

**ผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับยืดอายุ
การเก็บรักษาเงาะผลสด**

**Effects of additives on the properties of bioplastic packaging for prolong the
storage life of rambutan**

นางสาวศิริพร เต็งรัง¹ นายกนกศักดิ์ ลอยเลิศ¹ นายสำเริง ช่างประเสริฐ²

¹กลุ่มวิจัยและแปรรูปผลิตผลเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

²ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถใช้สารเติมแต่งในการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพที่ใช้ยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดให้ใกล้เคียงกับถุงพลาสติก จากปีโตรเคมี ทำการทดลองที่สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรและศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน ระหว่างปี 2554-2555 โดยใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพทางการค้า 3 ชนิด เป็นพลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ไม่เติมสารเติมแต่ง 2 ชนิด คือ พอลิแลคติกแอซิด(Polylactic acid, PLA) และพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) และพลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้แป้งเป็นสารเติมแต่ง มีชื่อทางการค้าว่า Mater-Bi[®] นำมาขึ้นรูปเป็นถุงขนาดบรรจุเงาะผลสด 1 กิโลกรัม ทดสอบคุณสมบัติเชิงกล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ(WVTR) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน(OTR) การย่อยสลายทางชีวภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดเปรียบเทียบกับถุง Low Density Polyethylene (LDPE) ผลการทดลองพบว่า Mater-Bi[®] และ PBS ขึ้นรูปเป็นถุงและใช้งานได้ง่าย ส่วน PLA ขึ้นรูปได้ยากและไม่เหมาะในการใช้งานเพราะเปราะแตกได้ยาก เมื่อทดสอบบรรจุเงาะผลสดที่อุณหภูมิ 13 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78% เป็นเวลา 27 วัน พบว่าถุง PBS สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดได้ดีที่สุด โดยเก็บได้นาน 21 วัน มากกว่าถุง LDPE โดยที่เปลือกและขนเกิดสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อย เงาะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเก็บในถุง PBS เท่ากับ 15.93% รองลงมาเป็นถุง LDPE 17.36% และถุง Mater-Bi[®] 27.33% และมีอัตราการสุก(TSS/TA) น้อยที่สุดเมื่อเก็บในถุง PBS รองลงมาคือ ถุง Mater-Bi[®] และถุง LDPE เท่ากับ 14.75, 15.16 และ 48.40 ตามลำดับ โดยคุณสมบัติของถุง PBS คือ มีค่า WVTR 938 g/m²/day OTR 1,218 cm³/m²/day การยืดตัวแนวนานและแนวขวางเครื่อง 87% และ 5.80% ตามลำดับ ความต้านทานต่อแรงดึงแนวนานและแนวขวางเครื่อง 464 และ 283 kF/ m² ตามลำดับ ย่อยสลายได้เร็วที่สุดโดยเริ่มแตกเป็นชิ้นภายหลังจากฝังในดินเป็นเวลา 16

วัน และย่อยสลายได้ 31.25% ในเวลา 5 เดือน ราคา 6.69 บาท/ใบ ซึ่งสูงกว่าถุง LDPE แต่มีข้อได้เปรียบคือลดค่ากำจัดขยะ และหากใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออกจะช่วยลดการกีดกันทางการค้าและภาษีได้

คำหลัก: พลาสติกชีวภาพ บรรจุภัณฑ์ เาะ อายุการเก็บรักษา

คำนำ

เาะเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีแนวโน้มการส่งออกเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร(2554) ที่มีการส่งออกเาะผลสดเพิ่มขึ้นจาก 5,347 ตัน มูลค่า 69.70 ล้านบาท ในปี 2552 เป็น 7,822 ตัน มูลค่า 93.02 ล้านบาท ในปี 2553 และเพิ่มขึ้นเป็น 12,027 ตัน มูลค่า 124.82 ล้านบาท ในปี 2554 แต่เป็นเพียงส่วนน้อยเมื่อเทียบกับการบริโภคภายในประเทศและผลผลิตทั้งหมด ซึ่งหากพิจารณาเฉพาะในปี 2554 พบว่ามีการส่งออกเาะผลสดเพียง 3.90% ของผลผลิตทั้งหมด ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้การส่งออกเาะมีปริมาณน้อย คือ เาะเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยเมื่อเก็บเาะไว้ที่อุณหภูมิห้องเปลือกและขนจะเหี่ยวและแห้ง เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือดำภายในเวลา 4-5 วัน (Landrigan *et al.*, 1994) เกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็วไม่ทนทานต่อการขนส่ง ซึ่งผลจากการส่งออกได้น้อย เน่าเสียอย่างรวดเร็ว และผลผลิตออกสู่ตลาดพร้อมๆ กันจึงทำให้เกิดปัญหาเาะราคาตกต่ำในทุกปี

