

**ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของฟิล์มย่อยสลายได้
จากแป้งมันเทศเพื่อผลิตถุงเพาะชำ**

**The Effect of Glycerol Content on Physical and Mechanical Properties of the
Biodegradable Film from Sweet Potato Flour for Plastic Plant Bag Application**

ภาวิณี เทียมดี* และ จิราพร เรืองรุ่ง

Pawinee Theamdee* and Jirapon Rueangrung

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi, 15000

*E-mail: pawinee.t169@gmail.com

Received: May 28, 2018

Revised: June 15, 2018

Accepted: Aug 17, 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของฟิล์มย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจากแป้งมันเทศเพื่อผลิตถุงเพาะชำ เตรียมฟิล์มโดยการละลายแป้งมันเทศในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของแป้ง ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยการทำให้แห้งที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง พบว่าแผ่นฟิล์มมีความหนาอยู่ในช่วง 0.36-0.39 มิลลิเมตร ค่า a_w ของแผ่นฟิล์มอยู่ระหว่าง 0.40-0.47 การละลายน้ำ อัตราการซึมผ่านไอน้ำ และความอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าการต้านทานแรงดึงและค่าต้านทานแรงเจาะของฟิล์มแป้งมันเทศเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของกลีเซอรอลลดลง ผลทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังในดินลึกประมาณ 8-10 เซนติเมตร พบว่าฟิล์มสามารถย่อยสลายได้ร้อยละ 100 ในระยะเวลา 3 สัปดาห์ โดยฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 50 มีผลการทดสอบโดยรวมดีที่สุด

คำสำคัญ: แป้งมันเทศ ฟิล์มย่อยสลายได้ กลีเซอรอล พลาสติกไซเซอร์

Abstract

This research aimed to study 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 used to make biodegradable plastic plant bags. The film was prepared by dissolving sweet potato flour in water to the concentration of 5 wt%. To study the effect of the glycerol content, the glycerol was added at 5 levels; 0, 25, 50, 75 and 100 wt%. The film was casted in a mold and dried at 60 °C for 24 h. The thickness of the films was in the range of 0.37-0.42 mm. The a_w of films ranged from 0.40 to 0.47. The water solubility, water vapor permeability and softness of the film increased with the increasing of glycerol content. Tensile and puncture strength of the flour films increased with the decrease of the glycerol content. After the films were buried under the ground (8-10 cm depth) for 3 weeks, they were degraded by 100%. The sweet potato flour film with 50 wt% glycerol showed the best overall properties.

Keywords: sweet potato flour, biodegradable film, glycerol, plasticizer

บทนำ

ปัจจุบันหน่วยงานหลาย ๆ หน่วยได้ให้ความสนใจกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยคิดค้นวัสดุย่อยสลายได้มาทดแทนวัสดุที่ย่อยสลายไม่ได้จำพวกพลาสติก ดังนั้นการใช้ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ (biodegradable film) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ฟิล์มย่อยสลายได้สามารถนำมาใช้ในรูปแบบของแผ่นฟิล์ม จึงทำให้ใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น การใช้แผ่นฟิล์มหุ้มอาหาร แผ่นฟิล์มคลุมดิน ถุงเพาะชำ การใช้ฟิล์มเคลือบเม็ดยาหรือเมล็ดพันธุ์พืช เป็นต้น [1] สารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มมีทั้งที่ได้จากการสังเคราะห์ (synthetic polymer) และจากธรรมชาติ (natural polymer) ไชมัน โปรตีน แป้ง [2]-[6] ซึ่งแป้งมีข้อดีหลายประการ อาทิ ย่อยสลายได้ ราคาถูกหาได้ง่าย ปลอดภัย มีจำนวนมากในธรรมชาติและทางการเกษตร โดยแป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน [7] จากข้อดีดังกล่าวจึงเป็นที่สนใจที่จะนำแป้งมาใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

มันเทศ (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) เป็นพืชที่เพาะปลูกมากในตำบลโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี มีราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าและลดการสูญเสียผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย เนื่องจากมันเทศมีส่วนประกอบของแป้งสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายด้วยกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย ยีสต์ และรา จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [8]

