

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การพัฒนาฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันแกวเพื่อประยุกต์ใช้ เป็นถุงเพาะชำ

ภาวิณี เทียมดี* และ กวินนา สุขสำราญ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

รับบทความ 15 กันยายน 2562 แก้ไขบทความ 23 มกราคม 2563 ตอบรับบทความ 30 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์ฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันแกว ประยุกต์ใช้เป็นถุงเพาะชำย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เตรียมฟิล์มโดยการละลายแป้งมันแกวในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล 6 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยการทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังการอบแห้งนำฟิล์มที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติ ได้แก่ ค่าความหนา อัตราการซึมผ่านไอน้ำ การละลาย ค่าแอสคิวติของน้ำ (a_w) ด้านทานแรงดึงขาด ร้อยละการยืดตัว ค่าด้านทานแรงเฉาะ และศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม พบว่าแผ่นฟิล์มมีความหนาอยู่ในช่วง 0.16-0.28 มิลลิเมตร ค่า a_w ของแผ่นฟิล์มอยู่ระหว่าง 0.36-0.49 อัตราการซึมผ่านไอน้ำ การละลายน้ำ และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าการด้านทานแรงดึงและค่าด้านทานแรงเฉาะของฟิล์มแป้งมันแกวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลลดลง ผลทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังในดินลึกประมาณ 8-10 เซนติเมตร พบว่าฟิล์มสามารถย่อยสลายได้ร้อยละ 100 ในระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยฟิล์มแป้งมันแกวที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 40 มีผลการทดสอบโดยรวมดีที่สุด

คำสำคัญ : แป้งมันแกว; ฟิล์มย่อยสลายได้; กลีเซอรอล; พลาสติกชีวภาพ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 6213 6336, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: pawinee.t169@gmail.com

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Development of a Biodegradable Film from Jicama Starch (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) for Plant Bag Application

Pawinee Theamdee* and Kawinna Sooksamran

Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University
321 Naraimaharat Road, Thale Chupson, Muang District, Lopburi 15000

Received 15 September 2019; Revised 23 January 2020; Accepted 30 April 2020

Abstract

This research aimed to study the production of a biodegradable film from Jicama starch (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) for plant bag application. The film was prepared by dissolving Jicama starch in water to the concentration of 5 wt%. To study the effect of the glycerol content, the glycerol was added at 6 levels; 0, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 wt%. The film was casted in a mold and dried at 60 °C for 24 h. After drying, properties of films; thickness, water activity (a_w), solubility, tensile strength (TS), elongation (%E), puncture strength and the degradation of the films were evaluated. The thickness of the films was in the range of 0.16-0.28 mm. The a_w of films ranged from 0.36-0.49. The water vapor permeability, water solubility, and flexibility of the film increased with the increasing of glycerol content. Tensile and puncture strength of the starch films tended to increase when the glycerol content decreased. After the films were buried under the ground (8-10 cm depth) for 12 weeks, they were degraded by 100%. The Jicama starch film with 40 wt% glycerol showed the best overall properties.

Keywords : Jicama Starch; Biodegradable Film; Glycerol; Plasticizer

* Corresponding Author. Tel.: +668 6213 6336, E-mail Address: pawinee.t169@gmail.com

1. บทนำ

ทุกวันนี้ปัญหาเรื่องการจัดการขยะถือเป็นหนึ่งปัญหาที่สำคัญระดับโลก โดยเฉพาะขยะพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก อีกทั้งปริมาณการใช้พลาสติกของแต่ละปีจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่แล้วพลาสติกนั้นเกิดการย่อยสลายในธรรมชาติได้ยาก และใช้เวลานานมากในการย่อยสลาย ดังนั้นการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตร สามารถช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกได้ วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพนั้นมีหลายชนิด เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ [1], [2] ไขมัน [3] และโปรตีน [4], [5] เป็นต้น ซึ่งนิยมใช้แบ่งในการนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมากที่สุด เนื่องจากแป้งมีราคาถูก หาได้ง่ายตามท้องถิ่น และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

มันแกว (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urbar) เป็นพืชที่เพาะปลูกมากในตำบลโคกสูง จังหวัดลพบุรี ไม่เป็นพิษ ราคาถูก เป็นคาร์โบไฮเดรต โดยมีปริมาณอะไมโลสประมาณร้อยละ 23 รวมถึงยังมีพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ เช่น เพคติน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เป็นต้น [6] สามารถพองตัวได้ เมื่อละลายน้ำมีความเข้มข้นและเกิดเป็นฟิล์ม ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นฟิล์มย่อยสลาย แต่อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ผลิตจากแป้งนั้นมีความเปราะและยืดหยุ่นต่ำยากต่อการนำไปขึ้นรูปใช้งาน [7] ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เช่น กลีเซอรอล (Glycerol) [8] และซอร์บิทอล (Sorbitol) [9] ซึ่งกลีเซอรอลมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์มแป้งธรรมชาติ เนื่องจากกลีเซอรอลมีคุณสมบัติชอบน้ำ และช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มจากแป้งได้ โดยสมบัติด้านความยืดหยุ่น ความสามารถในการละลายน้ำจะแปรผันตามปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ [10]

