ผลของปริมาณซอร์บิทอลต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟิล์มเคลือบผิวจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยน้ำว้า

ภาวิณี เทียมดี[1*] และ กนกวรรณ พุ่มนารินทร์[2]
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี 15000

** Corresponding Author: pawinee.t169@gmail.com*
[1] อาจารย์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
[2] นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 1 พฤษภาคม 2563
แก้ไข : 14 ตุลาคม 2563
ตอบรับ : 16 ตุลาคม 2563

คำสำคัญ :
แป้งมันสาคูเม็ด / เจลาติน / ฟิล์มเคลือบผิว / ซอร์บิทอล / กล้วยน้ำว้า

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟิล์มเคลือบผิวจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยน้ำว้า ส่วนผสมฟิล์มพื้นฐานเตรียมโดยการละลายแป้งมันสาคูเม็ด (3 %w/v) และเจลาติน (3 %w/v) ในน้ำกลั่น เติมซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นต่างกัน 6 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 %w/v ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มในจานแก้วและทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความหนาของแผ่นฟิล์มทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับจาก 0.08 ถึง 0.19 มิลลิเมตร ตามความเข้มข้นของซอร์บิทอลที่เพิ่มขึ้น ค่า a_w ของแผ่นฟิล์มอยู่ระหว่าง 0.42 และ 0.55 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ การละลาย และความอ่อนนุ่มของแผ่นฟิล์มทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซอร์บิทอลเพิ่มขึ้น หลังจากฝังแผ่นฟิล์มลงในดิน (ลึก 6-8 เซนติเมตร) เป็นเวลา 10 วัน พบว่าเกิดการย่อยสลายได้ร้อยละ 82.50-100 การเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่มีซอร์บิทอลร้อยละ 20 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลกล้วยน้ำว้าได้เพิ่มขึ้นจาก 3 วัน เป็น 9 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟิล์มเคลือบจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์เป็นวัสดุย่อยสลายได้ทางธรรมชาติและอาจใช้ยืดอายุการเก็บรักษากล้วยน้ำว้าได้

Effect of Sorbitol Content on Physical and Chemical Properties of Coating Films from White Tapioca Pearl and Gelatin for Prolonging Shelf-Life of Namwa Banana

Pawinee Theamdee[1*] and Kanokwan Pumnarin[2]
Thepsatri Rajabhat University, Thale Chupson, Muang, Lopburi 15000

* *Corresponding Author: pawinee.t169@gmail.com*
[1] *Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology.*
[2] *Undergraduate Student, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology.*

Article Info

Article History:
Received: May 1, 2020
Revised: October 14, 2020
Accepted: October 16, 2020

Keywords:
White Tapioca Pearl / Gelatin / Coating Film / Sorbitol / Namwa banana

Abstract

This research studied the effect of using sorbitol as a plasticizer on physical and chemical properties of coating films prepared from white tapioca pearl and gelatin, which was used to prolong the shelf-life of Namwa banana. The base film mixture was prepared by dissolving white tapioca pearl (3 %w/v) and gelatin (3 %w/v) in distilled water. Six different sorbitol concentrations, 0, 10, 20, 30, 40 and 50 %w/v, were added to the base mixture to prepare film solutions. Each film was casted on a glass Petri dish and dried at room temperature for 24 h. The results showed that the thickness of all the films increased from 0.08 mm to 0.19 mm with increasing sorbitol concentration. Water activity of the films ranged between 0.42 and 0.55. Water vapor permeability, water solubility, and softness of the films increased with the content of sorbitol. Upon being buried under ground (6-8 cm in depth) for 10 days, the films degraded by 82.50-100 %. Coating Namwa banana with the film of white tapioca pearl and gelatin with 20% sorbitol could increase the shelf-life of the banana from 3 days up to 9 days at room temperature. These results indicate that coating films prepared from white tapioca pearl and gelatin with sorbitol as the plasticizer are biodegradable and could be used to preserve the quality of Namwa banana.