แผ่นฟิล์มที่มีส่วนประกอบของแป้งเพียงอย่างเดียว มักมีความยืดหยุ่นต่ำ จึงไม่เหมาะต่อการนำมาใช้งาน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องเติมสารเพิ่มความยืดหยุ่นหรือพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เพื่อช่วยป้องกันการแตกตัวของฟิล์มในระหว่างทำให้แห้ง ทำให้ฟิล์มมีลักษณะทางกายภาพ และทางกลที่ดี โดยสารเพิ่มความยืดหยุ่นทำหน้าที่ลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลระหว่างสายของ พอลิเมอร์เพิ่มความยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์ม [9] ตัวอย่างพลาสติกไซเซอร์ ได้แก่ ซูโครส ซอร์บิทอล และกลีเซอรอล [10]-[12] ซึ่งในจำนวนนี้กลีเซอรอลมีความเหมาะสมค่อนข้างสูงสำหรับใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์มที่ทำจากแป้งธรรมชาติ เนื่องจากมีสมบัติละลายน้ำได้ และปลอดภัย [13] ดังนั้นการใช้กลีเซอรอลอาจทำให้คุณสมบัติของแผ่นฟิล์มเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความสามารถในการต้านแรงเฉาะ ความสามารถในการยืด ความสามารถในการละลายความสามารถในการต้านการ

ซึมผ่าน เป็นต้น [14] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล ในการทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ และทางกลของฟิล์มย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจากแป้งมันเทศ พร้อมทั้งศึกษาอัตราการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มและความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากนั้นขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำเพื่อนำไปใช้ในการปลูกดาวเรืองในสภาวะการปลูกจริง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

1.การเตรียมแป้งมันเทศ

หัวมันเทศได้รับความอนุเคราะห์จากเกษตรกรตำบลวังเพลิง อำเภอ โคกสำโรง จังหวัด ลพบุรี มีอายุหลังจากการเก็บเกี่ยว 4 วัน ซึ่งมีวิธีการเตรียมแป้งมันเทศดังนี้

1.1.การเตรียมแป้งดิบจากหัวมันเทศ

เตรียมแป้งดิบจากหัวมันเทศ ล้างทำความสะอาด จากนั้นปอกเปลือก หั่นมันเทศให้เป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำไปปั่นละเอียดกับน้ำในอัตราส่วนหัวมันต่อน้ำเท่ากับ 1:2 ด้วยเครื่องปั่นผสมไฟฟ้า (SHARP, EM-ICE 2, ประเทศไทย) จากนั้นทำการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) แยกแป้งออกจากของเหลวด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 3000 rpm เป็นเวลา 15 นาที อบแห้งตะกอนแป้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบลมร้อน (Memmert, UN 110, ประเทศเยอรมัน) บดตะกอนแป้ง แล้วร่อนผงแป้งผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 100 mesh เก็บในโถควบคุมความชื้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์ภายในเท่ากับ $40 \pm 2\%$ RH ที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 28 ± 2 องศาเซลเซียส

1.2 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันเทศ

วิธีการเตรียมฟิล์มจากแป้งมันเทศ โดยเตรียมสารละลายแป้งในน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร กวนผสมพร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมกลีเซอรอลเพื่อทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยศึกษาที่ความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอร์ 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักของแป้ง กวนผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 5 นาที แผ่นฟิล์มสำหรับทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ขึ้นรูปโดยเทสารละลายน้ำแป้ง ลงในถาดเทพรอนขนาด 36×27 เซนติเมตร และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนแห้ง ลอกแผ่นฟิล์มออก เก็บในโถควบคุมความชื้นเพื่อเตรียมวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและทางกล

2. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของแผ่นฟิล์ม

2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

วัดความหนาของฟิล์ม ด้วยไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, ญี่ปุ่น) โดยทำการวัดทั้งหมด 5 จุด ทำการหาค่าเฉลี่ย และวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab, Color Flex Z2, ประเทศสหรัฐอเมริกา) วัดค่า L^* โดยที่ L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) [15]

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability, WVP) วัดตามวิธีการทดสอบของ ASTM E96-95 [16] โดยใช้ถ้วยทดสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร สูง 3.2 เซนติเมตร บรรจุด้วยซิลิกาเจล (silica gel) ตัดแผ่นฟิล์มเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ปิดบนถ้วยทดสอบ ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างแผ่นฟิล์มรวมกับถ้วยทดสอบ นำถ้วยทดสอบใส่ในโถควบคุมความชื้นที่ร้อยละ 75 RH (ที่บรรจุน้ำกลั่นไว้ใน) ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ชั่งน้ำหนักถ้วยทดสอบ (แผ่นฟิล์ม silica gel และถ้วยทดสอบ) เมื่อเวลาผ่านไป 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง คำนวณค่า โดยใช้สูตร

