การศึกษาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้
Micro-perforated film for prolong storage life of fruits and vegetables

คมจันทร์ สรงจันทร์[1] ศิรกานต์ ศรีธัญรัตน์[1] และ ปรางค์ทอง กวานห้อง[1]
Komchan Songchan[1] Siragan Srithanyarat[1] and Prangthong Kwanhong[1]

บทคัดย่อ

ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน (micro-perforated film) มีสมบัติยอมให้ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านได้สูงกว่าฟิล์มปกติทั่วไป เมื่อนำมาบรรจุผักและผลไม้จะช่วยรักษาอัตราการหายใจของผักและผลไม้ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม สามารถกักเก็บความชื้น ช่วยคงความสด และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้นานขึ้น ซึ่งปัจจุบันในต่างประเทศมีการใช้ฟิล์มชนิดนี้กันอย่างแพร่หลาย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบการใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนในการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้บางชนิด ดำเนินการระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึง กันยายน 2564 ณ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร จากการทดสอบเจาะรูฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องเลเซอร์มาร์กเกอร์ (KEYENCE รุ่น ML-29500 Series) พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเจาะรูฟิล์ม OPP และ LDPE ความหนา 30 ไมครอน คือ ความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สามารถเจาะรูได้เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 115 และ 70 ไมครอน ตามลำดับ การใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเก็บรักษาผักบางชนิดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า บัตเตอร์เฮดบรรจุ 100 กรัม ในถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน ที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์ม (oxygen transmission rate: OTR) 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร สามารถเก็บรักษาได้นาน 21 วัน ถั่วฝักยาวบรรจุ 150 กรัม ในถุงฟิล์ม OPP หรือ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร เก็บรักษาได้นาน 15 วัน ผักชีบรรจุ 50 หรือ 80 กรัม ในถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาดถุง 16x35 เซนติเมตร เก็บรักษาได้นาน 18 วัน และข้าวโพดฝักอ่อน 100 กรัม บรรจุถาดพลาสติกแล้วหุ้มด้วยถุงฟิล์ม OPP หรือ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน เก็บรักษาได้นาน 20 วัน โดยผักทั้งหมดยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ สำหรับการใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเก็บรักษาผลไม้บางชนิดที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้บรรจุถุงฟิล์ม OPP หรือ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร เก็บรักษาได้นาน 25 วัน และใช้ระยะเวลา 4 วัน ในการสุกที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่พบกลิ่นผิดปกติเมื่อผลสุก กล้วยไข่บรรจุในถุงฟิล์ม OPP หรือ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000

---

[1] กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
Postharvest and processing research and development division

ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาด 20x28 เซนติเมตร จำนวน 6 ผล/ถุง สามารถการเก็บรักษาได้นาน 14 และ 35 วัน ตามลำดับ โดยผลยังไม่สุก เงาะโรงเรียนบรรจุถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร จำนวน 6 ผล/ถุง เก็บรักษาได้นาน 14 วัน โดยยังมีคุณภาพภายนอกและคุณภาพการรับประทานเป็นที่ยอมรับ
คำสำคัญ: ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง

ABSTRACT

Micro-perforated film allowed oxygen and carbon dioxide transmission more than normal films, when used for fruit and vegetable packaging. It helps to maintain optimal respiration rate of fruits and vegetables, retain moisture, maintain freshness and extend shelf life of produce so this film is widely used in foreign countries in presently. The purpose of this experiment was to develop and testing the use of micro-perforated film to extend shelf life of some fruits and vegetables. This experiment was conducted during October 2015 - September 2021 at Postharvest research and development division, Department of Agriculture. The result was found that optimum parameter for drilling OPP and LDPE (with 30 μm thickness) with laser marker (KEYENCE model ML-29500 Series) are 1,000 mm/sec. scan speed, 20% laser power and 500 mm/sec. scan speed, 30% laser power, respectively provided hole size 115 and 70 μm, respectively. For the evaluation of micro-perforated film used for vegetables, it was found that butterhead 100 g packed in LDPE micro perforated film with oxygen transmission rate (OTR) 5,000-10,000 cm^3/cm^2/day size 20x28 cm could be stored for 21 days. Yard long bean 150 g packed in OPP or LDPE micro perforated film OTR 15,000-20,000 cm^3/cm^2/day size 20x28 cm could be stored for 15 days. Coriander 50 or 80 g packed in OPP micro perforated film OTR 5,000-10,000 cm^3/cm^2/day size 16x35 cm could be stored for 18 days. And baby corn 100 g packed in plastic tray and covered with OPP or LDPE micro perforated film OTR 5,000-10,000 cm^3/cm^2/day could be stored for 20 days. All vegetables were had acceptable quality. For the evaluation of micro-perforated film used for fruits, it was found that mango packed in OPP or LDPE micro perforated film OTR 15,000-20,000 cm^3/cm^2/day size 20x28 cm could be stored for 25 days and ripen at room temperature within 4 days without off-flavor. Banana packed in OPP or LDPE micro perforated film OTR 5,000-10,000 cm^3/cm^2/day size 20x28 cm, could be stored for 14 and 35 days respectively, with unripe. Rambutan packed in LDPE micro perforated film size 20x28 cm. 6 fruits/bag, could be preserved for 14 days, with acceptable external and eating quality.

