

## รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

-----

- 1. ชุดโครงการวิจัย** : การจัดการคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวนเศรษฐกิจ
- 2. โครงการวิจัย** : การพัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา  
ผลิตผลสด  
**กิจกรรม** : การศึกษาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน (micro-perforated) โดยใช้เลเซอร์  
มาร์กเกอร์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผัก
- 3. ชื่อการทดลอง** : การศึกษาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่เหมาะสมสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษา  
ผัก  
: Micro-perforated film for prolong storage life of vegetables
- 4. คณะผู้ดำเนินงาน**  
**หัวหน้าการทดลอง** : นางสาวคมจันทร์ สรงจันทร์  
**ผู้ร่วมงาน** : นางศิริกานต์ ศรีธัญรัตน์  
นางสาวปราศรัย กวานห้อง  
นางสาวงามพิศ สุดเสนห์  
กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
- 5. บทคัดย่อ**

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนโดยใช้เลเซอร์มาร์กเกอร์สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสด และทดสอบการใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผัก โดยทดสอบการเจาะรูฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องเลเซอร์มาร์กเกอร์ พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเจาะรูฟิล์ม OPP และ LDPE ความหนา 30 ไมครอน คือ ความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูประมาณ 110-115 และ 60-70 ไมครอน ตามลำดับ การศึกษาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่เหมาะสมสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผัก วางแผนการทดลองแบบ split plot โดยมี main plot คือ 1) ฟิล์มแอคทีฟ 2) ฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู 3) ฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู 4) ฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน 5) ฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู 6) ฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู และ 7) ฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน โดย OTR ของฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนสำหรับผัก

สลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชี คือ 5,000-10,000 10,001-15,000 และ 15,001-20,000 ลูกบาศก์ เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ตามลำดับ sub plot คือ ระยะเวลาเก็บรักษา พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 21 วัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุในถุงฟิล์มแอคทีฟ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ผักสลัดบัตเตอร์เฮด ทุกกรรมวิธีมีค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$  ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และวิตามินซีไม่แตกต่างกัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด 21 วัน โดยยังมีคะแนนความชอบรวมเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สำหรับถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน และถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ถั่วฝักยาวทุกกรรมวิธีมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด 15 วัน ขณะที่ถั่วฝักยาวบรรจุ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน สามารถเก็บรักษาได้นาน 12 วัน สำหรับผักชีบรรจุในถุง ฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนมีการสูญเสียน้ำหนัก ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ผักชีบรรจุถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรูมีสีเหลืองน้อยที่สุด มีปริมาณคลอโรฟิลล์และ วิตามินซีมากที่สุด สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด 21 วัน

## Abstract

The purpose of this experiment was to develop a micro-perforated film for fresh produce by using laser marker and testing the use of micro-perforated film to maintain quality and extend shelf life of vegetables. It was found that optimum parameter for drilling OPP and LDPE (with 30 micrometer thickness) with laser marker are 1,000 millimeter per second scan speed, 20 percent laser power and 500 millimeter per second scan speed, 30 percent laser power, respectively. Holes diameter were approximately 110-115 and 60-70 micromerter, respectively. The study of micro-perforated film for prolong shelf life of vegetables were conducted by split plot design with the main plot of 1) active film 2) OPP film 3) OPP film with hole diameter 0.5 centimeter 8 holes 4) OPP micro-perforated film 5) LDPE film 6) LDPE film with hole diameter 0.5 centimeter 8 holes 7) LDPE micro-perforated film. The oxygen transmission rate (OTR) of OPP and LDPE micro-perforated film for butterhead, yard long bend and coriander were 5,000-10,000 10,001-15,000 and 15,001-20,000 cubic centimeter per square meter per day, respectively. Sub plot was the storage time. It was found that during 21 days storage, butterhead packed in active film, OPP and LDPE film, OPP and LDPE micro-perforated filme has weight loss about 1 percent. All treatments of butterhead has no different with  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , chlorophyll content, total

soluble solids and vitamin C. Butterhead packed in LDPE micro-perforated film can be maintained for 21 days with accepted by consumer. For yard long bean packed in active film, OPP and LDPE micro-perforated film and LDPE film has weight loss less than 1 percent. Total soluble solids, chlorophyll content has decreased when storage time has increase in all treatments. Yard long bean packed in LDPE film, OPP and LDPE with holes diameter 0.5 centimeter 8 holes can be stored for 15 days. While yard long bean packed in OPP and LDPE micro-perforated film can be stored for 12 days. For coriander packed in OPP and LDPE film, OPP and LDPE micro-perforated film has weight loss about 1 percent. Coriander packed in OPP film was minimal yellowing with highest chlorophyll content and vitamin C and can be stored for 21 days.

## 6. คำนำ

ผลิตผลสดมีอายุการเก็บรักษาสั้นและเสื่อมสภาพได้ง่าย เนื่องจากยังคงมีชีวิต มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น การหายใจ การคายน้ำ การผลิตเอทิลีน เกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวเหล่านี้ ทำให้ผลิตผลจำนวนมากสูญเสียคุณภาพในระหว่างการขนส่งและวางจำหน่าย เช่น เกิดการสูญเสียน้ำหนัก สูญเสียคุณค่าทางอาหาร อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคหลังการเก็บเกี่ยว และเกิดการเน่าเสีย หากขาดการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังเป็นข้อจำกัดในการส่งออกผักและผลไม้ไปจำหน่ายยังต่างประเทศ การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงเป็นการเก็บรักษาผลิตผลสดในบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงฟิล์มพลาสติก ทำให้สัดส่วนของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปจากสภาพบรรยากาศปกติ โดยมีก๊าซออกซิเจนลดลงและมีคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการหายใจของผลิตผล การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล เนื่องจากทำให้อัตราการหายใจลดลงซึ่งช่วยลดการสูญเสียพลังงานสะสม ช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล รวมถึงลดการสูญเสียน้ำ ชะลอการสุกและการเน่าเสีย (Ding *et al.*, 2002; Zagory, 1997) การสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์นั้น ผลิตผลแต่ละชนิดมีความต้องการฟิล์มพลาสติกที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจของผลิตผล โดยผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงมักต้องการฟิล์มที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูง เพื่อทำให้เกิดสภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์ หากใช้ฟิล์มที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เหมาะสม จะทำให้สภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์ไม่เหมาะสมต่อการยืดอายุ อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจนส่งผลให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง (Zagory and Kader, 1988; Mir and Beaudry, 2016) ฟิล์มพลาสติกที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิโพรพิลีน (PP) มักมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำ โดยมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ระหว่าง 1,541-8,750 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน (Mangaraj *et al.*, 2009) เพื่อเพิ่มอัตราการซึมผ่านก๊าซของฟิล์ม การเจาะรูขนาดไมครอนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์ม โดยฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน

(micro-perforated film) เป็นฟิล์มที่มีสมบัติยอมให้ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านได้สูงกว่าฟิล์มปกติทั่วไป สามารถแก้ไขข้อจำกัดบางประการของฟิล์มชนิดที่มีสมบัติสกัดกั้นการแพร่ของก๊าซ ขนาดรูของฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียง 40-100 ไมครอน (Winotapun *et al.*, 2015)

การเจาะรูฟิล์มด้วยเลเซอร์ เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจในการเจาะรูขนาดไมครอน การเจาะรูฟิล์มด้วยเลเซอร์ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ สามารถเจาะรูได้อย่างแม่นยำ เลเซอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ มีหลักการทำงานคือ ความเข้มของแสงจะถูกดูดซับโดยฟิล์ม ซึ่งจะทำให้ฟิล์มเกิดความร้อนจนละลาย แล้วระเหยกลายเป็นไอในทันที ทำให้เกิดรูขนาดเล็กขึ้นบนฟิล์ม โดยอัตราการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนรูเจาะ (Chow, 2012) การพัฒนาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเพื่อให้ได้อัตราการซึมผ่านของก๊าซตามที่ต้องการ ต้องศึกษาขนาดและจำนวนรูเจาะที่เหมาะสม รวมถึงต้องทดสอบการใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนกับผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตผัก โดยมีแหล่งปลูกกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ชนิดของผักที่ปลูกมีจำนวนมากกว่า 50 ชนิด ความต้องการใช้ผักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้บริโภคภายในประเทศเพิ่มขึ้น จากกระแสที่ผู้บริโภคหันมาสนใจเรื่องสุขภาพ ปัจจุบันการผลิตผักมีลักษณะเป็นแบบการค้ามากขึ้น และมีได้มุ่งเน้นเพื่อบริโภคภายในประเทศเพียงอย่างเดียว แต่ยังคงผลิตเพื่อส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศด้วย โดยในปี 2561 การส่งออกผักสดหรือแช่เย็นไปจำหน่ายยังต่างประเทศ คิดเป็นมูลค่า 4,085.91 ล้านบาท ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น มาเลเซีย ใต้หวัน สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ สหราชอาณาจักร สิงคโปร์ (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2562) ผักเป็นพืชที่มีความหลากหลาย ส่วนที่นำมาใช้เป็นอาหารมีทั้ง ใบ ผล ราก ดอก หัว ลำต้น การแบ่งกลุ่มของผักสามารถแบ่งได้หลายกลุ่ม ทั้งแบ่งตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ตามแหล่งปลูก ตามส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ ในแง่ของการศึกษาบรรจุภัณฑ์เพื่อปกป้องและรักษาคุณภาพจะแบ่งประเภทของผักตามอัตราการหายใจเพื่อพยายามรักษาคุณภาพและยืดอายุให้สดพอดิ ในขณะที่นำมารับประทาน (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2557) ในการทดลองครั้งนี้ ได้เลือกผักที่มีอัตราการหายใจแตกต่างกันจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ผักสลัดบัตเตอร์เฮด (*Lactuca sativa* var. *capitata*) ถั่วฝักยาว (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*) และผักชี (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*) มาทดสอบการเก็บรักษา เพื่อหาอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผักที่มีอัตราการหายใจแต่ละประเภท

โดยวัตถุประสงค์ในการทดลองครั้งนี้ เพื่อพัฒนาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนโดยใช้เลเซอร์มาร์กเกอร์สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สด และทดสอบการใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผักที่มีอัตราการหายใจระดับต่าง ๆ ได้แก่ สลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชี เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่ใช้อยู่ทั่วไป

## 7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

1. ผลิตผลที่ใช้ทดลอง ได้แก่ ผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว ผักชี
2. फिल्मพอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงตัว (oriented polypropylene: OPP) फिल्मพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene: LDPE) และฟิล์มแอกทีฟ (M-tech 4)
3. เครื่องเลเซอร์มาร์กเกอร์ ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ยี่ห้อ KEYENCE รุ่น ML-29500 Series
4. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอไมโครสโคป ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZX16 พร้อมอุปกรณ์ถ่ายภาพ ยี่ห้อ Olympus รุ่น DP25
5. กล้อง digital microscope ยี่ห้อ Hirox รุ่น RH-2000
6. เครื่องวัดความหนาฟิล์ม
7. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มพลาสติก ยี่ห้อ Mocon รุ่น OpTech ®-O<sub>2</sub> Platinum
8. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มพลาสติก ยี่ห้อ Illinois รุ่น 7002
9. เครื่องปิดผนึกถุงพลาสติก
10. กล้องสำหรับวัดอัตราการหายใจ
11. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-8A และรุ่น GC-14B
12. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง
13. เครื่องวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ยี่ห้อ Dansensor รุ่น CheckMate3
14. เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-10
15. เครื่องวัดความแน่นเนื้อ ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LF plus
16. เครื่อง digital refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น PR-101
17. เครื่อง homogenizer
18. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo รุ่น Evolution 300 UV-VIS
19. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี
20. ห้องเย็น

- วิธีการ

แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่

**การทดลองที่ 1 การศึกษาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนโดยใช้เลเซอร์มาร์กเกอร์**

1.1 นำฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน สั่งซื้อจากบริษัท เอ.เจ.พาสท์ จำกัด (มหาชน) และฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน สั่งซื้อจากบริษัท ถุงสด จำกัด มาตรวจสอบสมบัติของฟิล์มได้แก่

- 1) ความหนา (thickness) วัดด้วยเครื่องวัดความหนาฟิล์ม

2) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen transmission rate: OTR) วัดด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มพลาสติก ยี่ห้อ Mocon รุ่น OpTech @-O<sub>2</sub> Platinum (วิธีทดสอบ ASTM F3136 Oxygen Gas Transmission Rate through Plastic Film and Sheeting using a Dynamic Accumulation Method and a fluorescence-based sensor)

3) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate: WVTR) วัดด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มพลาสติก ยี่ห้อ Illinois รุ่น 7002 (วิธีทดสอบ ASTM 1249 Water Vapor Transmission Rate through Plastic Film Sheeting Using a Modulated Infrared Sensor)

1.2 นำตัวอย่างฟิล์มมาทดสอบการเจาะรูด้วยเครื่องเลเซอร์มาร์กเกอร์ ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ยี่ห้อ KEYENCE รุ่น ML-29500 Series

1.3 ตรวจสอบรูปร่างและวัดขนาดของรูเจาะขนาดไมครอนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZX16 พร้อมอุปกรณ์ถ่ายภาพ ยี่ห้อ Olympus รุ่น DP25 และกล้อง digital microscope ยี่ห้อ Hirox รุ่น RH-2000

1.4 วัด OTR ของฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มพลาสติก ยี่ห้อ Mocon รุ่น OpTech @-O<sub>2</sub> Platinum

1.5 นำฟิล์มมาเจาะรูขนาดไมครอนด้วยเครื่องเลเซอร์มาร์กเกอร์ให้มี OTR ต่าง ๆ ได้แก่

1) ฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน สำหรับผลิตผลที่มีอัตราการหายใจระดับสูง

2) ฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน สำหรับผลิตผลที่มีอัตราการหายใจระดับสูงมาก

3) ฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน สำหรับผลิตผลที่มีอัตราการหายใจระดับสูงมากพิเศษ

## การทดลองที่ 2 การศึกษาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่เหมาะสมสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชี

นำฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนแตกต่างกัน 3 ระดับ ที่ได้จากการทดลองที่ 1 มาทดสอบการเก็บรักษากับผัก 3 ชนิด ที่แบ่งกลุ่มตามอัตราการหายใจ ได้แก่ อัตราการหายใจระดับสูง (high) สูงมาก (very high) และสูงมากพิเศษ (extremely high)

2.1 วัดอัตราการหายใจของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชี ที่อุณหภูมิ 10 15 และ 20 องศาเซลเซียส โดยใช้ระบบปิด โดยนำผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ตัดรากออกแล้ว ถั่วฝักยาว และผักชี ทั้งต้นพร้อมราก น้ำหนักประมาณ 150 100 และ 100 กรัม ตามลำดับ มาใส่ในกล่องวัดอัตราการ

หายใจขนาด 4.2 และ 4 ลิตร ตามลำดับ แล้วนำไปวางในห้องเย็นอุณหภูมิ 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งผักมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการวัดอัตราการหายใจ จากนั้นปิดฝากล่องให้สนิท สุ่มตัวอย่างก๊าซภายในกล่องปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-8A ทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปคำนวณอัตราการหายใจของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักซี ที่อุณหภูมิ 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส จากสมการ

$$\text{อัตราการหายใจ (mg CO}_2\text{/kg/hr.)} = \frac{\text{AV. CO}_2\text{ difference}/100 \times \text{head space volume (ml)} \times 2 \times 1,000}{\text{weight (g)}}$$

เมื่อ AV. CO<sub>2</sub> difference = ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละครั้งที่วัด

head space volume = ปริมาตรช่องว่างภายในบรรจุภัณฑ์

weight = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์

2.2 นำค่าอัตราการหายใจของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักซี ขนาดถุงฟิล์มบรรจุภัณฑ์ และน้ำหนักบรรจุต่อถุง มาคำนวณ OTR ของฟิล์มที่ผลิตผลต้องการเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Ishitani, 2011) โดยใช้สมการ

$$\text{Required OTR (cm}^3\text{/m}^2\text{.day)} = \frac{\text{CO}_2\text{ produce per day} \times \frac{1}{2}}{\text{pouch area (cm}^2\text{) /different partial pressure}}$$

เมื่อ CO<sub>2</sub> production per day = respiration rate x 0.5 x weight (kg) x 24 hr.