ปัจจุบันมีการคิดค้นผลิตบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกย่อยสลายได้ เช่น ผลิตถ้วย แก้ว จาน [11] เป็นส่วนใหญ่และผู้วิจัยได้เห็นว่า การเพาะปลูกทางการเกษตรมีการใช้ถุงเพาะชำกันเป็นจำนวนมากเมื่อนำต้นไม้ไปปลูกลงในกระถาง ถุงเพาะชำก็จะถูกทิ้งกลายเป็นขยะ ซึ่งการปลูกพืชเพาะชำในถุงพลาสติกสีดำทั่วไป เกษตรกรจำเป็นต้องดึงต้นกล้าออกจากถุงก่อนนำไปลงดิน ถ้าไม่ทำอย่างระมัดระวังรากมักจะขาด เมื่อนำไปปลูกลงดิน ต้นไม้จะชงักการเจริญเติบโตได้ แต่ถ้าใช้ถุงเพาะชำที่ทำมาจากพลาสติกย่อยสลายได้ เกษตรกรไม่ต้องดึงต้นกล้าออกจากถุงเพาะชำ สามารถนำถุงเพาะชำไปฝังลงดินได้เลย และที่สำคัญจุลินทรีย์ในดินยังช่วยย่อยสลายถุงเพาะชำให้กลายเป็นปุ๋ยบำรุงพืชได้อีกด้วย

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาการผลิตฟิล์มฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันแกว และศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลในการทำหน้าที่เป็น พลาสติกไซเซอร์ ต่อสมบัติทางกายภาพเคมี และทางกล รวมถึงศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันแกว และความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปถุงเพาะชำย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การเตรียมแป้งมันแกว

หัวมันแกว ได้รับความอนุเคราะห์จากเกษตรกรตำบล เกาะแก้ว อำเภอ โคกสำโรง จังหวัด ลพบุรี นำหัวมันแกว ทำความสะอาดและปอกเปลือกออก หั่นมันแกวเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วนำไปปั่นละเอียดกับน้ำ (อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก) ด้วยเครื่องปั่นผสมไฟฟ้า (Sharp, EM-ICE 2, ประเทศไทย) นำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ นำแป้งที่ได้ไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, UN 110, ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บดแป้งที่แห้งแล้วให้ละเอียดและ

ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช และเก็บแบ่งที่ได้ใน โถดูดความชื้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์ภายในเท่ากับ $35 \pm 2\%$ RH ที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 28 ± 2 องศาเซลเซียส [12]

2.2 การเตรียมฟิล์มจากแป้งมันแกว

เตรียมฟิล์มแป้งมันแกว โดยเตรียมละลายแป้ง ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร กวน ผสมพร้อมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 7 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นาน 5-10 นาที ขึ้นรูปโดยเทสารละลายน้ำแป้งลงบน ภาชนะฟรอนขนาด $36 \times 26 \times 1.5$ เซนติเมตร ปล่อยให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง หรือแห้งสนิท จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มให้เป็นแผ่น และเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เพื่อเตรียมวิเคราะห์สมบัติทางเคมีทางกายภาพ และทางกล [13]

2.3 การศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์ม

2.3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพความหนา (Thickness)

วัดความหนาของฟิล์มแป้งมันแกว ด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, ญี่ปุ่น) โดยทำการวัดแผ่นฟิล์มตำแหน่งต่าง ๆ กัน 5 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

ค่าความสว่าง (Lightness)

วัดค่าความสว่างของฟิล์มแป้งมันแกว โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab, Color Flex Z2, ญี่ปุ่น) แสดงเป็นค่า L^* (ความสว่าง 0 หมายถึงสีดำ และ 100 หมายถึงสีขาว) โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ [14]

2.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี การละลายน้ำ (Water Solubility)

ทดสอบการละลายน้ำดัดแปลงจากวิธีของ M. L. Sanyang et al. [15] โดยนำแผ่นฟิล์มขนาด 20×20 มิลลิเมตร (แผ่นฟิล์มตัวอย่าง 1 แผ่นจะสุ่มตัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ มา 3 ชิ้น) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก (W_1) แล้วนำไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 ที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว (a_1) จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที ชั่งน้ำหนักของกระดาษกรอง (a_2) บันทึกผลและคำนวณดังสมการที่ 1 ดังนี้

$$\% \text{Water solubility} = \frac{W_1 - (a_2 - a_1)}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

W_1 = น้ำหนักของแผ่นฟิล์ม (กรัม)

a_1 = น้ำหนักของกระดาษกรองก่อนอบ (กรัม)

a_2 = น้ำหนักของกระดาษกรองหลังอบ (กรัม)