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

โดยที่

$WVTR$ = ความชันของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียไปกับเวลา ($g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$) 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, ประเทศสหรัฐอเมริกา) มีหลักการคือ ให้ความร้อนกับตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในบริเวณที่ปิดสนิทจนกระทั่งความชื้นสัมพัทธ์บริเวณเหนือตัวอย่างคงที่ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่า a_w ของตัวอย่าง [17] ค่า a_w ที่น้อยที่สุดที่ทำให้แบคทีเรีย ยีสต์ และราเติบโตได้เท่ากับ 0.90, 0.83 และ 0.80 ตามลำดับ [18]

ศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำ (Water solubility) ทดสอบตามวิธีของ Ghasemlou และ คณะ [19] นำแผ่นฟิล์มมาอบแห้งที่ อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก (W_1) จากนั้นนำไปละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และกวนด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 ที่ ชั่งน้ำหนักแล้ว (a_1) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที ชั่งน้ำหนักของกระดาษกรอง (a_2) บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ (%Water solubility)

$$= \{(W_1 - (a_2 - a_1)) / W_1\} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

W_1 = น้ำหนักของแผ่นฟิล์ม

a_1 = น้ำหนักของกระดาษกรอง

a_2 = น้ำหนักของกระดาษกรองหลังอบ

2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล

การต้านทานแรงดึง และการต้านทานแรงเจาะ (Tensile and Puncture strength) วัดโดยใช้เครื่อง Texture Analyser (Stable microsystems, TA-XT2, ประเทศอังกฤษ) ตัดฟิล์มให้ มีขนาดความกว้าง 25 มิลลิเมตร และยาว 100 มิลลิเมตร ใช้ หัววัดแบบ Tensile Grip ซึ่งมีระยะห่างเริ่มต้นระหว่าง grip เท่ากับ 50 มิลลิเมตร และมีอัตราในการดึงยึดแผ่นฟิล์ม 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที หัววัด Tensile Grips Rig ส่วนทดสอบการต้านทานแรงเจาะ ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 6×6 นิ้ว หัววัด HDP/TPB Tortilla/Pastry Burst Rig โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ [20]

3. ทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศในดิน

ตัดแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมอัตราส่วน กลีเซอรอล ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ให้มีขนาด 2×5 เซนติเมตร นำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปฝังลงในดิน ซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วน ทำการทดลองฝังดินในกระถางเพาะชำขนาด $20 \times 48 \times 12.5$ เซนติเมตร และฝังแผ่นฟิล์มให้มีความลึกประมาณ 8-10 เซนติเมตร เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 32 ± 2 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการให้น้ำ ความชื้นเริ่มต้นของดินเท่ากับร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแผ่นฟิล์มทุกสัปดาห์ และคำนวณการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศ [21] โดยมีแผ่นฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (PE) เป็นชุดควบคุม

ร้อยละการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม

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

โดยที่

A = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มเริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหลังการย่อยสลาย (กรัม)

แผ่นฟิล์มที่ได้ถูกนำมาขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำ และทดสอบการใช้งานจริงโดยใช้ในการเพาะปลูกต้นดาวเรืองภายใต้สภาวะการปลูกจริง

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

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

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันเทศ

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมกลีเซอรอลในอัตราส่วนร้อยละ 0 (Figure 1A) มีลักษณะเปราะ และแตกหักง่าย ในขณะที่แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมอัตราส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 25 (Figure 1B) มีลักษณะ ผิวเรียบ ขุ่นและมีความเปราะเล็กน้อย แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมอัตราส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 50 (Figure 1C) มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ ค่อนข้างมัน สามารถขึ้นรูปได้ดี แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมอัตราส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 75 (Figure 1D) มีลักษณะผิวเรียบ ค่อนข้างมัน สามารถขึ้นรูปได้ดี ส่วนแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมอัตราส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 100 (Figure 1E) มีลักษณะผิวไม่ค่อยเรียบ และขาดง่าย สรุปได้ว่ากลีเซอรอลมีผลทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลจะเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลแป้ง ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลอะมิโลสอันตรึงมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น จึงสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้โดยไม่แข็งเปราะ [22] เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่มีส่วนของกลีเซอรอลซึ่งมีลักษณะแข็งกรอบ และแตกง่าย ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Alves และ คณะ [23] แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลมากเกินไปกว่าร้อยละ 75 ขึ้นไป สายโซ่พอลิเมอร์ของแป้งและกลีเซอรอล มีแนวโน้มเกิดการแยกตัวออกจากกัน ส่งผลให้โมเลกุลของแป้งเกิดการรวมตัวกันเอง ทำให้ฟิล์มเกิดความไม่เรียบเกิดขึ้น [24]-[25]

