

การเตรียมฟิล์มเคลือบผิวแป้งมันสำคูปเม็ดและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา และการใช้งานเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยน้ำว่า

ภาวิณี เทียมดี^{1*} และ ธันยชัย เคนมา²

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

* Corresponding Author: pawinee.t169@gmail.com

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

² นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 7 พฤษภาคม 2564

แก้ไข : 19 ตุลาคม 2564

ตอบรับ : 1 พฤศจิกายน 2564

DOI : 10.14456/kmuttrd.2022.1

คำสำคัญ :

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส /

ผักตบชวา / แป้งมันสำคูปเม็ด /

อายุการเก็บรักษา / กล้วยน้ำว่า

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาการเตรียมฟิล์มเคลือบผิวแป้งมันสำคูปเม็ดและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาและการศึกษาผลของฟิล์มเคลือบต่อการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยน้ำว่า การเตรียมฟิล์มเคลือบผิวทำโดยละลายแป้งมันสำคูปเม็ดในน้ำที่ความเข้มข้น 3% (w/v) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาที่ความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของแป้งโดยเติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ 20% ของน้ำหนักสารละลายแป้งและทำแห้งที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ผลการศึกษา พบว่า ความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวามากขึ้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ระหว่าง 0.30-0.37 ค่าการละลายและค่าซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าต่ำลงเมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาสูงขึ้น ผลการศึกษาการย่อยสลายโดยฝังในดินพบว่า ฟิล์มสามารถย่อยสลายได้ 45-100% ในระยะเวลา 14 สัปดาห์ โดยแผ่นฟิล์มจะย่อยสลายได้ลดลงเมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาเพิ่มขึ้น การเคลือบผิวกล้วยน้ำว่าด้วยฟิล์มเคลือบแป้งมันสำคูปเม็ดและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาที่ความเข้มข้น 10% (w/v) ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนสีผิวของเปลือกและยืดอายุการเก็บรักษากล้วยน้ำว่าได้นานที่สุด 9 วัน ที่อุณหภูมิห้อง 28 ± 2°C และความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษานานเพียง 5 วัน

Preparation of Coating Films from White Tapioca Pearls and Carboxymethylcellulose from Water Hyacinth and Its Use to Extend Storage Life of *Musa ABB* cv. Kluai 'Namwa'

Pawinee Theamdee^{1*} and Tanyamai Kenma²

Thepsatri Rajabhat University, Thale Chupson, Muang, Lopburi 15000

* Corresponding Author: pawinee.t169@gmail.com

¹ Assistant Professor, 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 7, 2021

Revised: October 19, 2021

Accepted: November 1, 2021

DOI : 10.14456/kmuttrd.2022.1

Keywords:

Carboxymethylcellulose /

Water Hyacinth /

White Tapioca Pearl /

Storage Life / Namwa Banana

Abstract

The objectives of this research were to study the production of coating films from white tapioca pearls and carboxymethylcellulose from water hyacinth and to study the use of such films to extend storage life of Namwa banana. The coating films were prepared by dissolving white tapioca pearls in water at a concentration of 3% (w/v); carboxymethylcellulose from water hyacinth was added at either 0, 5, 10, 15 or 2% (w/w) flour. Glycerol was used as a plasticizer at 20% of the flour solution. The resulting content was dried at 65 °C for 18 h. Results showed that thickness of the films increased with increasing carboxymethylcellulose concentration. Water activity of the films ranged from 0.30 to 0.37. Water solubility and water vapor permeability of the film decreased with increasing carboxymethylcellulose content. Degradation study revealed that the films buried under the ground degraded by 45-100% in 14 weeks. The degree of degradation decreased with increasing carboxymethylcellulose content. Coating Namwa banana with the film prepared from white tapioca pearls and 10% carboxymethylcellulose effectively delayed weight loss, fruit peel color change and resulted in the longest storage life of up to 9 days at ambient temperature (28 ± 2 °C, $65 \pm 2\%$ RH). The control fruit could, on the other hand, be stored only for 5 days.