ค่าแอกติวิตีของน้ำ (Water activity, a_w)

วัดค่าแอกติวิตีของน้ำ (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (Aqualab Model Series 4, Decagon Device inc, ประเทศสหรัฐอเมริกา) เป็นค่าความชื้นที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVP)

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ดัดแปลงจากวิธีของ P. Cazon et al. [16] ตัดแผ่นฟิล์มตัวอย่างเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ใส่ซิลิกาเจล (Silica Gel) ที่ผ่านการอบแห้งในถ้วยทดสอบ

อลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร สูง 3.2 เซนติเมตร วางแผ่นฟิล์มบนถ้วยทดสอบ ปิดผนึกด้วย พาราฟิน บันทึกน้ำหนักที่เวลา 0 ชั่วโมง นำถ้วย ทดสอบใส่ในโถควบคุมความชื้นที่ร้อยละ 75 RH ที่ อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) จากนั้นบันทึก น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำค่าที่ได้คำนวณหาค่าดังสมการที่ 2

$$WVP = \frac{WVTR \times t}{\Delta P} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

WVTR = ความชันของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง น้ำหนักที่สูญเสียไปกับเวลา (กรัม/ตาราง เมตร/ชั่วโมง) ต่อพื้นที่ของฟิล์มที่ไอน้ำผ่าน (ตารางเมตร)

t = ความหนาของแผ่นฟิล์ม (มิลลิเมตร)

ΔP = ความดันไอน้ำอิ่มตัว (ปาสกาล)

2.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล การต้านทาน แรงดึง ร้อยละการยืดตัว และการต้านทานแรง เเจาะ (Tensile, % Elongation and Puncture Strength)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Texture Analyser (Stable Microsystems, TA-XT2, ประเทศอังกฤษ) ใช้หัววัดแบบ Tensile Grip ซึ่งมีระยะห่างเริ่มต้น ระหว่าง Grip เท่ากับ 50 มิลลิเมตร และมีอัตราในการ ดึงยืดแผ่นฟิล์ม 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที ตัดตัวอย่างฟิล์ม ให้มีความกว้าง 25 มิลลิเมตร และยาว 100 มิลลิเมตร ส่วนทดสอบการต้านทานแรงเจาะ ใช้หัววัด HDP/TPB Tortilla/Pastry Burst Rig ตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีความ กว้าง 6 นิ้ว และยาว 6 นิ้ว โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ [17], [18]

2.3.4 การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกว

ตัดแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวผสมกลีเซอรอลทุก

อัตราส่วนให้มีขนาดกว้าง 20 มิลลิเมตร และยาว 50 มิลลิเมตร นำมาชั่งน้ำหนัก โดยแต่ละตัวอย่างทำการ ทดสอบ 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปฝังลงในดิน ลักษณะเป็น ดินร่วน ทำการฝังในกระถางเพาะชำ โดยนำดินบรรจุใน ถังเพาะชำขนาด 17.5×46.5 เซนติเมตร และฝังแผ่น ฟิล์มให้มีความลึกประมาณ 8-10 เซนติเมตร เป็นเวลา 12 สัปดาห์ วางในที่ร่ม ไม่มีการให้น้ำ และความชื้น เริ่มต้นของดินเท่ากับร้อยละ 22 โดยน้ำหนัก ชั่งน้ำหนัก แผ่นฟิล์มทุกสัปดาห์ บันทึกผลการทดลองและคำนวณ การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวดังสมการที่ 3 [19] โดยมีแผ่นฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (PE) เป็นชุดควบคุม

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

โดยที่

A = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มเริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหลังการย่อยสลาย (กรัม)

2.3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

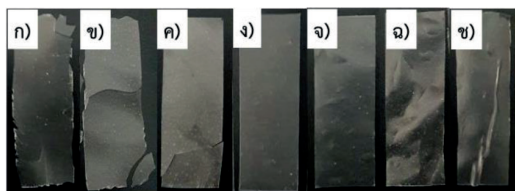
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติประมวลผลด้วย โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 16.0 (SPSS Inc., สหรัฐอเมริกา) และเปรียบเทียบความแปรปรวนของ ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 สมบัติทางกายภาพ

จากรูปที่ 1 การสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า แผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่มีกลีเซอรอลในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10 และ 20 (รูปที่ 1ก-1ค) มีลักษณะเปราะ และ แตกหักง่าย ในขณะที่แผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่มีอัตรา ส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 30 และ 40 (รูปที่ 1ง-1จ) มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ ค่อนข้างมัน สามารถขึ้น รูปได้ดี ส่วนแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่มีอัตราส่วนของ