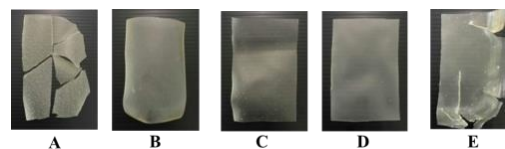


Figure 1 Appearance of sweet potato flour films at different concentrations of glycerol A) 0% B) 25% C) 50% D) 75% and E) 100%

2. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางกลของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศ

การใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์มีผลทำให้แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 0 ที่มีความหนาเท่ากับ 0.37 มิลลิเมตร (Table 1) โดยแผ่นฟิล์มปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 50, 75 และ 100 มีความหนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยแผ่นฟิล์มทั้งสามมีความหนาใกล้เคียงกัน ($p > 0.05$) และมีค่าอยู่ในช่วง 0.40-0.42 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็น พลาสติกไซเซอร์แทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลอะมิโลสในแป้งทำให้ความหนาโดยรวมของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [26] จากการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นฟิล์ม พบว่าค่าสีขาว L^* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกลีเซอรอลเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ และลดการคั่นตัวของแป้ง ส่งผลให้ความเป็นผลึกของแป้งลดลง มีความเป็นอสัณฐานมากขึ้น แผ่นฟิล์มจึงมีความใสมากขึ้น [27]

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำจึงเข้าไปแทรกตัวกับสายโซ่พอลิเมอร์ของแป้งทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์อ่อนลง เพิ่มช่องว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุล ส่งผลต่อความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gontard และ คณะ [28] และ Mali และ คณะ [29] อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำไม่ได้ทำการทดสอบฟิล์มแป้งมันเทศอัตราส่วน

กลีเซอรอลร้อยละ 0 แผ่นฟิล์มมีความเปราะ และแตกหักง่าย จึงทำให้ไม่สามารถทดสอบด้วยวิธีนี้ได้

ค่าแอกติวิตีของน้ำ (a_w) ของแผ่นฟิล์มปริมาณ กลีเซอรอลร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง (0.40-0.43) อย่างไรก็ตามค่า a_w ของแผ่นฟิล์มทั้ง 5 ตัวอย่างไม่อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ ($a_w = 0.70-0.99$) [30]

การละลายน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณ กลีเซอรอลที่มากขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นโมเลกุลที่ละลายน้ำได้ดี ส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศ ที่มีอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ($p \leq 0.05$) จากร้อยละ 13.56 23.51 38.66 50.03 และ 51.08 ตามลำดับ ดังผลการทดสอบ Table 1

Table 1 Physicochemical properties of sweet potato flour films using different glycerol concentration

Glycerol Conc.	Thickness (nm)	Color L*	a_w^{ns}	WVP (g/m ² .kPa.hr)	Water Solubility (%)
0	0.37±0.01 ^b	23.25±1.83 ^c	0.43±0.04	–	13.56±2.35 ^d
25	0.39±0.02a ^b	24.10±1.29 ^{bc}	0.41±0.01	0.11±0.09 ^d	23.51±2.73 ^c
50	0.40±0.02 ^a	25.16±0.60 ^{bc}	0.42±0.01	0.25±0.04 ^c	38.66±1.71 ^b
75	0.41±0.01 ^a	26.51±1.89 ^{ab}	0.42±0.03	0.31±0.02 ^b	50.03±0.56 ^a
100	0.42±0.03 ^a	26.55±2.46 ^a	0.40±0.01	0.39±0.02 ^a	51.08±1.75 ^a

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

ผลการทดสอบสมบัติทางกล Table 2 แสดงให้เห็นว่า กลีเซอรอลส่งผลให้แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศอ่อนนุ่มขึ้น เนื่องจากการผสมกลีเซอรอลร้อยละ 100 ในแผ่นฟิล์มมีค่าการต้านทานแรงดึง (TS) ต่ำที่สุดเท่ากับ 5.15 N/mm และค่า TS ของฟิล์มแป้งมันเทศที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 0, 25, 50 และ 75 มีค่าเท่ากับ 20.78, 11.25, 9.10, และ 7.09 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) พบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น มีค่าต้านทานการดึงขาดลดลง เนื่องจากกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นจะไปจับกับสายโซ่พอลิเมอร์ของแป้ง ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chillo และคณะ [31]