ในปัจจุบันจึงได้มีการวิจัยการยืดอายุการเก็บรักษาเาะผลสดมากขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณการส่งออก ซึ่งการวิจัยโดยมากนิยมบรรจุในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ เช่น นิลวรรณและคณะ (2551) ได้วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการยืดอายุการเก็บรักษาเาะผลสดให้ยาวนานขึ้นเพื่อการส่งออกทางเรือ ทดสอบโดยใช้เาะผลสดระยะ 3 สี คือ ปลายขนสีเขียว โคนขนสีแดง และผิวเปลือกเาะสีเหลืองปนแดง ขนาด 28-31 ผล/กิโลกรัม เก็บเกี่ยวแบบไม่ให้ปลายขนเาะหักชำ แล้วทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดและสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 200 ppm ร่วมกับสารป้องกันกำจัดเชื้อรา แล้วผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้น บรรจุในถุง LDPE (low density polyethylene) ที่มีค่า OTR 10,000-12,000 ml/m²/day, CTR (Carbon dioxide transmission rate) 30,000 -36,000 ml/m²/day และค่า WVTR (water vapor transmission rate) 5.74 ml/m²/day เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 14°C สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 14-18 วัน ศิริกานต์และเบญจมาศ (2552) ได้ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพการเก็บรักษาเาะโรงเรียน ซึ่งในการวิจัยได้ใช้เาะผลสดระยะ 3 สี ทำความสะอาดเาะด้วยน้ำสะอาดและน้ำสบู่อ่อน แล้วผึ่งให้แห้ง บรรจุในถุงพลาสติกชนิดต่างๆ พบว่าการบรรจุในถุงชนิด LDPE, LLDPE (linear low density polyethylene) ที่มีความหนา 5 ไมครอน และถุง active packaging ชนิด M4 ที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 12,000 cm³/m²/day ที่อุณหภูมิ 13 °C พบว่าช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเาะและรักษาคุณภาพเาะได้นาน 16 วัน และศุภฤกษ์และคณะ (2554) รายงานว่าการเก็บเาะที่อุณหภูมิ 13°C

บรรจุในถุงพอลิเอทิลีน (PE) ชนิดแอคทีฟและถุง PE ทั่วไปเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 4, 8 และ 12 รู สามารถเก็บรักษาเงาะได้ 15 วัน โดยถุง PE ชนิดแอคทีฟช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีขนและการเกิดโรคได้

แม้บรรจุภัณฑ์หลายชนิดจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดได้ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาคือขยะจากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งในอนาคตการใช้พลาสติกหรือบรรจุภัณฑ์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จะถูกนำมาเป็นข้อจำกัดทางการค้า โดยกลุ่มประเทศธุรกิจหลักๆ ได้เล็งเห็นความสำคัญของผลิตภัณฑ์รักษ์สิ่งแวดล้อมและผลิตภัณฑ์ทดแทนพลาสติก จึงออกมาตรการทางกฎหมาย และมาตรการด้านภาษี อย่างชัดเจน เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศเยอรมนีได้กำหนดให้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้จะได้รับการยกเว้นภาษี ซึ่งหากประเทศไทยมีการเตรียมพร้อมด้านบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพไว้ล่วงหน้า ก็จะสามารถป้องกันการกีดกันทางการค้าที่มีใช้ภาษีได้

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) คือ พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ แบ่งออกได้ 3 กลุ่ม ตามแผนที่นำทางแห่งชาติ การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ (พ.ศ. 2551 - 2555) (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2551) คือ 1)พลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน อาจมีปริมาณแป้งตั้งแต่ 10% ถึงมากกว่า 90% จำแนกได้หลายประเภท เช่น แป้งที่มีสมบัติเทอร์โมพลาสติก (TPS) แป้งผสมพอลิเอสเตอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรง เช่น พอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) และแป้งผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 2)พอลิเอสเตอร์ เช่น PLA, PBS เป็นต้น และ 3)พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ประเภทอื่นๆ เช่น PVA ละลายน้ำได้และย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งได้มีการนำพลาสติกชีวภาพมาใช้ในการบรรจุภัณฑ์อย่างกว้างขวาง เช่น สารเคลือบกระดาษหรือโฟม ถุงสำหรับใส่ของ พลาสติกชีวภาพมาใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อย่างกว้างขวาง เช่น สารเคลือบกระดาษหรือโฟม ถุงสำหรับใส่ของ พลาสติกชีวภาพมาใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อย่างกว้างขวาง เช่น สารเคลือบกระดาษหรือโฟม ถุงสำหรับใส่ของ พลาสติกชีวภาพมาใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อย่างกว้างขวาง เช่น สารเคลือบกระดาษหรือโฟม ถุงสำหรับใส่ของ

— PLA ผลิตจากแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง เป็นพอลิเอสเตอร์สายโซ่ตรง มีลักษณะใสและมีความแวววาวสูง มีสมบัติทางกลและนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไปที่เป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถกักเก็บกลิ่นและรสชาติได้ดี ด้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูง ในขณะที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดี และสามารถนำไปตัดแปรรูปหรือปรับปรุงให้มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีน (PE) พอลิโพรพิลีน (PP) หรือพลาสติกโอเลฟินส์จากปิโตรเคมีได้ มักผสมกับแป้งเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายได้ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดน้ำ ถุงพลาสติก พลาสติกสำหรับห่อ และวัสดุเคลือบภาชนะ เป็นต้น (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

— PBS ผลิตจากแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง เป็นพอลิเอสเตอร์สายโซ่ตรง เป็นเทอร์โมพลาสติก มีสมบัติเชิงกลสูงและทนความร้อนได้ถึง 200 °C โดยไม่เสียสภาพ ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดี สามารถใช้แทน PP, LDPE และ PLA ได้ และสามารถนำมาผสมกับแป้งเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลได้ การ

ใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น ฟิล์มบรรจุภัณฑ์และอาหาร ขวดน้ำ เป็นต้น (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