กลีเซอรอลร้อยละ 50-60 (รูปที่ 1ฉ-1ข) ลักษณะผิวไม่ค่อยเรียบ เหนียว และขาดง่าย พบว่ากลีเซอรอลมีผลทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอล (Hydrophilic Plasticizer) มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่ชอบน้ำ เข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ เพิ่มช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของแป้งอ่อนตัวลง โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น จึงสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้โดยไม่แข็งจนเปราะ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้ใส่กลีเซอรอลซึ่งมีลักษณะแข็งกรอบ และแตกง่าย [20]



รูปที่ 1 ลักษณะภายนอกแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่มีอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 0 ก), 10 ข), 20 ค), 30 ง), 40 จ), 50 ฉ) และ 60 ข)

แผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่เตรียมได้มีค่าความหนาดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแผ่นฟิล์มมีความหนาอยู่ในช่วง 0.16-0.28 มิลลิเมตร พบว่าความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกลีเซอรอลแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุล อะไมโลสในแป้งทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มโดยรวมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ S.Santacruz et al. [21]

ความใสของแผ่นฟิล์มสามารถวิเคราะห์ได้จากค่าสี L^* ซึ่งแสดงถึงค่าความสว่าง โดยพบว่าค่าความสว่างของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 23-29 ซึ่งมีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอล แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มแป้งมีความใสมากขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลเข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่โมเลกุลแป้ง ลดการคืนตัวของสายโซ่ ความเป็นผลึกของแป้งจึงลดลง มีความเป็นอสัณฐานมากขึ้น ทำให้แผ่นฟิล์มแป้งมันแกวมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกว

ปริมาณ กลีเซอรอล (%)	ความหนา	ความสว่าง L^*	ค่าแอดคิวิตีของน้ำ (a_w)	ค่าการละลาย (%)
0	0.16 ± 0.01^c	23.25 ± 1.83^c	0.36 ± 0.01^e	12.88 ± 0.18^e
10	0.19 ± 0.01^{bc}	24.10 ± 3.29^c	0.37 ± 0.01^e	16.59 ± 0.63^d
20	0.21 ± 0.03^{abc}	25.16 ± 0.60^{bc}	0.39 ± 0.01^d	22.04 ± 0.19^c
30	0.22 ± 0.02^{abc}	26.51 ± 1.89^{abc}	0.41 ± 0.01^c	23.27 ± 1.24^c
40	0.26 ± 0.01^{ab}	26.55 ± 2.46^{abc}	0.43 ± 0.01^b	23.53 ± 0.22^{bc}
50	0.27 ± 0.02^a	28.16 ± 0.88^{ab}	0.44 ± 0.01^b	25.27 ± 1.52^b
60	0.28 ± 0.01^a	28.97 ± 0.97^a	0.49 ± 0.01^a	31.57 ± 1.61^a

หมายเหตุ a-e ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

3.2 สมบัติทางเคมี

ค่าแอกติวิตีของน้ำ (a_w) ของฟิล์มมีค่าอยู่ระหว่าง 0.36-0.49 ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.60 แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวผสมกลีเซอรอลไม่อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ [22]

การละลายน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวมีค่าสูงขึ้นเมื่อผสมกลีเซอรอลในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารประเภทโพลีออล (Polyol) ที่ชอบน้ำ ละลายน้ำได้ดี [23] ส่งผลให้แผ่นฟิล์มแป้งมันแกวผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 มีค่าการละลายน้ำเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการศึกษาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 พบว่ามีค่า WVP เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลสูงขึ้น ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกลีเซอรอลจะเข้าไปแทรกตัวระหว่างโมเลกุลของแป้ง ทำให้เกิดช่องว่างขึ้น ไอน้ำสามารถผ่านแผ่นฟิล์มได้มากขึ้น อีกทั้งกลีเซอรอลมีคุณสมบัติดูดความชื้นสูง (Hygroscopic) [24] ฟิล์มแป้งมันแกวจึงดูดซับไอน้ำเข้าไปในแผ่นฟิล์มมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการซึม

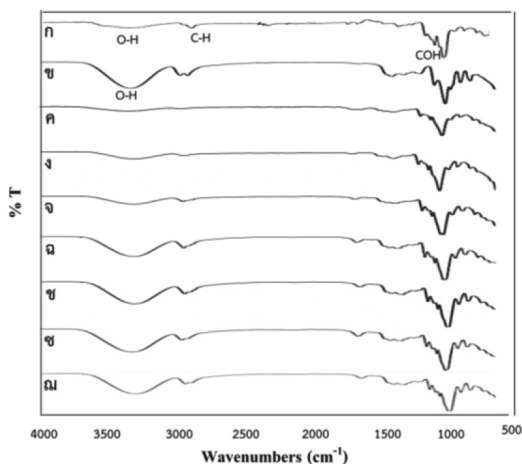
ผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น [25] การวิเคราะห์ห้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำไม่ได้ทำการทดสอบฟิล์มแป้งมันแกวที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 10 และ 20

เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีความเปราะ และแตกหักง่าย จึงไม่สามารถทดสอบด้วยวิธีนี้ได้ อย่างไรก็ตามจากผลดังกล่าว เมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มจากพลาสติก PE พบว่าฟิล์มแป้งมันแกวมีค่าการละลายน้ำและอัตราการซึมผ่านไอน้ำมากกว่า แต่เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มแป้งข้าวโพดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก [26] ซึ่งการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีจะสามารถช่วยลดการช้ำของน้ำและอาจช่วยให้รากพืชหายใจได้ดีขึ้น และอาจช่วยลดการเกิดรากเน่าได้ ซึ่งต่างจากถั่ว

พลาสติก PE ที่ต้องเจาะรูเพื่อระบายน้ำเนื่องจากน้ำและอากาศไม่สามารถซึมผ่านได้

ตารางที่ 2 ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) ของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกว

ปริมาณกลีเซอรอล (%)	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ กรัม/(ตรม.กิ.โลปาสคาล.ชม.)
0	-
10	-
20	-
30	190.32±3.62 ^d
40	319.93±4.21 ^c
50	337.11±3.87 ^b
60	466.56±4.65 ^a



รูปที่ 2 สเปกตรัม FT-IR ของ แป้งมันแกว ก), กลีเซอรอล ข), แผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่มีอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 0 ค), 10 ง), 20 จ), 30 ฉ), 40 ช), 50 ซ) และ 60 ฅ)

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) (Frontier PerkinElmer บริษัท Perkin-Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา) ผลการศึกษาแสดงเป็น

สเปกตรัมของแป้งมันแกว (รูปที่ 2ก), กลีเซอรอล (รูปที่ 2ข) แผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 0 (รูปที่ 2ค), 10 (รูปที่ 2ง) 20 (รูปที่ 2จ), 30 (รูปที่ 2ฉ), 40 (รูปที่ 2ช), 50 (รูปที่ 2ซ) และ 60 (รูปที่ 2ณ) สเปกตรัม FT-IR แสดงให้เห็นว่าแป้งมันแกวมียุคที่เลขคลื่น 3300 cm^{-1} (O-H stretching), 2900 cm^{-1} (C-H stretching), 1600 cm^{-1} (C-O stretching), 1000 และ 850 cm^{-1} (C-O-C stretching) และ 990 และ 920 cm^{-1} (COH bending) [25] และพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนกลีเซอรอลมากขึ้นที่เลขคลื่น 3300 cm^{-1} (O-H stretching) ทำให้ค่าการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลมีค่ามากขึ้น [27]

3.3 สมบัติทางกล

ผลการทดสอบสมบัติทางกลของฟิล์มแป้งมันแกวที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ดังตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรอลส่งผลให้แผ่นฟิล์มแป้งมันแกวอ่อนนุ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการผสมกลีเซอรอลร้อยละ 60 ในแผ่นฟิล์มมีค่าการต้านทานแรงดึง (TS) ต่ำที่สุด พบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น มีค่าต้านทานการดึงขาดลดลงเนื่องจากกลีเซอรอล ซึ่งจะไปทำให้แรงยึดระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลง โมเลกุลแป้งเคลื่อนที่ได้เพิ่มขึ้น แต่การลดความแข็งแรงของพันธะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าต่ำลงตามไปด้วย [28], [29] ในขณะที่ร้อยละการยึดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกลีเซอรอลลดความเป็นผลึกของฟิล์มแป้งเพิ่มความยืดหยุ่นทำให้ฟิล์มมีการยึดตัวเพิ่มขึ้น [30]

ค่าความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนของฟิล์มแป้งมันแกวที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ดังตารางที่ 3 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลค่าต้านทานแรงเฉือนลดลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผลของกลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นเข้าไปแทรกจับพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุล

ของแป้ง จึงทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลงส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ S. Mali et al. [31] และเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางกลของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก [32] และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก PE ซึ่งมีค่าต่ำกว่า [33]

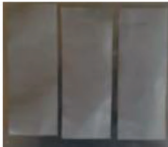
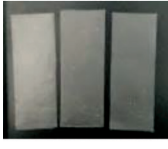
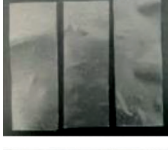
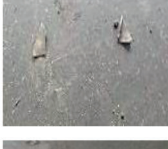
ตารางที่ 3 สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกว

ปริมาณ กลีเซอรอล (%)	ค่าต้านทานแรง ดึงขาด (N/mm)	Elongation (%)	ค่าต้านทาน แรงเฉือน (N/mm)
0	14.56±0.45 ^a	2.72±0.25 ^s	81.45±0.36 ^a
10	9.23±0.23 ^b	9.12±0.45 ^f	75.56±0.66 ^b
20	8.89±0.54 ^b	14.67±0.38 ^e	67.43±0.58 ^c
30	6.76±0.78 ^c	17.56±1.27 ^d	43.52±0.85 ^d
40	4.54±0.25 ^d	25.78±2.35 ^c	33.67±0.52 ^e
50	1.59±0.11 ^e	31.22±2.52 ^b	28.68±0.92 ^f
60	0.30±0.05 ^f	34.59±0.25 ^a	21.54±0.75 ^g