1. บทนำ

กล้วยน้ำว้า เป็นพืชที่นิยมปลูกและบริโภคภายในประเทศ และมีการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ เนื่องจากมีรสชาติ สีและกลิ่นเป็นที่ต้องการของตลาด แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการสุกหลังจากการเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อความแน่นของเนื้อ การสูญเสียน้ำหนักสด และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก [1] ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลกล้วยน้ำว้า เกิดการเน่าเสีย และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นเพื่อคงความสดของกล้วยน้ำว้า รวมถึงการชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ การเคลือบผิวผลไม้ จึงเป็นวิธีหนึ่งในการจัดการผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว [2] การเคลือบผิวผลไม้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากการเคลือบสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ อีกทั้งยังช่วยลดการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนระหว่างผลผลิตและสภาพแวดล้อม [3]

สารเคลือบผิวสามารถเตรียมได้จากแป้ง โปรตีน และไขมัน เป็นต้น [4-5] แป้งมีข้อดีหลายอย่าง คือ ราคาถูก หาได้ง่ายภายในท้องถิ่น และสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ปัจจุบันมีงานวิจัยสารเคลือบผิวจากแป้งที่หลากหลาย เช่น แป้งมันสำปะหลัง [6] แป้งข้าวโพด [7] แป้งข้าว [8] และแป้งมันเทศ [9] เป็นต้น แต่ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการใช้แป้งมันสาคูเม็ดเป็นสารเคลือบผิว แป้งมันสาคูเม็ด (White Tapioca Pearl) ทางการค้าในปัจจุบันผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้น เป็นส่วนผสมของแป้งที่เกิดเจลาติไนซ์และไม่เกิดเจลาติไนซ์ ซึ่งผ่านกระบวนการขึ้นรูปเป็นเม็ดด้วยวิธีทางกล ทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูง 250-300°C และลดความชื้นที่อุณหภูมิสูง 50-80°C ส่งผลให้แป้งมันสาคูเม็ดที่ผ่านการทำให้สุกจะมีสมบัติเฉพาะตัว เช่น มีความใสและความเหนียวหนืด นอกจากนี้แป้งมันสาคูเม็ดยังมีราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่าย [10] แต่การเคลือบผิวด้วยสารละลายแป้งยังมีข้อเสีย เนื่องจากมีสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำที่สูง ดังนั้นจึงมีการประยุกต์เติมสารประเภทโปรตีน เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของสารเคลือบ เจลาตินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง มีสมบัติเป็นสารก่อเจล ละลายน้ำได้ ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ [11] อีกทั้งเมื่อใช้เจลาตินเป็นส่วนประกอบในสารเคลือบผิวจะสามารถช่วยลดการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำได้ [12] สารเคลือบที่มีส่วนประกอบของแป้งและเจลาตินเพียงอย่างเดียว จะมีความยืดหยุ่นต่ำ ไม่เหมาะต่อการใช้เคลือบผิวผลไม้โดยตรง จึงมีการใช้พลาสติไซเซอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางกลของสารเคลือบฟิล์ม ตัวอย่างพลาสติไซเซอร์ ได้แก่ ซูโครส ซอร์บิทอล และกลีเซอรอล เป็นต้น [13] ซอร์บิทอลมีความเป็นไปได้สำหรับใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ เนื่องจากมีสมบัติละลายน้ำได้ มีความปลอดภัยสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับอาหาร และมีราคาถูก [14] จากการศึกษาของ Fakhouri และคณะ [15] พบว่าการเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวโพดและเจลาตินและใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าซอร์บิทอลส่งผลให้ค่าการซึมผ่านของออกซิเจนและน้ำของฟิล์มมีค่าต่ำกว่าการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์

นอกจากนี้สารเคลือบผิวในปัจจุบันนำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้มีราคาสูง จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะผลิตสารเคลือบผิวจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาผลของปริมาณซอร์บิทอล ต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ของสารเคลือบผิวจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน พร้อมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เป็นสารเคลือบผิวผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยทดสอบกับผลกล้วยน้ำว้า และศึกษาอัตราการย่อยสลายของฟิล์มเคลือบผิวผลไม้ที่เตรียมได้จากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

แป้งมันสาคูเม็ดสำเร็จรูปตราปลาไทย 5 ดาว แบบเม็ดเล็ก นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบลมร้อน (Memmert, UN 110, ประเทศเยอรมนี) บดและร่อนผงแป้งผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 150 mesh เก็บในโถควบคุมความชื้น เจลาตินชนิดเอ และซอร์บิทอลใช้เป็นเกรดสำหรับอาหาร ซื้อจากห้างหุ้นส่วนจำกัด ซายน์ติฟิค เคมีคอล ซัพพลาย

2.2 การเตรียมฟิล์มจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน

ดัดแปลงจากวิธีของ Kumar และคณะ [16] โดยเตรียมสารละลายแป้งมันสาคูเม็ด 3% w/v ในน้ำกลั่นปริมาณ