— พลาสติกชีวภาพทางการค้าที่ได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมสารเติมแต่งแล้ว เช่น พอลิเมอร์ที่มีชื่อทางการค้าว่า Mater-Bi[®] ผู้ผลิตได้ผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้าด้วยกัน คือ พอลิเอสเทอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรง เช่น PLA หรือ PBS และแป้ง (Starch-Polyester blends) ร่วมกับสารเติมแต่งอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล การขึ้นรูป และการย่อยสลายให้ดีขึ้น เป็นต้น นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

การผลิตบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพ จะต้องพิจารณาถึงความสามารถในการควบคุมการหายใจของผลิตภัณฑ์ เป็นตัวป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ ใช้เก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรในสภาพคัดแปรบรรยากาศเพื่อควบคุมการสุกและยืดอายุการเก็บรักษา ช่วยลดการแพร่ผ่านของไขมัน รักษาความสมบูรณ์ทางโครงสร้างและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตผลทางการเกษตรจากจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาได้ ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องอาศัยองค์ประกอบอื่นๆ มาช่วยซึ่งจะทำให้บรรจุภัณฑ์ชีวภาพสามารถนำไปใช้ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น (Tharanathan, 2003) ซึ่งกระบวนการคอมพาวด์ (Compounding) หรือกระบวนการผสมเพื่อผลิตพอลิเมอร์ผสม (polymer blends) เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญและจำเป็นในการปรับสมบัติทางกายภาพและทางกลให้พลาสติกชีวภาพเกิดการไหลและการก่อตัวได้ดี เพื่อลดอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) รวมทั้งเพิ่มความยืดหยุ่นแก้ปัญหาเรื่องความเปราะบาง เพื่อให้เข้าใกล้กับสมบัติเด่นของพลาสติกที่มาจากปิโตรเคมี โดยเฉพาะ PE หรือ PP โดยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นหรือการเติมสารเติมแต่ง (additive) ให้เหมาะสมทั้งกับเงื่อนไขการขึ้นรูปและการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น พลาสติกไซเชอร์ สารช่วยผสม ฟิลเลอร์ สารเสริมแรง และสารก่อผลึก เป็นต้น (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2551)

การทดลองนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพทั้งเดิมและไม่เติมสารเติมแต่ง ให้สามารถยืดอายุและเก็บรักษาเงาะผลสดได้นานขึ้น เพื่อลดความเสียหายและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกร ทั้งยังเป็นการเตรียมรับมือกับการกีดกันทางการค้าที่มีใช้ภายในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เม็ดพลาสติกชีวภาพทางการค้าชนิด 3 ชนิด ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (PLA, Ingeo[™] Biopolymer 2003D, NatureWork LLC) มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) 56.7-57.9 °C, อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) 210 °C, พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS FZ91PD, Mitsubishi Chemical Corporation) มี T_g -32 °C, T_m 114 °C และ Mater-Bi[®] (CF04 film grade, Novamont SpA) มี T_m 130 °C
2. เงาะผลสดระยะสามสีพันธุ์โรงเรียนจากศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี

3. เครื่องมือ ได้แก่ โกลดความชื้น ตู้อบลมร้อน (KOTTERMANN 2736) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler AE200) เครื่องวัดสี (Konica Minolta Chroma meter: Model: CR-400) เครื่องวัดความหนา (Dial Thickness Gauge, MOORE & WEIRHT) เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Daichi, Model TH-303C) เครื่องวัดดินระบบดิจิทัล (AMTAST, Model: AMST-300)
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide pellet, RPE-ACS)

วิธีการ

1. การคัดเลือกพลาสติกชีวภาพ

คัดเลือกพลาสติกชีวภาพทางการค้าที่ไม่ได้มีสารเติมแต่งและพลาสติกชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งแล้ว โดยพิจารณาเลือกชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จาก Data Sheet หรือเอกสารแนบของเม็ดพลาสติกแต่ละชนิด

2. การขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์

ขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพเป็นถุงบรรจุแจะผลสดน้ำหนัก 1 กิโลกรัม โดยการเป่าขึ้นรูป

3. การทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ ได้แก่

- 1) ความหนา วัดด้วยเครื่องวัดความหนา
- 2) ความต้านทานแรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัว ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D882-10 ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine; Instron model 1123 สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2 % ความเร็วในการดึง 500 mm./min ความกว้างชิ้นทดสอบ 25.4 mm. ระยะห่างระหว่างปากจับ 50 mm. จำนวน 5 ชิ้นทดสอบ/ตัวอย่าง
- 3) ความต้านทานแรงฉีกขาด ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1922-03a สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2 %
- 4) ความหนาแน่น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D792-00 สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2 %
- 5) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน(OTR) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3985-05 ด้วยเครื่อง Oxygen Permeation Tester; Illinois 8000 สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 23 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 0%
- 6) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ(WVTR) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 15106-1 : 2003 (E) ด้วยเครื่อง Vapour Permeation Tester; Lyssy L80-4000 สภาวะในการทดสอบคือ อุณหภูมิ 38 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90%

4. การทดสอบคุณสมบัติการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด

ทดสอบโดยคัดเลือกเงาะผลสดระยะสามสี มาทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าและสารละลายคลอรีนเข้มข้น 200 ppm ตามลำดับ ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นบรรจุเงาะใส่ถุงประมาณถุงละ 1 กิโลกรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78% สุ่มผลเงาะทุกๆ 3 วัน นำมาตรวจลักษณะภายนอกและคุณภาพภายใน ได้แก่ สีเปลือก สีขน วัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids, TSS) ค่า TSS/TA ซึ่งเป็นค่าดัชนีชี้วัดการสุก และการสูญเสียน้ำหนัก(%) เปรียบเทียบกับถุง LDPE ทางการค้าที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับที่ทดสอบโดยนิลวรรณและคณะ (2551)

5. การทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ตามวิธีของ Gouhua, Z., *et. al* (2006) และ Rudnik, E. and Briassoulis, D.,(2001)

ทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยการฝังดิน โดยตัดฟิล์มขนาด 5×5 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 55 °C เก็บในเคซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น(A_0) ฝังในกระถางที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร กลบด้วยดินสำเร็จรูปสำหรับปลูกต้นไม้ เก็บข้อมูลดินด้วยเครื่องวัดดินระบบดิจิทัล วางกระถางในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ ชุดฟิล์มตัวอย่างทุก 1, 2 และ 4 สัปดาห์ นำมาทำความสะอาดแล้วอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เก็บในเคซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก(A_1) นำมาคำนวณ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

6. จำนวนต้นทุนในการผลิต

ระยะเวลาดำเนินการ ตุลาคม 2553 – กันยายน 2555

สถานที่ดำเนินการ สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร และศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การคัดเลือกพลาสติกชีวภาพ

คัดเลือกพลาสติกชีวภาพทางการค้าที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์จากปิโตรเคมี และมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) พลาสติกชีวภาพทางการค้ากลุ่มที่ไม่เติมสารเติมแต่ง มี 2 ชนิด คือ พอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

— PLA ผลิตจากแป้ง เป็นพอลิเอสเตอร์สายโซ่ตรง มีลักษณะใส มีสมบัติทางกลและนำมาใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไป สามารถกักเก็บกลิ่นและรสชาติได้ดี ด้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูง ในขณะที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดี สามารถนำไปตัดแปรรูปหรือปรับปรุงให้มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีน (PE) หรือพอลิโพรพิลีน (PP) ได้ มักผสมกับแป้งเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายได้

— PBS ผลิตจากแป้ง เป็นพอลิเอสเตอร์สายโซ่ตรง เป็นเทอร์โมพลาสติก มีสมบัติเชิงกลสูงและทนความร้อนได้ถึง 200 °C โดยไม่เสียสภาพ ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดี สามารถใช้แทน PP, LDPE และ PLA ได้ในการใช้งานบางประเภท และสามารถนำมาผสมกับแป้งเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลได้

2) พลาสติกชีวภาพทางการค้ากลุ่มที่เดิมสารเติมแต่ง มี 1 ชนิด มีชื่อทางการค้าว่า Mater-Bi® เกรดฟิล์ม ซึ่งผู้ผลิตได้ผสมพอลิเอสเตอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรง เช่น PLA หรือ PBS กับแป้ง (Starch-Polyester blends) ร่วมกับสารเติมแต่งอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล การขึ้นรูป และการย่อยสลายให้ดีขึ้น เป็นต้น นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

จากคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าเป็นพอลิเมอร์กลุ่มพอลิเอสเตอร์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนหรือดัดแปลงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอสเตอร์จากปิโตรเคมี เช่น PE และ LDPE ซึ่งนิยมนำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะ เช่น ดุษฎีและคณะ (2554) ได้ศึกษาการยืดอายุเงาะพันธุ์โรงเรียนด้วยถุง PE เงาะรัฐ พบว่าสามารถเก็บรักษาเงาะได้นาน 15 วัน และนิลวรรณและคณะ (2551) ได้วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดให้ยาวนานขึ้นเพื่อการส่งออกทางเรือพบว่าถุง LDPE ที่มีค่า OTR 10,000-12,000 ml/m²/day สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดได้ 14-18 วัน ดังนั้นจึงได้คัดเลือกพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มาทำการทดลอง

2. การขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์

จากการขึ้นรูปเม็ดพลาสติกชีวภาพเป็นถุงสำหรับบรรจุเงาะด้วยการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) ด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม พบว่าพลาสติกชนิด Mater-Bi® ขึ้นรูปได้ง่ายที่สุด เนื่องจากเป็นพลาสติกชีวภาพที่ได้มีการปรับแต่งคุณสมบัติเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูปแล้ว รองลงมา คือ PBS และ PLA ตามลำดับ เนื่องจากไม่ได้เติมสารเติมแต่งเพื่อช่วยในการขึ้นรูป ทำให้เป่าขึ้นรูปได้ยากมีการสูญเสียเม็ดพลาสติกขณะขึ้นรูป ลักษณะของถุงแสดงดัง Figure 1 โดยถุง Mater-Bi® มีสีขาวขุ่น นุ่ม หนา 16 ไมโครเมตร ซึ่งอาจทำให้ถุงไม่แข็งแรง ถุง PBS มีสีขาวขุ่น แต่มั่นคงกว่าถุง Mater-Bi® หนา 0.025 ไมโครเมตร ถุงทั้ง 2 ชนิด สามารถนำมาบรรจุเงาะได้แต่ความขุ่นของถุงอาจมีผลต่อการมองเห็นผลเงาะจากภายนอก ถุง PLA มีลักษณะใส โปร่งแสง หนา 28 ไมโครเมตร แข็ง ย่นติดกันทำให้เปิดถุงได้ยาก จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้งาน

3. การทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ

การทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ เป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากเป็นการประเมินคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ โดยสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Strength) การยืดตัว (Elongation)

ความต้านทานแรงฉีกขาด (Tear Strength) ความหนาแน่น (Density) บอถึงความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ ส่วนอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor Transmission Rate) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate) บอถึงความสามารถในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ซึ่งจาก Table 1 แสดงให้เห็นว่าถุง PLA มีความแข็งแรงมากที่สุดเนื่องจากมีความต้านทานแรงดึงขาดสูงถึง 586 kF/cm² ในแนวนานเครื่อง และ 496 kF/cm² ในแนวขวางเครื่อง ซึ่งสอดคล้องกับการยืดตัวที่ยืดได้น้อยที่สุด 18.8% และ 5.50% ในแนวนานเครื่องและแนวขวางเครื่องตามลำดับ รองลงมาคือ ถุง PBS และถุง Mater-Bi[®] ทั้งนี้เนื่องจาก PLA มี Tg สูงกว่าอุณหภูมิที่ทดสอบ(ทดสอบที่ 27 °C) ทำให้ขณะทดสอบ PLA มีลักษณะแข็งดิ่งยืดได้น้อย ส่วน PBS และ Mater-Bi[®] มี Tg ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทดสอบ ทำให้ขณะทดสอบ PBS และ Mater-Bi[®] มีลักษณะนิ่มยืดหยุ่นได้ดีจึงต้านทานต่อแรงดึงขาดได้น้อย ดิ่งดัดได้สูง สอดคล้องกับลักษณะของถุง โดยถุง Mater-Bi[®] ดิ่งดัดได้ถึง 301% และ 653% และต้านทานแรงฉีกขาดได้ 203 gF และ 375 gF ในแนวนานเครื่องและแนวขวางเครื่องตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากมิได้มีการเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติแล้ว แสดงให้เห็นว่าถุง Mater-Bi[®] มีความแข็งแรงมากที่สุด รองลงมาคือ ถุง PBS และถุง PLA

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ของถุง Mater-Bi[®] = 1,390 g/m²/day และ 4,106 cm³/m²/day ตามลำดับ ซึ่งสูงที่สุด รองลงมาเป็นถุง PBS มีค่า WVTR 938 g/m²/day และ OTR 1,218 cm³/m²/day ตามลำดับ และถุง PLA มีค่า WVTR 692 g/m²/day และ OTR 630 cm³/m²/day ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับถุง LDPE ที่ทดสอบโดยนิลวรรณและคณะ (2551) พบว่าถุงพลาสติกชีวภาพยังมีค่า OTR น้อยกว่า แต่ค่า WVTR ของถุงพลาสติกชีวภาพมีค่าสูงกว่า

ซึ่งจากผลการทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ พบว่าสามารถนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับเงาะผลสดได้ เนื่องจากมีความแข็งแรง(ความต้านทานแรงดึงขาดสูง) และที่สำคัญ คือ มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงซึ่งจะช่วยให้ไอน้ำที่เกิดจากการหายใจของเงาะระเหยผ่านออกไปได้ เป็นการช่วยลดโอกาสการเน่าเสียของเงาะ

4. การทดสอบคุณสมบัติการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด

ทดสอบบรรจุเงาะผลสดกับถุง PBS และ Mater-Bi[®] เปรียบเทียบกับถุง LDPE ส่วนถุง PLA ไม่ได้ทดสอบเนื่องจากถุงมีลักษณะกรอบ เป็ดถุงได้ยากไม่เหมาะกับการนำมาใช้งานจริง

ผลการทดสอบบรรจุเงาะผลสดระยะสามสัปดาห์ 1 กิโลกรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78% พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีขนเป็นสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยเงาะที่เก็บในถุง PBS เริ่มเกิดจุดสีน้ำตาลบนผิวเปลือกเฉลี่ยผลละ 1 จุด ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ผิวเปลือกยังคงมีสีเหลืองปนแดงอย่างชัดเจน ส่วนปลายขนมีสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อยส่วนมากยังคงมีสีเขียวและสีแดง โดยเกิดการเน่าเสียอย่างชัดเจนในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา คือ เกิดสีน้ำตาลทั่วผิวเปลือกและปลายขนถึง 50% ของผลเงาะทั้งหมด (Figure 2) ส่วนการเก็บรักษาเงาะในถุง Mater-Bi[®] ผิวเปลือกและขนเงาะเริ่มเกิดสีน้ำตาลในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา โดยผิวเปลือกส่วนมากยังคงมีสี

เหลืองปนแดงอยู่แต่ปลายขนเกิดการเหี่ยวถึง 60% ของผลเงาะทั้งหมด และเกิดอย่างรวดเร็วในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา คือ เกิดสีน้ำตาลทั่วผิวเปลือก 30% ของผลเงาะทั้งหมด และปลายขนเหี่ยวอย่างชัดเจนทุกผล (Figure 3) สอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของเงาะที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น สาเหตุเกิดจากเงาะมีการหายใจจึงทำให้เกิดการคายน้ำออกมา อีกทั้งมีพื้นที่ผิวสูงและขนเงาะมีปากใบมากจึงทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักสูง (จริงแท้, 2549) โดยเกิดการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็ว 13.53% ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาในถุง PBS 24.28% ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาในถุง Mater-Bi® และ 11.59% ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาในถุง LDPE (Figure 4) และจากการสังเกตพบว่ามีไอน้ำเกาะภายในถุง Mater-Bi® และ PBS น้อยกว่าในถุง LDPE เนื่องจากพลาสติกชีวภาพมีค่า WVTR สูงทำให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นระเหยหรือแพร่ผ่านฟิล์มได้ดี จึงช่วยชะลอการเน่าเสียขณะเก็บรักษา

ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในของผลเงาะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) โดย TSS แสดงถึงปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (Figure 5) เนื่องจากถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจและค่า TA ที่แสดงถึงปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บในถุงพลาสติกชีวภาพนานขึ้น แต่ลดลงเมื่อเก็บในถุง LDPE (Figure 6) เนื่องจากเริ่มเกิดการเน่าเสียของเงาะและถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ โดยจากการเก็บเงาะเป็นเวลา 27 วัน พบว่าเงาะที่บรรจุในถุง Mater-Bi® มีค่า TSS 18.5% ค่า TA 1.22% ซึ่งสูงที่สุด รองลงมาเป็นเงาะที่บรรจุในถุง PBS มีค่า TSS 17.26% ค่า TA 1.17% และถุง LDPE มีค่า TSS 16.94% ค่า TA 0.35% และเมื่อพิจารณาค่า TSS/TA ซึ่งเป็นค่าดัชนีชี้วัดการสุก พบว่าเงาะมีอัตราการสุกมากที่สุดเมื่อบรรจุในถุง LDPE รองลงมาคือถุง Mater-Bi® และถุง PBS โดยมีค่า TSS/TA = 48.40, 15.16 และ 14.75 ตามลำดับ สอดคล้องกับลักษณะภายนอกของผลเงาะ

5. การทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

จากการฝังกลบพลาสติกชีวภาพในดินสำหรับปลูกต้นไม้ ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร มีความชื้นในดินมากกว่า 30% อุณหภูมิ 29 ± 1 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง 5 ± 1 และมีความเข้มแสงในช่วง 10,000 – 25,000 ลักซ์ เป็นระยะเวลา 6 เดือน (ตุลาคม 2555 – มีนาคม 2556) พบว่า PBS ย่อยสลายได้เร็วที่สุด โดยเริ่มเกิดการย่อยสลายเมื่อฝังกลบเป็นเวลา 16 วัน และเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วเมื่อฝังกลบไปแล้ว 100 วัน รองลงมาเป็น Mater-Bi® และ PLA โดยเริ่มเกิดการย่อยสลายเมื่อฝังกลบไปแล้วมากกว่า 100 วัน มีน้ำหนักหายไปหรือเปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย 31.25, 5.79 และ 1.62% ของน้ำหนักเริ่มต้นตามลำดับ เนื่องจาก PBS เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดที่พันธะเอสเทอร์ จึงย่อยสลายได้เร็ว (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) Mater-Bi® เป็นพอลิเอสเทอร์ผสมแป้ง ซึ่งการเติมแป้งจะช่วยให้ย่อยสลายได้เร็วขึ้นซึ่งจะเห็นว่าย่อยสลายได้เร็วกว่า PLA ซึ่งไม่เติมสารเติมแต่ง แต่ช้ากว่า PBS อาจเนื่องจากสารเติมแต่งอื่นๆ ที่ช่วยให้พอลิเอสเทอร์กับแป้งผสมเข้ากันได้ดีขึ้นจึงย่อยสลายได้ช้ากว่า ส่วน PLA จะไม่ย่อยสลายทันทีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C

(สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ทั้งนี้การย่อยสลายจะเกิดได้มากขึ้นเมื่อฝังกลบนานขึ้น (Figure 7) โดยลักษณะการแตกสลายของ PBS จะเริ่มจากการแตกออกเป็นชิ้นส่วนใหญ่ๆ และแต่ละชิ้นส่วนจะแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ เมื่อฝังกลบนานขึ้น ส่วน Mater-Bi® และ PLA มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เกิดรอยแตกในบางจุดและแตกเป็นชิ้นใหญ่ๆ อย่างชัดเจนเมื่อฝังกลบไปแล้ว 161 วัน (Figure 8)

6. คำนวณต้นทุนในการผลิต

ต้นทุนในการผลิตถุงจากพลาสติกชีวภาพยังมีราคาค่อนข้างสูง ดังข้อมูลใน Table 2 เนื่องจากต้องนำเข้าเม็ดพลาสติกจากต่างประเทศ อีกทั้งมีการสูญเสียพลาสติกขณะขึ้นรูปเนื่องจากไม่ได้เติมสารเติมแต่งเพื่อปรับคุณสมบัติในการขึ้นรูป ซึ่ง PLA มีราคาสูงที่สุด 14.98 บาท/ใบ แม้ต้นทุนเม็ดพลาสติกจะมีราคาถูกที่สุดแต่เกิดความสูญเสียขณะขึ้นรูปสูงที่สุด รองลงมาเป็น Mater-Bi® 8.79 บาท/ใบ และ PBS 6.69 บาท/ใบ เนื่องจาก Mater-Bi® มีการเติมสารเติมแต่งจึงทำให้ราคาเม็ดพลาสติกสูง ซึ่งในอนาคตจะมีโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพในประเทศไทย อาจทำให้ต้นทุนเม็ดพลาสติกถูกลง และหากมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมโดยเติมสารเติมแต่งเพื่อลดความสูญเสียระหว่างการขึ้นรูปจะทำให้ราคาต้นทุนของถุงจากพลาสติกชีวภาพถูกลงเช่นกัน