Key words: micro-perforated film, modified atmosphere packaging

คำนำ

ผลิตผลสดมีอายุการเก็บรักษาสั้นและเสื่อมสภาพได้ง่าย เนื่องจากยังมีชีวิต ยังคงมีการหายใจ การคายน้ำ และการผลิตเอทิลีนเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวเหล่านี้ ทำให้ผลิตผลจำนวนมากสูญเสียคุณภาพ เช่น สูญเสียน้ำหนัก สูญเสียคุณค่าทางอาหาร อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคหลังการเก็บเกี่ยว และเน่าเสีย ในระหว่างการขนส่งและวางจำหน่าย หากมีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสามารถช่วยลดการสูญเสียคุณภาพได้ การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล สภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบพาสซีฟ (passive modified atmosphere) เป็นสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่เกิดขึ้นด้วยตัวผลิตผล โดยสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูงค่อย ๆ เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกตลอดเวลา นอกจากนี้ การเก็บรักษาผลิตผลสดในถุงฟิล์มพลาสติก ยังช่วยลดการเกิดรอยช้ำที่ผิวของผลิตผล ช่วยลดการปนเปื้อนของผลิตผลระหว่างการจัดการ ลดการสูญเสียน้ำ ป้องกันการแพร่กระจายการเน่าเสียจากผลิตผลหนึ่งไปยังอีกผลิตผลหนึ่ง (Kader *et al*., 1989) การสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์นั้น ผักและผลไม้แต่ละชนิดมีความต้องการฟิล์มที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซแตกต่างกัน เนื่องจากมีอัตราการหายใจที่ต่างกัน โดยทั่วไปสมบัติการซึมผ่านของก๊าซของฟิล์มพลาสติกมักพิจารณาถึงอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen transmission rate: OTR) การใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับผลิตผลควบคู่กับการจัดการอุณหภูมิเก็บรักษาที่เหมาะสม สามารถช่วยสร้างสภาวะภายในบรรจุภัณฑ์ที่ทำให้อัตราการหายใจลดลง ซึ่งจะชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผล (Ding *et al*., 2002; Zagory, 1997) โดยปริมาณของออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ต้องเพียงพอเพื่อไม่ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะทำให้ผลิตผลเน่าเสียเร็วขึ้น (Zagory and Kader, 1988; Mir and Beaudry, 2016)

ฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้บรรจุผักและผลไม้โดยทั่วไป เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิโพรพิลีน (PP) มักมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำ โดยมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ระหว่าง 1,541-3,750 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน (Mangaraj *et al*., 2009) การเจาะรูขนาดไมครอนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์ม นอกเหนือจากการใช้เทคนิคการปรับโครงสร้างพอลิเมอร์ด้วยการเติมสารเติมแต่งเพื่อให้ฟิล์มมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซสูง ซึ่งมีต้นทุนสูงและเป็นไปได้ยากในทางเทคนิคที่จะผลิตฟิล์มให้มีค่า OTR ที่หลากหลาย การใช้เลเซอร์เพื่อเจาะรูขนาดไมครอนถูกนำมาใช้เป็นระยะเวลามากกว่า 10 ปี และเป็นกระบวนการที่เป็นที่ยอมรับในตลาดบรรจุภัณฑ์แบบยืดหยุ่น (flexible packaging) เทคโนโลยีการเจาะรูด้วยเลเซอร์มีการพัฒนาให้ก้าวหน้า สามารถเจาะรูได้รูปร่างกลมสม่ำเสมอ มีขนาดเหมาะสม และสามารถใช้กับฟิล์มได้หลากหลายชนิดตามความต้องการของผู้ใช้งาน มีหลักการทำงานคือความเข้มของแสงจะถูกดูดซับโดยฟิล์ม ซึ่งจะทำให้ฟิล์มเกิดความร้อนจนละลาย แล้วระเหยกลายเป็นไอในทันที ทำให้เกิดรูขนาดเล็กขึ้นบนฟิล์ม โดยอัตราการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนรูเจาะ (Chow, 2012)

ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน (micro-perforated film) เป็นฟิล์มที่มีรูขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-200 ไมครอน มีสมบัติยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้สูงกว่าฟิล์มปกติทั่วไป สามารถแก้ไขข้อจำกัดของฟิล์มชนิดที่มีสมบัติสกัดกั้นการแพร่ของก๊าซ (ภัทรินทร์, 2565; Winotapun *et al*., 2015) เพื่อรักษาอัตราการหายใจของผักและ

ผลไม้ได้อย่างเหมาะสม สามารถกักเก็บความชื้น ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษายาวนาน และคงคุณภาพโดยรวมของผลิตผลไว้ได้ บรรจุภัณฑ์ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนกลายเป็นตัวเลือกยอดนิยมที่มีความต้องการทั่วโลกเพิ่มขึ้นตามการเติบโตของตลาดผลิตผลสด เพื่อใช้ยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ โดยฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนจะช่วยรักษาความสดของผักและผลไม้ในระหว่างการขนส่งและวางจำหน่าย มีการใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ยุโรป จีน อินเดีย ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย เกาหลีใต้ เป็นต้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการยืดอายุผลิตผล โดยใช้ในรูปแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขายปลีก (Inkwood research, 2022)

การพัฒนาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเพื่อให้ได้อัตราการซึมผ่านของก๊าซตามที่ต้องการ ต้องศึกษาขนาดและจำนวนรูเจาะที่เหมาะสม รวมถึงต้องทดสอบการใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนกับผลิตผล เพื่อให้ได้ฟิล์มที่เหมาะสมสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลแต่ละชนิด ซึ่งการสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่ต้องการต้องอาศัยการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมดุลระหว่างกระบวนการหายใจและการซึมผ่านก๊าซ ได้แก่ อัตราการหายใจของผลิตผล น้ำหนักบรรจุ ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซ พื้นที่ผิวบรรจุภัณฑ์ พื้นที่ head space รวมถึงอัตราส่วนของก๊าซต่าง ๆ ภายในบรรจุภัณฑ์ (อศิรา และคณะ, 2549) การเลือกใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่พัฒนาขึ้นให้เหมาะสมกับผลิตผล จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวนี้ด้วย ซึ่งในประเทศไทยมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนอยู่บ้างในหน่วยงานของทั้งภาครัฐและเอกชน เช่น ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) (SCG) เพื่อส่งเสริมการใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเป็นบรรจุภัณฑ์ยืดอายุสำหรับผักและผลไม้ และทดแทนการนำเข้าฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนจากต่างประเทศ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อพัฒนาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนโดยใช้เลเซอร์มาร์กเกอร์ และทดสอบการใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผัก ได้แก่ บัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว ผักชี ข้าวโพดฝักอ่อน และผลไม้ ได้แก่ มะม่วง กล้วยไข่ เงาะ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. บรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงตัว (oriented polypropylene: OPP) ฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene: LDPE) ฟิล์มแอคทีฟ (M-tech 4) ฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride: PVC) และถาดพลาสติก PVC
2. ผัก ได้แก่ บัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว ผักชี ข้าวโพดฝักอ่อน
3. ผลไม้ ได้แก่ มะม่วงน้ำดอกไม้ กล้วยไข่ เงาะโรงเรียน
4. เครื่องเลเซอร์มาร์กเกอร์ ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ KEYENCE รุ่น ML-29500 Series
5. เครื่องวัดความหนาฟิล์ม
6. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มพลาสติก Mocon รุ่น OpTech ®-O_2 Platinum
7. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มพลาสติก Labthink รุ่น VAC-V1

8. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มพลาสติก Illinois รุ่น 7002
9. กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป Olympus รุ่น SZX16 พร้อมอุปกรณ์ถ่ายภาพ Olympus รุ่น DP25
10. กล้องดิจิทัลไมโครสโคป Hirox รุ่น RH-2000
11. เครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ Thermo Scientific รุ่น Evolution 300 UV-Vis
12. เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-10
13. เครื่อง texture analyzer LLOYD รุ่น LF plus
14. เครื่อง digital refractometer Atago รุ่น PR-101
15. เครื่องไทเทรตอัตโนมัติ KEM รุ่น CHA-600

วิธีการ

1. การศึกษาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเพื่อให้ได้อัตราการซึมผ่านของก๊าซตามต้องการ

นำฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงตัว (oriented polypropylene: OPP) และฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene: LDPE) ความหนา 30 ไมครอน มาตรวจสอบสมบัติของฟิล์ม ได้แก่ ความหนา อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen transmission rate: OTR) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate: WVTR) จากนั้น นำตัวอย่างฟิล์มมาทดสอบการเจาะรูด้วยเครื่องเลเซอร์มาร์กเกอร์ ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ตรวจสอบรูปร่างและวัดขนาดของรูเจาะขนาดไมครอนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป และกล้องดิจิทัลไมโครสโคป และวัด OTR ของฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน

2. ศึกษาการเก็บรักษาผักในสภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน

เตรียมผลิตผลที่ใช้ทำการทดลอง ได้แก่ บัตเตอร์เฮด ถั่วฝักยาว ผักชี และข้าวโพดฝักอ่อน โดยคัดเลือกผลิตผลที่มีความสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิและความเสียหายจากโรคและแมลง นำมาทำความสะอาดแล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์ตามกรรมวิธี วางแผนการทดลองแบบ split plot จำนวน 6 ซ้ำ main plot คือ กรรมวิธีการบรรจุ sub plot คือ ระยะเวลาการเก็บรักษา คือ 0 3 6 9 12 15 18 และ 21 วัน

<u>บัตเตอร์เฮด</u> บรรจุ 100 กรัม มี 7 กรรมวิธี คือ บรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ บรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู บรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู (ชุดควบคุม) บรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน (ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร)

<u>ถั่วฝักยาว</u> มี 5 กรรมวิธี คือ ไม่บรรจุถุง (ชุดควบคุม) บรรจุถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน น้ำหนักบรรจุ 150 และ 300 กรัม บรรจุถุง LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน น้ำหนักบรรจุ 150 และ 300 กรัม (ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร)

<u>ผักชี</u> มี 5 กรรมวิธี คือ บรรจุถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู ขนาดถุง 16x35 เซนติเมตร (S) น้ำหนักบรรจุ 50 กรัม (ชุดควบคุม) บรรจุถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาดถุง 16x35 เซนติเมตร (S) น้ำหนัก

บรรจุ 50 และ 80 กรัม บรรจุถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาดถุง 28x39 เซนติเมตร (L) น้ำหนักบรรจุ 50 และ 80 กรัม

ข้าวโพดฝักอ่อน บรรจุ 100 กรัม มี 5 กรรมวิธี คือ บรรจุถาดพลาสติกแล้วหุ้มด้วยฟิล์ม PVC (ชุดควบคุม) บรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน บรรจุถาดพลาสติกหุ้มด้วยถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน (ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร)

นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สุ่มมาตรวจสอบคุณภาพตามระยะเวลาที่กำหนด ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี (บัตเตอร์เฮด คอส ผักชี และข้าวโพดฝักอ่อน) วัดด้วยเครื่องวัดสี แรงที่ใช้ในการตัดให้ขาด (ถั่วฝักยาว) วัดด้วยเครื่อง texture analyzer ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (บัตเตอร์เฮด คอส ถั่วฝักยาว และข้าวโพดฝักอ่อน) วัดด้วยเครื่อง digital refractometer ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ผักชี) ตามวิธีของ Mackinney (1941) และประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนน ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาล (ข้าวโพดฝักอ่อน) และความชอบโดยรวม โดยการให้ค่าคะแนน 9-point hedonic scale

3. ศึกษาการเก็บรักษาผลไม้ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน

เตรียมผลิตผลที่นำมาใช้ทำการทดลอง ได้แก่ มะม่วงน้ำดอกไม้ กล้วยไข่ เงาะโรงเรียน โดยคัดเลือกผลิตผลที่มีระยะความแก่ใกล้เคียงกัน มีขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิหรือความเสียหายจากโรคและแมลง นำมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำผลิตผลมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ตามกรรมวิธี วางแผนการทดลองแบบ split plot จำนวน 6 ซ้ำ main plot คือ วิธีการบรรจุ sub plot คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ได้แก่ 0 5 10 15 20 25 และ 30 วัน (หรือ 0 2 4 6 8 10 12 14 และ 16 วัน สำหรับเงาะโรงเรียน)

มะม่วงน้ำดอกไม้ บรรจุ 1 ผลต่อถุง มี 6 กรรมวิธี คือ บรรจุกล่องกระดาษลูกฟูก (ชุดควบคุม) บรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ บรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 8 รู บรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน (ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร)