100 มิลลิลิตร โดยการให้ความร้อน 80°C จนแป้งละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และเตรียมสารละลายเจลาติน 10% w/v ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร โดยให้ความร้อน 60°C จนเจลาตินละลาย จากนั้นผสมสารละลายทั้งสองจนเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมซอร์บิทอลที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 และใช้สารละลายปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยในจานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ทำแห้งที่อุณหภูมิห้อง (27±3°C) จนกระทั่งแผ่นฟิล์มแห้ง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออก เก็บในโถดูดความชื้นก่อนนำไปวิเคราะห์

2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

วัดความหนาของฟิล์ม ด้วยไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, ญี่ปุ่น) โดยทำการวัดแผ่นฟิล์มตำแหน่งต่างๆ กัน 10 ตำแหน่ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย และทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

การซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Permeability; WVP) ดัดแปลงจากวิธีการทดสอบของ ASTM E96 [17] เครื่องมือทดสอบประกอบด้วยถ้วยอะลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร สูง 3.2 เซนติเมตร บรรจุด้วย ซิลิกาเจล (Silica Gel) ผ่านการอบแห้งแล้วในถ้วยอะลูมิเนียม ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ปิดบนถ้วยทดสอบ ปิดผนึกด้วยพาราฟิน นำไปชั่งน้ำหนักบันทึกเป็นเวลา 0 ชั่วโมง เก็บในสภาวะ ที่อุณหภูมิ 28±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75±2% จากนั้นบันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คำนวณ โดยใช้สมการ

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

โดยที่

WVTR = ความชันของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียไปกับเวลา (g $m^{-2}h^{-1}$) ต่อพื้นที่ของฟิล์มที่ไอน้ำผ่าน (m^2)

t = ความหนาของแผ่นฟิล์ม (mm)

ΔP = ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Pa)

แอคติวิตี้ของน้ำ (Water Activity, a_w) ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์แอคติวิตี้ของน้ำ (Aqualab รุ่น 4TE, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ค่า a_w ที่น้อยที่สุดที่ทำให้แบคทีเรียยีสต์และราเจริญได้เท่ากับ 0.90, 0.83 และ 0.80 ตามลำดับ [18-19] โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

สมบัติการละลายน้ำ (Water Solubility) ดัดแปลงจากวิธีของ Gontard และ คณะ [20] วัดค่าเป็นร้อยละของน้ำหนักฟิล์มที่หายไป โดยตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 50 x 50 มิลลิเมตร (แผ่นฟิล์มแต่ละตัวอย่าง สุ่มตัดที่ตำแหน่งต่างๆ มา 3 ชิ้น) ชั่งน้ำหนัก (W_0) นำไปแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยพาราฟิน โดยใช้เครื่องเขย่าสาร (Shaker) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำฟิล์มที่ไม่ละลายในน้ำมาทำให้แห้งในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักผลการทดลอง บันทึกค่า (W_{24}) และวิเคราะห์ ดังนี้

$$\%\ \text{การละลายน้ำ} = \frac{(W_0 - W_{24})}{W_0} \times 100$$

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเจลาติน แป้งมันสาคูเม็ด ซอร์บิทอล และแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินโดยใช้เครื่อง FTIR Spectrometer (Perkin Elmer, รุ่น Spectrum 100 FTIR System Universal, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยใช้ Attenuated Total Reflectance (ATR) Sampling Accessory แบบ Diamond Cell มีช่วงเลขคลื่นในการวิเคราะห์เท่ากับ 4,000-400 cm^{-1}

2.5 ทดสอบการการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน

ตัดแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินให้มีขนาด 20 x 50 มิลลิเมตร นำมาชั่งน้ำหนัก โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปฝังลงในดิน ลักษณะเป็นดินร่วน โดยนำดินบรรจุในถังขนาด 20.3 x 48.5 x 14.3 เซนติเมตร และนำฟิล์มฝังให้มีความลึกประมาณ 6 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 30±2°C ความชื้นเริ่มต้นของดินประมาณร้อยละ 20-22 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 วัน อยู่ในที่ร่ม ไม่มีการรดน้ำ ชั่งน้ำหนักแผ่นฟิล์มทุกวัน บันทึกผลการทดลองและคำนวณการย่อยสลายของฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน [21] โดยมีแผ่นฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน (PP) เป็นชุดควบคุม

$$\%\ \text{การย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

โดยที่

A = น้ำหนักของฟิล์มเริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของฟิล์มหลังการย่อยสลาย (กรัม)