ค่าความสามารถในการต้านทานแรงเจาะ ของฟิล์มแป้งมันเทศที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 มีค่าเท่ากับ 70.12, 68.07, 43.22, 38.98 และ 27.83 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ค่าต้านทานแรงเจาะลดลงตามลำดับ เนื่องจากผลของกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้ง เป็นการเพิ่มช่องว่างระหว่างโมเลกุล เป็นเหตุให้ความสามารถในการต้านทานแรงเจาะลดลง [32] จากค่าความต้านทานแรงเจาะมีความสัมพันธ์กับการใช้งานจริงกับถุงเพาะชำ เนื่องจากค่าต้านทานแรงเจาะมากเกินไปรากของพืชจะเจาะทะลุถุงได้ยากทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต แต่ถ้าค่าต้านทานแรงเจาะน้อยเกินไป ถุงเพาะชำอาจจะเกิดการฉีกขาดได้ง่าย [33]

Table 2 Mechanical properties of sweet potato flour films using different glycerol concentration

Glycerol Conc.	Tensile Strength (N/mm)	Puncture Strength (N/mm)
0	20.78±1.12 ^a	70.12±2.05 ^a
25	11.25±0.06 ^b	68.07±2.11 ^a
50	9.10±0.01 ^c	43.22±1.01 ^b
75	7.09±0.01 ^d	38.98±1.15 ^b
100	5.15±0.02 ^e	27.83±2.78 ^c

Remark Mean of three replicates±standard, ^{a-d} Means in the same column with different lowercase superscripts indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) (Frontier PerkinElmer บริษัท Perkin-Elmer, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ผลการศึกษาแสดงเป็นสเปกตรัมของแป้งมันเทศ (Figure 2A), กลีเซอรอล (Figure 2B) แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 0 (Figure 2C), 25 (Figure 2D) 50 (Figure 2E), 75 (Figure 2F) และ 100 (Figure 2G) สเปกตรัม FTIR แสดงให้เห็นว่าแป้งมันเทศมีพีคที่เลขคลื่น 3279 cm^{-1} (O-H stretching), 2929 cm^{-1} (C-H stretching), 1149 cm^{-1} (C-O stretching), 1076 และ 860 cm^{-1} (C-O-C stretching) และ 996 และ 927 cm^{-1} (COH bending) [34] และพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนกลีเซอรอลมากขึ้นที่เลขคลื่น 3000 cm^{-1} (O-H stretching) ทำให้ค่าการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลมีค่ามากขึ้น [35] จากรายงานก่อนหน้านี้พบว่าแป้งมันเทศมีองค์ประกอบของอะไมโลเพกตินประมาณร้อยละ 80 [36] ซึ่งสอดคล้องกับพีคที่เลขคลื่น 1076 และ 996 ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างอสังฐานของอะไมโลเพกติน [37].

3. ศึกษาอัตราการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยธรรมชาติของแผ่นฟิล์มที่ฝังดินเป็นเวลา 3 สัปดาห์ Table 3 พบว่าฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน (ชุดควบคุม) ไม่เกิดการย่อยสลาย ในขณะที่แผ่นฟิล์มแป้งมันเทศผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 42.50, 72.92,

76.10, 100 และ 100 ตามลำดับ พอถึงสัปดาห์ที่ 4 พบว่าแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้หมดทุกอัตราส่วน ทั้งนี้เป็นผลมาจากแป้งเป็นโมเลกุลชีวภาพจึงย่อยสลายได้ง่าย ประกอบกับ กลีเซอรอลที่เป็นส่วนผสมของฟิล์มสามารถละลายน้ำได้ดีจึงช่วยให้แผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น

Figure 3 ผลของการขึ้นรูปถุงเพาะชำจากแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศ จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น แผ่นฟิล์มที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 0 แผ่นฟิล์มที่ได้นั้นมีลักษณะเปราะ แตกง่าย ส่วนอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 100 ลักษณะ ผิวไม่ค่อยเรียบ และขาดง่าย ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 25, 50 และ 75 สามารถขึ้นรูปได้ดี จึงนำมาขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำเพื่อนำไปใช้ในการปลูกต้นดาวเรือง