กล้วยไข่ บรรจุ 6 ผลต่อถุง มี 5 กรรมวิธี คือ บรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร 8 รู (ชุดควบคุม) บรรจุถุงฟิล์มชนิดแอคทีฟ (ชุดควบคุม) บรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน (ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร)

เงาะโรงเรียน บรรจุ 6 ผลต่อถุง/ถาด มี 5 กรรมวิธี คือ บรรจุถาดพลาสติกแล้วหุ้มด้วยฟิล์ม PVC (ชุดควบคุม) บรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน บรรจุถาดพลาสติกแล้วหุ้มด้วยถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน (ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร)

นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สุ่มมาตรวจสอบคุณภาพตามระยะเวลาที่กำหนด ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี วัดด้วยเครื่องวัดสี ความแน่นเนื้อ วัดด้วยเครื่อง texture analyzer ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ วัดด้วยเครื่อง digital refractometer ปริมาณกรดที่

ไทเตรทได้ ปริมาณวิตามินซี วัดด้วยเครื่องไทเทรตอัตโนมัติ และประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ความชอบโดยรวม โดยการให้ค่าคะแนน 9-point hedonic scale

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการทดลอง

ระยะเวลา ตุลาคม 2558 ถึง กันยายน 2564

สถานที่ดำเนินการทดลอง กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเพื่อให้ได้อัตราการซึมผ่านของก๊าซตามต้องการ

สมบัติของฟิล์ม OPP และ LDPE แสดงดัง Table 1 โดยตัวอย่างฟิล์มที่นำมาทดลองมีความหนา 30 ไมครอน มี OTR 327.26 และ 1,193.32 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ และมี WVTR เท่ากับ 4.20 และ 10.90 กรัม/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ

การเจาะรูฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน ด้วยความเร็วสแกน (scan speed) ในช่วง 300-1,500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ (power) 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 50-115 ไมครอน โดยการใช้ความเร็วสแกน 900-1,500 มิลลิเมตร/วินาที สามารถเจาะรูแต่ละครั้งได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสม่ำเสมอกว่าความเร็วสแกนช่วง 300-800 มิลลิเมตร/วินาที ดังนั้น จึงเลือกพารามิเตอร์สำหรับการเจาะรู คือ ความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 115 ไมครอน สำหรับการเจาะรูฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน ด้วยความเร็วสแกนในช่วง 300-1,500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 60-90 ไมครอน และเลือกพารามิเตอร์สำหรับการเจาะรู คือ ความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถเจาะรูได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 70 ไมครอน ลักษณะของรูเจาะแสดงดัง Figure 1

คุณภาพของการเจาะรูด้วยเลเซอร์ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการเจาะรู เช่น กำลังของเลเซอร์ ความยาวคลื่น พลังงาน จังหวะ (pulse duration) อัตราการซ้ำ (pulse repetition rate) และลักษณะของวัสดุ เช่น ชนิด ความหนา ชนิดของสารเติมแต่ง การนำความร้อน ความจุความร้อน (Winotapun *et al*., 2014; Caiazzo *et al*., 2005; Olsen, 1995) จากผลการทดลอง พบว่า ชนิดของฟิล์มมีผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะ เมื่อเจาะรูฟิล์ม OPP และ LDPE ที่มีความหนา 30 ไมครอน เท่ากัน โดยใช้ความเร็วและกำลังเลเซอร์ระดับเดียวกัน 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)

หากต้องการฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่มี OTR อยู่ในช่วง 5,000-10,000 10,000-15,000 และ 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาดถุง 20x28 เซนติเมตร (หรือ 16x35 เซนติเมตร) ต้องเจาะรูฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน ด้วยความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 7 12 และ 16 รู ตามลำดับ และเจาะรูฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน ด้วยความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 4 15 และ 22 รู ตามลำดับ (Table 2) อัตราการเคลื่อนที่ของก๊าซผ่านฟิล์มเจาะรู เป็นผลรวมของการซึมผ่านของก๊าซผ่านรูเจาะ และการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มพลาสติก โดยทั่วไปแล้วการไหลผ่านของก๊าซทั้งหมดผ่านรูเจาะจะสูงกว่าการเคลื่อนที่ของก๊าซผ่านฟิล์มพลาสติก (Fishman *et al.,* 1996) การไหลของก๊าซผ่านรูเจาะขนาด 1 มิลลิเมตร บนฟิล์ม LDPE ความหนา 25 ไมครอน เกือบเท่ากับการไหลผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มขนาดพื้นที่ 0.5 ตารางเมตร (Mir and Beaudry, 2016)

2. ศึกษาการเก็บรักษาผักในสภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน

<u>บัตเตอร์เฮด</u> ตลอดระยะเวลาเก็บรักษานาน 21 วัน บัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม OPP หรือ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกับการบรรจุถุงฟิล์มไม่เจาะรู ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลในถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดี ทั้งนี้ฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่มักไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ โดยความชื้นสัมพัทธ์ภายในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเจาะรูและไม่เจาะรูส่วนใหญ่มักใกล้เคียงกับจุดอิ่มตัวด้วยไอน้ำ การเจาะรูขนาดเล็กมีผลต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ไม่มาก (Mir and Beaudry, 2016) เมื่อเก็บรักษานาน 21 วัน ทุกกรรมวิธีมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกัน บัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนมีสีเหลืองน้อยที่สุด คือ มีค่าแสดงความเป็นสีเหลือง (b*) เฉลี่ย 31.56 (Figure 2) บัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด 21 วัน โดยมีคะแนนความชอบรวมสูงที่สุดคือ 6.19 คะแนน ขณะที่บัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟ และถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร สามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน ส่วนบัตเตอร์เฮดบรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE ไม่เจาะรู ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร สามารถเก็บรักษาได้นาน 18 วัน ซึ่งการบรรจุถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าถุงที่ใช้ทั่วไป คือถุงไม่เจาะรู หรือเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร 3-6 วัน