1. บทนำ

สารเคลือบผิวผลไม้เป็นวัสดุแผ่นบางที่ชะลอการผ่านเข้าออกของก๊าซและไอน้ำ ทำให้กระบวนการหายใจช้าลง ลดการสูญเสียน้ำหนัก และป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้สดได้นานขึ้น [1] วัตถุประสงค์ที่นิยมนำมาทำเป็นสารเคลือบผิวผลไม้จากธรรมชาติ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และแป้ง เป็นต้น เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม สารเคลือบผิวที่ผลิตจากแป้งเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากแป้งมีข้อดีหลายประการ เช่น หาได้ง่ายภายในท้องถิ่น ย่อยสลายได้เองทางชีวภาพ บริโภคได้ และช่วยเก็บรักษากลิ่น รสและความหวาน เป็นต้น [2] ผู้วิจัยสนใจแป้งมันสำปะต (White Tapioca Pearl) ผลิตจากแป้งมันสำปะตหลังที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น มีความใส ความเหนียว ราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ง่าย [3] แต่การเคลือบผิวผลไม้ด้วยแป้งชนิดเดียวอาจทำให้เกิดการซึมผ่านของไอน้ำที่สูง จึงสนใจที่จะประยุกต์โดยเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose: CMC) ร่วมกับสารเคลือบผิวจากแป้งมันสำปะต ซึ่ง CMC เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยจะต้องใช้เยื่อเซลลูโลสที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (alpha cellulose) หรือเซลลูโลสคุณภาพสูง สามารถย่อยสลายได้เอง เป็นสารเพิ่มความเหนียวช่วยในการยึดเกาะและเป็นสารคงสภาพซึ่งในการเตรียม CMC จะต้องใช้เยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงไม่ว่าจะเป็นกากกล้วย [4] ฟางข้าว [5] เปลือกทุเรียน [6] และชังข้าวโพด [7] เป็นต้น ผู้วิจัยสนใจนำผักตบชวา (Water Hyacinth) มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ Eichhornia crassipes ในการสังเคราะห์ CMC เนื่องจากในชุมชนอำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี มีผักตบชวาอยู่มาก และเป็นวัชพืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วก่อให้เกิดปัญหามากมาย เช่น ลดการไหลของน้ำ เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของปลา และเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำบางชนิดซึ่งเป็นพาหะนำโรค [8] จึงอยากนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เนื่องจากผักตบชวามีปริมาณเซลลูโลส 60% เฮมิเซลลูโลส 8% และลิกนิน 17% [9] จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเตรียม CMC และพบว่าสามารถคง

คุณภาพ ควบคุมอัตราการหายใจ และลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลได้ [10] จึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจที่จะนำมาผสมร่วมกับแป้งเพื่อทำเป็นสารเคลือบผิวผลไม้ แต่ถ้าสารเคลือบที่มีส่วนประกอบของแป้ง และ CMC เพียงอย่างเดียวนั้น ทำให้สารเคลือบมีความเปราะ ยืดหยุ่นน้อย ไม่เหมาะต่อการเคลือบผิว ดังนั้นการใช้พลาสติกไซเซออร์หรือตัวประสานเข้าไปผสมกับสารละลายแป้ง และ CMC สามารถลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ เพิ่มความยืดหยุ่น ความเหนียวและมีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์มากขึ้น [11] พลาสติกไซเซออร์ที่ใช้เพื่อเพิ่มสมบัติของสารเคลือบ ได้แก่ กลีเซอรอล [12] และซอร์บิทอล [13] เป็นต้น กลีเซอรอลมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ เนื่องจากเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ ราคาถูก และปลอดภัย [14] เช่น การศึกษาของ Sukkasem และคณะ [15] ซึ่งเตรียมฟิล์มบริโกล CMC จากเปลือกข้าวโพด โดยเติมพลาสติกไซเซออร์ 2 ชนิด ได้แก่ ซอร์บิทอลและกลีเซอรอล พบว่าการใช้กลีเซอรอลทำให้สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ดี ค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำ ทนต่อแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มสูงกว่าการใช้ซอร์บิทอล