2.6 ศึกษาการเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

เตรียมสารละลายน้ำแป้งด้วยวิธีเดียวกับการเตรียมแผ่นฟิล์ม ต้นแบบผลไม้ที่เลือกใช้ คือ กล้วยน้ำว้า เนื่องจากสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ง่าย โดยทำการเลือกผลกล้วยเครือเดียวกัน คัดเลือกรูปร่าง ขนาดใกล้เคียงกัน ไม่มีแผลตำหนิ หรือโรคที่เกิดจากจุลินทรีย์ มีความสุกระดับสอง ซึ่งมีเปลือกเป็นสีเขียวอ่อน [22] ศึกษาการเคลือบผิวผลกล้วยน้ำว้า เพื่อดูความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษาโดยแบ่งเป็น 7 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม ไม่มีการเคลือบ และเคลือบด้วยสารละลายจากฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ด และเจลาตินผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นต่างๆ ทำการเคลือบโดยการจุ่มผลกล้วยน้ำว้าลงในสารละลายฟิล์มให้ท่วมผล วางผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) สังเกตการเสื่อมเสียของผลกล้วยจากลักษณะสีของเปลือกกล้วยที่มีลักษณะเหี่ยวเนื่องจากสูญเสียน้ำ และมีสีคล้ำขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 12 วัน และคำนวณการสูญเสียน้ำหนักดังนี้ [23]

$$\text{\% การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100$$

โดยที่

W_0 = น้ำหนักของผลไม้หลังหุ้มสารเคลือบผิววันแรก (กรัม)

W_1 = น้ำหนักของผลไม้หลังหุ้มด้วยสารเคลือบผิววันสุดท้าย (กรัม)

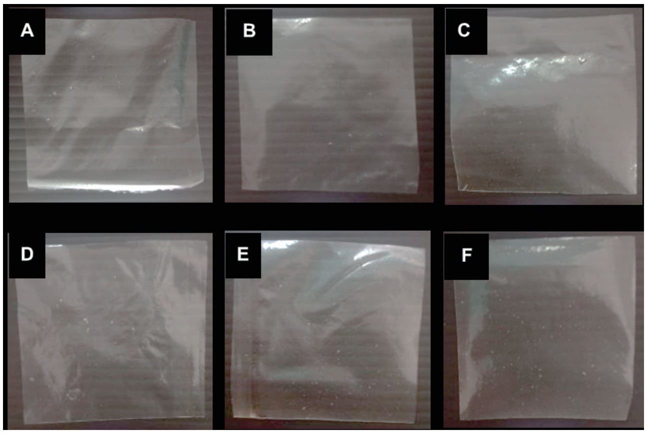
2.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS® version 12 (SPSS Inc., สหรัฐอเมริกา) และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัย

3.1 การขึ้นรูปฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน

จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ความเข้มข้นของซอร์บิทอลแตกต่างกัน พบว่าแผ่นฟิล์มที่ผสมซอร์บิทอลในอัตราส่วนร้อยละ 0 มีลักษณะทางกายภาพเปราะ และแตกหักง่าย (รูปที่ 1A) ในขณะที่แผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 1B-1F) มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sarbon และคณะ [24] เนื่องจากซอร์บิทอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์ม ซึ่งจะแทรกจับภายในโมเลกุลแป้งและเจลาติน เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโครงร่างตาข่าย ทำให้ฟิล์มมีลักษณะที่ยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซอร์บิทอลที่เพิ่มขึ้น [25]



รูปที่ 1 ลักษณะภายนอกของแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินผสมซอร์บิทอลร้อยละ 0 (A), 10(B), 20(C), 30(D), 40(E) และ 50(F)

3.2 สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน

แผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน ที่เตรียมได้มีความหนาอยู่ในช่วง 0.08-0.19 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 1 พบว่าความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทอล เนื่องจากโมเลกุลของซอร์บิทอลเข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลของแป้งและเจลาตินทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มมีค่ามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fakhouri และคณะ [26] เมื่อพิจารณาค่าแอคติวิตี้ของน้ำ (a_w) ของฟิล์มมีค่าอยู่ระหว่าง 0.42-0.55 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.60 ซึ่งเป็นค่า a_w ที่ต่ำที่สุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ยาก

ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดที่ไม่ผสมซอร์บิทอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่มีความเข้มข้นของซอร์บิทอลแตกต่างกันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซอร์บิทอล แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 79.97-83.14 เมื่อผสมซอร์บิทอลในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากซอร์บิทอลเป็น พอลิออล มีสมบัติละลายในน้ำได้ดีเพราะเป็น hydrophilic plasticizer ดังนั้นการเติมซอร์บิทอลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ hydrophilicity ของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Andrade-Pizarro และคณะ [27]

การซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ของแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน มีค่าอยู่ในช่วง 0.09-0.39 (g/m^2.kPa.hr) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทอลทำให้การซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากซอร์บิทอลเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ อีกทั้งยังเข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ ทำให้โมเลกุลมีช่องว่างเพิ่มขึ้น ส่งผลความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าการละลายน้ำของฟิล์ม [28]

