Produce Association, 2003.

[11] M. Larsen, and C. B. Watkins, "Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 5, pp. 39–50, 1995.

[12] A. Watthanalamloet, "Effect of modified atmospheric conditions on qualities and shelf life of organic baby corns," M.S. Thesis, Department of Microbiology, Faculty of Science King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2006 (in Thai).

[13] M. Serrano, D. Martinez-Romero, F. Guillen, S. Castillo, and D. Valero, "Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 39, pp. 61–68, 2006.

[14] Y. Zhou, Z. I. Ji, and W. Z. Lin, "Study on the optimum storage temperature and chilling injury mechanism of longan fruits," *Acta Horticulture Sinica*, vol. 24, pp. 13–18, 1997.

[15] A. Meenaphan, "Control of postharvest browning and decay in boby corn," M.S. Thesis, Department of Horticulture, Faculty Agriculture Kasetsart University, 1995 (in Thai).

[16] Organic acid postharvest biochemistry of agricultural produce (2014, October15). [Online]. Available: http//coursewares.mju.ac.th:81/elearning: 47/ section2/pt331/leasson.html