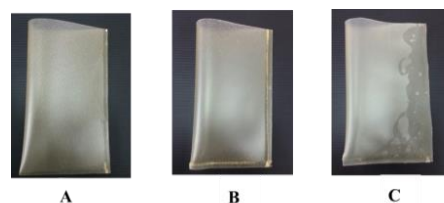


Figure 3 Show the biodegradable plant bags from sweet potato flour at different concentrations of glycerol A) 25% C) 50% and D) 75%

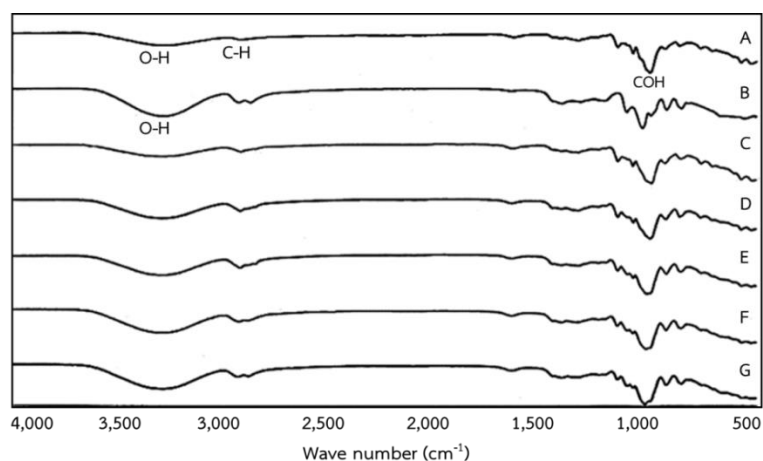
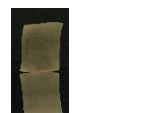
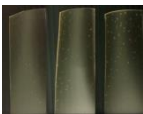


Figure 2 FT-IR spectra of (A) sweet potato flour, (B) glycerol, (C) sweet potato flour films with different concentrations of glycerol 0%, (D) 25%, (E) 50%, (F) 75% and (G) 100%

Table 3 Biodegradable of sweet potato flour films using different glycerol concentration

Film	Physical appearance		Biodegradation (%)
	Before	After	
Polyethylene film (Control)			0.0
Sweet potato flour + glycerol 0%			42.50±3.20
Sweet potato flour + glycerol 25%			72.92±1.84
Sweet potato flour + glycerol 50%			76.10±3.11
Sweet potato flour + glycerol 75%			100
Sweet potato flour + glycerol 100%			100

Remark Mean of three replicates±standard deviation.

Table 4 Show the growing marigold in the biodegradable plant bags from sweet potato flour at different concentrations of glycerol

Glycerol Conc.	Growing of marigold				
	Week 1	week 2	week 4	week 6	week 8
Control					
25%					
50%					
75%					

Table 4 นำถุงเพาะชำมาทดลองปลูกพืช พืชที่ใช้ปลูกในงานวิจัยนี้คือดาวเรืองพันธุ์มาร์กีสทอง เนื่องจากดาวเรืองเป็นพืชที่เกษตรกรอำเภอโคกสำโรงนิยมปลูกเพื่อสร้างรายได้ โดยทดลองปลูกในถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีนเป็นชุดควบคุม (control) และปลูกในถุงเพาะชำที่ทำจากแป้งมันเทศ อัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 25, 50 และ 75 พบว่าถุงเพาะชำมีการเจริญเติบโตที่ดี ไม่ต่างกับพืชที่ปลูกด้วยถุงเพาะชำพลาสติก พอลิเอทิลีน จากการทดลองดังกล่าวซึ่งนำมาเป็นประโยชน์ให้กับเกษตรกรเนื่องจากการปลูกพืชเพาะชำในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนเกษตรกรต้องดึงต้นกล้าออกจากถุงเพาะชำก่อนนำไปลงในดิน อาจกระทบกระเทือนต่อระบบรากของพืช เกิดการขาดเมื่อนำลงสู่ดิน เกิดการชะงักการเจริญเติบโตได้ แต่ถ้าใช้ถุงเพาะชำที่ทำมาจากพลาสติกย่อยสลายได้ เกษตรกรไม่ต้องดึงต้นกล้าออกจากถุงเพาะชำสามารถนำไปปลูกพร้อมกับต้นกล้าในแปลงปลูกได้ทันที และกลายเป็นปุ๋ยบำรุงพืชได้อีกด้วย

