

ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกล
ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันเทศเพื่อยืดอายุกล้วยน้ำว้า
THE EFFECT OF GLYCEROL CONTENT
ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
THE BIODEGRADABLE FILM FROM SWEET POTATO FLOUR FOR
PRESERVING NAMWA BANANA

ภาวิณี เทียมดี* และธัญลักษณ์ เอื้อสูง
Pawinee Theamdee*, and Thanyalak Auasalung

Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

*corresponding author e-mail: pawinee.t169@gmail.com

(Received: 20 June, 2018; Revised: 4 October, 2018; Accepted: 6 November 2018)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของฟิล์มย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจากแป้งมันเทศ ซึ่งฟิล์มนี้ใช้เคลือบผิวผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา การเตรียมฟิล์มทำโดยละลายแป้งมันเทศในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และเติมกลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 30 และ 60 โดยน้ำหนัก แผ่นฟิล์มถูกขึ้นรูปในแม่พิมพ์และทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าความหนาของฟิล์มมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น และมีค่าอยู่ในช่วง 0.34-0.39 มิลลิเมตร ฟิล์มจากแป้งมันเทศมีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ 0.009-0.026 กรัมต่อตารางเมตรต่อกิโลปาสกาลต่อชั่วโมง อัตราการซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มลดลงอย่างมากเมื่อปริมาณกลีเซอรอลในแผ่นฟิล์มสูงขึ้น เมื่อฝังฟิล์มในดินสีกประมาณ 8-10 เซนติเมตร เป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มย่อยสลายได้ร้อยละ 16-55 โดยการย่อยสลายนี้เกิดเร็วขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบความสามารถในการยืดอายุผลกล้วยน้ำว้า พบว่าการเคลือบผิวกล้วยด้วยฟิล์มจากแป้งมันเทศที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 30 สามารถยืดอายุการเก็บรักษากลับได้นานสูงสุด 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟิล์มจากแป้งมันเทศอาจใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้ และยังเป็นฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณขยะได้อีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ: แป้งมันเทศ ฟิล์มย่อยสลายได้ กลีเซอรอล ฟิล์มเคลือบ การเก็บรักษาผลไม้

Abstract

This research studied the effect of using glycerol as a plasticizer on physical and mechanical properties of a biodegradable film made from sweet potato flour. This film was coated on a fruit for a preserving purpose. The preparation of the film was done by dissolving sweet potato flour in water to the concentration of 5 wt% and the

glycerol was added at 3 levels; 0, 30, and 60 wt%. The film was molded and dried at 60 °C for 18 h. The results showed that the thickness of the films, which increased with the increasing of the glycerol content, ranged between 0.34-0.39 mm. The sweet potato flour film had water vapor permeability value of 0.009-0.026 g/m²/kPa/h. The water permeability increased with the glycerol content. The tensile strength of the film dramatically decreased as a result of high glycerol content in the film. After the films were buried under the ground (8-10 cm depth) for 4 weeks, they were degraded by 16-55%. This degradation increased with the increasing of glycerol content. The films were used to preserve banana fruit. Coating the banana fruit with sweet potato film with 30% glycerol content showed the best on extending the shelf life for 3 days at room temperature. These results indicated that sweet potato flour biodegradable film could be used to preserve fruits. In addition, this made of natural film is biodegradable which can help reduce the amount of waste.

Keywords: sweet potato flour, biodegradable film, glycerol, coating film, fruit preservation

บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้ฟิล์มย่อยสลายได้ (biodegradable film) เป็นวัสดุห่อหุ้มและเคลือบผิวของอาหาร และผลไม้โดยตรง (Thumthanaruk et al., 2012) เพื่อช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้น ช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และช่วยชะลอการหายใจและการซึมผ่านของไอน้ำ (Maftoonazad et al., 2007) ซึ่งช่วยยืดอายุให้กับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทผลไม้และผัก การพัฒนาแผ่นฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้ส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติในการขึ้นรูป เช่น แป้งมันสำปะหลัง (Hernandez et al., 2017) แป้งข้าวโพด (Wang et al., 2017) แป้งจากข้าว (Rachtanapun et al., 2012) แป้งบุก (Jiang et al., 2016) และเวย์โปรตีน (Jiménez et al., 2012) เป็นต้น แป้งมีข้อดีหลายประการ เช่น ย่อยสลายได้ง่าย สามารถพองตัวขึ้นเป็นแผ่นฟิล์มได้ มีปริมาณมาก ราคาถูกและหาได้ง่าย แม้ว่าฟิล์มย่อยสลายได้ไม่มีจุดหมายในการทดแทนบรรจุภัณฑ์สังเคราะห์ในท้องตลาดได้ทั้งหมด แต่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้บรรจุภัณฑ์สังเคราะห์ จากข้อดีของแป้งดังกล่าวจึงสนใจนำแป้งมาผลิตเป็นฟิล์มย่อยสลายได้ มันเทศ (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) เป็นพืชที่เพาะปลูกมากในตำบลโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตสูง ราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่น จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นฟิล์มย่อยสลายได้เพื่อเคลือบยืดอายุให้กับผลไม้ ฟิล์มที่มีส่วนประกอบของแป้งธรรมชาติเพียงอย่างเดียว มักมีความยืดหยุ่นต่ำ จึงไม่เหมาะต่อการใช้เคลือบผิวผลไม้โดยตรง เนื่องจากอาจทำให้ผิวผลไม้เกิดการเสียหาย ด้วยเหตุนี้ พลาสติกชีวเซอร์จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และทางกลของฟิล์มจากแป้งธรรมชาติ ตัวอย่างพลาสติกชีวเซอร์ที่มีความปลอดภัยสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับอาหาร ได้แก่ ซูโครส ซอร์บิทอล และกลีเซอรอล (Vieira et al., 2011) ซึ่งในจำนวนนี้ กลีเซอรอลมีความเหมาะสมค่อนข้างสูงสำหรับใช้เป็นพลาสติกชีวเซอร์ในฟิล์มที่ทำจากแป้งธรรมชาติ เนื่องจากมีสมบัติละลายน้ำได้ ปลอดภัยและสามารถใช้กับอาหารได้ มีสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนได้ดี และมีราคาถูก ดังนั้นการใช้กลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบในฟิล์มจากแป้ง จึงส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และทางกลของฟิล์มจากแป้ง ซึ่งอาจเพิ่มความยืดหยุ่น อัตราการซึม

ผ่านของไอออนน้ำ และออกซิเจนให้กับแผ่นฟิล์มได้ (Mali et al., 2005) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล ในการทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และทางกลของฟิล์มย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจากแป้งมันเทศ พร้อมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เป็นฟิล์มเคลือบผิวผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยทดสอบกับกล้วยน้ำว้า และศึกษาพฤติกรรมการย่อยสลายของฟิล์มเคลือบผิวผลไม้ที่เตรียมได้จากแป้งมันเทศ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแป้งมันเทศ

หัวมันเทศได้รับความอนุเคราะห์จากเกษตรกร ตำบลวังเพลิง อำเภอกอคำโรง จังหวัดลพบุรี มีอายุหลังจากการเก็บเกี่ยว 3 วัน ซึ่งมีวิธีการเตรียมแป้งมันเทศ ดังนี้

1.1. การเตรียมแป้งดิบจากหัวมันเทศ

เตรียมแป้งดิบจากหัวมันเทศ โดยล้างทำความสะอาดจากนั้นปอกเปลือกแล้วล้างน้ำอีกครั้ง หั่นมันเทศให้เป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำไปปั่นละเอียดกับน้ำในอัตราหัวมันต่อน้ำเท่ากับ 1:2 ด้วยเครื่องปั่นผสมไฟฟ้า จากนั้นแยกแป้งออกจากของเหลวโดยการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 2000 rpm เป็นเวลา 15 นาที อบแห้งตะกอนแป้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบลมร้อน (Memmert, UN 110, Germany) บดตะกอนแป้ง แล้วร่อนผงแป้งผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 100 mesh เก็บในโถควบคุมความชื้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์ภายในเท่ากับ $40 \pm 2\%$ RH ที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 27 ± 2 องศาเซลเซียส