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR-FTIR โดยเปรียบเทียบสเปกตรัมของ เจลาติน (รูปที่ 2A), แป้งมันสาคูเม็ด (รูปที่ 2B), ซอร์บิทอล (รูปที่ 2C), แผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินผสมซอร์บิทอลร้อยละ 0 (รูปที่ 2D), 10 (รูปที่ 2E), 20 (รูปที่ 2F), 30 (รูปที่ 2G), 40 (รูปที่ 2H) และ 50 (รูปที่ 2I) สเปกตรัม FTIR แสดงให้เห็นว่าเจลาตินมีพีคที่เลขคลื่น 1500 cm^{-1} (NH stretching), 1630 cm^{-1} (C=O stretching) แป้งมันสาคูเม็ดมีพีคที่เลขคลื่น 3300 cm^{-1} (O-H stretching), 2930 cm-^{1} (C-H stretching), 1150 cm^{-1} (C-O stretching), 1070 และ 860 cm^{-1} (C-O-C stretching) และ 995 และ 928 cm^{-1} (C-OH bending) โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนซอร์บิทอลมากขึ้นที่เลขคลื่น 3200 cm^{-1} (O-H stretching) ทำให้ค่าการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลมีค่ามากขึ้น [29-30] สอดคล้องกับค่าการซึมผ่านไอน้ำและค่าการละลายของแผ่นฟิล์มที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้

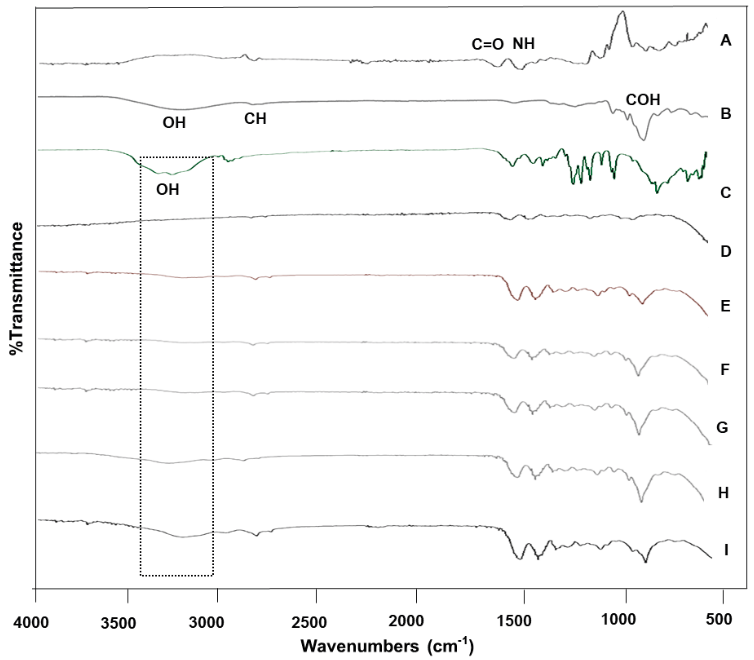
ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม

ปริมาณซอร์บิทอล (%)	ความหนา (mm)	ค่าแอคติวิตี้ของน้ำ (a_w)	ค่าการละลาย (%)	WVP (g/m^2.kPa.hr)
0	0.08±0.01^{e}	0.42±0.02^{e}	75.15±2.47^{b}	-
10	0.10±0.02^{de}	0.48±0.02^{d}	79.97±2.60^{a}	0.09±0.05^{c}
20	0.12±0.01^{cd}	0.50±0.01^{cd}	81.25±1.13^{a}	0.23±0.05^{b}

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม (ต่อ)

ปริมาณ ซอร์บิทอล (%)	ความหนา (mm)	ค่าแอคติวิตี้ของน้ำ (a_w)	ค่าการละลาย (%)	WVP (g/m^2.kPa.hr)
30	0.14±0.01^{bc}	0.52±0.01^{bc}	81.85±1.42^{a}	0.29±0.01^{b}
40	0.16±0.01^{b}	0.53±0.01^{ab}	82.12±0.47^{a}	0.35±0.02^{a}
50	0.19±0.02^{a}	0.55±0.01^{a}	83.14±0.82^{a}	0.38±0.01^{a}

หมายเหตุ : $^{a-e}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

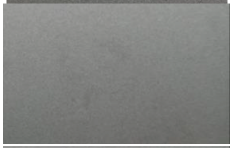
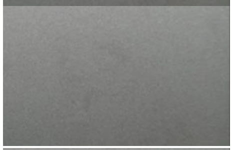
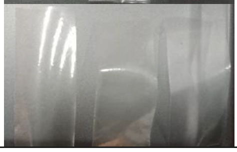