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาการผลิตสารเคลือบผิวจากแป้งมันสำปะตและ CMC จากผักตบชวาที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารเคลือบผิว และเพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวจากแป้งมันสำปะตและ CMC จากผักตบชวาต่อคุณภาพของกล้วยน้ำว้าระหว่างการเก็บรักษาเพื่อเป็นแนวทางในการยืดอายุผลกล้วยน้ำว้าให้สามารถวางขายในท้องตลาดได้นานขึ้น เนื่องจากกล้วยน้ำว้าเป็นผลไม้ที่นิยมในการบริโภค มีผลผลิตออกสู่ตลาดตลอดทั้งปี แต่อายุการเก็บรักษาสั้น เปลือกบาง บอบช้ำง่าย

2. วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

แป้งมันสำปะตสำเร็จรูปตราปลาไทย 5 ดาว แบบเม็ดเล็ก อบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบลมร้อน (Memmert, UN 110, ประเทศเยอรมนี) บดให้ละเอียดและร่อนผงแป้งมัน

สาकुเม็ดผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 150 mesh เก็บในโถ ควบคุมความชื้น ผักตบชวาเก็บจากแหล่งน้ำภายในวัด สิ่งคูด่าง อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี โดยแยกส่วน ลำต้นทำความสะอาด จากนั้นนำมาปั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปั่นให้มีขนาดเล็กลงประมาณ 0.1-0.2 cm เก็บในถุงพลาสติกปิดปากถุงให้แน่น เก็บไว้ในโถควบคุมความชื้น และกลีเซอรอลเกรดสำหรับอาหาร ซื้อมาจากห้างหุ้นส่วนจำกัด ชายันดีฟิคเคมีคอลซัพพลาย

2.2 การเตรียมเซลลูโลสจากผักตบชวา

ตัดแปลงจากวิธี Sukkasem และคณะ [15] นำผักตบชวาคัดด้วยสารละลาย 10% (w/v) NaOH (NaOH:ผักตบชวา = 10:1) ที่อุณหภูมิ 80-100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง ล้างเยื่อที่กรองได้ด้วยน้ำกลั่นจนกว่าน้ำล้างเป็นกลาง นำเยื่อที่ได้ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปั่นเยื่อให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมไฟฟ้า (SHARP, EM-ICE 2, ประเทศไทย) ร้อนด้วยตะแกรงขนาด 80 mesh เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ CMC ต่อไป

2.3 การสังเคราะห์ CMC จากเซลลูโลสผักตบชวา

ตัดแปลงจากวิธีของ Khemkaew และ Kaewpirom [16] ละลายเซลลูโลสจากผักตบชวา 15 กรัม ในสารละลาย 30% NaOH จำนวน 50 มิลลิลิตร ผสมกับไฮโซโพรพิล แอลกอฮอล์ 450 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เติมคลอโรอะซิติก 18 กรัม คนให้เข้ากันด้วยแท่งคนแม่เหล็กเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง นำอะลูมิเนียมฟรอยด์มาคลุมสารละลาย อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นเกิดการแยกสารผสมออกเป็น 2 ชั้น นำชั้นล่างมาล้างด้วย 70% (v/v) เมทานอล ต่อด้วย 70% (v/v) เอทานอล และในระหว่างที่ล้างทำการปรับค่า pH ด้วยกรดอะซิติก กรองตะกอนนำมาอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะได้ CMC จากผักตบชวาปั่นให้

ละเอียดเก็บลงในภาชนะที่มีฝาปิดเก็บในโถควบคุมความชื้น เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป คำนวณค่าร้อยละผลได้โดยสมการ [17]

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{Weight of CMC (g)}}{\text{Weight of cellulose (g)}} \times 100$$

2.4 การเตรียมฟิล์มจากแป้งมันสาकुเม็ดและ CMC จากผักตบชวา

ตัดแปลงจากวิธีของ Tavares และคณะ [18] เตรียมสารละลายแป้งมันสาकुเม็ด 3% (w/v) ในน้ำกลั่น ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C จนสารละลายแป้งเหนียวใส และเตรียมสารละลาย CMC จากผักตบชวาปริมาณ 5, 10, 15 และ 20% (w/v) ของน้ำหนักแป้ง เติมน้ำกลีเซอรอล (โดยน้ำหนักแป้ง) เป็นพลาสติกไซเซออร์ คนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเทลงบนจานเพาะเชื้อวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จะได้สารเคลือบฟิล์มแป้งมันสาकुเม็ดและ CMC จากผักตบชวา