<u>ถั่วฝักยาว</u>บรรจุในถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ถั่วฝักยาวไม่บรรจุถุงมีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด 31.87 เปอร์เซนต์ ตลอดระยะเวลาเก็บรักษานาน 18 วัน ถั่วฝักยาวทุกกรรมวิธีมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน อยู่ระหว่าง 22.16-26.19 นิวตัน เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ถั่วฝักยาวบรรจุในถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ลดลงเล็กน้อย (Figure 3) ถั่วฝักยาวบรรจุถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนทุกกรรมวิธีเก็บรักษาได้นานกว่าการไม่บรรจุถุง 6 วัน คือสามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน โดยมีคะแนนความชอบรวมเป็นที่ยอมรับ โดยถั่วฝักยาวบรรจุถุง LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน บรรจุ 150 กรัม มีคะแนนความชอบรวมมากที่สุดเท่ากับ 7.50 คะแนน ขณะที่ถั่วฝักยาวไม่บรรจุถุงสามารถเก็บรักษาได้นาน 9 วัน

ผักชีบรรจุในถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอนทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกัน โดยมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ผักชีบรรจุถุงฟิล์มเจาะรูขนาด 0.5 เซนติเมตร มีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด 3.35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ผักชีมีค่า b* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ทุกกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงของสีไม่แตกต่างกัน เมื่อเก็บรักษานาน 18 วัน ผักชีบรรจุในถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน ขนาดถุง 16x35 เซนติเมตร น้ำหนักบรรจุ 80 กรัม และขนาดถุง 28x39 เซนติเมตร น้ำหนักบรรจุ 50 และ 80 กรัม มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 4) การเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ รวมถึงการลดอุณหภูมิและไม่มีแสงสว่าง สามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ (จริงแท้, 2546) ผักชีทุกกรรมวิธีสามารถเก็บรักษาได้นาน 18 วัน โดยมีคะแนนความชอบรวมเป็นที่ยอมรับ โดยผักชีบรรจุในถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ขนาดถุง 16x35 เซนติเมตร น้ำหนักบรรจุ 80 กรัม มีคะแนนความชอบรวมมากที่สุดเท่ากับ 7.50 คะแนน

ข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก และช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าการบรรจุถาดแล้วหุ้มด้วยฟิล์ม PVC ข้าวโพดฝักอ่อนทุกกรรมวิธีมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกัน (Figure 5) การบรรจุข้าวโพดฝักอ่อนโดยใส่ถาดพลาสติกแล้วหุ้มด้วยถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน สามารถเก็บรักษาได้นาน 20 วัน โดยยังเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค โดยช่วยรักษาความสดและชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าการบรรจุถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเพียงอย่างเดียว การเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนในถุงฟิล์มพลาสติกเจาะรูขนาดไมครอนสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดี เนื่องจากฟิล์มเจาะรูยังมีคุณสมบัติยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ต่ำ (Mir and Beaudry, 2016) ขณะที่ฟิล์ม PVC มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่า ส่งผลให้ข้าวโพดที่บรรจุในถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าด้วย ข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุถาดพลาสติกแล้วหุ้มด้วยถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน สามารถยืดอายุการวางจำหน่ายได้นานกว่าการบรรจุถาดพลาสติกแล้วหุ้มด้วยฟิล์ม PVC 5 วัน

3. ศึกษาการเก็บรักษาผลไม้ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน

มะม่วงน้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 วัน มะม่วงบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด 9.20 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่มะม่วงบรรจุในถุงฟิล์มแอคทีฟมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 1.28 เปอร์เซ็นต์ สำหรับมะม่วงบรรจุถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ การเก็บรักษามะม่วงในถุงฟิล์มพลาสติกทำให้มะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำ เนื่องจากสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ช่วยชะลออัตราการหายใจ จึงทำให้ผลิตผลมีอัตราการคายน้ำลดลง และฟิล์มพลาสติกยังช่วยป้องกันการระเหยน้ำออกจากผลิตผลด้วย (Zagory and Kader, 1988) มะม่วงบรรจุในถุงฟิล์มแอคทีฟมีค่า b* น้อยที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ทุกกรรมวิธีมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน (Figure 6) มะม่วงบรรจุในถุงฟิล์มแอคทีฟสามารถชะลอการสุกได้ดีที่สุด แต่เมื่อนำมะม่วงมาวางให้สุกที่อุณหภูมิห้อง พบว่า เกิดกลิ่นผิดปกติที่เนื้อผลในมะม่วงบรรจุถุงฟิล์มแอคทีฟเก็บรักษาในห้องเย็นเป็นระยะเวลานานตั้งแต่ 20 วันเป็นต้นไป ขณะที่มะม่วงกรรมวิธีอื่นไม่พบการเกิดกลิ่นผิดปกติ มะม่วงบรรจุในถุงฟิล์ม OPP หรือ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน

สามารถเก็บรักษาได้นาน 25 วัน โดยมีคุณภาพเมื่อผลสุกเป็นที่ยอมรับ สามารถเก็บรักษาได้นานกว่ามะม่วงที่บรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูก 15 วัน

กล้วยไข่บรรจุถุง OPP เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 3.59 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กรรมวิธีอื่นมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลา 35 วัน กล้วยไข่บรรจุในถุงฟิล์มแอคทีฟ และถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน มีค่า b* น้อยที่สุด แสดงว่าสีเปลือกมีการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด และมีความแน่นเนื้อมากกว่ากรรมวิธีอื่น โดยไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 7) กล้วยไข่ถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เก็บรักษาได้นาน 7 วัน ส่วนกล้วยไข่บรรจุในถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน เก็บรักษาได้นาน 14 วัน ขณะที่กล้วยไข่บรรจุในถุงฟิล์มแอคทีฟและฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน เก็บรักษาได้ 35 วัน โดยที่ผลยังไม่สุก โดยการบรรจุถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน ช่วยยืดอายุกล้วยไข่ได้นานกว่าการบรรจุถุงเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ที่ใช้ทั่วไป 7 และ 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน สามารถนำมาใช้สำหรับบรรจุกล้วยไข่เพื่อยืดอายุสำหรับการเก็บรักษาระยะยาว เช่น รอจำหน่าย หรือเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับขายปลีกภายในกล่องเพื่อการขนส่งทางเรือได้