1/2 = modified atmosphere effect of respiration by O<sub>2</sub> decrease

pouch area = พื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์

different partial pressure = (O<sub>2</sub> in air (%) – O<sub>2</sub> partial pressure inside pouch)/100

2.3 ทดสอบการเก็บรักษาผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักซี โดยใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน โดยนำค่าอัตราการหายใจของผักแต่ละชนิด มาใช้ในการพิจารณาคัดเลือกอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน

### ผักสลัดบัตเตอร์เฮด

เก็บเกี่ยวผักสลัดบัตเตอร์เฮดจากแปลงเกษตรกร แล้วขนส่งโดยรถห้องเย็นมายังห้องปฏิบัติการ นำผักสลัดบัตเตอร์เฮดมาตัดราก และเด็ดใบล่างทิ้ง จากนั้นคัดเลือกต้นที่สมบูรณ์ ไม่มีรอยช้ำ ใบไม่ฉีกขาด และมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน แล้วบรรจุผักสลัดบัตเตอร์เฮดน้ำหนักประมาณ 100 กรัม ในถุงขนาด 20x28 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบ split plot จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 2 ถุง main plot คือ ชนิดของฟิล์ม

กรรมวิธีที่ 1 ถุงฟิล์มแอกทีฟ OTR 8,690.89 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 2 ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู OTR 1,564.29 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 3 ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู

กรรมวิธีที่ 4 ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 5 ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู OTR 5,704.08 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 6 ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู

กรรมวิธีที่ 7 ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

sub plot คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0 3 6 9 12 15 18 และ 21 วัน

### ถั่วฝักยาว

เก็บเกี่ยวถั่วฝักยาวจากแปลงเกษตรกร แล้วขนส่งโดยรถห้องเย็นมายังห้องปฏิบัติการ นำถั่วฝักยาวมาคัดเลือกฝักที่สมบูรณ์ ไม่มีรอยช้ำ หรือร่องรอยของโรคและแมลง มีขนาดและความความของฝักใกล้เคียงกัน บรรจุถั่วฝักยาวน้ำหนักประมาณ 150 กรัม ในถุงขนาด 20x28 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบ split plot จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 2 ถุง main plot คือ ชนิดของฟิล์ม

กรรมวิธีที่ 1 ถุงฟิล์มแอคทีฟ OTR 8,690.89 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 2 ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู OTR 1,564.29 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 3 ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู

กรรมวิธีที่ 4 ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 5 ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู OTR 5,704.08 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 6 ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู

กรรมวิธีที่ 7 ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

sub plot คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา คือ 0 3 6 9 12 15 18 และ 21 วัน

### ผักชี

เก็บเกี่ยวผักชีจากแปลงเกษตรกร แล้วขนส่งโดยรถห้องเย็นมายังห้องปฏิบัติการ นำผักชีมาล้างทำความสะอาด แล้วผึ่งให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นเด็ดใบที่เหี่ยว หรือเป็นสีเหลืองทิ้ง คัดเลือกผักชีต้นที่มีความสมบูรณ์ แล้วบรรจุผักชีน้ำหนักประมาณ 50 กรัม ในถุงขนาด 16x35 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบ split plot จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 2 ถุง main plot คือ ชนิดของฟิล์ม

กรรมวิธีที่ 1 ถุงฟิล์มแอคทีฟ OTR 8,690.89 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 2 ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู OTR 1,564.29 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 3 ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู



กรรมวิธีที่ 4 ฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 5 ฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู OTR 5,704.08 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

กรรมวิธีที่ 6 ฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู

กรรมวิธีที่ 7 ฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

sub plot คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา คือ 0 3 6 9 12 15 18 และ 21 วัน

นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แล้วสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพทุก 3 วัน

### การตรวจสอบคุณภาพ

- ปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ วัดด้วยเครื่องวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ยี่ห้อ Dansensor รุ่น CheckMate3 โดยใช้เข็มสำหรับวัดแทงเข้าไปในถุง แล้วอ่านค่าจากเครื่องวัด

- ปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในถุงบรรจุภัณฑ์ โดยสุ่มก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปวัดปริมาณก๊าซเอทิลีนโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-14B

- การสูญเสียน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักสดเริ่มต้น น้ำหนักสดเมื่อตรวจสอบคุณภาพ แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ตามสมการ

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักสดเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสดเมื่อตรวจสอบคุณภาพ}}{\text{น้ำหนักสดเริ่มต้น}} \times 100$$

- การเปลี่ยนแปลงสี (เฉพาะผักสลัดบัตเตอร์เฮด และผักชี) วัดด้วยเครื่องวัดสี (color meter) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-10 ในหน่วย hunter scale ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) โดยผักสลัดบัตเตอร์เฮดวัดบริเวณด้านบนของใบชั้นที่ 2 จำนวน 3 ตำแหน่งต่อดัน และผักชีวัดบริเวณใบ จำนวน 3 ตำแหน่งต่อซ้ำ

ค่า  $L^*$  คือ ค่าความสว่าง (brightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (dark) ถึง 100 (white)

ค่า  $a^*$  คือ ค่าแสดงระดับสีแดง-เขียว เมื่อค่า  $a^*$  เป็นบวกจะแสดงลักษณะสีแดง และเมื่อค่าเป็นลบ จะแสดงลักษณะสีเขียว โดยที่เมื่อค่าห่าง 0 มากแสดงถึงค่าสีแดงหรือสีเขียวมากขึ้น

ค่า  $b^*$  คือ ค่าแสดงระดับสีเหลือง-น้ำเงิน เมื่อค่า  $b^*$  มีค่าเป็นบวกจะแสดงลักษณะสีเหลือง และเมื่อค่าเป็นลบจะแสดงลักษณะสีน้ำเงิน โดยที่เมื่อค่าห่าง 0 มากแสดงถึงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงินมากขึ้น

- แรงที่ใช้ในการตัดให้ขาด (เฉพาะถั้วผักยาว) วัดด้วยเครื่อง texture analyzer ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LF plus โดยใช้หัวตัดแบบตรง ขนาดแรงกด 0.5 นิวตัน ความเร็ว 50 มิลลิเมตร/นาที ระยะทางในการตัด 20 มิลลิเมตร โดยวัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของความยาวผัก จำนวนซ้ำละ 6 ผัก

- ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) (เฉพาะผักสลัดบัตเตอร์เฮด และถั้วผักยาว) นำน้ำคั้นของผักมาวัดด้วยเครื่อง digital refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น PR-101

- ปริมาณคลอโรฟิลล์ นำตัวอย่างผักน้ำหนัสด 1 กรัม ใส่ในหลอดฝาเกลียว เติมสารละลาย acetone:hexane อัตราส่วน 4:6 ปริมาตร 20 มิลลิลิตรในหลอด แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่อง homogenizer จนตัวอย่างผักและสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำสารละลายส่วนบนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo รุ่น Evolution 300 UV-VIS ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ Mackinney (1941) ดังนี้

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัม/น้ำหนัสด)} = (0.999 \times \text{Abs}_{663}) - (0.0989 \times \text{Abs}_{645})$$

- คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส ทดสอบโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 5 คน ประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และ ผักชี โดยการให้คะแนน ได้แก่

ความสด ระดับคะแนน 1-5 คะแนน ได้แก่

5=สดมาก

4=สด

3=สดปานกลาง ผักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย

2=สดเล็กน้อย ผักเริ่มเหี่ยวเล็กน้อย เปลี่ยนเป็นสีเหลือง

1=ไม่สด ผักเหี่ยว เปลี่ยนเป็นสีเหลืองมาก

การเกิดกลิ่นผิดปกติ (เฉพาะถั่วฝักยาว) ประเมินทันทีหลังจากเปิดถุง ระดับคะแนน 1-5 คะแนน ได้แก่

1=ไม่มีกลิ่นผิดปกติ

2=มีกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย

3=มีกลิ่นผิดปกติปานกลาง

4=มีกลิ่นผิดปกติมาก

5=มีกลิ่นผิดปกติรุนแรง

ลักษณะปรากฏ ระดับคะแนน 1-5 คะแนน ได้แก่

5=ผักมีลักษณะสดมาก ไม่เหี่ยว ไม่เนา ไม่ช้ำ และไม่มี ความผิดปกติทางสรีรวิทยา

4=ผักมีลักษณะสด ไม่เหี่ยว ไม่เนา ไม่ช้ำ และไม่มี ความผิดปกติทางสรีรวิทยา

3=ผักมีลักษณะเหี่ยวเล็กน้อย เริ่มเนา เริ่มมีรอยช้ำ และเริ่มมีความผิดปกติทาง สรีรวิทยาเล็กน้อย ประมาณ 1-25 เปอร์เซ็นต์

2=ผักเหี่ยว มีรอยเนา มีรอยช้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ประมาณ 26-50 เปอร์เซ็นต์

1=ผักเหี่ยว เน่า ช้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

ความชอบรวม ระดับคะแนน 1-5 คะแนน ได้แก่

9=ชอบมากที่สุด

- 8=ชอบมาก  
 7=ชอบปานกลาง  
 6=ชอบเล็กน้อย  
 5=เฉย ๆ  
 4=ไม่ชอบเล็กน้อย  
 3=ไม่ชอบปานกลาง  
 2=ไม่ชอบมาก  
 1=ไม่ชอบมากที่สุด

(ระดับคะแนนต่ำกว่า 6 ถือว่าหมดอายุการวางจำหน่าย)

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลา : ตุลาคม 2559 ถึง กันยายน 2561

สถานที่ดำเนินการ : อาคารปฏิบัติการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร  
 กรมวิชาการเกษตร

## 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

### การทดลองที่ 1 การศึกษาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนโดยใช้เลเซอร์มาร์กเกอร์ สมบัติของฟิล์ม

สมบัติของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงตัว (oriented polypropylene: OPP) และฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene: LDPE) แสดงดังตารางที่ 1 โดยตัวอย่างฟิล์มที่นำมาทดลองมีความหนา 30 ไมครอน มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม (oxygen transmission rate: OTR) 327.26 และ 1,193.32 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ตามลำดับ และมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มอยู่ระหว่าง (water vapor transmission rate: WVTR) เท่ากับ 4.20 และ 10.90 กรัม/ตารางเมตร.วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สมบัติของฟิล์ม OPP และ LDPE

ชนิดของฟิล์ม	ความหนา ( $\mu\text{m}$ )	oxygen transmission rate ( $\text{cm}^3/\text{m}^2.\text{day}$ )	water vapor transmission rate ( $\text{g}/\text{m}^2.\text{day}$ )
OPP	30	327.26	4.20
LDPE	30	1,193.32	10.90

การเจาะรูฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน

เมื่อเจาะรูฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน โดยกำหนดความเร็วสแกน (scan speed) ที่ระดับ 300 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ (power) 20 30 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การเจาะรูฟิล์มด้วยความเร็วสแกน 300-1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ จะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูไม่เกิน 150 ไมครอน ซึ่งอยู่ในช่วงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูที่ต้องการ เมื่อใช้กำลังเลเซอร์เพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูที่ได้จะเพิ่มขึ้น และมีขนาดใหญ่เกินไป (ตารางที่ 2 และ 3) เมื่อทดลองเจาะรูซ้ำ โดยเจาะครั้งละ 1 รู ด้วยความเร็วสแกน 300-1,500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้ความเร็วสแกนในช่วง 300-1,500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 50-115 ไมครอน โดยการใช้ความเร็วสแกน 900-1,500 มิลลิเมตร/วินาที สามารถเจาะรูแต่ละครั้งได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกัน ขณะที่การใช้ความเร็วสแกน 300-800 มิลลิเมตร/วินาที เจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูแต่ละครั้งยังไม่คงที่ ดังนั้น จึงเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเจาะรูฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน คือ ความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 115 ไมครอน เพื่อใช้ในการเจาะรูต่อไป (ตารางที่ 4)

#### การเจาะรูฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน

เมื่อเจาะรูฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน โดยกำหนดความเร็วสแกน และกำลังเลเซอร์ระดับเดียวกับฟิล์ม OPP พบว่า การเจาะรูฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน ด้วยความเร็วสแกน 300-1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถเจาะรูได้ทะลุ เมื่อเพิ่มกำลังเลเซอร์เป็น 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 130 ไมครอน ซึ่งอยู่ในช่วงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูที่ต้องการ หากกำลังเลเซอร์เพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูที่ได้จะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2 และ 3) เมื่อทดลองเจาะรูซ้ำ โดยเจาะครั้งละ 1 รู ด้วยความเร็วสแกน 300-1,500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้ความเร็วสแกนในช่วง 300-1,500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 60-90 ไมครอน และเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเจาะรูฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน คือ ความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 70 ไมครอน (ตารางที่ 5)

คุณภาพของการเจาะรูด้วยเลเซอร์ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ในการเจาะรู เช่น กำลังของเลเซอร์ (laser power) ความยาวคลื่น (wavelength) พลังงาน (energy) จังหวะ (pulse duration) อัตราการซ้ำ (pulse repetition rate) และลักษณะของวัสดุ เช่น ชนิด ความหนา ชนิดของสารเติมแต่ง การนำความร้อน (thermal conductivity) ความจุความร้อน (heat capacity) (Winotapun *et al.*, 2014; Caiazza *et al.*, 2005; Olsen, 1995) ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ชนิดของฟิล์มมีผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะ โดยเมื่อทดลองเจาะรูฟิล์ม OPP และ LDPE ที่มีความหนา 30 ไมครอนเท่ากัน

พบว่า เมื่อใช้ความเร็วและกำลังเลเซอร์ระดับเดียวกัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะของฟิล์ม OPP จะใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะของฟิล์ม LDPE ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์ม LDPE มีค่า thermal diffusivity ต่ำกว่าฟิล์ม OPP โดยค่า thermal diffusivity เป็นความสามารถของวัสดุต่อการนำความร้อน สำหรับวัสดุที่มี thermal diffusivity สูง ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านได้เร็ว เนื่องจากวัสดุนำความร้อนได้ไว เมื่อเทียบกับปริมาตรความจุความร้อน หรือ thermal bulk ดังนั้น รูเจาะขนาดไมครอนบนวัสดุที่มี thermal diffusivity สูงกว่าจึงมีขนาดใหญ่กว่า (Winotapun *et al.*, 2014)

**ตารางที่ 2** ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของรูเจาะ (ไมครอน) ของฟิล์ม OPP และฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน เมื่อกำหนดความเร็วสแกน (scan speed) ที่ระดับ 300-600 กำลังเลเซอร์ (power) 20-60 เปอร์เซ็นต์

scan speed mm./sec.	power (%)	OPP		LDPE	
		1	2	1	2
300	20	139.52	166.46	-	n
	30	186.79	214.62	-	131.98
	40	-	-	-	145.07
	50	-	-	-	-
	60	-	-	-	-
400	20	140.44	117.93	n	-
	30	188.92	189.72	103.68	119.64
	40	-	-	n	141.06
	50	-	-	154.18	153.73
	60	-	-	174.92	-