2.5 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

วัดความหนาของฟิล์ม โดยไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, ญี่ปุ่น) วัดทั่วแผ่นฟิล์ม 5 จุด หาค่าเฉลี่ย ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ การวัดค่าสี (Color value) (Hunter Lab รุ่น Color-Flex EZ, ประเทศไทย) ด้วยระบบ L*, a* และ b* โดยตัดแผ่นฟิล์มขนาด 1.5 x 1.5 cm แล้วนำไปวัดค่าสี ทำซ้ำ 3 ซ้ำ และวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity, a_w) ด้วยเครื่อง Aqualab รุ่น 4TE ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยตัดแผ่นฟิล์มขนาด 1.0 x 1.0 cm ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

2.6 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสจากผักตบชวา, CMC จากผักตบชวา และแป้งมันสาकुเม็ดผสม CMC จากผักตบชวาที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ด้วยเครื่อง FTIR Spectrometer (Perkin Elmer, รุ่น Spectrum 100 FTIR System Universal, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยใช้ Attenuated Total Reflectance (ATR)

Sampling Accessory แบบ Diamond Cell มีช่วงเลขคลื่นในการวิเคราะห์เท่ากับ $4,000-400 \text{ cm}^{-1}$ การละลายน้ำของฟิล์ม (Film solubility, FS) ดัดแปลงจากวิธีของ Tongdeesoontorn และคณะ [19] โดยตัดแผ่นฟิล์มขนาด $2.0 \times 2.0 \text{ cm}$ ซึ่งน้ำหนัก (W_0) นำไปแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วปิดปากขวดด้วยอะลูมิเนียมฟรอยด์ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (shaker) จำนวน 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำฟิล์มมาอบด้วยตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105°C ซึ่งน้ำหนัก (W_1) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ ดังนี้

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

วัดการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) จากปริมาณน้ำที่ระเหยผ่านฟิล์มต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E96 [20] โดยนำแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและ CMC จากผักตบชวา ขนาด $4.0 \times 4.0 \text{ cm}$ ปิดปากด้วยอะลูมิเนียมที่มีซิลิกาบรรจุอยู่ ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นนำไปวางในโถดูดความชื้นที่ บรรจุ น้ำกลั่น (ความชื้นสัมพัทธ์ $75 \pm 2\%$) ที่อุณหภูมิ $28 \pm 2^\circ\text{C}$ แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นคำนวณค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำดังสมการ [21]

$$\text{WVP} = \frac{(\text{WVTR} \times t)}{\Delta P}$$

โดยที่ WVTR = ความชันของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ($\text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$) ต่อพื้นที่ของฟิล์มที่ไอน้ำผ่าน (m^2)

t = ความหนาของแผ่นฟิล์ม (mm)

ΔP = ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Pa)

2.7 ศึกษาอัตราการย่อยสลายของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและ CMC จากผักตบชวา

ตัดแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและ CMC จากผักตบชวา ขนาด $2 \times 3 \text{ cm}$ ซึ่งน้ำหนัก (A) จากนั้นฝังในดินร่วนในกระถางขนาด $20.3 \times 48.5 \times 14.3 \text{ cm}$ นำ

ฟิล์มฝังลึก 6 cm ที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ ความชื้นเริ่มต้นของดินประมาณ 25% ไม่มีการรดน้ำและนำออกมา ชั่งน้ำหนักทุก 2 สัปดาห์ (B) ชุดควบคุมที่ใช้คือแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน (PP) บันทึกการทดลองและคำนวณอัตราการย่อยสลายดังสมการ [22]

$$\% \text{ การย่อยสลาย} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

2.8 ศึกษาการเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและ CMC จากผักตบชวา