สรุปและเสนอแนะ

จากการศึกษาการผลิตฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันเทศ พบว่าการเติมกลีเซอรอลสามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น การละลายน้ำให้กับแผ่นฟิล์ม ส่วนสมบัติทางกล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น มีผลทำให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดและค่าต้านทานแรงเฉือนลดลง จากการศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันเทศที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 42-100 ภายใน 3 สัปดาห์ เมื่อนำแผ่นฟิล์มมาขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำ พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 25, 50 และ 75 สามารถขึ้นรูปถุงเพาะชำได้ดี เมื่อนำไปศึกษาการเพาะปลูกดาวเรือง พบว่าดาวเรืองที่ปลูกโดยใช้ถุงเพาะชำจากแป้งมันเทศ มีการเจริญเติบโตที่ดี ไม่ต่างกับดาวเรืองที่ปลูกด้วยถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน ดังนั้นฟิล์มแป้งมันเทศที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 50 มีผลการทดสอบโดยรวมดีที่สุด จึงสามารถนำฟิล์มแป้งมันเทศไปประยุกต์ใช้กับผลิตผลทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ ต่อไป อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษารายย่อยสลายด้วยแสง เพราะเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการสลายตัวของฟิล์มย่อยสลายได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ได้อุดหนุนทุนวิจัย มา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thumthanaruk, B., Pengpoondech, P. and Rodsuwan, U. 2012. "Quality of Tapioca Starch Film Mixed with Jellyfish Protein Hydrolysate". **Agricultural Science Journal**. 43(2): 437-440. *(in thai)*
- [2] Abdou, E. S. and Sorour M. A. 2014. "Preparation and Characterization of Starch/Carrageenan Edible Films". **International Food Research Journal**. 21(1): 189-193.
- [3] Tulamandi, S. and et al. 2016. "A Biodegradable and Edible Packaging Film Based on Papaya Puree, Gelatin, and Defatted Soy Protein". **Food Packaging and Shelf Life**. 10: 60-71.
- [4] Hianik, T. and et al. 2016. "Advances in Lipid Film Based Biosensors". **Trends in Analytical Chemistry**. 79: 210-221.
- [5] González, A. and et al. 2019. "Preparation and Characterization of Soy Protein Films Reinforced with Cellulose Nanofibers Obtained from Soybean by-Products". **Food Hydrocolloids**. 89: 758-764.
- [6] Wang, K., Wang, W. and Ye, R. 2017. "Mechanical Properties and Solubility in Water of Corn Starch-Collagen Composite Films: Effect of Starch Type and Concentrations". **Food Chemistry**. 216: 209-216.
- [7] Xie, F. and et al. 2009. "Rheological Properties of Starches with Different Amylose/Amylopectin Ratios". **Journal of Cereal Science**. 49: 371-377.
- [8] Bilck, A. P. and et al. 2014. "Biodegradable Bags for the Production of Plant Seedlings". **Polímeros**. 24(5): 547-553.
- [9] Vu, H. P. N. and Lumdubwong, N. 2016. "Starch Behaviors and Mechanical Properties of Starch Blend Films with Different plasticizers". **Carbohydrate Polymers**. 154: 112-120.
- [10] Farhan, A. and Hani, N. M. 2017. "Characterization of Edible Packaging Films Based on Semi-Refined Kappa-Carrageenan Plasticized with Glycerol and Sorbitol". **Food Hydrocolloids**. 64: 48-58.
- [11] Vieira, M. G. A. and et al. 2011. "Natural-Based Plasticizers and Biopolymer Films: a Review". **European Polymer Journal**. 47: 254-263.
- [12] Taija, R. A., Roos, H. and Jouppila, K. 2007. "Effect of Various Polyols and Polyol Content on Physical and Mechanical Properties of Potato Starch-Based Films". **Carbohydrate Polymers**. 67: 288-295.
- [13] Ferreira, W. H. and Andreade, C. T. 2015. "Characterization of Glycerol-Plasticized Starch and Graphene Oxide Extruded Hybrids". **Industrial Crops and Products**. 77: 684-690.
- [14] Müller, C. M. O., Yamashita, F. and Laurindo, J. B. 2008. "Evaluation of the Effects of Glycerol and Sorbitol Concentration and Water Activity on the Water Barrier Properties of Cassava Starch Films through a Solubility Approach". **Carbohydrate Polymers**. 72: 82-87.
- [15] Li, M. and Lee T. C. 1996. "Effect of Cysteine on the Functional Properties and Microstructure of Wheat Flour Extrudates". **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 44: 1871-1880.
- [16] ASTM. (1995). Standard Test Methods for Water Vapour Transmission of Materials. Standard designations: E96-95 Annual book of ASTM standards. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 406-413.