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

พลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเตอร์ไม่เติมสารเติมแต่งชนิด PBS สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดพันธุ์โรงเรียนที่อุณหภูมิตั้งที่ 13 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78% ได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้ 21 วัน โดยที่ลักษณะภายนอกและคุณภาพภายในเป็นที่ยอมรับได้ รองลงมาคือถุง LDPE เป็นถุงพลาสติกจากปิโตรเคมี และถุง Mater-Bi® เป็นถุงพลาสติกชีวภาพทางการค้ากลุ่มพอลิเอสเตอร์ผสมแป้งและสารเติมแต่งอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าสารเติมแต่งไม่มีผลต่อถุงพลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเตอร์ชนิด PBS เนื่องจากสามารถใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดได้โดยไม่ต้องเติมสารเติมแต่ง

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนของถุง PBS กับถุง LDPE พบว่าถุง PBS มีต้นทุนในการผลิตที่สูงกว่าแต่มีข้อได้เปรียบคือ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะลงได้ และที่สำคัญคือ หากใช้บรรจุเงาะผลสดเพื่อการส่งออกจะช่วยลดข้อจำกัดทางการค้าหรือลดภาษีได้ เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำไปเผยแพร่และพัฒนาเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุเงาะผลสดหรือผลิตผลทางการเกษตรชนิดอื่นได้ และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุเงาะผลสดเพื่อการส่งออกในระดับอุตสาหกรรมได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน ที่สนับสนุนงานะผลสด

เอกสารอ้างอิง

- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม. 396 หน้า.
- คู่มือ ทรัพย์บัว, ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์, วาริช ศรีละออง และอภิรดี อุทัยรัตนกิจ. 2554. การยืดอายุการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียนด้วยถุงพอลิเอทิลีน. ว.วิทย์.เกษตร. 42:3 (พิเศษ) : 633:636.
- นิลวรรณ ลีอังกูรเสถียร, สุชาติ วิจิตรานนท์, ปัญจพร เลิศรัตน์, ภิรมย์ ขุนจันทิก, เสริมสุข สลักเพชร และอรวิณทิณี ชุศรี. 2551. ฐานข้อมูลงานวิจัยกรมวิชาการเกษตร: การศึกษาการผลิตเงาะ. 33 หน้า. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://it.doa.go.th/refs/files/1105_2551.pdf. สืบค้น 5 กันยายน 2554.
- ศิริกานต์ ศรีชัยรัตน์, เบญจมาศ รัตนชินกร. 2552. ผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียน. หน้า 287-295. ใน : รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2552 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- ศูนย์ข้อมูลผลไม้. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.oae.go.th/fruits/index.php/2013-01-25-03-34-09?id=157>. สืบค้น กันยายน 2554.
- สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2551. แผนที่นำทางแห่งชาติ การพัฒนาพลาสติกชีวภาพ (พ.ศ. 2551-2555). กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 105 หน้า.
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้: พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 31 หน้า.
- Gouhua, Z., Ya, L., Cuilan, F., Min, Z., Caiqionng, Z. and Zongdao, C. 2006. Water resistance, mechanical properties and biodegradability of methylated-cornstarch/poly(vinyl alcohol) blend film. *Polymer Degradation and Stability*. Vol 91. p. 703-711.
- Landrigam, M., V. Sarafis, S.C. Morris and W.B. McGlasson. 1994. Structural aspects of rambutan fruit and their relation to postharvest browning. *J. Hort. Sci.* 69: 571-579.
- Rudnik, E. and Briassoulis, D. 2011. Degradation behavior of poly(lactic acid) films and fibers in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. *Industrial Crops and Products*. Vol 33. p. 648-658.
- Tharanathan R.N. 2003. Review : Biodegradable films and composite coating : past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*. 14 : 71 – 78.

ภาคผนวก

Table 1 Properties of bioplastic bags

Properties	Bioplastics bags		
	PLA	PBS	Mater-Bi [®]
Tensile Strength (kF/cm ²)			
Parallel machine	586	464	241
Across machine	496	283	107
Elongation (%)			
Parallel machine	18.8	87.0	301
Across machine	5.50	5.80	653
Tear Strength (gF)			
Parallel machine	10.8	2.08	203
Across machine	12.8	3.75	375
Density (g/cm ³)	1.24	1.30	1.26
Water vapor Transmission Rate (WVTR) (g/m ² /day)	692	938	1,390
Oxygen Transmission Rate (OTR) (cm ³ /m ² /day)	630	1,218	4,106

Table 2 The production cost of bioplastic bags

Bioplastic Bags	Bioplastic granule price (bath)	Bioplastic forming cost (baht)	Amount forming a plastic bag (bath/piece)	Cost of bioplastic bag (bath/piece)
PLA (PLA 2003D)	210	7000	20	14.98
PBS (PBS FZ91PD)	305	7000	60	6.69
Mater-Bi [®]	320	7000	56	8.79



Figure 1 Bioplastic bags from (a) PLA, (b) PBS and (c) Mater-Bi[®]



Figure 2 Outer and inner appearance of the rambutans storage at 78% RH 13 ± 2 °C for 27 days in PBS bag . (top to bottom: 0, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 18, 21 and 24 days).



Figure 3 Outer and inner appearance of the rambutans storage at 78% RH 13 ± 2 °C for 27 days in Mater-Bi[®] bag . (top to bottom: 0, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 18, 21 and 24 days).