ทำการคัดเลือกผลกล้วยน้ำว้าที่ไม่เป็นโรค ผลไม่มีรอยตำหนิ คัดขนาดและสีผิวใกล้เคียงกัน มีความสุกระดับสองซึ่งมีเปลือกเป็นสีเขียวอ่อน [23] นำมาใช้ในการทดลองประกอบด้วย 6 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุมคือกล้วยน้ำว้าที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว และทำการเคลือบผิวด้วยสารละลายฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและ CMC จากผักตบชวาที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทำการเคลือบโดยการจุ่มผลกล้วยน้ำว้าลงในสารละลายฟิล์มให้ท่วมผล ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง $28 \pm 2^\circ\text{C}$ ทำการทดลองชุดละ 3 ผล ซึ่งน้ำหนักหลังการเคลือบผิววันแรก (A_0) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน และชั่งน้ำหนักหลังการเคลือบผิววันสุดท้าย (A_1) สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีผิวของเปลือกกล้วยน้ำว้าร่วมกับการเน่าเสีย และการสูญเสียน้ำหนักดังสมการ [24]

$$\% \text{ การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100$$

2.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

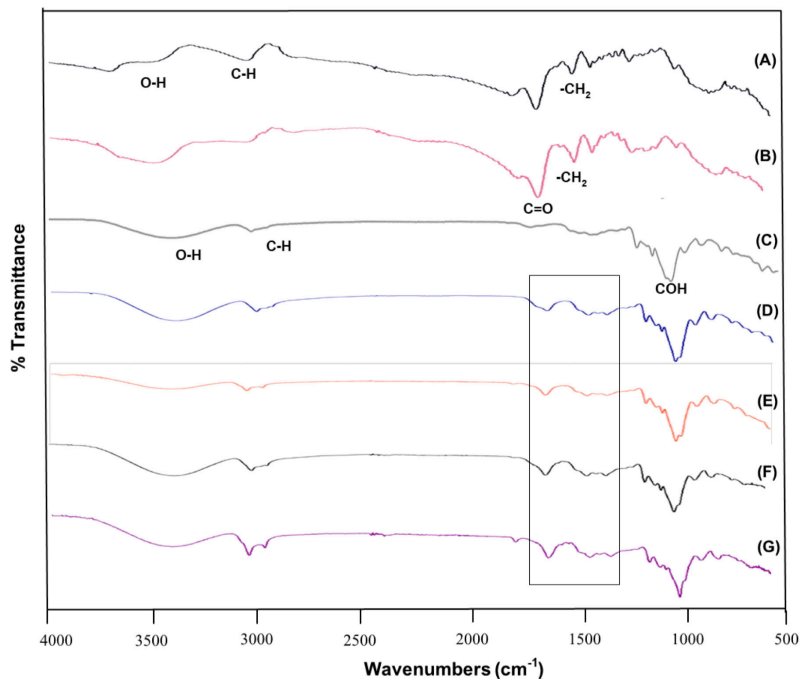
ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS® version 12 (SPSS Inc., สหรัฐอเมริกา)

3. ผลการวิจัย

3.1 การสังเคราะห์ CMC จากผักตบชวาและฟิล์มแป้งมันสำคูลีและ CMC จากผักตบชวาที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

การสังเคราะห์ CMC โดยใช้เซลลูโลสจากผักตบชวา 15 กรัม พบว่ามีค่าร้อยละผลได้เท่ากับ 147% ซึ่งมีค่าสูงกว่า CMC จากเปลือกทุเรียน (127%) [16] และ CMC จากเปลือกขานอ้อย (135-143%) [25] แต่ต่ำกว่าค่าร้อยละผลได้ของ CMC จากฟางข้าว (150%) [26] ร้อยละผลได้มีค่าสูงเกิดจากการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่คาร์บอกซิเมทิลในเซลลูโลส ซึ่งเป็นผลให้น้ำหนักของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ CMC ที่สังเคราะห์ขึ้นได้จากผักตบชวา โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR พบว่าสเปกตรัม FT-IR ของเซลลูโลส (รูปที่ 1A) ปรากฏพีคที่มีความยาวคลื่น 3465 cm^{-1} (O-H stretching), 2915 cm^{-1} (C-H stretching), 1592 cm^{-1} (C=O stretching), 1405 cm^{-1} ($-\text{CH}_2$ scissoring) และ $1330-$