เงาะโรงเรียน เมื่อเก็บรักษานาน 16 วัน เงาะบรรจุในถุงฟิล์ม OPP และ LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ทั้งแบบบรรจุถาดและไม่บรรจุถาด มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เงาะบรรจุถาดแล้วหุ้มด้วยฟิล์ม PVC มีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 1.67 เปอร์เซ็นต์ ผลเงาะบรรจุในถุง OPP เจาะรูขนาดไมครอน มีค่าความสว่างน้อยที่สุด แตกต่างจากกรรมวิธีอื่น เงาะทุกกรรมวิธีมีคุณภาพทางเคมีไม่แตกต่างกัน สามารถเก็บได้นาน 14 วัน โดยยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอนมีการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าบรรจุในถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน โดยสามารถบรรจุได้ทั้งแบบบรรจุถาดและไม่บรรจุถาด (Figure 8) การเก็บรักษาผลิตผลในถุงฟิล์มพลาสติกช่วยป้องกันการระเหยของน้ำจากผลิตผลได้ ผลิตผลจึงมีการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์มีผลทำให้อัตราการหายใจของผลิตผลลดลง ส่งผลให้อัตราการคายน้ำลดลง (Zagory and Kader, 1988) ทำให้ผลเงาะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือกไม่มาก ซึ่งการเก็บรักษาในถุงฟิล์มนอกจากจะลดการสูญเสียน้ำหนักแล้วยังช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกเงาะได้ สอดคล้องกับรายงานของ O'Hare, 1995 ว่าสามารถรักษาลักษณะปรากฏภายนอกของเงาะไว้ได้ หากให้มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด

สรุปผลการทดลอง

1. ฟิล์ม OPP ความหนา 30 ไมครอน เจาะรูด้วยเลเซอร์มาร์กเกอร์ (KEYENCE รุ่น ML-29500 Series) ความเร็วสแกน 1,000 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 7 รู ต่อถุงขนาด 20x28 (หรือ 16x35) เซนติเมตร ได้ถุงฟิล์ม OPP เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน สามารถใช้เก็บรักษาผักชี และข้าวโพดฝักอ่อน ได้นาน 18 และ 20 วัน ตามลำดับ และเก็บรักษากล้วยไข่โดยที่ผลยังไม่สุกได้นาน 14 วัน หากเจาะจำนวน 16 รู จะได้ถุงฟิล์มเจาะรู

ขนาดไมครอน OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน สามารถใช้เก็บรักษาถั่วฝักยาว และมะม่วงน้ำดอกไม้ ได้นาน 15 และ 25 วัน ตามลำดับ

2. ฟิล์ม LDPE ความหนา 30 ไมครอน เจาะรูด้วยเลเซอร์มาร์กเกอร์ ความเร็วสแกน 500 มิลลิเมตร/วินาที กำลังเลเซอร์ 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 4 รู ต่อถุงขนาด 20x28 เซนติเมตร ได้ถุงฟิล์ม LDPE เจาะรูขนาดไมครอน OTR 5,000-10,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน สามารถใช้เก็บรักษาบัตเตอร์เฮด ข้าวโพดฝักอ่อน เงาะโรงเรียน และกล้วยไข่ ได้นาน 21 20 14 และ 35 วัน ตามลำดับ หากเจาะจำนวน 22 รู จะได้ถุงฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน OTR 15,000-20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน สามารถใช้เก็บรักษาถั่วฝักยาว และมะม่วงน้ำดอกไม้ ได้นาน 15 และ 25 วัน ตามลำดับ

การนำไปใช้ประโยชน์

1. สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตฟิล์มเจาะรูโดยใช้เลเซอร์มาร์กเกอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ให้แก่บริษัทผู้ผลิตฟิล์มยืดอายุผักและผลไม้ได้
2. สามารถนำฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนที่ได้ไปใช้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

ภัทรินทร์ ลีลาภิวัฒน์. 2565. Update เทคโนโลยีและงานวิจัยสำหรับบรรจุภัณฑ์ผลิตผลการเกษตร. สืบค้นจาก: https://packaging.oie.go.th/new/admin_control_new/html-demo/analysis_file/5378946120.pdf (3 มิถุนายน 2565).

อศิรา เฟื่องฟูชาติ วรรณี ฉินศิริกุล นพดล เกิดดอนแฝก ตติยา ตรงสถิตกุล สรญา พิบูลกุลสัมฤทธิ์ เสาวภา ไชยวงศ์ และ วาณี ชนเห็นชอบ. 2549. การสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสดโดยอาศัยการคำนวณจากโมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่าย. *ว. วิทย.กษ.* 37: 5 (พิเศษ): 62-65.

Caiazzo F., F. Curcio, G. Daurelio and F.M.C. Minutolo. 2005. Laser cutting of different polymeric plastics (PE, PP and PC) by a CO_2 laser beam. *J Mat Proce Technol*. 159: 279-285.

Chow, C. 2012. Microperforations for fresh cut produce packaging Available source: 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.

Inkwood research. 2022. Global micro-perforated food packaging market forecast 2019-2027. Available source: https://inkwoodresearch.com/reports/global-micro-perforated-food-packaging-market-2/. (22 May 2022)

Kader, A.A., D. Zagory and E.L. Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit Rev Food Sci*. 28 (1): 1-30.

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.

Olsen, F.O. 1995. Pulsed laser materials processing, ND-YAG versus CO_2 lasers. *Annals of the CIRP*. 44 (1): 141-145

O'Hare, T.J. 1995. Postharvest physiology and storage of rambutan. *Post. Bio. Technol*. 6: 189-199.