500	20	n	89.71	n	-
	30	n	174.37	96.87	115.26
	40	190.84	206.25	117.44	137.56
	50	241.38	-	145.84	152.33
	60	-	-	-	-
600	20	143.23	70.31	n	-
	30	183.76	154.15	98.49	121.63
	40	204.58	193.30	141.74	136.74
	50	-	-	169.32	153.82
	60	-	-	-	-

- ไม่ได้วัดขนาดรูเจาะ เนื่องจากรูมีขนาดใหญ่เกินกว่าขนาดที่ต้องการ  
n เจาะรูไม่ทะลุ

**ตารางที่ 3** ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของรูเจาะ (ไมครอน) ของฟิล์ม OPP และฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน เมื่อกำหนดความเร็วสแกน (speed) ที่ระดับ 700-1,000 กำลังเลเซอร์ (power) 20-60 เปอร์เซ็นต์

scan speed	power	OPP		LDPE	
		1	2	1	2
700	20	131.93	n	n	-
	30	188.39	128.68	121.77	118.46
	40	-	173.17	-	141.19
	50	-	-	-	-
	60	-	-	-	-
800	20	137.69	n	n	-

	30	189.16	116.56	79.74	112.86
	40	-	170.77	134.80	139.97
	50	-	194.05	153.62	-
	60	-	-	-	-
900	20	145.80	n	n	-
	30	181.10	101.63	113.73	n
	40	-	163.98	155.76	n
	50	-	-	186.96	155.40
	60	-	-	-	179.24
1,000	20	n	n	n	-
	30	130.59	85.78	122.83	n
	40	177.79	147.25	158.14	n
	50	-	-	166.19	155.40
	60	-	-	-	185.74

- ไม่ได้วัดขนาดรูเจาะ เนื่องจากรูมีขนาดใหญ่เกินกว่าขนาดที่ต้องการ  
n เจาะรูไม่ทะลุ

**ตารางที่ 4** ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของรูเจาะ (ไมครอน) ของฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน เมื่อใช้ความเร็วสแกน (scan speed) 300-1,500 มิลลิเมตร/วินาที และกำลังเลเซอร์ (power) 20 เปอร์เซ็นต์

scan speed (mm./sec.)	power (%)	ครั้งที่	
		1	2
300	20	91.32	50.22
400	20	90.17	117.47

500	20	99.27	95.71
600	20	108.99	54.68
700	20	76.65	110.62
800	20	112.78	94.58
900	20	114.80	112.78
1,000	20	111.68	115.00
1,100	20	114.70	111.95
1,200	20	110.86	111.13
1,300	20	106.98	111.40
1,400	20	113.89	110.03
1,500	20	115.82	113.88

**ตารางที่ 5** ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของรูเจาะ (ไมครอน) ของฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน เมื่อใช้ความเร็วสแกน (scan speed) 300-1,500 มิลลิเมตร/วินาที และกำลังเลเซอร์ (power) 30 เปอร์เซ็นต์

scan speed (mm./sec.)	power (%)	ครั้งที่	
		1	2
300	30	77.48	70.32
400	30	69.52	73.07
500	30	61.76	70.32
600	30	89.97	82.73
700	30	84.65	83.55
800	30	73.07	76.96
900	30	68.93	67.56
1,000	30	73.62	64.52
1,100	30	53.49	40.27
1,200	30	83.27	47.73
1,300	30	76.14	82.74
1,400	30	86.05	65.36
1,500	30	84.38	81.90

**อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน**



เมื่อเจาะรูฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน ใช้ความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ และฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน ใช้ความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ต้องการ ลักษณะและขนาดของรูเจาะแสดงดังภาพที่ 4 และ 5 ตามลำดับ โดยรูเจาะของฟิล์ม OPP มีลักษณะกลม เส้นผ่าศูนย์กลางแน่นอนและแนวตั้งเท่ากับ 111.41 และ 118.59 ไมครอน ตามลำดับ ขณะที่รูเจาะของฟิล์ม LDPE มีลักษณะกลมเช่นเดียวกับฟิล์ม OPP แต่มีขอบหนากว่า เส้นผ่าศูนย์กลางแน่นอนและแนวตั้งเท่ากับ 72.81 และ 67.83 ไมครอน ตามลำดับ อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen transmission rate: OTR) ของฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน เจาะรูโดยใช้ความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวนรู 1 2 3 และ 4 รูเฉลี่ย 2,781.05 4,799.74 6,595.15 และ 9,792.49 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 6) สำหรับฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน เจาะรูโดยใช้ความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวนรู 1 2 3 และ 4 รู มี OTR เฉลี่ย 2,041.59 3,259.52 4,337.59 และ 5,115.07 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 7) (วิธีทดสอบ ASTM F3136 Oxygen Gas Transmission Rate through Plastic Film and Sheeting using a Dynamic Accumulation Method and a fluorescence-based sensor ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม ยี่ห้อ mocon รุ่น Optech ® O<sub>2</sub> – Platinum) โดยอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนของฟิล์มเจาะรูเพิ่มขึ้นตามจำนวนรูเจาะที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเจาะรูฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน ด้วยความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 7 12 และ 16 รู และเจาะรูฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน ด้วยความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 4 15 และ 22 รู ต่อถุงขนาด 20x28 เซนติเมตร จะได้ OTR ตามที่ต้องการคือ 5,000-10,000 10,001-15,000 และ 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของก๊าซผ่านฟิล์มเจาะรู เป็นผลรวมของการซึมผ่านของก๊าซผ่านรูเจาะและการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มพลาสติก โดยทั่วไปแล้วการไหลผ่านของก๊าซทั้งหมดผ่านรูเจาะจะสูงกว่าการเคลื่อนที่ของก๊าซผ่านฟิล์มพลาสติก (Fishman *et al.*, 1996) โดยการไหลของก๊าซผ่านรูเจาะขนาด 1 มิลลิเมตรบนฟิล์ม LDPE ความหนา 25 ไมครอน เกือบเท่ากับการไหลผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มขนาดพื้นที่ 0.5 ตารางเมตร ดังนั้นอาจคาดการณ์ได้ว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเจาะรูน่าจะเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการก๊าซออกซิเจนสูง (Mir and Beaudry, 2004)

**ตารางที่ 6** อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน) ของฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน เมื่อเจาะรูด้วยความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์

จำนวนรู	ครั้งที่			เฉลี่ย	SD
	1	2	3		
1	3,146.67	2,727.40	2,469.07	2,781.05	341.97
2	4,533.93	5,340.76	4,524.54	4,799.74	468.56
3	6,092.20	7,382.98	6,310.28	6,595.15	690.94
4	9,301.21	10,561.25	9,515.01	9,792.49	674.29

**ตารางที่ 7** อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน) ของฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน เมื่อเจาะรูด้วยความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์

จำนวนรู	ครั้งที่			เฉลี่ย	SD
	1	2	3		
1	2,188.89	2,040.78	1,895.11	2,041.59	146.89
2	3,459.20	3,402.46	2,916.91	3,259.52	298.07
3	4,338.27	4,268.76	4,405.74	4,337.59	68.49
4	5,568.18	4,549.65	5,227.37	5,115.07	518.47



ภาพที่ 1 ลักษณะและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะของฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน เมื่อเจาะรูโดยใช้ความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2 ลักษณะและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะของฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน เมื่อเจาะรูโดยใช้ความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์

## การทดลองที่ 2 การเก็บรักษาผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชีโดยใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน อัตราการหายใจ

ผลิตผลสามารถแบ่งกลุ่มได้ตามอัตราการหายใจสูงสุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยผลิตผลที่มีอัตราการหายใจ 20-100 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง จัดอยู่ในประเภทอัตราการหายใจปานกลาง ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจ 100-200 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง จัดอยู่ในประเภทอัตราการหายใจสูง และผลิตผลที่มีอัตราการหายใจมากกว่า 200 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง จัดอยู่ในประเภทอัตราการหายใจสูงมาก (จริงแท้, 2546) จากการทดลองวัดอัตราการหายใจของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชี พบว่า ผักสลัดบัตเตอร์เฮดมีอัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 10 15 และ 20 องศาเซลเซียสเท่ากับ 51.56 65.03 และ 93.01 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ จัดว่ามีอัตราการหายใจอยู่ในระดับสูง ส่วนถั่วฝักยาวมีอัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 10 15 และ 20 องศาเซลเซียสเท่ากับ 62.01 121.69 และ 187.62 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ จัดอยู่ในประเภทอัตราการหายใจระดับสูงมาก ขณะที่ผักชีมีอัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 10 15 และ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 112.65 155.68 และ 220.66 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ จัดว่ามีอัตราการหายใจอยู่ในระดับสูงมากพิเศษ (ตารางที่ 8) อัตราการหายใจของผักทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งอัตราการหายใจของผลิตผลขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล และอุณหภูมิ (Fonseca *et al.*, 2002)

เมื่อนำค่าอัตราการหายใจของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชี และน้ำหนักบรรจุต่อถุง มาคำนวณเพื่อคาดคะเนอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ของฟิล์มที่ผลิตผลต้องการเมื่อเก็บรักษาในถุงขนาด 20x28 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 10 15 และ 20 องศาเซลเซียส ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 9 โดย OTR ของฟิล์มที่ผลิตผลต้องการสำหรับการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อัตราการหายใจของผลิตผล ขนาดบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิในการเก็บรักษา ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการ (Cameron *et al.*, 1995; Christie *et al.*, 1995; Ishikawa and Hasegawa, 1998; Jacxsens *et al.*, 2000) และเมื่อพิจารณาอัตราการหายใจของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ร่วมกับผลการคาดคะเน OTR ของฟิล์มที่ผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชีต้องการ พบว่า OTR ของฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่สอดคล้องกับอัตราการหายใจของผักชนิดต่าง ๆ คือ ผักสลัดบัตเตอร์เฮดใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ถั่วฝักยาวใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน และผักชีใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน

### ตารางที่ 8 อัตราการหายใจ (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม/ชั่วโมง) ของผักสลัดบัตเตอร์เฮด

ถั่วฝักยาว และผักชี ที่อุณหภูมิ 10 15 และ 20 องศาเซลเซียส

ชนิด	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	10	15	20
ผักสลัดบัตเตอร์เฮด	51.56	65.03	93.01
ถั่วฝักยาว	62.01	121.69	187.62
ผักชี	112.65	155.68	220.66

**ตารางที่ 9** อัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนของฟิล์มที่ผักสลัดบัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว และผักชีต้องการเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 15 และ 20 องศาเซลเซียส (จากการคำนวณ)

ผลิตภัณฑ์	นน.บรรจุ (กรัม)	OTR (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .day) ที่ผลิตภัณฑ์ต้องการ		
		10° C	15 ° C	20 ° C
ผักสลัดบัตเตอร์เฮด	100	2,511.04	3,167.05	4,529.71
ถั่วฝักยาว	150	4,529.95	8,889.69	13,706.01
ผักชี	80	4,388.96	4,507.01	8,597.14

### ผักสลัดบัตเตอร์เฮด

#### การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์

ภายในถุงฟิล์มแอกทีฟ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน บรรจุผักสลัดบัตเตอร์เฮด มีปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน ภายในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีปริมาณออกซิเจนน้อยที่สุด คือ 13.56 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างจากกรรมวิธีอื่น รองลงมาคือถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู และถุงฟิล์มแอกทีฟ มีปริมาณออกซิเจนเท่ากับ 16.67 และ 18.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 21 วัน ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณก๊าซออกซิเจนใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 18.32-19.77 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับปริมาณก๊าซออกซิเจนในสภาพบรรยากาศ (ภาพที่ 3) สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าภายในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรูมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด แตกต่างกับกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 2.23-6.10 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ภายในถุงฟิล์มแอกทีฟ ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 0.50-2.60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.20-0.37 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4) สำหรับปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ พบว่า ภายในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรูมีปริมาณก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้นมากที่สุด และ

ค่อย ๆ ลดลง หลังเก็บรักษาเป็นเวลานาน 12 วัน ส่วนกรรมวิธีอื่น ๆ มีปริมาณก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 วัน หลังจากนั้นปริมาณเอทิลีนจะลดลง (ภาพที่ 5) ปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ผักสลัดบัตเตอร์เฮดมีการเปลี่ยนแปลงไปจากปริมาณเริ่มต้น ซึ่งการลดลงของก๊าซออกซิเจน และการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นผลมาจากการหายใจของผลิตผล ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างก๊าซระหว่างภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้เกิดแรงผลักดันในการเคลื่อนที่ของก๊าซผ่านเข้าออกบรรจุภัณฑ์ ระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ของการหายใจของผลิตผล และสมบัติการยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ และ/หรือรูเจาะขนาดเล็ก (Mir and Beaudry, 2004) ในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพลาสติก ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบรรจุภัณฑ์ มักสูงเป็น 2-8 เท่าของการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ถ้าอัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนของผลิตผลเท่ากับอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความแตกต่างของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต่ำกว่าความแตกต่างของระดับก๊าซออกซิเจน สำหรับฟิล์มที่มีการเจาะรู การซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีเพียง 0.77 เท่าของออกซิเจน ส่งผลให้ระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นไปใกล้เคียงกับระดับของก๊าซออกซิเจนที่ลดลง ดังนั้นผลรวมความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (oxygen and carbon dioxide partial pressure) มักจะอยู่ในช่วง 18-20 เปอร์เซ็นต์ (Mir and Beaudry, 2004) นอกจากนี้การบรรจุผลิตผลสดในถุงฟิล์มพลาสติกยังทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซเอทิลีน และสารระเหยอื่น ๆ (Kader, 1986) จากการทดลองครั้งนี้พบว่า ภายในถุงฟิล์มไม่เจาะรูมีปริมาณก๊าซเอทิลีนมากกว่าฟิล์มที่มีการเจาะรู ทั้งนี้เนื่องจากการเจาะรู จะลดการสะสมของก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ได้

### การสูญเสียน้ำหนัก

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 21 วัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 0.75 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์มแอกทีฟ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู และถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ขณะที่ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักมากถึง 6.00 และ 4.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 10) เนื้อเยื่อพืชมีแนวโน้มเกิดการสูญเสีย น้ำ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 99 ถึง 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปเมื่อมีการสูญเสีย น้ำมากกว่า 4 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด ผลิตผลส่วนใหญ่มักแสดงอาการเหี่ยว หรือผิวมีลักษณะย่น ซึ่งฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่มักไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ โดยความชื้นสัมพัทธ์ภายในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเจาะรูและไม่เจาะรูส่วนใหญ่มักใกล้เคียงกับจุดอิ่มตัวด้วยไอน้ำ อากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีน้ำเพียง 2.1 เปอร์เซ็นต์ และในสภาพบรรยากาศส่วนใหญ่จะมีความชื้นสัมพัทธ์ 30 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดระดับความแตกต่างของไอน้ำประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอัตราการปลดปล่อยไอน้ำจากผลิตผลที่รวดเร็วและมีแรงผลักดัน (driving force) เพียงเล็กน้อย