- [17] Mathlouthi, M. 2001. "Water Content, Water Activity, Water Structure and the Stability of Foodstuffs". **Food Control**. 12: 409-417.
- [18] Sperber, W. H. 1983. "Influence of Water Activity on Foodborne Bacteria - A Review". **Journal of Food Protection**. 46(2): 142-150.
- [19] Ghasemlou, M., Khodaiyan, F. and Oromiehi, A. 2011. "Physical, Mechanical, Barrier, and Thermal Properties of Polyol-Plasticized Biodegradable Edible Film Made from Kefiran". **Carbohydrate Polymers**. 84: 477-483.
- [20] Choi, W. S. and Jung H. H. 2001. "Physical and Mechanical Properties of Pea-Protein-Base Edible Film". **Journal Food Science**. 66(2): 319-322.
- [21] Tsou, C. H. and et al. 2014. "Preparation and Characterization of Bioplastic-Based Green Renewable Composites from Tapioca with Acetyl Tributyl Citrate as a Plasticizer". **Materials**. 7: 5617-5632.
- [22] Riku, A.T. and et al. 2007. "Effect of Various Polyols and Polyol Contents on Physical and Mechanical Properties of Potato Starch-Based Films". **Carbohydrate Polymers**. 67: 288-295.
- [23] Alves, V. D. and et al. 2007. "Effect of Glycerol and Amylose Enrichment on Cassava Starch Film Properties". **Journal of Food Engineering**. 78: 941-946.
- [24] Suppakul, P. and et al. 2013. "Empirical Modeling of Moisture Sorption Characteristics and Mechanical and Barrier Properties of Cassava Flour Film and Their Relation to Plasticizing-Antiplasticizing Effects". **LWT-Food Science and Technology**. 50: 290-297.
- [25] Laohakunjit, N. and Noomhorm, A. 2004. "Effect of Plasticizers on Mechanical and Barrier properties of rice starch films". **Starch/Stärke**. 22, 348-356.
- [26] Noiduang, P., Thawla, L. and Pa-ai, O. 2015. Study on Edible Film Production from Chinese Water Chestnuts Starch. **Agricultural Science Journal**. 46(3): 665-668. (in thai)
- [27] Sukkasem, T., Buranachokpaisan, K. and Anukulwattana, K. 2017. "Mechanical and Physical Properties of Edible Film from Corn Husk Waste (*Zea mays* Linn.)". **Khon Kaen Agriculture Journal**. 45(1): 1222-1228. (in thai)
- [28] Gontard, N., Guillbert, S. and Cuq, J. L. 1993. Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapour Barrier Properties of an Edible Film. **The Journal of Food Science**. 55(1): 206-211.
- [29] Mali, S. and et al. 2006. "Effects of Controlled Storage on Thermal, Mechanical and Barrier Properties of Plasticized Films from Different Starch Sources". **Journal of Food Engineering**. 75: 453-460.
- [30] Veiga, S. P. 2007. "Sucrose and Inverted Sugar as Plasticizer Effect on cassava Starch-Gelatin Film Mechanical Properties Hydrophilicity and Water Activity". **Food Chemistry**. 103: 255-262.
- [31] Chillo, S. and et al. 2008. "Influence of Glycerol and Chitosan on Tapioca Starch-Based Edible Film Properties". **Journal of Food Engineering**. 88: 159-168.
- [32] Mali, S. and et al. 2005. "Water Sorption and Mechanical Properties of Cassava Starch Films and Their Relation to Plasticizing Effect". **Carbohydrate Polymers**. 60: 283-289.
- [33] Bilck, A. P. and et al. 2014. "Biodegradable Bags for the Production of Plant Seedlings". **Polímeros**. 24(5): 547-553.

- [34] Seo, J. and et al. 2016. “Step-Reduced Synthesis of Starch-Silver Nanoparticles”. **International Journal of Biological Macromolecules**. 80: 126-128.
- [35] Melo, C. P. B. and et al. 2011. “Effect of Manufacturing Process and Xanthan Gum Addition on the Properties of Cassava Starch Films”. **Journal Polymer Environment**. 19:739-749.
- [36] Miranda, H. A. L. and et al. 2018. “Chemical Modification and Characterization of Starch Derived from Plantain (*Musa paradisiaca*) Peel Waste, as a Source of Biodegradable Material”. **Chemical Engineering Transactions**. 65: 1-6.
- [37] Takahata, Y. and et al. 2017. “Carbohydrate Components in Sweet Potato Storage Roots: Their Diversities and Genetic Improvement”. **Breeding Science**. 67(1): 62-72.