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.

Table 1 Property of OPP and LDPE film.

film	thickness (μm)	oxygen transmission rate ($cm^3/m^2/day$)	water vapor transmission rate ($g/m^2/day$)
OPP	30	327.26	4.20
LDPE	30	1,193.32	10.90

Table 2 Number of holes and parameter for drilling for OPP and LDPE micro-perforated film with OTR 5,000-10,000, 10,000-15,000 and 15,000-20,000 $cm^3/cm^2/day$.

film	OTR ($cm^3/cm^2/day$)	Scan speed (mm/sec.)	Laser power (%)	No. of holes
OPP thickness 30 μm	5,000-10,000	1,000	20	7
	10,000-15,000	1,000	20	12
	15,000-20,000	1,000	20	16
LDPE thickness 30 μm	5,000-10,000	500	30	4
	10,000-15,000	500	30	15
	15,000-20,000	500	30	22

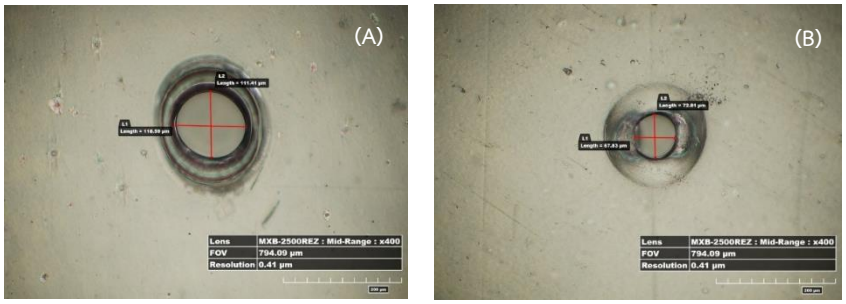

Figure 1 Characteristic and diameter of hole of OPP film (thickness 30 μm) when drill with scan speed 1,000 mm/sec., laser power 20% (A) and LDPE film (thickness 30 μm) when drill with scan speed 500 mm/sec., laser power 30% (B).

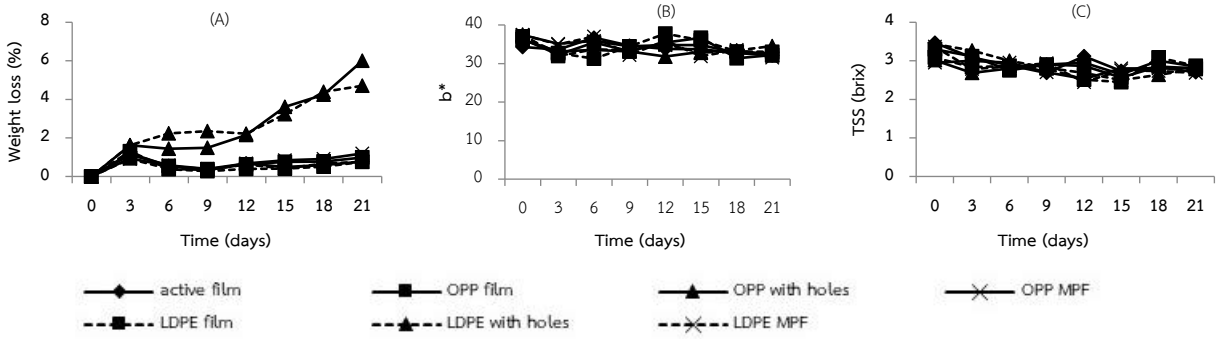

Figure 2 Change of weight loss (%) (A), b* value (B) and TSS (brix) (C) of butterhead packed in different packaging during store at 5°C.

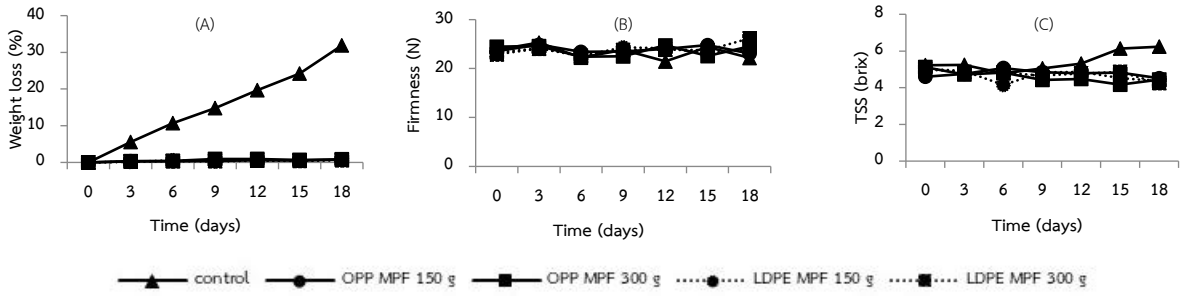

Figure 3 Change of weight loss (%) (A), firmness (N) (B) and TSS (brix) (C) of yard long bean packed in OPP and LDPE micro perforated film (OTR 15,000-20,000 cm^3/m^2/day) during store at 5°C.

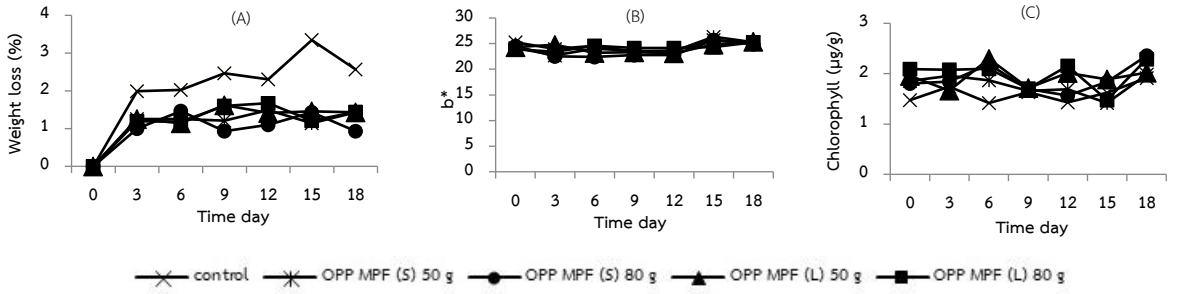

Figure 4 Change of weight loss (%) (A), b* value (B) and chlorophyll (µg/g) (C) of coriander packed in OPP micro perforated film (OTR 5,000-10,000 cm^3/m^2/day) during store at 5°C.