รูปที่ 2 สเปกตรัม FTIR ของเจลาติน (A), แป้งมันสาคูเม็ด (B), ซอร์บิทอล (C), ฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน ที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 0 (D), 10 (E), 20 (F), 30 (G), 40 (H) และ 50 (I)

3.3 การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูและเจลาติน

การศึกษาการย่อยสลายโดยธรรมชาติของแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นต่างๆ โดยทำการฝังลงในดิน และวิเคราะห์ตัวอย่างทุกๆ 1 วัน พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 ย่อยสลายได้ร้อยละ 100 ที่ระยะเวลา 10 วัน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 2 ส่วนแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอล ร้อยละ 0 และ 10 มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 82.50 และ 95.22 ตามลำดับ ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกพอลิโพรพิลีน (ชุดควบคุม) ไม่เกิดการย่อยสลาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแป้งและเจลาตินสามารถย่อยสลายได้ง่าย ประกอบกับซอร์บิทอลที่สามารถละลายน้ำได้ดี จึงช่วยให้แผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 2 การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นต่างๆ

แผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอล	ลักษณะทางกายภาพ		ร้อยละการย่อยสลาย
	0 วัน	วัน 10	
Control พอลิพอพิลีน (PP)			0
0			82.50±2.40
10			95.22±3.54
20			100
30			100
40			100
50			100

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.4 ผลของการเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

การศึกษาการเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลความเข้มข้นต่างๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา พบว่ากล้วยน้ำว้าที่ไม่ได้เคลือบด้วยฟิล์มและกล้วยน้ำว้าที่เคลือบฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มีการสูญเสียของน้ำหนักเท่ากับ 25.22, 24.45, 20.76, 21.57, 22.52 และ 24.20 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 พบว่า ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่มีค่ามาก เนื่องจากซอร์บิทอลดูดความชื้นได้ดีทำให้เกิดการซึมผ่านไอน้ำได้ดีเพราะกล้วยน้ำว้าเป็นพืชที่มีการคายน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซตลอดเวลาทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักที่สูง ส่วนแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 20 มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด โดยมีค่าต่ำกว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 30, 40 และ 50 เนื่องจากปริมาณซอร์บิทอลร้อยละ 30, 40 และ 50 มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูงดังแสดงในตารางที่ 1 ส่งผลให้น้ำในผลกล้วยระเหยและซึมผ่านออกไปจากผลกล้วยได้มาก และเนื่องจากผลกล้วยสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 70 [31] ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจึงมากขึ้นตามค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่เพิ่มขึ้น แต่แผ่นฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 0 และ 10 มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสูง เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีความเปราะ จึงเกิดรอยแตกที่ทำให้ไอน้ำซึมผ่านได้ ทำให้ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีค่ามาก

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลกล้วยน้ำว้า ดังตารางที่ 3 จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะผิวเปลือกกล้วย พบว่าในระยะการจัดเก็บ 3 วัน กล้วยที่ไม่ได้เคลือบสารเคลือบผิวมีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผล ส่วนกล้วยที่เคลือบฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอล มีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองบางส่วนมีรอยจุดสีน้ำตาลเล็กขึ้นประปราย หลังจากจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องต่อเป็นระยะเวลา 6 วัน (วันที่ 9) กล้วยที่ไม่ได้เคลือบสารเคลือบผิวมีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเหลืองเข้มไปเป็นสีน้ำตาลค่อนข้างดำอยู่ทั่วผล ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอล สีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเหลืองเป็นเหลืองน้ำตาลค่อนข้างดำ แต่ฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 20 ยังมีส่วนที่เป็นสีเขียวปรากฏอยู่มากกว่าตัวอย่างอื่น จากการสังเกตุเนื้อสัมผัสพบว่าเนื้อผลกล้วยที่ไม่ได้เคลือบสารเคลือบผิว มีเนื้อผลนิ่มมากที่สุด ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 20 มีความนิ่มของเนื้อผลน้อยที่สุด เนื่องจากสารเคลือบฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และอาจขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซเอทีลีนที่กระตุ้นการสุกของผลไม้ และการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลที่ทำให้เนื้อผลไม้นิ่มลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้ที่กล้วยเคลือบด้วยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 20 สุกช้าที่สุด และรองลงมาคือร้อยละ 30, 40 และ 50 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณซอร์บิทอลที่มากขึ้นมีผลทำให้การซึมผ่านของออกซิเจนและน้ำเพิ่มสูงขึ้น ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วยฟิล์มผสมซอร์บิทอลร้อยละ 0 และ 10 สุกเร็วกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 20 สามารถยืดอายุของกล้วยได้นานขึ้นประมาณ 6 วัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 10 วัน พบว่าเปลือกกล้วยเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีดำ จึงอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว โดยอาจศึกษาจากอัตราการซึมผ่านของก๊าซเอทีลีน และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ซึ่งช่วยบ่งชี้การสุกของผลไม้ได้