1.2 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันเทศ

วิธีการเตรียมฟิล์มจากแป้งมันเทศ เตรียมสารละลายแป้งในน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร กวนผสมพร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมกลีเซอรอลเพื่อทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยศึกษาที่ความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอร์ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 30 และ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง กวนผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 5 นาที จะได้สารละลายน้ำแป้งสำหรับผลิตแผ่นฟิล์ม แผ่นฟิล์มสำหรับทดสอบสมบัติทางเคมีกายภาพโดยเทสารละลายปริมาตร 40 มิลลิลิตร ในจานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนแห้ง ลอกแผ่นฟิล์มออกจากจานเพาะเชื้อ เก็บในโถควบคุมความชื้น เพื่อเตรียมวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและทางกล

2. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของแผ่นฟิล์ม

2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

วัดความหนาของฟิล์ม ด้วยไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, Japan) โดยทำการวัดทั้งหมด 5 จุด และหาค่าเฉลี่ย วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab, Color Flex Z2, USA) วัดค่า L^* โดยที่ L^* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) (Li & Lee, 1996)

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability, WVP) ใช้วิธีการทดสอบตามวิธีของ Jomlapeeratkiul et al., 2014 โดยใช้ถ้วยทดสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร สูง 3.2 เซนติเมตร บรรจุด้วยซิลิกาเจล (silica gel) ตัดแผ่นฟิล์มเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ปิดบนถ้วยทดสอบ ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างแผ่นฟิล์มรวมกับถ้วยทดสอบ นำถ้วยทดสอบใส่ในโถควบคุม

ความชื้นที่ร้อยละ 75 RH ที่อุณหภูมิห้อง (26 ± 2 องศาเซลเซียส) ชั่งน้ำหนักถ้วยทดสอบ (แผ่นฟิล์ม silica gel และถ้วยทดสอบ) เมื่อเวลาผ่านไป 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง คำนวณหาค่า โดยใช้สูตร

$$WVP = (WVTR * t) / \Delta P \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ $WVTR$ = ความชันของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียน้ำ
กับเวลา ($g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$) ต่อพื้นที่ของฟิล์มที่ไอน้ำผ่าน (m^2)
 t = ความหนาของแผ่นฟิล์ม (mm)
 ΔP = ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Pa)

ค่าแอกติวิตีของน้ำ (Water activity, a_w) เป็นค่าความชื้นที่มีผลต่ออัตราการเจริญของจุลินทรีย์ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันเทศ โดยเครื่อง water activity meter (Aqualab model series 4, Decagon device Inc, USA) มีหลักการ คือ ให้ความร้อนกับตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในบริเวณที่ปิดสนิทจนกระทั่งความชื้นสัมพัทธ์บริเวณเหนือตัวอย่างคงที่ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่า a_w ของตัวอย่าง (Mathlouthi, 2001) ค่า a_w ที่น้อยที่สุดที่ทำให้แบคทีเรีย ยีสต์ และราเติบโตได้เท่ากับ 0.90, 0.83 และ 0.80 ตามลำดับ (Sperber, 1983)

ศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำ (water solubility) ทดสอบตามวิธีของ Ekthamasut & Akesowan (2001) นำแผ่นฟิล์มมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก (W_1) จากนั้นนำไปละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และกวนด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 ที่ชั่งน้ำหนักแล้ว, (a_1) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที ชั่งน้ำหนักของกระดาษกรอง (a_2) บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ ดังนี้

$$\text{Water solubility (ร้อยละ)} = \{(W_1 - (a_2 - a_1)) / W_1\} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักของแผ่นฟิล์ม
 a_1 = น้ำหนักของกระดาษกรอง
 a_2 = น้ำหนักของกระดาษกรองหลังอบ

2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล

การต้านทานแรงดึง (tensile strength, TS) วัดโดยใช้เครื่อง Texture Analyser (Stable microsystems, TA-XT2, UK) ตัดฟิล์มให้ มีขนาดความกว้าง 25 มิลลิเมตร และยาว 100 มิลลิเมตร ใช้หัววัดแบบ Tensile Grip ซึ่งมีระยะห่างเริ่มต้นระหว่าง grip เท่ากับ 50 มิลลิเมตร และมีอัตราในการดึงยึดแผ่นฟิล์ม 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ (Choi & Jung, 2001)

3. การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศ

ตัดแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 0, 30 และ 60 ให้มีขนาด 2×5 เซนติเมตร นำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปฝังลงในดินที่นำมาจากแปลงปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วน ทำการทดลองฝังดินในกระถางเพาะชำขนาด 17.5×46.5 เซนติเมตร และฝังแผ่นฟิล์มให้มีความลึกประมาณ 8-10 เซนติเมตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการให้น้ำ ความชื้นเริ่มต้นของดินเท่ากับร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแผ่นฟิล์มทุกสัปดาห์ และคำนวณการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศ (Tsou, 2014) โดยมีแผ่นฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (PE) เป็นชุดควบคุม

$$\text{การย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม (ร้อยละ)} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ A = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มเริ่มต้น (กรัม)
 B = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหลังการย่อยสลาย (กรัม)

4. การเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันเทศเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

เตรียมสารละลายน้ำแป้งด้วยวิธีเดียวกับการเตรียมแผ่นฟิล์ม ต้นแบบผลไม้ที่เลือกใช้ คือ กล้วยน้ำว้า เนื่องจากสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ง่าย โดยเลือกกล้วยสุกระดับสองซึ่งมีเปลือกเป็นสีเขียวอ่อน (Soltani et al., 2010) และใช้กล้วยเครือเดียวกันในแต่ละซ้ำของการทดลอง โดยใช้ผลกล้วยที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกัน ไม่มีตำหนิทางกายภาพและบาดแผลจากแมลงหรือโรคที่เกิดจากจุลินทรีย์ ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาโดยแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม ไม่มีการเคลือบ และเคลือบด้วยสารละลายจากแป้งมันเทศ ทำการเคลือบโดยการจุ่มผลกล้วยน้ำว้าลงในสารละลายน้ำแป้งให้ทั่วผลแล้วนำขึ้นทันที วางผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 °C) สังเกตการเสื่อมเสียของผลกล้วยจากลักษณะสีของเปลือกกล้วยที่มีลักษณะเหี่ยวเนื่องจากสูญเสียน้ำและมีสีคล้ำขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 9 วัน และคำนวณการสูญเสียน้ำหนักดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ A_0 = น้ำหนักของผลไม้หลังหุ้มสารเคลือบผิววันแรก (กรัม)
 A_1 = น้ำหนักของผลไม้หลังหุ้มด้วยสารเคลือบผิววันสุดท้าย (กรัม)

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) และรายงานผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง ประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 16.0 (SPSS Inc., USA) และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันเทศ

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมกลีเซอรอลในอัตราส่วนร้อยละ 0 (Figure 1A) มีลักษณะเปราะ และแตกหักง่าย ในขณะที่แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมอัตราส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 30 (Figure 1B) มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ ค่อนข้างมัน และสามารถขึ้นรูปได้ดี ในขณะที่แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมอัตราส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 60 (Figure 1C) มีลักษณะขุ่นเล็กน้อย ผิวไม่ค่อยเรียบ และขาดง่าย จากการสังเกตเบื้องต้นสรุปได้ว่ากลีเซอรอลมีผลทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารประเภทพอลิออล (polyol) ที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) จึงสามารถเข้าจับกับ hydrophilic sites บนโมเลกุลของแป้งได้ง่าย กลีเซอรอลจะเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลแป้ง ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลอะไมโลสอะไมโลแกนมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น จึงสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้โดยไม่แข็งเปราะ (Riku et al., 2007) เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่มีส่วนของกลีเซอรอลซึ่งมีลักษณะแข็งกรอบ และแตกง่าย ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alves et al. (2007)

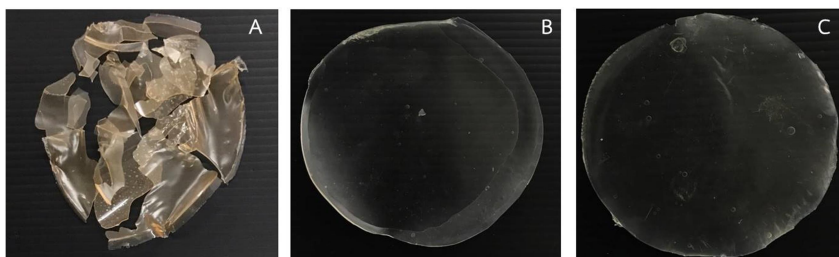


Figure 1 Appearance of sweet potato starch films at different concentrations of glycerol A) 0% B) 30% C) 60%

2. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางกลของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศ

แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 0, 30 และ 60 มีความหนาเท่ากับ 0.34, 0.36 และ 0.39 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 1 (Table 1) ซึ่งมีความหนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์แทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลอะไมโลสในแป้ง ทำให้ความหนาโดยรวมของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Noiduang et al. (2015) จากการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นฟิล์ม พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของแผ่นฟิล์มมีค่าอยู่ในช่วง 24-28 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อทำการศึกษาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) ของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 30 และ 60 พบว่ามีค่า WVTR เพิ่มขึ้นตามลำดับ (0.009 และ 0.026 $\text{g/m}^2/\text{Kpa/hr}$ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำจึงเข้าไปแทรกตัวกับโมเลกุลของแป้งทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์อ่อนแอลง เพิ่มช่องว่างระหว่างโมเลกุล ส่งผลต่อความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gontard et al. (1993) และ Mali et al. (2006) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์หัตถการการซึมผ่านของไอน้ำไม่ได้ทำการทดสอบฟิล์มแป้งมันเทศอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 0

เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีความเปราะ และแตกหักง่าย จึงไม่สามารถทดสอบด้วยวิธีนี้ได้ ค่าแอกติวิตีของน้ำ (a_w) ของแผ่นฟิล์มปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 0, 30 และ 60 มีค่าเท่ากับ 0.40, 0.49 และ 0.44 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามค่า a_w ของแผ่นฟิล์มทั้ง 3 ตัวอย่างไม่อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ ($a_w = 0.70-0.99$) (Veiga, 2007) การละลายน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกลีเซอรอลเป็นโมเลกุลที่ละลายน้ำได้ดี ส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่มีอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 60, 30 และ 0 มีค่าลดลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$) จากร้อยละ 62.01, 48.33 ถึง 33.10 ผลการทดสอบสมบัติทางกล ดังตารางที่ 1 (Table 1) แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรอลส่งผลให้แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศอ่อนนุ่มขึ้น เนื่องจากการผสมกลีเซอรอลร้อยละ 60 ในแผ่นฟิล์มมีการต้านทานแรงดึง (TS) ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.10 N/mm และค่า TS ของฟิล์มแป้งมันเทศที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 30 และ 0 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.12 และ 1.39 N/mm ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น มีผลทำให้ค่าต้านทานการดึงขาดลดลง เนื่องจากโมเลกุลกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นจะไปจับกับสายพอลิเมอร์ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chillo et al. (2008)

Table 1 Physicochemical and mechanical properties of sweet potato starch films using different glycerol concentration

Glycerol Conc.	Thickness (mm)	Color ^{ns} L*	a_w	WVTR (g/m ² .kPa.hr)	Water Solubility (%)	Tensile Strength (N/mm)
0	0.34±0.01 ^b	28.30±0.72	0.40±0.01 ^c	-	33.10±0.02 ^c	1.39±0.56 ^a
30	0.36±0.02 ^b	24.73±2.08	0.49±0.01 ^a	0.009±0.05 ^b	48.33±1.38 ^b	0.12±0.03 ^b
60	0.39±0.01 ^a	25.06±1.70	0.44±0.02 ^b	0.026±0.04 ^a	62.01±1.12 ^a	0.10±0.02 ^b

Remark Mean of three replicates±standard deviation, ^{a-c} Means in the same column with different lowercase superscripts indicate significant differences ($p \leq 0.05$), ^{ns} = not significant difference ($p > 0.05$)

2. ศึกษาอัตราการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยธรรมชาติของแผ่นฟิล์มที่ฝังดินเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ดังตารางที่ 2 (Table 2) พบว่าฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน (ชุดควบคุม) ไม่เกิดการย่อยสลาย ในขณะที่แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 30 และ 60 มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 16.76, 36.35 และ 55.25 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากแป้งเป็นโมเลกุลชีวภาพจึงย่อยสลายได้ง่าย ประกอบกับกลีเซอรอลที่เป็นส่วนผสมของฟิล์มสามารถละลายน้ำได้ดีจึงช่วยให้แผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น

Table 2 Biodegradable of sweet potato starch films using different glycerol concentration

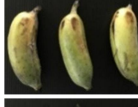
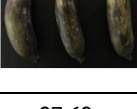
Film	Physical appearance		Biodegradation (%)
	Before	After	
Polyethylene film (Control)			0.0
Sweet potato starch + glycerol 0%			16.8±2.2
Sweet potato starch + glycerol 30%			36.4±1.8
Sweet potato starch + glycerol 60%			55.3±3.1

3. การเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันเทศเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

การวัดการสูญเสีย น้ำหนัก พบว่ากล้วยน้ำว้าที่ไม่ได้เคลือบด้วยฟิล์ม และกล้วยน้ำว้าที่เคลือบฟิล์มแป้งมันเทศผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 30 และ 60 มีการสูญเสียของน้ำหนักเท่ากับ 45.16, 33.95, 27.68 และ 34.58 ตามลำดับ พบว่าร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักของกล้วยน้ำว้าเคลือบด้วยแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0 และ 60 มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0 มีความเปราะ จึงเกิดรอยแตกที่ทำให้ไอน้ำซึมผ่านได้ ทำให้ร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักมีค่าสูง ในขณะที่ผลกล้วยน้ำว้าที่เคลือบด้วยแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศผสมกลีเซอรอลร้อยละ 60 มีค่าร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักที่สูงเกิดจากการที่แผ่นฟิล์มมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูง ส่วนแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30 มีความยืดหยุ่น และมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ไม่สูงจนเกินไป ส่งผลให้ผลกล้วยน้ำว้ามีร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักต่ำที่สุด

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลกล้วยน้ำว้า พบว่ากล้วยน้ำว้าที่ไม่ได้เคลือบด้วยฟิล์มจะสุก (สีเหลืองทั้งผล) ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และมีผิวเปลือกเป็นสีดำเกือบทั้งหมดเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน ในขณะที่กล้วยน้ำว้าที่เคลือบฟิล์มผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 30 และ 60 สุกช้ากว่า โดยกล้วยที่เคลือบด้วยฟิล์มผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30 จะเกิดการสุกช้าที่สุด (6 วัน) ทั้งนี้กระบวนการสุกของผลไม้เกี่ยวข้องกับอัตราการหายใจและการผลิตแก๊สเอทิลีน (Liu et al., 1999) แผ่นฟิล์มแป้งอาจขัดขวางการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้ที่กล้วยเคลือบด้วยฟิล์มผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30 สุกช้าที่สุด และรองลงมาคือร้อยละ 60 เนื่องจากปริมาณกลีเซอรอลที่มากขึ้นมีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนและน้ำเพิ่มสูงขึ้น (Choi & Jung, 2001) แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มมันเทศสามารถยืดอายุการสุกของกล้วยได้นานประมาณ 3 วัน ดังตารางที่ 3 (Table 3)

Table 3 Percentage weight loss and physical appearance of bananas coated with sweet potato starch films using different glycerol concentration

Time (Day)	Control	Bananas coated with glycerol plasticized sweet potato starch film		
		0% Glycerol	30% Glycerol	60% Glycerol
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
% Weight loss	45.16	33.95	27.68	34.58

สรุปผลการวิจัย

จากศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 30 และ 60 ต่อการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันเทศ พบว่ากลีเซอรอลสามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30 สามารถขึ้นรูปได้ดีที่สุด ผิวเรียบและสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ การเคลือบผลกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งที่ผสมกลีเซอรอลสามารถช่วยชะลอการสุกของผลกล้วยได้

โดยฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30 ช่วยยืดอายุการเก็บรักษากล้วยน้ำว่าได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงสามารถนำฟิล์มแป้งมันเทศไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี (ค.บ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Alves VD, Mali S, Bele'ia A. et al. Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties, *Journal of Food Engineering*. 2007; 78: 941-946.
- Chillo S, Flores S, Mastromatteo M. et al. Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties, *Journal of Food Engineering*. 2008; 88: 159-168.
- Choi WS, Jung HH. Physical and mechanical properties of pea-protein-base edible film, *Journal Food Science*. 2001; 66(2): 319-322.
- Ekthamasut K, Akesowan A. Effect of vegetable oils on physical characteristics of edible konjac films, *AU Journal of Technology*. 2001; 5: 73-78.
- Gontard N, Guillbert S, Cuq JL. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapour barrier properties of an edible film, *The Journal of Food Science*. 1993; 55(1): 206-211.
- Hernandez DP, Jaramillo CM, Cordoba AL. et al. Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging, *Food Hydrocolloids*. 2017; 63: 488-495.
- Jiang F, Xiao M, Wan Li a. et al. Characterization of konjac glucomannan-ethyl cellulose film formation via microscopyInternational, *Journal of Biological Macromolecules*. 2016; 85: 434-441.
- Jiménez A, Fabra MJ, Talens P. et al. Edible and biodegradable starch films: A review, *Food and Bioprocess Technology*. 2012; 5: 2058-2076.
- Jomlapeeratkiul P, Poomsa-ad N, Wiset L. The Effects of drying temperatures and oil contents on properties of biodegradable film from konjac flour, *Journal of the Thai Society of Agricultural Engineering*. 2014; 20(2): 1-7.
- Li M, Lee TC. Effect of cysteine on the functional properties and microstructure of wheat flour extrudates, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1996; 44: 1871-1880.
- Liu X, Shiomi S, Nakatsuka A. et al. Characterization of ethylene biosynthesis associated with ripening in banana fruit, *Plant Physiology*. 1999; 121: 1257-1265.
- Maftoonazad N, Ramaswamy HS, Moalemiyan M. et al. Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection, *Carbohydrate Polymers*. 2007; 68: 341-349.
- Mali S, Grossmann MVE, Garcia MA. et al. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources, *Journal of Food Engineering*. 2006; 75: 453-460.
- Mali S, Sakanaka LS, Yamashita F. et al. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect, *Carbohydrate Polymers*. 2005; 60: 283-289.

- Mathlouthi, M. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*. 2001; 12: 409-417.
- Noiduang P, Thawla L, Pa-ai O. Study on edible film production from Chinese water chestnuts starch, *Agricultural Science Journal*. 2015; 46(3): 665-668.
- Rachtanapun P, Pankan D, Srisawat D. Edible films of blended cassava starch and rice flour with sorbital and their mechanical properties, *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2012; 2(2): 252-258.
- Riku AT, Harry H, Yrjo HR. et al. Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films, *Carbohydrate Polymers*. 2007; 67: 288-295.
- Soltani M, Alimardani R, Omid M. Prediction of banana quality during ripening stage using capacitance sensing system, *Australian Journal of Crop Science*. 2010; 4(6): 443-447.
- Sperber WH. Influence of water activity on foodborne bacteria - a review, *Journal of Food Protection*. 1983; 46(2): 142-150.
- Thumthanaruk B, Pengpoondech P, Rodsuwan U. Quality of tapioca starch film mixed with jellyfish protein hydrolysate, *Agricultural Science Journal*. 2012; 43(2): 437-440.
- Tsou CH, Suen MC, Yao WH. et al. Preparation and characterization of bioplastic-based green renewable composites from tapioca with acetyl tributyl citrate as a plasticizer, *Materials*. 2014; 7: 5617-5632.
- Vieira MGA, Silva MA, Santos LO. et al. Natural-based plasticizers and biopolymer films: a review, *European Polymer Journal*. 2011; 47: 254-263.
- Veiga SP. Sucrose and Inverted Sugar as Plasticizer. Effect on cassava starch-gelatin film mechanical properties hydrophilicity and water activity, *Food Chemistry*. 2007; 103: 255-262.
- Wang K, Wang W, Ye R. et al. Mechanical properties and solubility in water of corn starch-collagen composite films: Effect of starch type and concentrations, *Food Chemistry*. 2017; 216: 209-216.