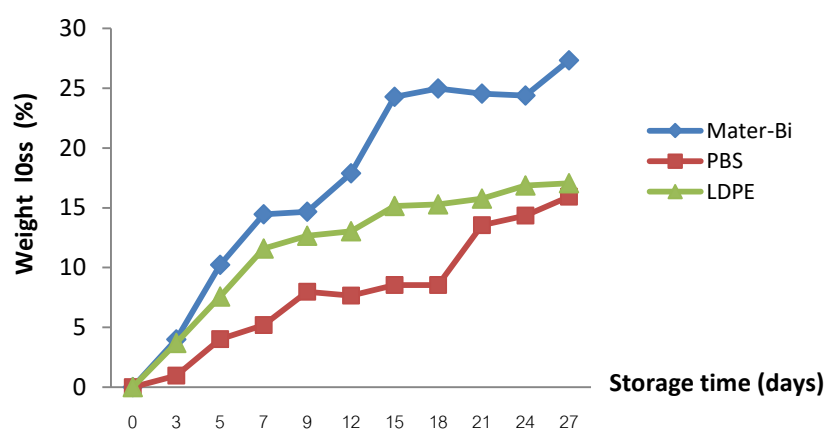


Figure 4 Weight loss of rambutans in bioplastic bags and LDPE bag during storage at 13 ± 2 °C 78% RH for 27 days

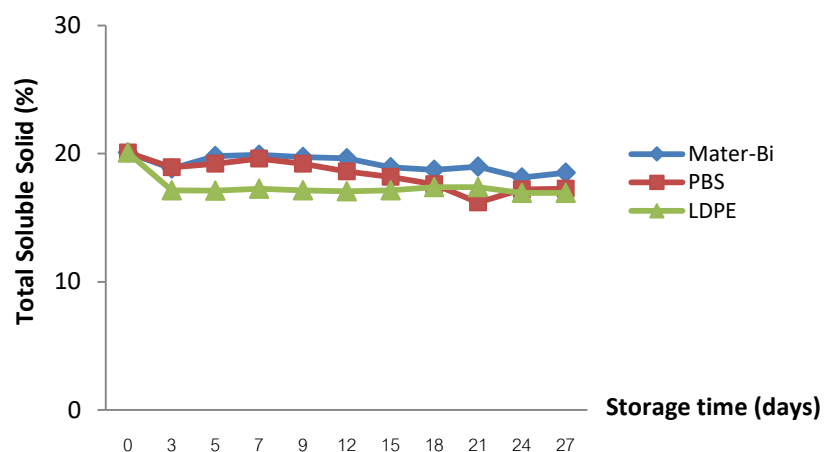


Figure 5 Total Soluble Solid of rambutans in bioplastic bags and LDPE bag during storage at 13 ± 2 °C 78% RH for 27 days

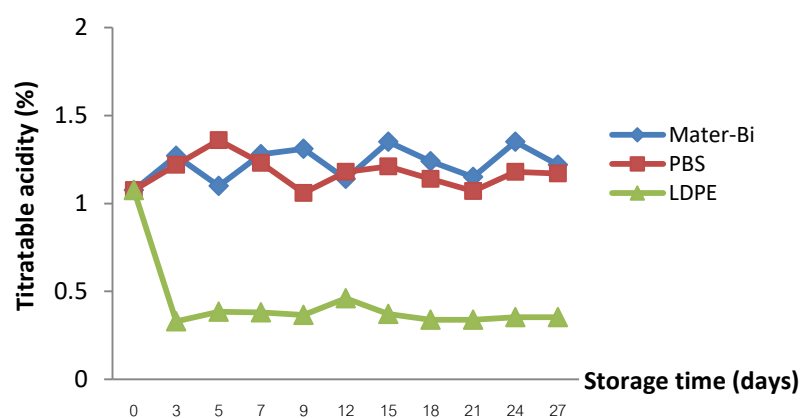


Figure 6 Titratable acidity of rambutans in bioplastic bags and LDPE bag during storage at 13 ± 2

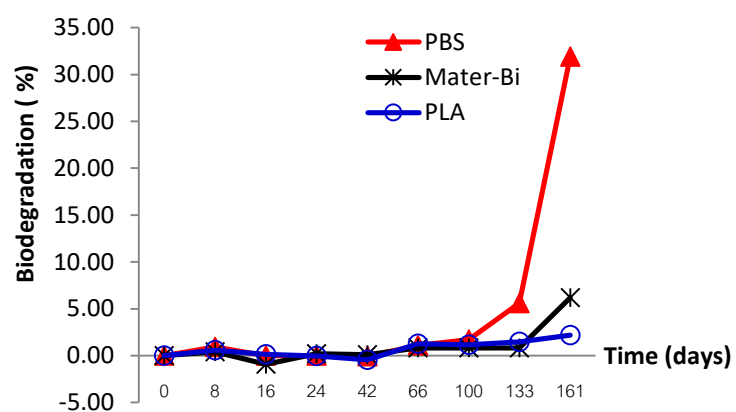


Figure 7 Biodegradation of bioplastics in soil burial test.



Figure 8 Apparent of PLA (a), PBS (b) and Mater-Bi[®] (c) films during biodegradation studies in the soil burial test at $\geq 30\%$ RH 29 ± 1 °C pH 5 ± 1 and 10,000 – 25,000 lux, at different stages of degradation (left to right: 0, 16, 42, 66, 100 and 161 days).