3.4 ศึกษาอัตราการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยธรรมชาติของแผ่นฟิล์มที่ฝังดินเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ดังตารางที่ 4 พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 58.93, 67.85, 68.56, 83.01, 92.85, 98.25 และ 100 ตามลำดับ พบว่าแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้มากขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากแป้งเป็นโมเลกุลชีวภาพจึงย่อยสลายได้ง่าย รวมทั้งกลีเซอรอลเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำสามารถดูดความชื้นได้มาก ประกอบกับจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดินจึงช่วยให้แผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น [34] ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน (ชุดควบคุม) ไม่เกิดการย่อยสลาย

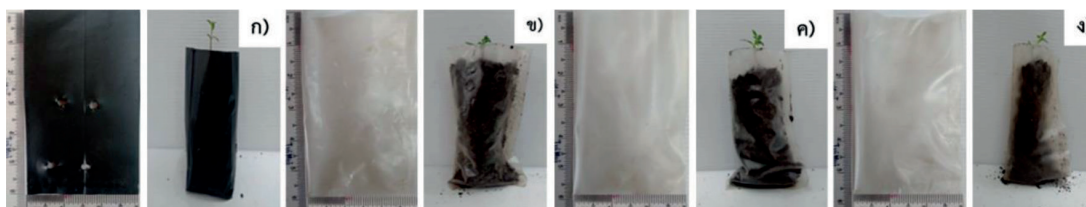
ตารางที่ 4 การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันแกว

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ		ร้อยละของการย่อยสลาย
	ก่อนการย่อยสลาย	หลังการย่อยสลาย	
พลาสติกพอลิเอทิลีน (ชุดควบคุม)			0.00
แป้งมันแกว ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0			58.93±5.53
แป้งมันแกว ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 10			67.85±3.65
แป้งมันแกว ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 20			68.56±2.52
แป้งมันแกว ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30			83.01±9.74
แป้งมันแกว ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 40			92.85±6.94
แป้งมันแกว ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 50			98.25±1.55
แป้งมันแกว ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 60			100

จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น แผ่นฟิล์มที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 0, 10 และ 20 แผ่นฟิล์มที่ได้นั้นมีลักษณะเปราะ แตกง่าย ส่วนอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 60 ลักษณะผิวไม่ค่อยเรียบ และขาดง่าย ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 สามารถขึ้นรูปได้ดีที่ขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร และ ยาว 6 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3ข, 3ค และ 3ง ตามลำดับ ใช้เครื่องรีดปิดผนึกโดยชุดควบคุม (Control) เป็น ถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน นำถุงเพาะชำมาทดลองปลูกพืช พืชที่ใช้ปลูกในงานวิจัยนี้คือดาวเรืองพันธุ์แซมบ้า เนื่องจากเกษตรกรในจังหวัด

ลพบุรีนิยมปลูกเพื่อสร้างรายได้ พบว่าถุงเพาะชำที่ทำมาจากแป้งมันแกวที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 มีการเจริญเติบโตที่ดีไม่ต่างกับพืชที่ปลูกด้วยถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน ดังตารางที่ 5

จากการทดลองดังกล่าวเป็นประโยชน์ให้กับเกษตรกร ผู้ประกอบการร้านขายต้นไม้ นำไปปลูกพืชเพื่อลดขยะพลาสติก เพราะสามารถนำถุงเพาะชำดังกล่าวไปปลูกพร้อมกับต้นกล้าในแปลงปลูกได้ทันทีโดยไม่ต้องฉีกถุง จึงไม่กระทบกระเทือนต่อระบบรากของพืช และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติภายในดินกลายเป็นปุ๋ยบำรุงดินได้อีกด้วย



รูปที่ 3 ลักษณะถุงเพาะชำทางพาณิชย์ ก) ใส่น้ำสำหรับนำไปปลูกจริง และถุงเพาะชำที่ทำจากฟิล์มแป้งมันแกวผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30 ข), 40 ค) และ 50 ง)

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

ตัวอย่าง	การเจริญเติบโตของดาวเรือง						
	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
พลาสติก พอลิเอทิลีน							
แป้งมันแกวผสม กลีเซอรอล ร้อยละ 30							
แป้งมันแกวผสม กลีเซอรอล ร้อยละ 40							
แป้งมันแกวผสม กลีเซอรอล ร้อยละ 50							