4. สรุปผลการทดลอง

จากศึกษาผลของปริมาณซอร์บิทอล คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ต่อการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน พบว่าซอร์บิทอลสามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์มได้ มีค่าความหนา ค่าการละลาย ค่าแอคติวิตี้ของน้ำ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการย่อยสลายที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของซอร์บิทอลมากขึ้น การเคลือบผลกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลสามารถช่วยชะลอการสุกของผลกล้วยได้ โดยฟิล์มแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินที่ผสมซอร์บิทอลร้อยละ 20 ช่วยยืดอายุการเก็บรักษากล้วยน้ำว้าได้ดีที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

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

6. เอกสารอ้างอิง

1. Ampaichaichok, P., Rojsitthisak, P. and Seraypheap, K., 2014, "Development of Chitosan Thin Film to Prolong Shelf Life of 'Nam Dok Mai' Mango," *Agricultural Science Journal*, 45 (2), pp. 317-320. (In Thai)

2. Kullama, N. and Wangtueai, S., 2019, "Optimization of Edible Coating Preparation from Mixed Fish Gelatin and Fish Gelatin Hydrolysate Enriched with Transglutaminase for Extending Shelf Life of Chilled Tabtim Fish Fillets," *Srinakharinwirot Science Journal*, 35 (1), pp. 135-152. (In Thai)

3. Arfat, Y.A., Benjakul, S., Vongkamjan, K., Sumpavapol, P. and Yarnpakdee, S., 2015, "Shelflife Extension of Refrigerated Sea Bass Slices Wrapped with Fish Protein Isolate/Fish Skin GelatinZnO Nanocomposite Film Incorporated with Basil Leaf Essential Oil," *Journal of Food Science and Technology*, 52 (10), pp. 6182-6193.

4. Grosso, A.L., Asensio, C.M., Grosso, N.R. and Nepote, V., 2020, "Increase of Walnuts' Shelf Life using a Walnut Flour Protein-Based Edible Coating," *LWT - Food Science and Technology*, 118, pp. 1-8.

5. Zambrano, Z., M.L., Quintanar, G.D., Real, A.D., González, R.R.M., Cornejo, V.M.A. and Gutiérrez, C.E., 2020, "Effect of Nano-Edible Coating Based on Beeswax Solid Lipid Nanoparticles on Strawberry's Preservation," *Coatings*, 10, pp. 1-11.

6. Hernandez, D.P., Jaramillo, C.M and Cordoba, A.L., 2017, "Edible Cassava Starch Films Carrying Rosemary Antioxidant Extracts for Potential Use as Active Food Packaging," *Food Hydrocolloids*, 63, pp. 488-495.

7. Malherbia, N.M., Schmitz, A.C., Grando, R.C., Bilck, A.P., Yamashita, F., Tormen, L., Fakhouric, F.M., Velasco, J.I. and Bertan, L.C., 2019, "Corn Starch and Gelatin-Based Films Added with Guabiroba Pulp for Application in Food Packaging," *Food Packaging and Shelf Life*, 19, pp. 140-146.

8. Rachtanapun, P., Pankan, D. and Srisawat, D., 2012, "Edible Films of Blended Cassava Starch and Rice Flour with Sorbital and Their Mechanical Properties," *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2 (2), pp. 252-258.

9. Theamdee, P. and Auasalung, T., 2019, "The Effect of Glycerol Content on Physical and Mechanical Properties of The Biodegradable Film from Sweet Potato Flour for Preserving Namwa Banana," *Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences*, 20 (1), pp. 70-80.

10. Breuninger, W.F., Piyachomkwan, K. and Sriroth, K., 2009, "Tapioca/Cassava Starch: Production and Use," Starch: Chemistry and Technology, 3rd ed., Elsevier.

11. Hosseini, S.F., Rezaei, M., Zandi, M. and Ghavi, F.F., 2016, "Effect of Fish Gelatin Coating Enriched with Oregano Essential Oil on The Quality of Refrigerated Rainbow Trout Fillet," *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25 (6), pp. 835-842.