การเจาะรูจึงมีผลต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ไม่มาก (Mir and Beaudry, 2004) ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุงฟิล์มพลาสติกทั้งเจาะรูและไม่เจาะรูจึงสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้

### การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงสีของผักสลัดบัตเตอร์เฮดพิจารณาจากค่า  $L^*$  ซึ่งเป็นค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (dark) ถึง 100 (white) ค่า  $a^*$  ซึ่งเป็นค่าระดับสีแดง-เขียว และค่า  $b^*$  ซึ่งเป็นค่าระดับสีเหลือง-น้ำเงิน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดมีค่า  $a^*$  เป็นลบแสดงว่ามีสีเขียว ค่า  $a^*$  เป็นลบมากแสดงว่ามีสีเขียวมาก และมีค่า  $b^*$  เป็นบวก แสดงว่ามีสีเหลือง ค่า  $b^*$  เป็นบวกมากแสดงว่ามีสีเหลืองมาก พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 21 วัน ค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก ผักสลัดบัตเตอร์เฮดทุกกรรมวิธีมีค่า  $L^*$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์มแอกทีฟมีค่า  $L^*$  มากที่สุด แตกต่างจากผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู ผักสลัดบัตเตอร์เฮดทุกกรรมวิธีมีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 6 18 และ 21 วัน ขณะที่เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 9 18 และ 21 วัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดทุกกรรมวิธีมีค่า  $b^*$  ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเก็บรักษานาน 21 วัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีค่า  $L^*$  น้อยที่สุด คือ 47.05 ขณะที่ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีสีเขียวมากที่สุด คือ มีค่า  $a^*$  เฉลี่ย -16.45 และผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีสีเหลืองน้อยที่สุด คือมีค่า  $b^*$  เฉลี่ย 31.56 (ตารางที่ 11-13) จากการศึกษาของ Nunes (2008) พบว่า การเปลี่ยนแปลงสีของผักสลัดบัตเตอร์เฮดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา ค่า  $L^*$  ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า 5 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา หมายความว่ามีการเปลี่ยนสีจากเขียวเข้มเป็นสีเขียวย่อน ขณะที่ค่า  $L^*$  ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า hue value ของผักสลัดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 หรือ 15 องศาเซลเซียสลดลง โดยเป็นผลจากการเปลี่ยนสีของใบจากสีเขียวอมเหลืองเป็นสีเหลืองอมเขียว ขณะที่ค่า hue value ของผักสลัดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 หรือ 5 องศาเซลเซียสไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บรักษา และค่า chroma จะลดลง ในผักสลัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 15 และ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้

### คุณภาพทางเคมี

เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดทุกกรรมวิธีมีค่าลดลงเล็กน้อย ส่วนปริมาณวิตามินซีมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรูมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด คือ 0.89 ไมโครกรัม และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากที่สุด คือ 2.87 บริกซ์ แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่น ขณะที่ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่

มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณวิตามินซีมากที่สุด คือ 5.00 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร (ตารางที่ 14-16) ระหว่าง senescence สีเขียวของพีจะหายไปและปรากฏสีเหลืองหรือแดงขึ้น เป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2549) โดยการสลายตัวของคลอโรฟิลล์มีผลมาจากเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (chlorophyllase) (Shimokawa *et al.*, 1987) ซึ่งการสูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์จากผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมาแล้วบ่งบอกถึงความชราภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดระหว่างการเก็บรักษา เกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงสีของผักจากสีเขียวเข้มไปเป็นสีเหลืองอมเขียว การเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ รวมถึงการลดอุณหภูมิและแสงสว่าง สามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ (จริงแท้, 2546; Nunes, 2008) ผักสลัดบัตเตอร์เฮดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ลดลงเนื่องจาก ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวปริมาณคาร์โบไฮเดรตในผลผลิตมีการเปลี่ยนแปลง โดยผลผลิตที่มีการหายใจอยู่ตลอดเวลาจะมีการใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหรือพลังงาน ทำให้ปริมาณที่มีสะสมอยู่ลดน้อยลง ส่งผลให้มีรสชาติจืดชืดไม่น่ารับประทาน (จริงแท้, 2546)

#### คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส

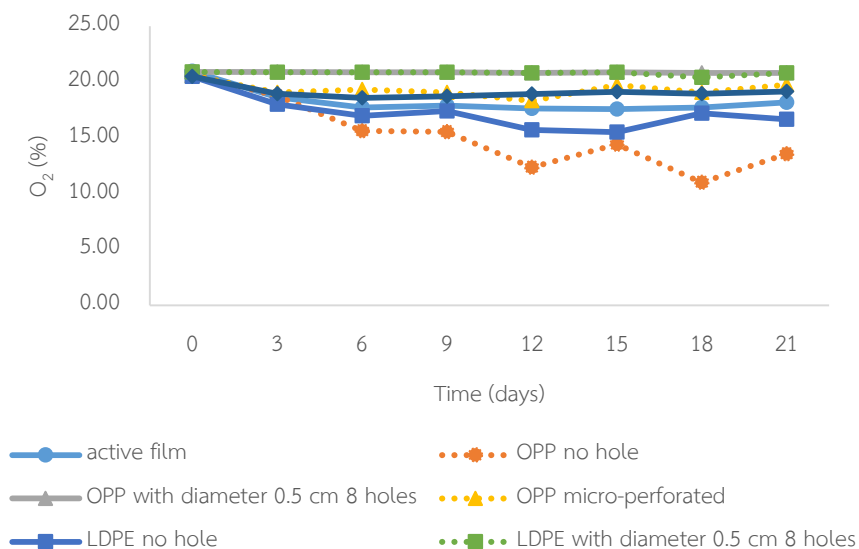
การประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผักสลัดบัตเตอร์เฮด โดยการให้คะแนน พบว่า ผักสลัดบัตเตอร์เฮดมีคะแนนความสดลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 15 วัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีคะแนนความสดเท่ากับ 3 คะแนน คือ มีลักษณะสดปานกลาง ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย ขณะที่ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ ฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู ฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีคะแนนความสดเท่ากับ 2 คะแนน คือ มีลักษณะสดเล็กน้อย ใบเริ่มเหี่ยว ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีคะแนนความสดมากที่สุด อย่างไรก็ตามผักสลัดบัตเตอร์เฮดทุกกรรมวิธีมีคะแนนความสดอยู่ระดับ 2 (ตารางที่ 17)

เมื่อเก็บรักษานาน 18 วัน ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุในถุงฟิล์มแอคทีฟ ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู และถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีคะแนนลักษณะปรากฏเท่ากับ 2 คะแนน คือ ใบเหี่ยว มีรอยเน่า มีรอยข้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ขณะที่ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีคะแนนลักษณะปรากฏเท่ากับ 3 คะแนน (ตารางที่ 18)

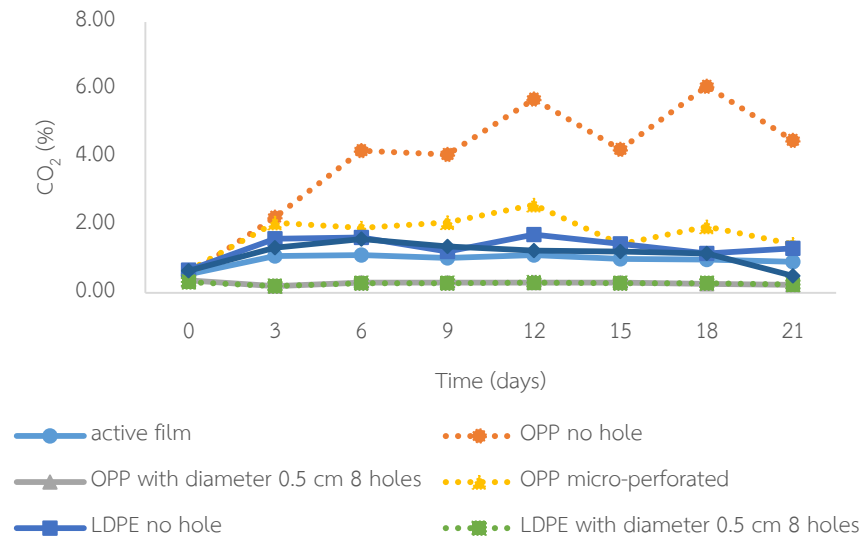
คะแนนความชอบรวมของผักสลัดบัตเตอร์เฮดทุกกรรมวิธีมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุฟิล์มแอคทีฟ และถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู สามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน ส่วนผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุฟิล์ม OPP



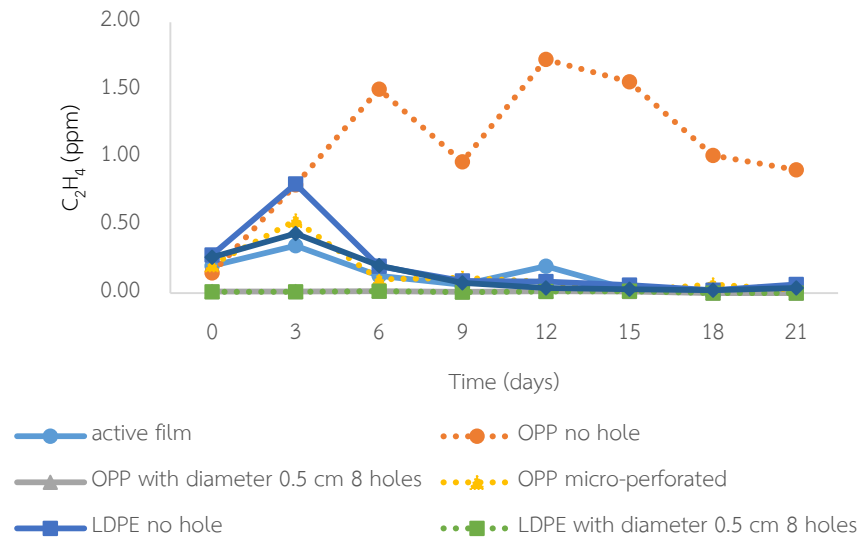
และ LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู สามารถเก็บรักษาได้นาน 18 วัน โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ย 6 คะแนน คือ ชอบเล็กน้อย ซึ่งถือว่ายังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เมื่อเก็บรักษานานขึ้น คะแนนความชอบรวมจะลดลง และไม่เป็นที่ยอมรับ ขณะที่ผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด 21 วัน โดยยังมีคะแนนความชอบรวมเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (ตารางที่ 19)



ภาพที่ 3 ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ บรรจุผักสลัดบัตเตอร์เฮด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ บรรจุผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5 ปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในถุงบรรจุฟิล์มชนิดต่าง ๆ บรรจุผู้กสัดแบตเตอรี่เฮด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

**ตารางที่ 10** การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์) ของผักสลัดแบตเตอรี่ที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	0.00 A	1.20 ab C	0.54 a AB	0.33 a AB	0.67 a BC	0.49 a AB	0.60 a AB	0.78 a BC
OPP ไม่เจาะรู	0.00 A	0.94 a B	0.54 a AB	0.38 a AB	0.62 a B	0.76 a B	0.77 a B	0.98 a B
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.00 A	1.63 b BC	1.44 b B	1.48 b B	2.15 b C	3.61 b D	4.25 b E	6.00 c F
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	0.00 A	1.12 ab CD	0.57 a BC	0.40 a AB	0.68 a BCD	0.84 a BCD	0.91 a BCD	1.20 a D
LDPE ไม่เจาะรู	0.00 A	1.31 ab C	0.38 a AB	0.28 a AB	0.40 a AB	0.41 a AB	0.51 a AB	0.77 a B
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.00 A	1.62 b B	2.23 c C	2.35 c C	2.22 b C	3.22 b D	4.39 b E	4.71 b E
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	0.00 A	0.91 a B	0.39 a AB	0.35 a AB	0.62 a B	0.40 a AB	0.68 a B	0.75 a B

CV (กรรมวิธี) 44.5% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 40.8%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

**ตารางที่ 11** ค่าความสว่าง (L\*) ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	50.06 b AB	47.99 B	52.03 a A	49.68 AB	48.43 AB	50.01 AB	48.98 AB	48.00 B
OPP ไม่เจาะรู	53.11 ab A	47.92 BC	48.62 ab BC	48.80 BC	49.93 ABC	50.98 AB	47.09 C	48.45 BC
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	52.29 ab A	47.74 B	50.27 ab AB	48.72 AB	47.90 B	48.77 AB	49.53 AB	47.78 B
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	51.64 ab A	48.09 AB	51.04 ab A	46.13 B	49.08 AB	50.37 A	48.06 AB	48.88 AB
LDPE ไม่เจาะรู	49.95 b A	47.82 A	47.58 b A	49.35 A	50.86 A	50.17 A	48.00 A	48.69 A
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	54.43 a A	47.30 B	48.50 ab B	48.58 B	48.12 B	49.45 B	49.33 B	49.74 B
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	52.94 ab A	48.22 BC	50.38 ab AB	46.63 C	49.73 ABC	48.76 BC	49.38 BC	47.05 BC
CV (กรรมวิธี) 4.9% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 5.8%								

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ตารางที่ 12 ค่าสีเขียว (a\*) ของผักสลัดปัตเตอร์เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	-15.65 c A	-16.12 A	-16.27 A	-16.04 a A	-16.10 ab A	-15.76 c A	-15.95 A	-16.02 A
OPP ไม่เจาะรู	-16.27 bc AB	-15.88 AB	-16.53 A	-15.49 ab B	-16.43 a A	-15.93 bc AB	-15.49 B	-16.31 A
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	-15.95 bc A	-16.18 A	-15.73 A	-16.16 a A	-15.52 b A	-15.83 bc A	-16.18 A	-15.82 A
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	-16.45 ab AB	-16.17 AB	-15.90 B	-15.70 a B	-16.34 a AB	-16.89 a A	-16.01 B	-16.45 AB
LDPE ไม่เจาะรู	-16.74 ab A	-15.66 C	-16.90 ABC	-15.91 a BC	-15.79 ab BC	-16.59 ab AB	-16.26 ABC	-16.04 ABC
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	-16.56 ab A	-15.74 AB	-16.31 AB	-15.64 a B	-16.06 ab AB	-15.97 bc AB	-15.75 AB	-16.04 AB
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	-17.10 a A	-16.12 B	-16.50 AB	-14.88 b C	-16.39 a AB	-15.86 bc B	-16.17 B	-15.97 B
CV (กรรมวิธี) 4.0% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 3.9%								

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

**ตารางที่ 13** ค่าสีเหลือง (b\*) ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	34.25 a AB	33.62 ab A	36.72 c B	34.65 AB	33.78 ab A	33.67 ab A	32.71 A	32.13 A
OPP ไม่เจาะรู	36.34 ab C	32.30 ab A	35.42 bc BC	33.18 AB	35.43 bc AB	36.66 c C	31.36 A	32.18 A
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	36.12 ab B	33.13 ab A	33.53 ab AB	33.09 A	31.82 a A	33.03 a A	33.35 AB	32.11 A
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	37.41 b C	35.08 b ABC	35.87 bc BC	34.46 ABC	34.78 bc ABC	34.82 abc ABC	33.01 AB	32.72 A
LDPE ไม่เจาะรู	37.03 ab BC	32.72 ab A	31.95 a A	34.45 AB	37.75 c C	36.06 bc BC	33.09 A	33.07 A
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	37.49 b B	31.93 a A	33.67 ab A	33.40 A	35.01 bc AB	32.81 a A	33.38 A	34.52 A
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	37.42 b D	34.99 ab BCD	37.06 c D	32.17 AB	35.93 bc CD	31.84 a A	33.53 ABC	31.56 A