4. สรุป

จากการศึกษาการผลิตฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันแกว พบว่าการเติมกลีเซอรอลสามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น และอัตราการซึมผ่านไอน้ำการละลายน้ำให้กับแผ่นฟิล์ม ส่วนสมบัติทางกล พบว่าค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าต้านทานแรงเจาะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น จากการศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันแกวที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 58-100 ภายใน 12 สัปดาห์ เมื่อนำแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวมารับขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำ พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันแกวที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 สามารถขึ้นรูปถุงเพาะชำได้ดี เมื่อนำไปศึกษาการเพาะปลูกดาวเรืองพันธุ์แซมบ้า พบว่าดาวเรืองที่ปลูกโดยใช้ถุงเพาะชำจากแป้งมันแกว มีการเจริญเติบโตที่ดี ไม่ต่างกับดาวเรืองที่ปลูกด้วยถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน ดังนั้นฟิล์มแป้งมันแกวที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 40 มีผลการทดสอบโดยรวมดีที่สุด จึงสามารถนำฟิล์มแป้งมันแกวไปประยุกต์ใช้กับผลิตผลทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี สถาบันวิจัยและพัฒนา ประจำปีงบประมาณ 2562

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Colussi, V. Z. Pinto, S. L. M. E. Halal, B. Biduski, L. Prietto, D. D. Castilhos, E. R. Zavareze and R. G. Dias, "Acetylated rice starches films with different levels of amylose: Mechanical, water vapor barrier, thermal, and biodegradability properties," *Food Chemistry*, vol. 221, pp. 1614–1620, Apr. 2017.
- [2] A. R. Hernández, A. A. Saguilán, G. R. Meza and J. C. Ahumada, "Multi-objective optimization of process conditions in the manufacturing of banana (*Musa paradisiaca* L.) starch/natural rubber films," *Carbohydrate Polymers*, vol. 157, pp. 1125–1133, Oct. 2017.
- [3] S. Sahraee, J. M. Milani, B. Ghanbarzadeh and H. Hamishehkar, "Effect of corn oil on physical, thermal, and antifungal properties of gelatin-based nanocomposite films containing nano chitin," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 76, pp. 33-39, Oct. 2017.
- [4] Z. Yu, L. Sun, W. Wang, W. Zeng, A. Mustapha and M. Lin, "Soy protein-based films incorporated with cellulose nanocrystals and pine needle extract for active packaging," *Industrial Crops & Products*, vol. 112, pp. 412-419, Dec. 2017.
- [5] R. Kumar, G. Ghoshal and M. Goyal, "Synthesis and functional properties of gelatin/CA–starch composite film: excellent food packaging material," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 56, no. 4, pp. 1954–1965, Apr. 2019.
- [6] A. M. R. Pen, M.G.C. Renard, L. Wicker and J. C. C. Esquivel, "Advances and perspectives of *Pachyrhizus* spp. In food science and biotechnology," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 29, pp. 44-54, Jan. 2013.
- [7] V. Bátori, M. Lundin, D. Åkesson, P. R. Lennartsson, M. J. Taherzadeh and

- A. Zamani, "The effect of glycerol, sugar, and maleic anhydride on pectin-cellulose thin films prepared from orange waste," *Polymers*, vol. 11, pp. 392–405, Feb. 2019.
- [8] K. Chantawee and S. A. Riyajan, "Effect of glycerol on the physical properties of carboxylated styrenebutadiene rubber/cassava starch blend films," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 27, pp. 50–60, Oct. 2019.
- [9] M. I. J. Ibrahim, S. M. Sapuan, E. S. Zainudina and M.Y.M. Zuhri, "Physical, thermal, morphological, and tensile properties of cornstarch-based films as affected by different plasticizers," *International Journal of Food Properties*, vol. 22, no. 4, pp. 925–941, Apr. 2019.
- [10] B. C. Maniglia, L. Tessaro, A. P. Ramos and D. R. T. Blácido, "Which plasticizer is suitable for films based on babassu starch isolated by different methods?," *Food Hydrocolloids*, vol. 89, pp. 143–152, Oct. 2019.
- [11] Z. Wu, J. Wu, T. Peng, Y. Li, D. Lin, B. Xing, C. Li, Y. Yang, L. Yang, L. Zhang, R. Ma, W. Wu, X. Lv, J. Dai and G. Han, "Preparation and application of starch/polyvinyl alcohol/citric acid ternary blend antimicrobial functional food packaging films," *Polymers*, vol. 9, no. 12, p. 102, Mar. 2017.
- [12] P. Theamdee and J. Rueangrung, "The effect of glycerol content on physical and mechanical properties of the biodegradable film from sweet potato flour for plastic plant bag application," *Journal of science and technology ubon ratchathani university*, vol. 21, no. 3, pp. 14–24, Dec. 2019.
- [13] A. Edhirej, S. M. Sapuan, M. Jawaidd and N. I. Zahari, "Preparation and characterization of cassava bagasse reinforced thermoplastic cassava starch," *Fibers and Polymers*, vol. 18, no. 1, pp. 162–171, Dec. 2017.
- [14] C. L. Luchese, N. Sperotto, J. C. Spada and I. C. Tessaro, "Effect of blueberry agro-industrial waste addition to corn starch-based films for the production of a pH-indicator film," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 104, pp. 11–18, May 2017.
- [15] M. L. Sanyang, S. M. Sapuan, M. Jawaidd, M. R. Ishak and J. Sahari, "Development and characterization of sugar palm starch and poly (lactic acid) bilayer films," *Carbohydrate Polymers*, vol. 146, pp. 36–45, Mar. 2016.
- [16] P. Cazon, G. Velazquez, J. A. Ramírez and M. Vazquez, "Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review," *Food Hydrocolloids*, vol. 68, pp. 136–148, Sep. 2017.
- [17] S. Acosta, A. Chiralt, P. Santamarina, J. Rosello, C. G. Martínez and M. Chafer, "Antifungal films based on starch-gelatin blend, containing essential oils," *Food Hydrocolloids*, vol. 61, pp. 233–240, May 2016.