12. Cheng, L.H., Karim, A.A., Noziah, M. H. and Seow, C.C., 2002, "Modification of The Microstructural and Physical Properties of Konjac Glucomannan-Based Films by Alkali and Sodium Carboxymethylcellulose," *Food Research international*, 35, pp. 829-836.

13. 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, pp. 255-262.

14. Fakhouri, F.M., Costa, D., Yamashita, F., Martelli, S.M., Jesus, R.C., Alganer, K., Collares-Queiroz, F.P.

and Innocentini-Mei, L.H., 2013, "Comparative Study of Processing Methods for Starch/Gelatin Films," *Carbohydrate Polymers*, 95, pp. 681-689.

15. Mali, S., Sakanaka, L.S. and Yamashita, F., 2005, "Water Sorption and Mechanical Properties of Cassava Starch Films and Their Relation to Plasticizing Effect," *Carbohydrate Polymers*, 60, pp. 283-289.

16. Kumar, R., Ghoshal, G. and Goyal, M., 2019, "Synthesis and Functional Properties of Gelatin/CA-Starch Composite Film: Excellent Food Packaging Material," *Journal of Food Science and Technology,* 56, pp. 1954-1965.

17. American Society for Testing and Materials, 2010, "Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials (E96/E96M-10)," ASTM International.

18. Mathlouthi, M., 2001, "Water Content, Water Activity, Water Structure and the Stability of Foodstuffs," *Food Control*, 12, pp. 409-417.

19. Sperber, W.H., 1983, "Influence of Water Activity on Foodborne Bacteria - A Review," *Journal of Food Protection*, 46 (2), pp. 142-150.

20. Gontard, N., Guilbert, S. and Cuq, J. L., 1992, "Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology," *Journal of Food Science*, 57, pp. 190-195.

21. Martucci, J.F. and Ruseckaite, R.A., 2009, "Tensile Properties, Barrier Properties, and Biodegradation in Soil of Compression-Molded Gelatin-Dialdehyde Starch Films," *Journal of Applied Polymer Science*, 112, pp. 2166–2178.

22. Soltani, M., Alimardani, R. and Omid, M., 2010, "Prediction of Banana Quality during Ripening Stage using Capacitance Sensing System," *Australian Journal of Crop Science*, 4 (6), pp. 443-447.

23. Tsou, C.H., 2014, "Preparation and Characterization of Bioplastic-Based Green Renewable Composites from Tapioca with Acetyl Tributyl Citrate as a Plasticizer," *Materials*, 7, pp. 5617-5632.

24. Sarbon, N.M., Suderman, N. and Isa, M.I.N., 2018, "The Effect of Plasticizers on The Functional Properties of Biodegradable Gelatin-Based Film: A Review," *Food Bioscience*, 24, pp. 111-119.

25. Li, H. and Huneault, M.A., 2011, "Comparison of Sorbitol and Glycerol as Plasticizers for Thermoplastic Starch in TPS/PLA Blends," *Journal of Applied Polymer Science*, 119, pp. 2439-2448.

26. Fakhouria, F.M., Martellia, S.M., Caon,T., Velasco, J.I. and Mei, L.H.I., 2015, "Edible Films and Coatings Based on Starch/Gelatin: Film Properties and Effect of Coatings on Quality of Refrigerated Red Crimson grapes," *Postharvest Biology and Technology*, 109, pp. 57-64.

27. Andrade-Pizarro, R., Ballesteros-Mártinez, L. and Pérez-Cervera, C., 2020, "Effect of Glycerol and Sorbitol Concentrations on Mechanical, Optical, and Barrier Properties of Sweet Potato Starch Film," *NFS journal*, 20, pp. 1-9.

28. Noiduang, P., Thawla, L. and Pa-ai, O., 2015, "Study on Edible Film Production from Chinese Water Chestnuts Starch," *Agricultural Science Journal*, 46 (3), pp. 665-668. (In Thai)

29. Hanani, Z.A., McNamara, J., Roos, Y.H. and Kerry, J.P., 2013, "Effect of Plasticizer Content on The Functional Properties of Extruded Gelatin-Based Composite Films," *Food Hydrocolloids*, 31, pp. 264-269.

30. Mohsin, M., Hossin, A. and Haik, Y., 2011, "Thermomechanical Properties of Poly(vinyl alcohol) Plasticized with Varying Ratios of Sorbitol," *Materials Science and Engineering A*, 528, pp. 925-930.

31. Obiageli, A.O., Ukamaka, O.G., Pauline, I.A. and Helen, O.N., 2016, "Glycoside, Moisture and Dry Matter Compositions of Fruits of Three Musa Species at Three Stages of Development," *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 11 (3), pp. 60-67.