CV (กรรมวิธี) 7.4% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 7.0%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

**ตารางที่ 14** ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัม) ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	1.59 a A	0.99 ab B	0.74 BC	0.80 BC	0.75 BC	0.76 BC	0.57 ab C	0.84 BC
OPP ไม่เจาะรู	1.34 ab A	0.90 ab B	0.76 BC	0.85 B	0.40 D	0.42 CD	0.65 ab BCD	0.73 BCD
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.90 cd AB	0.98 ab A	0.84 AB	0.81 AB	0.65 AB	0.60 B	0.79 ab AB	0.70 AB
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	0.83 cd B	1.22 a A	0.57 B	0.71 B	0.54 B	0.59 B	0.86 a B	0.63 B
LDPE ไม่เจาะรู	1.11 bc A	0.85 b ABC	0.65 BC	0.68 BC	0.57 BC	0.52 C	0.83 a ABC	0.89 AB



LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.75 d AB	1.04 ab A	0.65 B	0.65 B	0.61 B	0.72 AB	0.63 ab B	0.75 AB
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	0.83 cd AB	0.83 b AB	0.86 A	0.76 AB	0.60 AB	0.76 AB	0.47 b B	0.68 AB

CV (กรรมวิธี) 17.0% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 25.6%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

**ตารางที่ 15** ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (บริกซ์) ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอกทิฟ	3.47 a A	3.08 abc B	2.88 BC	2.68 C	3.12 a B	2.73 ab C	2.83 abc BC	2.70 C

OPP ไม่เจาะรู	3.30 abc A	3.12 ab AB	2.75 C	2.90 BC	2.87 ab BC	2.57 ab C	2.85 abc BC	2.80 BC
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	3.02 cd A	2.68 d AB	2.80 AB	2.90 AB	2.95 ab AB	2.65 ab B	3.00 ab A	2.85 AB
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	2.95 d A	3.00 a-d A	2.95 A	2.70 AB	2.53 c B	2.80 a AB	2.80 abc AB	2.82 AB
LDPE ไม่เจาะรู	3.08 bcd A	2.83 bcd A	2.87 A	2.80 AB	2.52 c BC	2.45 b C	3.08 a A	2.87 A
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	3.43 a A	3.27 a AB	3.00 BC	2.82 CD	2.68 bc CD	2.50 ab D	2.63 c D	2.78 CD
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	3.37 ab A	2.78 cd BC	2.85 B	2.93 B	2.45 c C	2.75 ab BC	2.73 bc BC	2.68 BC

CV (กรรมวิธี) 5.0% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 6.5%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ตารางที่ 16 ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอกทีฟ	4.11 a A	3.65 a B	3.53 bc BC	4.12 BC	4.31 ab BC	5.10 a BC	3.95 b C	3.73 c BC
OPP ไม่เจาะรู	3.40 ab A	3.64 a B	4.22 b BC	4.22 B	3.43 c D	3.92 b CD	4.34 ab BCD	4.22 abc BCD
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	3.30 ab AB	3.44 a A	3.72 bc AB	4.12 AB	3.53 bc AB	3.82 b B	4.54 ab AB	4.41 abc AB
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	3.29 ab B	3.02 ab A	3.33 c B	4.02 B	4.02 abc B	4.41 ab B	4.93 a B	5.00 a B
LDPE ไม่เจาะรู	3.19 b A	2.32 b ABC	3.92 bc BC	4.12 BC	3.43 c BC	3.72 b C	4.04 b ABC	4.12 bc AB
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	3.91 ab AB	3.75 a A	5.49 a B	4.71 B	4.51 a B	4.31 ab AB	4.93 a B	4.80 ab AB
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	4.12 a AB	3.75 a AB	4.12 bc A	4.12 AB	3.72 abc AB	4.51 ab AB	4.44 ab B	4.31 abc AB

CV (กรรมวิธี) 9.6% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 11.6%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ตารางที่ 17 คะแนนความสดของผักสลัดแบตเตอรี่เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอคทีฟ	5.00	5.00	4.89	3.72	3.33	2.78	2.72	2.44
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	5.00	5.00	4.94	3.72	3.89	3.17	2.94	2.50
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	4.50	3.94	3.28	2.89	2.50	2.28
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	4.50	4.06	3.72	3.17	2.93	2.44
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	5.00	5.00	4.83	3.89	3.44	2.94	3.00	2.44
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	4.94	4.00	3.39	2.67	2.89	2.28
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	4.78	3.89	3.83	3.17	2.89	2.67

5=สดมาก 4=สด 3=สดปานกลาง ผักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย 2=สดเล็กน้อย ผักเริ่มเหี่ยวเล็กน้อย เปลี่ยนเป็นสีเหลือง

1=ไม่สด ผักเหี่ยว เปลี่ยนเป็นสีเหลืองมาก

**ตารางที่ 18** คะแนนลักษณะปรากฏของผักสลัดแบตเตอรี่เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอคทีฟ	5.00	4.94	4.78	3.61	3.44	2.94	2.56	2.83
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	5.00	4.94	4.83	3.83	3.56	3.17	2.67	2.83
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	4.94	4.39	3.89	3.61	3.00	2.67	2.50
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	4.39	4.06	3.67	3.11	2.87	2.78
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	5.00	4.89	4.61	3.72	3.61	2.94	3.17	2.61
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	4.94	4.67	3.94	3.56	2.89	3.00	2.67
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	4.94	4.61	3.89	3.83	3.22	3.00	2.89

5=ผักมีลักษณะสดมาก ไม่เหี่ยว ไม่เน่า ไม่ช้ำ และไม่มีคามผิดปกติทางสรีรวิทยา 4=ผักมีลักษณะสด ไม่เหี่ยว ไม่เน่า ไม่ช้ำ และไม่มีคามผิดปกติทางสรีรวิทยา 3=ผักมีลักษณะเหี่ยวเล็กน้อย เริ่มเน่า เริ่มมีรอยช้ำ และเริ่มมีความผิดปกติทางสรีรวิทยาเล็กน้อย ประมาณ 1-25 เปอร์เซ็นต์ 2=ผักเหี่ยว มีรอยเน่า มีรอยช้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ประมาณ 26-50 เปอร์เซ็นต์ 1=ผักเหี่ยว เน่า ช้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ 19** คะแนนความชอบรวมของผักสลัดแบตเตอรี่เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอคทีฟ	9.00	8.94	8.89	7.61	7.17	6.44	5.67	5.56
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	9.00	8.89	8.94	7.72	7.50	6.78	6.11	5.94
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	9.00	9.00	8.50	7.83	7.39	6.72	5.50	5.11
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	9.00	9.00	8.50	8.06	7.67	6.72	6.27	4.67
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	9.00	8.94	8.78	7.78	7.67	6.83	6.78	4.67
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	9.00	8.94	8.67	7.89	7.50	6.28	6.56	4.39
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	9.00	8.94	8.83	7.89	8.00	7.22	6.50	6.19

9=ชอบมากที่สุด 8=ชอบมาก 7=ชอบปานกลาง 6=ชอบเล็กน้อย 5=เฉย ๆ 4=ไม่ชอบเล็กน้อย 3=ไม่ชอบปานกลาง 2=ไม่ชอบมาก 1=ไม่ชอบมากที่สุด

(ระดับคะแนนต่ำกว่า 6 ถือว่าหมดอายุการวางจำหน่าย)



ภาพที่ 6 ลักษณะปรากฏของผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน



## ถั่วฝักยาว

### การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์

ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงฟิล์มแอกทีฟ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรูบรรจุถั่วฝักยาว มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 วัน หลังจากนั้นปริมาณค่อนข้างคงที่ ขณะที่ภายในถุงฟิล์ม LDPE และ OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณก๊าซออกซิเจนค่อย ๆ ลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ภายในถุงฟิล์มแอกทีฟ และถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุด ไม่แตกต่างกันเท่ากับ 0.17 และ 0.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ภายในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน ที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณก๊าซออกซิเจนไม่แตกต่างกัน อยู่ระหว่าง 5.37-7.41 เปอร์เซ็นต์ ภายในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีปริมาณก๊าซออกซิเจนตลอดระยะเวลาเก็บรักษาอยู่ระหว่าง 20.01-20.98 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 7) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ภายในถุงฟิล์มทุกกรรมวิธีมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ภายในถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด เท่ากับ 15.02 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ภายในถุงฟิล์มแอกทีฟ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 9.57-13.08 เปอร์เซ็นต์ ภายในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด ไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.67 และ 0.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 8) สำหรับปริมาณก๊าซเอทิลีน พบว่า ภายในถุงฟิล์มทุกกรรมวิธีมีปริมาณก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ภายในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีปริมาณก๊าซเอทิลีนมากที่สุดเท่ากับ 7.3717 พีพีเอ็ม แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ภายในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีปริมาณก๊าซเอทิลีนน้อยที่สุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.0421 และ 0.0342 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ภาพที่ 9) เมื่อบรรจุผลิตผลสดซึ่งยังมีการหายใจในถุงฟิล์มพลาสติก สภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างการหายใจที่มีการใช้ก๊าซออกซิเจน และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตผล และการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มบรรจุภัณฑ์ (Jacxsens *et al.*, 1999) การบรรจุผลิตผลที่มีการหายใจในถุงฟิล์มที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนน้อยกว่าอัตราการใช้ออกซิเจนของผลิตผล จะทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนอยู่ในระดับต่ำมาก และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมาก ซึ่งอาจทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับการหายใจของผลิตผล ส่งผลให้เกิดการหายใจ

แบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติหรือเนื้อเยื่อได้รับความเสียหาย รวมถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมาก อาจทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$  injury) ได้ (Mir and Beaudry, 2004.) โดยทั่วไปแล้วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถซึมผ่านฟิล์มพลาสติกได้เร็วกว่าก๊าซออกซิเจน ดังนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเคลื่อนที่ออกจากบรรจุภัณฑ์ได้เร็วกว่าก๊าซออกซิเจน ที่ที่แพร่เข้ามา ส่งผลให้ที่สภาพบรรยากาศสมดุลจะมีก๊าซออกซิเจนต่ำ และมีคาร์บอนไดออกไซด์สัมพัทธ์ต่ำ ซึ่งช่วงของสัดส่วนระหว่างอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจน ( $\text{CO}_2/\text{O}_2$  permeability ratios) ของฟิล์มพลาสติกแต่ละชนิด จะเป็นตัวกำหนดช่วงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ ฟิล์มที่มีรูขนาดเล็กยอมให้ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เข้ามาได้ในอัตราที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น สัดส่วนของก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้จึงมีจำกัด ซึ่งไม่สามารถมีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ (1-2 เปอร์เซ็นต์) โดยไม่มีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง (15-20 เปอร์เซ็นต์) (Zagory, 1997)

### การสูญเสียน้ำหนัก

ถั่วฝักยาวทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน และถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด คือมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู และถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ เท่ากับ 1.91 และ 2.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 20) การเก็บรักษาผลผลิตสดในบรรจุภัณฑ์พลาสติกจะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ โดยในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ผลผลิตจะมีอัตราการหายใจต่ำลง ส่งผลให้อัตราการคายน้ำลดลง นอกจากนี้ฟิล์มพลาสติกยังช่วยป้องกันการระเหยของน้ำจากผลผลิตได้อีกด้วย (Zagory and Kader, 1988)

### แรงที่ใช้ในการตัดให้ขาด

เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ถั่วฝักยาวบรรจุในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีค่าแรงที่ใช้ในการตัดให้ขาดเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน มีค่าแรงที่ใช้ในการตัดให้ขาดเท่ากับ 46.04 นิวตัน แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ถั่วฝักยาวบรรจุในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีค่าแรงที่ใช้ในการตัดให้ขาดน้อยที่สุดเท่ากับ 19.93 และ 20.27 นิวตัน ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 21) การที่ถั่วฝักยาวบรรจุในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีค่าแรงที่ใช้ในการตัดให้ขาดมากกว่ากรรมวิธีอื่น อาจเป็นไปได้ว่าถั่วฝักยาวอยู่ในสภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ทำให้เกิดความเครียด (stress) จึงทำให้มีการสร้างลิกนิน (lignification) เพิ่มมากขึ้น (Vanholm *et al.*, 2010)

### คุณภาพทางเคมี

ถั่วฝักยาวบรรจุในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีแนวโน้มมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงมากที่สุด ขณะที่ ถั่วฝักยาวกรรมวิธีอื่นมีปริมาณคลอโรฟิลล์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน ถั่วฝักยาวบรรจุในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยที่สุด เท่ากับ 0.22 ไมโครกรัม แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 22) ทั้งนี้เนื่องจากสภาพภายในบรรจุภัณฑ์ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีปริมาณก๊าซเอทิลีนสูง จึงกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และเข้าสู่การชราภาพได้เร็วกว่ากรรมวิธีอื่น (จริงแท้, 2546) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ถั่วฝักยาวทุกกรรมวิธี มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ลดลง โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ มากที่สุดเท่ากับ 4.47 บริกซ์ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มแอกทีฟ ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู ขณะที่ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุดเท่ากับ 3.78 บริกซ์ ไม่แตกต่างทางสถิติกับถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มแอกทีฟ ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู (ตารางที่ 23) ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวปริมาณน้ำตาลในผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงลดลง เนื่องจากผลิตผลมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา และใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน ทำให้ปริมาณที่มีสะสมอยู่ลดน้อยลง อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลที่ลดน้อยลงเนื่องจากการหายใจอยู่ในระดับต่ำมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียน้ำ หรือมีการเปลี่ยนน้ำตาลไปอยู่ในรูปต่าง ๆ ซึ่งผลิตผลที่มีน้ำตาลอยู่น้อย น้ำตาลจะหมดไป ทำให้มีรสจืดชืด (จริงแท้, 2546)

#### **คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส**

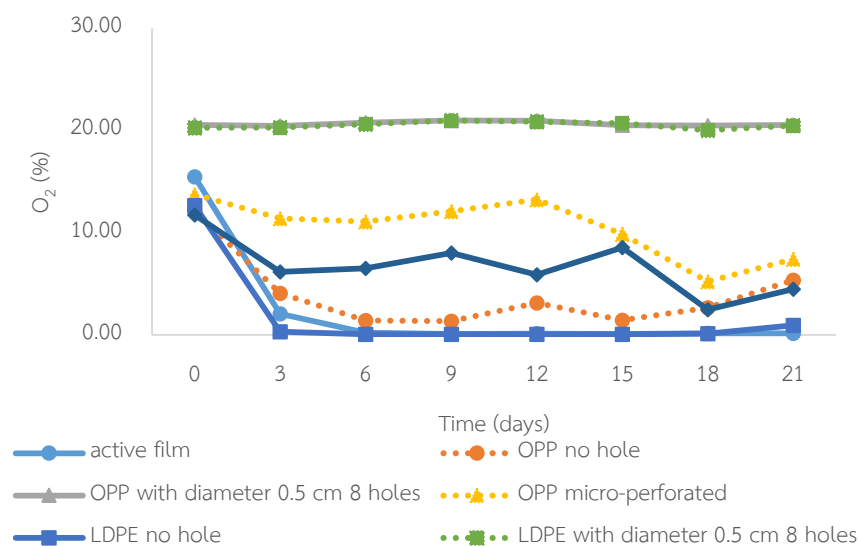
การประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของถั่วฝักยาว โดยการให้คะแนน พบว่า ถั่วฝักยาวมีคะแนนความสดลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 15 วัน ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน ที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน และถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู มีคะแนนความสดอยู่ระดับ 3 คือ มีลักษณะสดปานกลาง ขณะที่ ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มแอกทีฟ และถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีคะแนนความสดอยู่ระดับ 2 คือ มีลักษณะสดเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน ถั่วฝักยาวบรรจุในถุงฟิล์มแอกทีฟ เพียงกรรมวิธีเดียวที่ยังคงมีลักษณะสดปานกลาง ขณะที่กรรมวิธีอื่นมีลักษณะสดเล็กน้อย (ตารางที่ 24)

ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน ที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน พบว่ามีกลิ่นผิดปกติ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 6 วัน ขณะที่ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มแอกทีฟ มีกลิ่นผิดปกติเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 9 วัน และกลิ่นผิดปกติเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน พบว่า ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีคะแนนการเกิดกลิ่นผิดปกติมากที่สุด

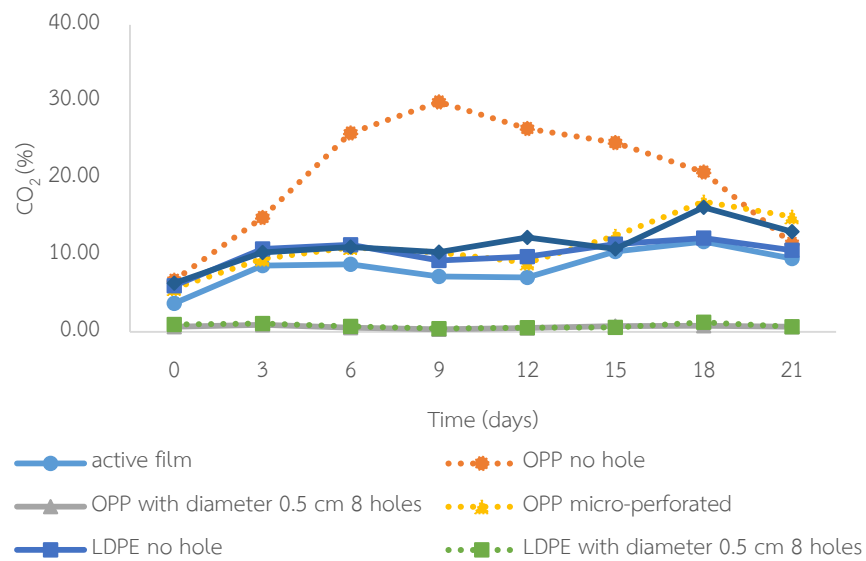
เท่ากับ 5 คะแนน คือ มีกลิ่นผิดปกติรุนแรง รองลงมาคือถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ และถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู มีคะแนนการเกิดกลิ่นผิดปกติเท่ากับ 4 คะแนน คือ มีกลิ่นผิดปกติมาก ขณะที่ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู และถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีการเกิดกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย ส่วนถั่วฝักยาวบรรจุในถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีกลิ่นผิดปกติปานกลาง (ตารางที่ 25)

ถั่วฝักยาวทุกกรรมวิธีมีคะแนนลักษณะปรากฏลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาสั้นขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาสั้น 12 วัน ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีคะแนนลักษณะปรากฏเท่ากับ 2 คะแนน คือ ฝักมีลักษณะเหี่ยว มีรอยเน่า มีรอยขีด และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ขณะที่ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู และถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีคะแนนลักษณะปรากฏเท่ากับ 4 คะแนน ส่วนถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีคะแนนลักษณะปรากฏเท่ากับ 3 คะแนน เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาสั้น 21 วัน ถั่วฝักยาวทุกกรรมวิธีมีคะแนนลักษณะปรากฏน้อยกว่า 3 คะแนน (ตารางที่ 26)

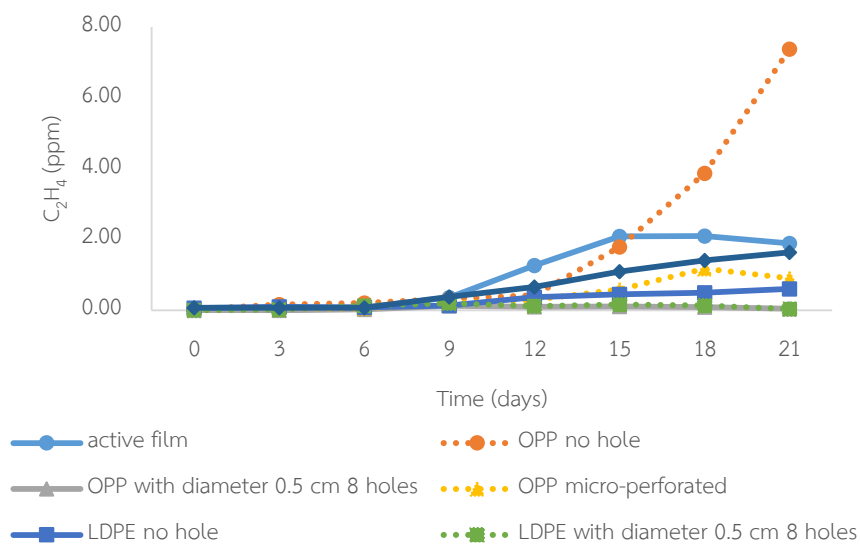
เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาสั้นขึ้น ถั่วฝักยาวทุกกรรมวิธีมีคะแนนความชอบรวมลดลง ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 วัน ขณะที่ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน สามารถเก็บรักษาได้นาน 12 วัน ส่วนถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู สามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน โดยมีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 6 คะแนน คือ ชอบเล็กน้อย ซึ่งยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (ตารางที่ 27)



ภาพที่ 7 ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ บรรจุถั่วฝักยาว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ บรรจุถั่วฝักยาว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 9 ปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ บรรจุถั่วฝักยาว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 20 การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วฝักยาวที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอกทีฟ	0.00 A	0.19 AB	0.41 ab BC	0.43 a BC	0.66 ab CD	0.79 a D	0.90 ab D	0.87 a D
OPP ไม่เจาะรู	0.00 A	0.24 A	0.62 ab B	0.71 ab B	0.92 bc BC	1.11 bc C	1.79 c D	1.91 c D
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.00 A	0.38 B	0.65 ab BC	0.89 b CD	0.98 c C	1.27 c E	2.03 c F	2.04 c F
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	0.00 A	0.26 BC	0.46 ab CD	0.58 ab D	0.70 ab DE	0.90 ab EF	1.01 ab F	0.99 a EF
LDPE ไม่เจาะรู	0.00 A	0.25 AB	0.42 ab BC	0.46 a BCD	0.58 ab CDE	0.74 a DEF	0.90 ab F	0.81 a EF
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.00 A	0.34 B	0.68 b C	0.64 ab C	1.06 c D	0.96 ab D	1.16 b DE	1.39 b E
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	0.00 A	0.17 AB	0.34 a BC	0.49 a CD	0.59 a CD	0.65 a D	0.79 a D	0.79 a D

CV (กรรมวิธี) 42.6% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 35.4%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

**ตารางที่ 21** แรงที่ใช้ในการตัดให้ขาด (นิวตัน) ของถั่วฝักยาวที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	21.25 a A	21.63 AB	23.81 AB	23.81 AB	25.12 a B	25.27 a B	24.20 a AB	24.65 b AB
OPP ไม่เจาะรู	23.93 ab A	23.35 A	23.06 A	24.91 A	28.80 b B	33.07 b C	40.86 b D	46.04 c E
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	24.20 ab BC	22.79 AB	23.29 AB	25.25 BC	24.97 a BC	27.22 a C	25.15 a BC	19.93 a A
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	25.60 b BC	23.38 B	23.41 B	24.18 BC	24.06 a BC	27.29 a C	22.93 a B	24.08 b BC
LDPE ไม่เจาะรู	24.75 ab BC	22.36 B	22.84 BC	23.87 BC	25.96 ab BC	26.28 a C	26.56 a C	25.60 b BC
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	24.71 ab C	23.40 BC	23.62 BC	24.47 C	24.54 a C	25.19 a C	23.30 a BC	20.27 a B
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	26.03 b C	23.97 C	23.81 C	24.81 C	24.21 a C	26.51 a C	23.58 a C	23.80 b C
CV (กรรมวิธี) 11.7% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 11.9%								

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT



ตารางที่ 22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัม) ของถั่วฝักยาวที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอกทีฟ	0.43 bc CD	0.40 DE	0.47 bc BC	0.45 ab BC	0.49 a AB	0.52 ab A	0.38 a E	0.46 a BC
OPP ไม่เจาะรู	0.51 a A	0.39 C	0.47 bc AB	0.49 a A	0.44 b BC	0.43 d BC	0.30 b D	0.22 b E
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.46 abc ABC	0.37 D	0.51 ab A	0.50 a AB	0.47 ab ABC	0.43 d C	0.37 a D	0.45 a BC
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	0.48 ab AB	0.41 C	0.46 c ABC	0.46 ab ABC	0.47 ab AB	0.50 bc A	0.33 b D	0.44 a BC
LDPE ไม่เจาะรู	0.45 bc BC	0.37 D	0.52 a A	0.42 b CD	0.47 ab B	0.55 a A	0.41 a CD	0.44 a BC
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.42 c BC	0.38 C	0.45 c AB	0.42 b BC	0.48 ab A	0.47 cd AB	0.38 a C	0.46 a AB
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	0.48 ab AB	0.40 CD	0.44 c BC	0.47 ab AB	0.49 a A	0.47 cd AB	0.38 a D	0.43 a BC
CV (กรรมวิธี) 8.4% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 9.0%								

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

**ตารางที่ 23** ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (บrikซ์) ของถั่วฝักยาวที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	5.25 A	5.43 ab A	5.72 ab A	5.48 a A	5.22 a A	4.25 B	4.20 a B	4.17 ab B
OPP ไม่เจาะรู	5.52 A	5.43 ab A	5.25 b A	4.55 b B	4.62 b B	4.28 B	3.65 b C	4.10 ab BC
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.75 A	5.48 ab A	5.45 ab A	4.65 b B	4.88 ab B	4.13 C	3.92 ab C	3.78 b C
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	5.75 A	5.45 ab AB	5.18 b BC	5.05 ab BC	4.82 ab C	3.92 D	4.30 a D	3.97 ab D
LDPE ไม่เจาะรู	5.53 A	5.03 b AB	5.22 b AB	4.98 ab B	4.88 ab BC	4.08 D	4.28 a D	4.47 a CD
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.63 A	5.67 a A	5.38 ab A	4.05 c C	4.73 ab B	3.85 C	4.05 ab C	3.97 ab C
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	5.65 AB	5.35 ab B	5.90 a A	4.85 b C	4.58 b CD	4.10 D	4.30 a D	4.20 ab D
CV (กรรมวิธี) 7.5% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 8.9%								

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT  
 ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

**ตารางที่ 24** คะแนนความสดของถั่วฝักยาวที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอคทีฟ	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	2.75	3.00	3.00
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	5.00	5.00	5.00	3.50	4.00	2.08	1.67	1.50
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.00	2.50	1.00

ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.00	3.17	2.50
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.50	2.50	2.50
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.00	2.00	1.00
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	5.00	4.50	3.50	3.00	3.00	2.50

5=สดมาก 4=สด 3=สดปานกลาง ผักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย 2=สดเล็กน้อย ผักเริ่มเหี่ยวเล็กน้อย เปลี่ยนเป็นสีเหลือง

1=ไม่สด ผักเหี่ยว เปลี่ยนเป็นสีเหลืองมาก

ตารางที่ 25 คะแนนการเกิดกลิ่นผิดปกติของถั่วฝักยาวที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)

	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอดทีฟ	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.50	3.50	4.50
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	1.00	1.00	3.00	4.00	3.75	4.25	4.83	5.00
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.50
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	2.50
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00	3.50	4.00	4.00
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	2.50
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.50	3.00

1=ไม่มีกลิ่นผิดปกติ 2=มีกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย 3=มีกลิ่นผิดปกติปานกลาง 4=มีกลิ่นผิดปกติมาก 5=มีกลิ่นผิดปกติรุนแรง

ตารางที่ 26 คะแนนลักษณะปรากฏของถั่วฝักยาวที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอคทีฟ	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.00	3.00	2.50
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	5.00	5.00	5.00	3.08	2.67	1.75	1.50	1.50
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.00	2.58	1.50
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.00	2.83	2.50
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	5.00	5.00	5.00	4.00	3.00	3.00	3.00	2.50
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	5.00	4.00	4.00	3.00	2.00	1.50
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	5.00	4.00	3.50	3.00	3.00	2.50

5=ผักมีลักษณะสดมาก ไม่เหี่ยว ไม่เน่า ไม่ช้ำ และไม่มีคามผิดปกติทางสรีรวิทยา 4=ผักมีลักษณะสด ไม่เหี่ยว ไม่เน่า ไม่ช้ำ และไม่มีคามผิดปกติทางสรีรวิทยา 3=ผักมีลักษณะเหี่ยวเล็กน้อย เริ่มเน่า เริ่มมีรอยช้ำ และเริ่มมีคามผิดปกติทางสรีรวิทยาเล็กน้อย ประมาณ 1-25 เปอร์เซ็นต์ 2=ผักเหี่ยว มีรอยเน่า มีรอยช้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ประมาณ 26-50 เปอร์เซ็นต์ 1=ผักเหี่ยว เน่า ช้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 27 คะแนนความชอบรวมของถั่วฝักยาวที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอคทีฟ	9.00	9.00	9.00	8.00	7.00	5.75	5.00	3.00
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	9.00	9.00	9.00	5.08	4.58	3.50	1.75	1.00
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	9.00	9.00	9.00	8.50	8.00	6.33	3.92	1.50
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	9.00	9.00	9.00	8.00	8.00	5.75	4.50	4.50
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	9.00	9.00	9.00	7.50	6.50	6.50	4.00	3.00
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	9.00	9.00	9.00	8.00	7.50	6.50	4.00	1.00
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	9.00	9.00	9.00	7.50	7.50	5.50	3.67	4.00
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	9.00	8.94	8.83	7.89	8.00	7.22	6.50	6.19

9=ชอบมากที่สุด 8=ชอบมาก 7=ชอบปานกลาง 6=ชอบเล็กน้อย 5=เฉย ๆ 4=ไม่ชอบเล็กน้อย 3=ไม่ชอบปานกลาง 2=ไม่ชอบมาก 1=ไม่ชอบมากที่สุด  
(ระดับคะแนนต่ำกว่า 6 ถือว่าหมดอายุการวางจำหน่าย)



ภาพที่ 10 ลักษณะปรากฏของถั่วฝักยาวที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน



## ผักชี

### การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์

ก๊าซออกซิเจนภายในถุงบรรจุผักชีทุกกรรมวิธี มีปริมาณลดลงและเข้าสู่สภาวะสมดุลหลังเก็บรักษานาน 3 วัน เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ภายในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุด คือ 0.51 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างจากกรรมวิธีอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือ ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู และถุงฟิล์มแอกทีฟ มีปริมาณออกซิเจนเท่ากับ 12.37 และ 14.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับภายในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณก๊าซออกซิเจนไม่แตกต่างกัน คือ 18.82 และ 18.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ภายในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีปริมาณก๊าซออกซิเจนมากที่สุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 20.92 และ 20.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 11) ภายในถุงบรรจุผักชีทุกกรรมวิธีมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ภายในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ 7.37 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือ ถุงฟิล์มแอกทีฟ ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ซึ่งมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกัน อยู่ระหว่าง 2.08-2.62 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ภายในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด เท่ากับ 0.30 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 12) สำหรับปริมาณก๊าซเอทิลีน พบว่า ภายในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีปริมาณก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้น ขณะที่กรรมวิธีอื่นมีปริมาณก๊าซเอทิลีนลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ภายในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีปริมาณก๊าซเอทิลีนมากที่สุด คือ 5.1099 พีพีเอ็ม ส่วนกรรมวิธีอื่น ๆ มีปริมาณเอทิลีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 13) การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ เป็นผลมาจากการหายใจของผลิตผล และการแลกเปลี่ยนก๊าซของบรรจุภัณฑ์ระหว่างสภาพบรรยากาศภายในและภายนอก (Zagory and Kader, 1988) สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงและคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ช่วยลดการหายใจของผลิตผล ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานหรืออาหารที่ผลิตผลสะสมไว้ ดังนั้นจึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการสร้างและการทำงานของเอทิลีน (Sandhya, 2010) ซึ่งการเก็บรักษาผักชีในสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักชีได้ดี โดยผักชีมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองซีด

### การสูญเสียน้ำหนัก

ผักชีบรรจุในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ขณะที่ผักชีบรรจุในถุงฟิล์มแอกทีฟ ถุง

ฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน ที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา นาน 21 วัน ผักชีบรรจุในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาด ไมครอน ที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ผักชีบรรจุในถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 4.76 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือผักชีที่บรรจุในถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู และ ฟิล์มแอกทีฟ มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 3.42 และ 2.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 28) การเก็บ รักษาผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ตัดแปลงสภาพบรรยากาศ นอกจากจะช่วยตัดแปลงสภาพบรรยากาศภายใน บรรจุภัณฑ์ให้มีก๊าซออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูงแล้ว ยังช่วยรักษาความชื้นได้ดี ซึ่งมีผลต่อการ รักษาคุณภาพผลิตผลอย่างมาก โดยช่วยลดการสูญเสียน้ำ และลดความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ ซึ่ง ส่งผลดีต่อผักรับประทานใบ (Mir and Beaudry, 2004; Kader, 1986) ฟิล์มพลาสติกแต่ละชนิดยอมให้ ใอน้ำผ่านได้ในอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งการเจาะรูฟิล์มเพื่อเพิ่มอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนและ คาร์บอนไดออกไซด์ ยังไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ เนื่องจากพื้นที่ของรู มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวทั้งหมดของฟิล์ม (Kader, 1986) โดยพบว่า ถุงฟิล์มพลาสติกไม่เจาะรู และถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าถุงฟิล์มพลาสติกที่มีการเจาะรู ขนาดใหญ่

### การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงสีของผักชี พิจารณาจากค่า  $L^*$  ซึ่งเป็นค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (dark) ถึง 100 (white) ค่า  $a^*$  เป็นค่าแดง-เขียว ค่า  $a^*$  เป็นบวกแสดงสีแดง ค่า  $a^*$  เป็นลบแสดงสีเขียว และค่า  $b^*$  ซึ่งเป็นค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ค่า  $b^*$  เป็นบวกแสดงสีเหลือง ค่า  $b^*$  เป็นลบแสดงสีน้ำเงิน ผักชีมีค่า  $a^*$  เป็นลบ แสดงว่ามีสีเขียว ค่า  $a^*$  เป็นลบมากแสดงว่ามีสีเขียวมาก และมีค่า  $b^*$  เป็นบวก แสดงว่ามีสีเหลือง ค่า  $b^*$  เป็นบวกมากแสดงว่ามีสีเหลืองมาก พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 21 วัน ค่า  $L^*$  ของผักชีมีค่า เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา นาน 21 วัน ผักชีบรรจุในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรูมีค่าความ สว่างน้อยที่สุด เท่ากับ 39.82 แตกต่างจากกรรมวิธีอื่น ขณะที่ผักชีบรรจุในถุงฟิล์มแอกทีฟมีค่า  $L^*$  มาก ที่สุดเท่ากับ 51.64 ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับผักชีบรรจุในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู และถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน (ตารางที่ 29) ค่า  $a^*$  ของผักชีลดลงเล็กน้อย เมื่อ เก็บรักษาเป็นระยะเวลา นานขึ้น ตลอดระยะเวลาเก็บรักษานาน 21 วัน ผักชีบรรจุถุงฟิล์มทุกกรรมวิธีมีค่า  $a^*$  เฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 30) สำหรับค่า  $b^*$  ของผักชีมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะ เวลานานขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา นาน 21 วัน ผักชีบรรจุถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีค่า  $b^*$  น้อยที่สุด เท่ากับ 25.11 ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับผักชีบรรจุถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาด ไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ขณะที่ผักชีบรรจุในถุงฟิล์มแอก

ที่พ ฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู และฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีค่า  $b^*$  มากที่สุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 31) การเปลี่ยนเป็นสีเหลืองของผักซี เป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงความชราภาพ มักเกิดขึ้นพร้อมกับการปรากฏขึ้นของสีเหลือง ซึ่งเป็นสารสีประเภทคาโรทีนอยด์ โดยปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ มีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2546) โดยผักซีที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ และคาร์บอนไดออกไซด์สูง มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองเพียงเล็กน้อย

### คุณภาพทางเคมี

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 21 วัน ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักซีแต่ละกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน ผักซีบรรจุฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด คือ 2.36 ไมโครกรัม แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะภายในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เหมาะสม ทำให้คลอโรฟิลล์สลายตัวช้า ขณะที่ผักซีบรรจุฟิล์มแอกทีฟ ฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู ฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 32) การเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ระหว่างการชราภาพ (senescence) ของผักใบเขียว สามารถยับยั้งได้โดยสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ และคาร์บอนไดออกไซด์สูง ซึ่งการตอบสนองในบางกรณีอาจเป็นผลจากเอทิลีนด้วยอีกส่วนหนึ่ง (Ku and Wills, 1999) สำหรับปริมาณวิตามินซี พบว่า ปริมาณวิตามินซีของผักซีทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน ผักซีบรรจุฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู และฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีปริมาณวิตามินซีมากที่สุดคือ 6.59 มิลลิกรัม/100 มิลลิกรัม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับผักซีบรรจุฟิล์มแอกทีฟ ฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู และฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู ขณะที่ผักซีบรรจุฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีปริมาณวิตามินซีน้อยที่สุด เท่ากับ 4.84 มิลลิกรัม/100 มิลลิกรัม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับผักซีบรรจุฟิล์มแอกทีฟ ฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน และฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู (ตารางที่ 33)

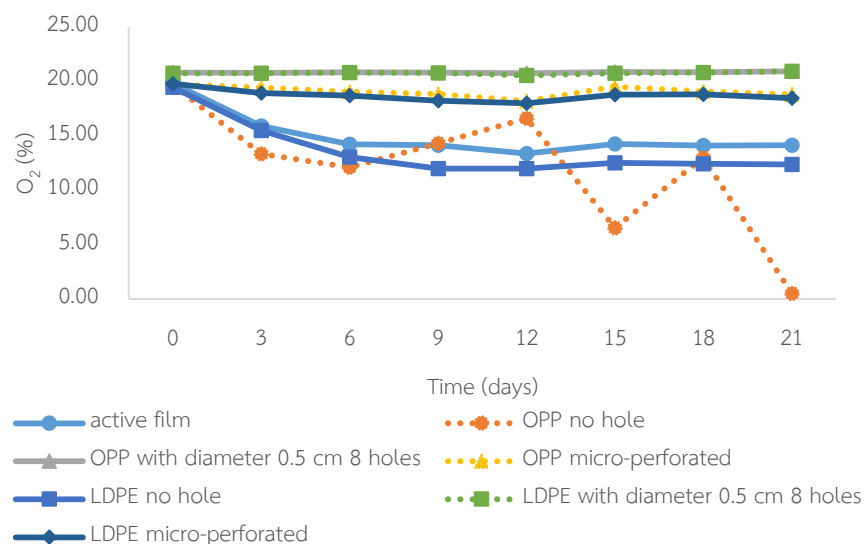
### คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผักซี โดยการให้คะแนน พบว่า ผักซีทุกกรรมวิธีมีคะแนนความสดลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น โดยคะแนนความสดเริ่มลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 9 วัน เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 21 วัน ผักซีบรรจุฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู มีคะแนนความสดมากที่สุด เท่ากับ 4 คะแนน คือ มีลักษณะสด ส่วนผักซีบรรจุฟิล์มแอกทีฟ ฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ฟิล์ม

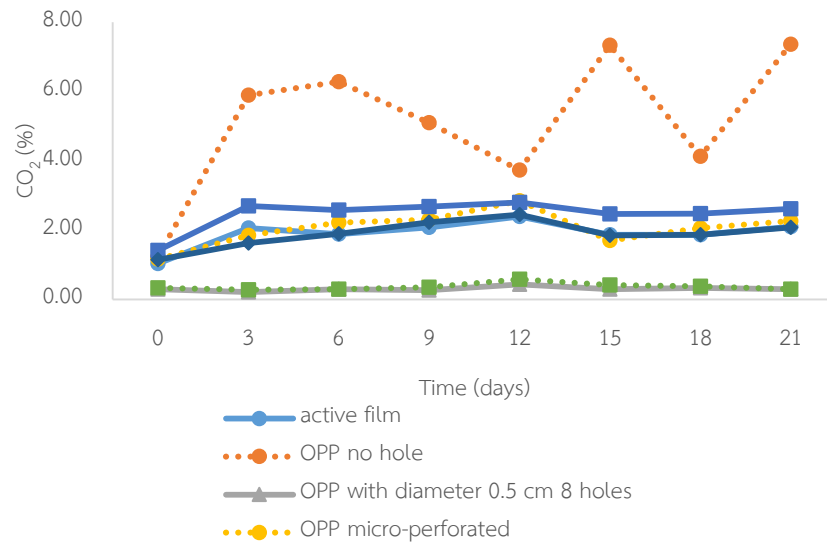
ฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีคะแนนความสดเท่ากับ 2 คะแนน คือ มีลักษณะสดเล็กน้อย ใบเริ่มเหี่ยว ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ขณะที่ผักชีบรรจุถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู มีคะแนนความสดน้อยที่สุด เท่ากับ 1 คะแนน คือ มีลักษณะไม่สด ใบเหี่ยว ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเจาะรูขนาดใหญ่ ทำให้มีการคายน้ำสูง จึงมีการสูญเสียน้ำมาก ความสดจึงลดลง (ตารางที่ 34)

เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 18 วัน ผักชีบรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน ที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร มีคะแนนลักษณะปรากฏเท่ากับ 2 คะแนน คือ ใบเหี่ยว มีรอยเนา มีรอยข้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ขณะที่ผักชีบรรจุฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู มีคะแนนลักษณะปรากฏเท่ากับ 3 คะแนน จนกระทั่งเก็บรักษานาน 21 วัน (ตารางที่ 35)

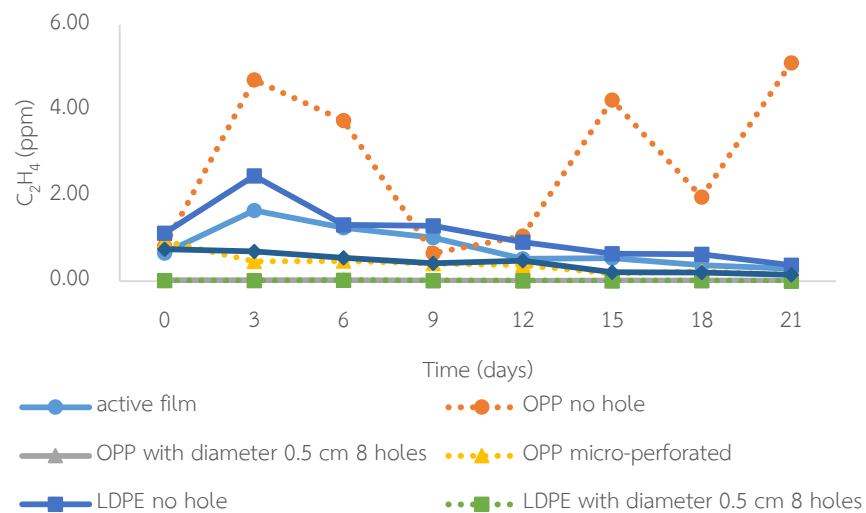
ผักชีทุกกรรมวิธีมีคะแนนความชอบรวมลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยผักชีบรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน ที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน สามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน โดยมีคะแนนความชอบรวมเฉลี่ย 6 คะแนน คือ ชอบเล็กน้อย ขณะที่ผักชีบรรจุฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน ที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน มีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 7 คะแนน คือ ชอบปานกลาง ซึ่งถือว่ายังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 18 วัน มีคะแนนความชอบรวมลดลงและไม่เป็นที่ยอมรับ ผักชีบรรจุฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด 21 วัน โดยมีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 7 คะแนน (ตารางที่ 36)



ภาพที่ 11 ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ บรรจุผักชี เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ บรรจุผักชี เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 13 ปริมาณก๊าซเอทิลีนภายในถุงฟิล์มชนิดต่างๆ บรรจุผักชี เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

**ตารางที่ 28** การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์) ของผักซีที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอกทีฟ	0.00 A	0.79 a B	0.85 ab B	0.99 a B	1.06 a B	1.01 a B	1.49 a BC	2.12 b C
OPP ไม่เจาะรู	0.00 A	0.94 a B	1.02 ab B	0.80 a B	0.81 a B	1.03 a B	0.90 a B	0.87 a B
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.00 A	2.19 b BC	1.88 c B	3.41 c D	1.95 c B	2.45 b BC	2.74 b CD	3.42 b D
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	0.00 A	1.37 a C	0.85 ab BC	0.99 a BC	0.47 a AB	1.03 a BC	0.91 a BC	1.32 a C
LDPE ไม่เจาะรู	0.00 A	0.71 a AB	0.65 a AB	0.80 a AB	0.66 a AB	0.68 a AB	0.80 a AB	1.12 a B
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.00 A	1.22 a B	1.47 bc BC	2.45 b D	2.03 b CD	2.28 b D	3.63 c E	4.76 d F
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	0.00 A	0.66 a AB	0.69 ab AB	0.85 a A	0.55 a AB	1.03 a A	1.11 a A	1.08 a A

CV (กรรมวิธี) 39.0% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 51.9%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

**ตารางที่ 29** ค่าความสว่าง (L\*) ของผักซีที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	44.16 C	43.64 C	44.07 b C	45.39 BC	47.15 ab BC	45.54 ab BC	48.99 AB	51.64 a A
OPP ไม่เจาะรู	42.96 BC	45.16 ABC	43.28 b BC	46.34 AB	48.87 a A	42.37 ab BC	46.28 AB	39.82 c C
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	42.64 B	44.78 AB	48.30 a A	46.49 AB	47.94 a A	44.17 ab AB	47.29 A	48.18 ab A
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	43.77 B	45.26 AB	46.23 ab AB	45.96 AB	46.56 ab AB	44.19 ab B	47.78 AB	48.62 ab A
LDPE ไม่เจาะรู	43.28 A	45.00 A	46.23 ab A	42.72 A	45.19 ab A	42.01 b A	45.29 A	45.72 b A
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	42.25 CD	46.18 ABC	46.67 ab AB	42.56 CD	43.82 b BCD	41.82 b D	48.93 A	49.48 ab A
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	42.60 B	44.51 AB	43.38 b B	43.67 B	43.70 b B	46.28 a AB	47.76 A	47.84 ab A
CV (กรรมวิธี) 6.1% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 7.1%								