- [18] S. Mali, G. T. Bersaneti, J. Mantovan and A. Magri, "Edible films based on cassava starch and fructooligosaccharides produced by *Bacillus subtilis* natto CCT 7712," *Carbohydrate Polymers*, vol. 151, pp. 1132–1138, Jun. 2016.
- [19] D. M. Nguyen, T. V. V. Do, A. C. Grillet, H. H. Thuc and C. N. H. Thuc, "Biodegradability of polymer film based on low density polyethylene and cassava starch," *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 115, pp. 257–265, Sep. 2016.
- [20] M. Dick, T. M. H. Costa, A. Gomaa, M. Subirade, A. O. Rios and S. H. Flôres, "Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties," *Carbohydrate Polymers*, vol. 130, pp. 198–205, May 2015.
- [21] S. Santacruz, C. Rivadeneira and M. Castro, "Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment," *Food Hydrocolloids*, vol. 49, pp. 89–94, Mar. 2015.
- [22] S. P. Veiga, "Sucrose and inverted sugar as plasticizer effect on cassava starch-gelatin film mechanical properties hydrophilicity and water activity," *Food Chemistry*, vol. 103, no. 2, pp. 255–262, Oct. 2007.
- [23] C. M. Jaramillo, O. O. Yepes, C. Bernal and L. Famá, "Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts," *Carbohydrate Polymers*, vol. 176, pp. 187–194, Aug. 2017.
- [24] D. P. Hernandez, C. M. Jaramillo, A. L. Cordoba and S. Goyanes, "Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging," *Food Hydrocolloids*, vol. 63, pp. 488–495, Sep. 2017.
- [25] M. L. Sanyang, S. M. Sapuan, M. Jawaid, M. R. Ishak and J. Sahari, "Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm (*Arenga pinnata*) starch," *Polymers*, vol. 7, pp. 1106–1124, Jun. 2015.
- [26] C. L. Luchese, J. C. Spada and I. C. Tessaro, "Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films," *Industrial Crop & Products*, vol. 109, pp. 619–626, Sep. 2017.
- [27] J. Seo, G. M. Raghavendra, J. Jung and D. kim, "Step-reduced synthesis of starch-silver nanoparticles," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 80, pp. 126–128, Jan. 2016.
- [28] S. Mali, C. P. B. Melo, M. V. E Grossmann, F. Yamashita, E. Y. Youssef and L. H. Antônia, "Effect of manufacturing process and xanthan gum addition on the properties of cassava starch films," *Journal Polymer Environment*, vol. 19, pp. 739–749, Jun. 2011.
- [29] C. C. Tadini, A. C. Souza, G. E. O. Goto,

- J. A. Mainardi and A. C. V. Coelho, "Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 54, pp. 346-352, Jun. 2013.
- [30] S. H. Flôres, M. Dick, T. M. H. Costa, A. Gomaa, M. Subirade and A.O. Rios, "Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties," *Carbohydrate Polymers*, vol. 130, pp. 98-205, May 2015.
- [31] S. Mali, L. S. Sakanaka, F. Yamashita and M. V. E. Grossmann, "Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect," *Carbohydrate Polymers*, vol. 60, no.3, pp. 283-289, May 2005.
- [32] V. D. Alves, S. Mali, A. Beleia and M. V. E. Grossmann, "Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties," *Journal of Food Engineering*, vol. 78, pp. 941-946, Feb. 2006.
- [33] A. Shebani, A. Klash, R. Elhabishi, S. Abdsalam, H. Elbreki and W. Elhrari, "The influence of LDPE content on the mechanical properties of HDPE/LDPE blends," *Research & Development in Material Science*, vol. 7, no. 5, pp. 791-797, Aug. 2018.
- [34] M. Babaee, M. Jonoobi, Y. Hamzeh and A. Ashori, "Biodegradability and mechanical properties of reinforced starch nanocomposites using cellulose nanofibers," *Carbohydrate Polymers*, vol. 132, pp. 1-8, Jun. 2015.