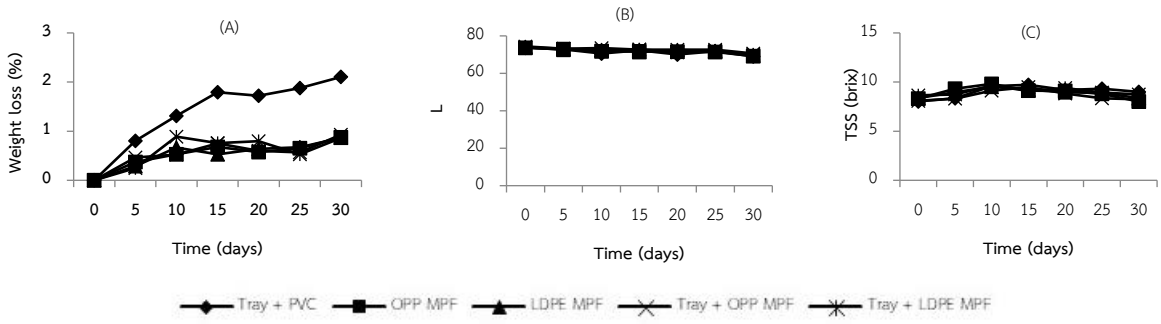

Figure 5 Change of weight loss (%) (A) L value (B) and TSS (brix) (C) of baby corn packed in different packaging during store at 5°C.

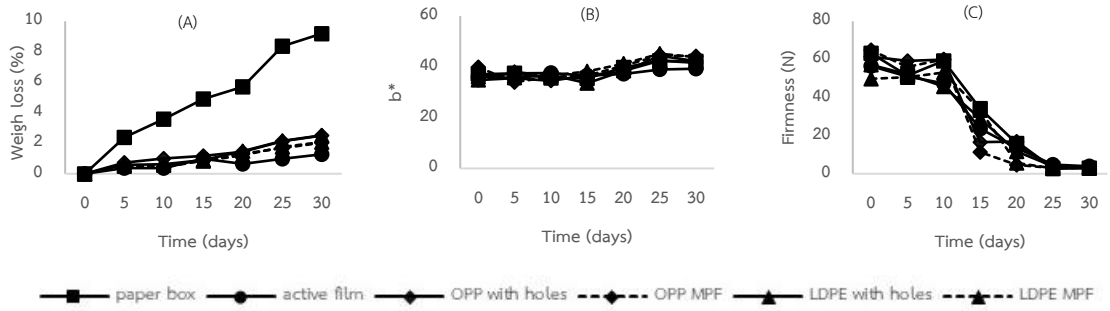

Figure 6 Change of weight loss (%) (A) b* value (B) and firmness (N) (C) of mango packed indifferent packaging during store at 13°C.

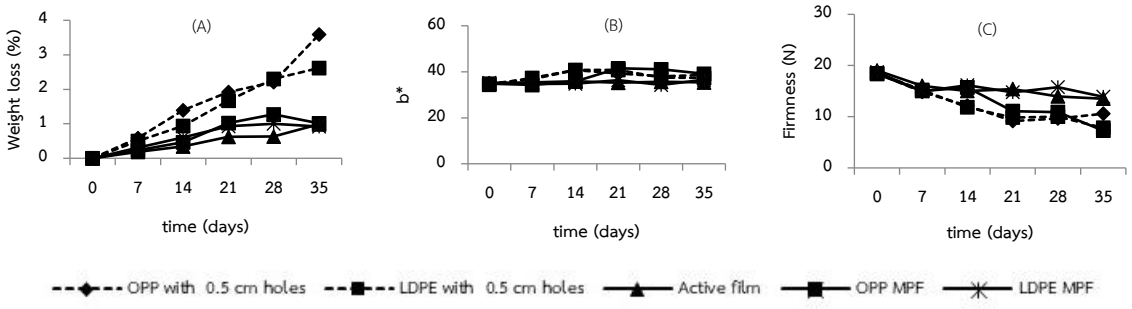

Figure 7 Change of weight loss (%) (A) b* value (B) and firmness (N) (C) of banana packed in different packaging during store at 13°C.

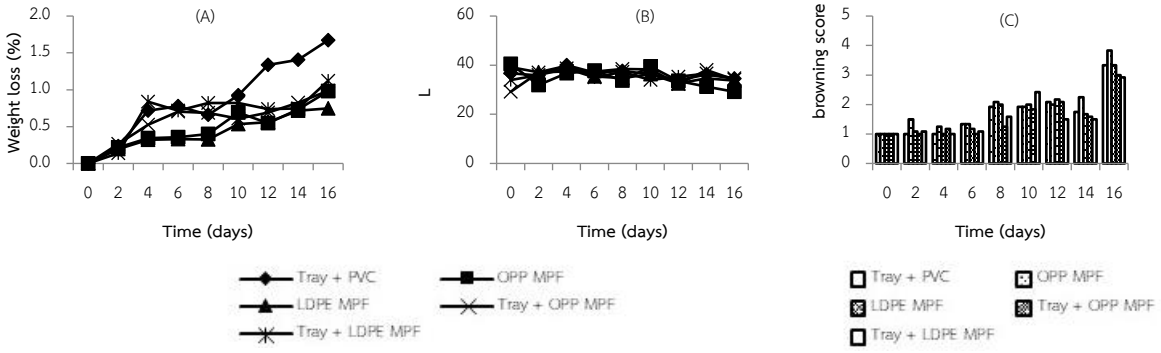

Figure 8 Change of weight loss (%) (A) L value (B) and browning score (C) of rambutan packed in different packaging during store at 13°C.