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ตารางที่ 30 ค่าสีเขียว (a\*) ของผักซีที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)								ค่าเฉลี่ย กรรมวิธี
	0	3	6	9	12	15	18	21	
ถุงฟิล์มแอคทีฟ	-11.86	-12.10	-12.44	-11.85	-12.09	-11.78	-11.24	-10.86	-11.78 a
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	-11.39	-12.03	-11.15	-11.94	-11.71	-11.26	-11.69	-11.73	-11.61 a
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม. 8 รู	-11.78	-11.60	-11.53	-12.02	-12.56	-11.89	-11.53	-11.85	-11.85 a
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	-11.80	-11.61	-11.71	-12.06	-12.28	-12.08	-12.33	-11.83	-11.96 a
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	-11.76	-12.54	-11.71	-11.87	-12.01	-12.25	-12.01	-11.34	-11.94 a
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม. 8 รู	-11.78	-12.18	-11.92	-11.98	-12.26	-11.65	-11.64	-11.04	-11.81 a
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	-11.91	-11.54	-12.22	-12.06	-12.43	-12.30	-11.54	-10.89	-11.87 a
ค่าเฉลี่ยระยะเวลาเก็บรักษา	-11.76 B	-11.94 AB	-11.81 AB	-11.97 AB	-12.19 A	-11.89 AB	-11.72 BC	-11.36 C	
CV (กรรมวิธี) 6.9% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 7.1%									

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT



**ตารางที่ 31** ค่าสีเหลือง (b\*) ของผักซีที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	22.76 A	23.61 AB	24.12 AB	24.78 AB	26.19 B	26.44 b B	29.37 cd C	30.99 b C
OPP ไม่เจาะรู	22.37 A	22.72 AB	22.44 A	25.11 ABC	25.62 BC	23.28 a ABC	25.93 b C	25.11 a ABC
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	23.01 A	24.07 A	24.66 A	24.20 A	27.79 B	25.96 ab AB	28.08 bc B	31.24 b C
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	23.37 A	23.46 A	24.35 AB	25.44 ABC	27.88 CD	27.00 b BCD	29.24 bc ED	31.76 b E
LDPE ไม่เจาะรู	22.65 A	25.04 AB	24.35 AB	23.15 A	26.38 B	26.60 b B	26.64 ab B	27.18 a B
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	21.49 A	24.86 BC	24.27 ABC	23.58 AB	26.97 C	25.12 ab BC	31.14 c D	32.59 b D
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	22.22 A	23.28 A	24.17 AB	24.99 ABC	26.56 BCD	28.18 b D	27.55 ab CD	27.71 a CD
CV (กรรมวิธี) 8.1% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 9.4%								

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ตารางที่ 32 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัม) ของผักซีที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอคทีฟ	1.17 abc E	2.61 a A	1.37 c DE	2.31 a B	2.15 ab BE	2.02 ab C	1.56 bcd D	1.90 bc C
OPP ไม่เจาะรู	0.95 c E	2.74 a A	1.56 bc D	2.26 a B	1.85 c C	1.81 bcd CD	1.98 a C	2.36 a D
OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	0.97 bc E	2.75 a A	1.74 ab C	2.09 abc B	1.80 c C	1.85 bc BC	1.40 d D	1.92 bc BC
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	1.22 abc C	2.28 b A	1.86 a B	2.19 ab A	2.17 ab A	2.15 a A	1.81 ab B	1.89 bc B
LDPE ไม่เจาะรู	1.02 abc D	2.82 a A	1.85 a C	1.80 d C	2.19 ab B	1.64 cd C	1.75 abc C	1.76 c C
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	1.27 a F	2.62 a A	1.97 a CD	1.82 cd D	2.31 a B	1.55 d E	1.52 cd EF	2.10 b BC

LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	1.26 ab D	2.17 b A	1.85 a BC	1.96 bcd AB	1.92 bc AB	1.61 cd C	1.71 abc BC	1.96 bc AB
-----------------------	-----------	----------	-----------	-------------	------------	-----------	-------------	------------

CV (กรรมวิธี) 11.0% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 12.2%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

**ตารางที่ 33** ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) ของผักซีที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ฟิล์มแอกทีฟ	6.99 bc AB	8.04 A	8.28 ab A	5.03 b C	8.38 a A	5.97 b BC	5.39 b C	5.23 abc C
OPP ไม่เจาะรู	7.59 bc BC	7.44 BC	9.08 a A	5.92 ab D	8.38 a AB	5.59 b D	6.47 ab CD	6.59 a CD

OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	6.29 c BC	7.04 BC	8.48 ab A	6.11 ab C	6.31 c BC	6.06 b C	7.65 a AB	6.59 a BC
OPP เจาะรูขนาดไมครอน	6.39 bc AB	7.34 A	7.39 b A	6.31 ab AB	7.72 ab A	7.76 a A	7.25 a A	5.04 bc B
LDPE ไม่เจาะรู	7.78 b AB	7.14 ABC	8.38 ab A	6.81 a BC	7.63 abc ABC	6.16 b C	6.37 ab BC	6.40 ab BC
LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	6.59 bc AB	6.75 A	7.09 b A	6.22 ab AB	6.68 bc A	6.16 b AB	7.35 a A	5.23 abc B
LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	10.68 a A	7.44 BCD	7.88 ab BC	6.22 ab D	8.85 a B	7.58 a BCD	6.57 ab CD	4.84 c E

CV (กรรมวิธี) 11.1% CV ระยะเวลาเก็บรักษา 16.6%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

ตารางที่ 34 คะแนนความสดของผักซีเอดที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอกทีฟ	5.00	5.00	5.00	4.25	3.58	3.17	2.92	2.83
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	5.00	5.00	5.00	4.50	3.92	4.33	3.42	4.00
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	5.00	3.75	2.92	3.08	2.50	1.92
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	5.00	4.50	3.08	3.58	2.75	2.50
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	5.00	5.00	5.00	4.50	3.17	3.00	2.92	2.92
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	5.00	4.00	3.17	3.25	2.75	2.50
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	5.00	4.33	3.42	3.50	2.75	2.50

5=สดมาก 4=สด 3=สดปานกลาง ผักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย 2=สดเล็กน้อย ผักเริ่มเหี่ยวเล็กน้อย เปลี่ยนเป็นสีเหลือง 1=ไม่สด ผักเหี่ยว เปลี่ยนเป็นสีเหลืองมาก

ตารางที่ 35 คะแนนลักษณะปรากฏของผักซีที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอคทีฟ	5.00	5.00	4.50	5.00	2.83	3.17	2.83	2.50
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	5.00	5.00	4.50	4.83	3.25	4.17	3.17	3.83
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	4.50	4.75	2.75	3.08	2.67	2.00
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	4.50	4.92	3.33	3.67	2.92	2.50
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	5.00	5.00	4.50	4.67	3.25	3.33	3.00	3.00
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	5.00	5.00	4.50	4.75	3.00	3.08	2.83	2.42
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	5.00	5.00	4.50	4.83	3.08	3.58	2.92	2.42

5=ผักมีลักษณะสดมาก ไม่เหี่ยว ไม่เน่า ไม่ช้ำ และไม่มีความผิดปกติทางสรีรวิทยา 4=ผักมีลักษณะสด ไม่เหี่ยว ไม่เน่า ไม่ช้ำ และไม่มีความผิดปกติทางสรีรวิทยา 3=ผักมีลักษณะเหี่ยวเล็กน้อย เริ่มเน่า เริ่มมีรอยช้ำ และเริ่มมีความผิดปกติทางสรีรวิทยาเล็กน้อย ประมาณ 1-25 เปอร์เซ็นต์ 2=ผักเหี่ยว มีรอยเน่า มีรอยช้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ประมาณ 26-50 เปอร์เซ็นต์ 1=ผักเหี่ยว เน่า ช้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 36 คะแนนความชอบรวมของผักซีที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
ถุงฟิล์มแอคทีฟ	9.00	9.00	8.50	9.00	7.50	6.92	5.50	4.92
ถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู	9.00	9.00	8.50	9.00	7.67	8.17	6.25	7.83
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	9.00	9.00	8.50	8.75	5.83	6.33	4.67	3.58
ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน	9.00	9.00	8.50	8.92	7.25	7.50	5.42	4.75
ถุงฟิล์ม LDPE ไม่เจาะรู	9.00	9.00	8.50	8.67	7.33	6.17	5.17	5.00
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.	9.00	9.00	8.50	8.75	6.50	6.33	5.00	4.00
ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน	9.00	9.00	8.50	8.75	7.17	6.75	5.33	4.08

9=ชอบมากที่สุด 8=ชอบมาก 7=ชอบปานกลาง 6=ชอบเล็กน้อย 5=เฉย ๆ 4=ไม่ชอบเล็กน้อย 3=ไม่ชอบปานกลาง 2=ไม่ชอบมาก 1=ไม่ชอบมากที่สุด (ระดับคะแนนต่ำกว่า 6 ถือว่าหมดอายุการวางจำหน่าย)







ภาพที่ 14 ลักษณะปรากฏของผักชีที่บรรจุในถุงฟิล์มชนิดต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน

### 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. การเจาะรูฟิล์ม oriented polypropylene (OPP) โดยใช้ความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ จะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูประมาณ 110-115 ไมครอน อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen transmission rate: OTR) ผ่านรูเจาะ จำนวน 1 รู อยู่ระหว่าง 2,000-3,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน หากต้องการฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 10,001-15,000 และ 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน สามารถเจาะรูด้วยพารามิเตอร์ดังกล่าว จำนวน 7 12 และ 16 รู/ถุงขนาด 20x28 เซนติเมตร ตามลำดับ

2. การเจาะรูฟิล์ม low density polyethylene (LDPE) ความหนา 30 ไมครอน โดยใช้ความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ จะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูประมาณ 60-70 ไมครอน OTR ผ่านรูเจาะ จำนวน 1 รู อยู่ระหว่าง 1,000-2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน หากต้องการฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 10,001-15,000 และ 15,001-

20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน สามารถเจาะรูด้วยพารามิเตอร์ดังกล่าว จำนวน 4 15 และ 22 รู/ถุงขนาด 20x28 เซนติเมตร ตามลำดับ

3. การเก็บรักษาผักสลัดบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก และชะลอการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองได้ดี สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด 21 วัน

4. ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 10,001-15,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 12 วัน การเก็บรักษานานขึ้นจะพบกลิ่นผิดปกติ

5. ผักชีบรรจุในถุงฟิล์ม OPP ไม่เจาะรู ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 21 วัน โดยช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก และชะลอการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองได้ดีที่สุด ส่วนผักชีบรรจุฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 15,001-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร.วัน สามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน

## 10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตฟิล์มเจาะรูโดยใช้เลเซอร์มาร์กเกอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ให้แก่บริษัทผู้ผลิตฟิล์มยืดอายุผักและผลไม้ได้

2. สามารถนำฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่ได้ไปใช้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผักสลัดบัตเตอร์เฮดได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับถั่วฝักยาวและผักชี ยังต้องมีการทดลองซ้ำเพื่อหาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาต่อไป

## 11. คำขอบคุณ (ถ้ามี)

## 12. เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและ

ฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม. 453 หน้า.

สำนักงานงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2562. ผักผลไม้แช่เย็น แช่แข็ง และแปรรูป. (11 กุมภาพันธ์ 2562)

สืบค้นจาก: <http://www.moc.go.th/index.php/flower-service-all-11.html>

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2557. บรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้เพื่อการส่งออก ตอนที่ 1. สืบค้น

จาก: [http://www.foodnetworksolution.com/news\\_and\\_articles](http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles). (16 กันยายน 2557).

- Caiazza F., F. Curcio, G. Daurelio and F.M.C. Minutolo. 2005. Laser cutting of different polymeric plastics (PE, PP and PC) by a CO<sub>2</sub> laser beam. *J Mat Proce Technol.* 159: 279-285.
- Cameron, A.C., P.C. Talasila and D.W. Joles. 1995. Predicting film permeability needs for modified atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. *Hort Sci.* 30 (1): 25-34.
- Christie, G.B.Y., J.I. Macdiarmid, K. Schliephake and R.B. Tomkins. 1995. Determination of film requirements and respiratory behavior of fresh produce in modified atmosphere packaging. *Post Biol Technol.* 6: 41-54.
- Chow, C. 2012. Microperforations for fresh cut produce packaging Available source: [http://www.precoinc.com/PDF/microperforating\\_Chow.pdf](http://www.precoinc.com/PDF/microperforating_Chow.pdf). (3 June 2014).
- Ding, C.K., K. Chachin, Y. Ueda, Y. Imahori, C.Y. Wang. 2002. Modified atmosphere packaging maintains postharvest quality of loquat fruit. *Post Biol Technol.* 24: 341-348.
- Fishman, S., V. Rodov and S. Ben-Yehoshua. 1996. Mathematical model for perforation effect on oxygen and water vapor dynamics in modified atmosphere packages. *J Food Sci.* 61: 956-961.
- Fonseca S.C., F.A.R., Oliveira and J.K.. Brecht. 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *J of Food Eng.* 52: 99-119.
- Ishikawa, Y. and Y. Hasegawa. 1998. Determination of packaging conditions for selected fresh vegetables. *Food Sci Technol Int Tokyo.* 4 (4): 274-277.
- Ishitani, T, 2011, Packaging design for fresh produces, (Unpublished Manuscript)
- Jacxsens, L., F. Devlieghere and L. Debevere. 1999. Validation of a systematic approach to design equilibrium modified atmosphere packages for fresh-cut produce. *LWT-Food Sci Technol.* 32(7): 425-432.
- Kader, A.A. 1986. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Outlook second quarter.* 3(20): 9-10.
- Ku, V.V.V. and P.B.H. Wills. 1999. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. *Post Biol Technol.* 17: 127-132.
- Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solution. The Division of Fruit products. University of California. Berkeley. Inc. New York. 457 p.

- Mangaraj S., T.K. Goswami and P.V. Mahajan. 2009. Application of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: A review. *Food Eng Rev.* 1: 133-158.
- Mir, N. and R.M. Beaudry. 2016. Modified atmosphere packaging. In: The commercial storage of fruits vegetables and florist and nursery stocks. Agricultural handbook No. 66. USDA. ARS.
- Nunes, M.C.N. 2008. Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables. Blackwell Publishing. 463 p.
- Olsen, F.O. 1995. Pulsed laser materials processing, ND-YAG versus CO<sub>2</sub> lasers. *Annals of the CIRP.* 44(1): 141-145.
- Sandhya. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT-Food Sci Technol.* 43: 381-392.
- Shimokawa, K., S. Shimada and K. Yaeo. 1978. Ethylene enhanced chlorophyllase activity during degreening of *Citrus unshiu* Marc. *Scientia Hortic.* 8: 129-135.
- Vanholme, R., B. Demedts, K. Morreel, J. Ralph and W. Boerjan. 2010. Lignin biosynthesis and structure. *Plant physiol* 153: 895-905.
- Winotapun, C., N. Kerddonfag, P. Kumsang, B. Hararak, V. Chonhenchob, T. Yamwong and W. Chinsirikul. 2015. Microperforation of three common plastic films by laser and their enhanced oxygen transmission for fresh produce packaging. *Packg Technol Sci.* 28: 367-383.
- Zagory, D. 1997. Advances in modified atmosphere packaging (MAP) of fresh produce. *Perishables Handling Newsletter* 90: 2-4.
- Zagory, D. and A.A. Kader. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food technol.*, 42 (9): 70-74 & 76-77.