1100 cm^{-1} (O-stretching) [27] และเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัม CMC จากผักตบชวา (รูปที่ 1B) พบว่าพีคที่ตำแหน่ง C=O stretching มีการเลื่อนตำแหน่งลงมายังที่ความยาวคลื่น 1620 cm^{-1} และยังคงพบพีคความยาวคลื่น 1412 cm^{-1} ($-\text{CH}_2$ scissoring) ชัดเจนขึ้นมาก จึงเป็นการยืนยันการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิเมทิล สอดคล้องกับงานวิจัย Hidayat และคณะ [28] สเปกตรัมฟิล์มแป้งมันสำคูลี (รูปที่ 1C) มีพีคที่ความยาวคลื่น 3300 cm^{-1} (O-H stretching), 2900 cm^{-1} (C-H stretching) และ 1070 cm^{-1} (C-O stretching) สเปกตรัม FTIR ของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำคูลีและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 5% (รูปที่ 1D), 10% (รูปที่ 1E), 15% (รูปที่ 1F) และ 20% (รูปที่ 1G) โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วน CMC จากผักตบชวามากขึ้นทำให้ค่าการดูดกลืนของหมู่คาร์บอนิล (C=O stretching) และ หมู่เมทิลีน ($-\text{CH}_2$ scissoring) มีค่ามากขึ้น



รูปที่ 1 สเปกตรัม FTIR ของเซลลูโลส (1A), CMC จากผักตบชวา (1B), ฟิล์มแป้งมันสำคูลีและ CMC จากผักตบชวา 0% (รูปที่ 1C), 5% (รูปที่ 1D), 10% (รูปที่ 1E), 15% (รูปที่ 1F) และ 20% (รูปที่ 1G)

3.2 การขึ้นรูปฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จาก ผักตบชวา

จากรูปที่ 2 แสดงลักษณะของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0, 5, 10, 15 และ 20% พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ด

และ CMC จากผักตบชวามีลักษณะทางกายภาพไม่เปราะ เนื่องจากเนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่น ผิวเรียบ และเมื่อเพิ่มอัตราส่วน CMC จากผักตบชวามากขึ้นทำให้แผ่นฟิล์มมีสีเหลืองใสจนถึงสีเหลืองขุ่น เนื่องจาก CMC ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเหลือง [29]



รูปที่ 2 ลักษณะแผ่นฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0% (A), 5% (B), 10% (C), 15% (D) และ 20% (E)

3.3 สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของแผ่นฟิล์ม จากแป้งมันสำคูปเม็ด และ CMC จากผักตบชวา

จากตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0, 5, 10, 15 และ 20% มีความหนาอยู่ช่วง 0.16-0.25 mm พบว่าความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ CMC เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากโมเลกุลของ CMC จากผักตบชวาเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีความหนาขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rambabu และคณะ [30]

ค่าสีของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำคูปเม็ด และ CMC จากผักตบชวา พบว่าค่า L^* มีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) เมื่อปริมาณ CMC จากผักตบชวามากขึ้น โดยค่า L^* แสดงค่าความสว่างของสีจึงมีผลทำให้ฟิล์มที่มีอัตราส่วน CMC จากผักตบชวาที่มีปริมาณน้อยมีความสว่างมากซึ่งเป็นไปตามลักษณะทางกายภาพของฟิล์มที่มีลักษณะสีเหลืองใส แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 20% ให้ค่า a^* และ b^* มากที่สุด เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีสีเหลืองปนแดงจากปริมาณของ CMC จากผักตบชวา [31]

ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) เป็นการศึกษาปริมาณน้ำอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่าค่าวอเตอร์ แอกทิวิตีของฟิล์มมีค่าอยู่ระหว่าง 0.30-0.37 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าต่ำกว่า 0.60 ซึ่งไม่อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ [32-33]

การวัดการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวา ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลงเมื่อปริมาณ CMC จากผักตบชวาเพิ่มมากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิเมทิลของ CMC ที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งได้ ทำให้เกิดการลดจำนวนของหมู่ฟังก์ชันที่เป็นขั้วลง ส่งผลให้แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาเกิดการขบแน่นน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Akhtar และคณะ [34] และ Jannatyha และคณะ [35] ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15% มีแนวโน้มมีค่าการละลายน้ำลดลงตามปริมาณ CMC ที่เพิ่มขึ้น แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 20% มีค่าการละลายน้ำต่ำกว่าแผ่นฟิล์มทุกตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากโครงสร้างของ CMC มีหมู่ COOH สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ OH ในสายโซ่แป้ง ทำให้หมู่ OH ในสายโซ่แป้งลด

จำนวนลง ส่งผลให้เกิดบริเวณสร้างพันธะกับน้ำได้น้อยลง จึงทำให้แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและ CMC จากผักตบชวาที่มีอัตราส่วนมาก มีค่าการละลายน้ำน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tavares และคณะ [36]

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม

ปริมาณ CMC (%)	ความหนา (mm)	L*	a*	b*	a _w
0	0.16 ± 0.01 ^d	24.73 ± 1.71 ^a	-0.19 ± 0.02 ^d	-1.14 ± 0.02 ^e	0.37 ± 0.01 ^a
5	0.21 ± 0.01 ^c	23.39 ± 0.47 ^{ab}	0.22 ± 0.02 ^c	0.39 ± 0.02 ^d	0.34 ± 0.01 ^b
10	0.23 ± 0.01 ^b	22.71 ± 0.37 ^b	0.25 ± 0.01 ^{bc}	0.64 ± 0.07 ^c	0.33 ± 0.01 ^{bc}
15	0.24 ± 0.01 ^{ab}	22.16 ± 0.46 ^b	0.27 ± 0.01 ^b	1.14 ± 0.14 ^b	0.32 ± 0.01 ^c
20	0.25 ± 0.01 ^a	19.08 ± 0.51 ^c	0.36 ± 0.03 ^a	1.44 ± 0.19 ^a	0.30 ± 0.01 ^d

^{a-d} แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) และร้อยละการละลาย

ปริมาณ CMC (%)	WVP (g/m ² /Kpa.hr)	การละลาย (%)
0	0.029 ± 0.001 ^a	23.40 ± 1.30 ^a
5	0.027 ± 0.001 ^a	22.95 ± 1.10 ^{ab}
10	0.024 ± 0.001 ^b	21.67 ± 1.44 ^{ab}
15	0.021 ± 0.002 ^c	21.19 ± 1.26 ^{ab}
20	0.019 ± 0.002 ^c	20.56 ± 1.32 ^b

^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.4 ศึกษาการย่อยสลายของฟิล์มแป้งมันสำคูลำไย และ CMC จากผักตบชวา

จากตารางที่ 3 แสดงการย่อยสลายของฟิล์มแป้งมันสำคูลำไยและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยทำการฝังดิน เก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 14 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มแป้งมันสำคูลำไย และ CMC จากผักตบชวามีการย่อยสลายได้น้อยลง เมื่อปริมาณ CMC จากผักตบชวามากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก พอลิโพรพิลีน (ชุดควบคุม) ซึ่งไม่เกิดการย่อยสลาย ทั้งนี้อาจเนื่องจากโครงสร้างบนสายโซ่หลักของ CMC จากผักตบชวา มีพันธะอีเทอร์ (-C-O-C-)

(ether linkage) ซึ่งมีความทนทานต่อจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้นความสามารถในการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มจึงลดลงเมื่อปริมาณ CMC จากผักตบชวาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suriyatem และคณะ [37]

3.5 ศึกษาการเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันสำคูลำไยและ CMC จากผักตบชวาเพื่อยืดอายุกล้วยน้ำว้า

จากตารางที่ 4 ทำการศึกษาการเคลือบผิวกล้วยน้ำว้าด้วยฟิล์มแป้งมันสำคูลำไยและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0, 5, 10, 15, 20% เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 3 ลักษณะการย่อยสลายของฟิล์มแป้งมันสำคูลำไยและ CMC จากผักตบชวา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม					
	Control (PP)	ปริมาณส่วนผสมของ CMC (%) ในฟิล์ม				
		0	5	10	15	20
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
% การย่อยสลาย	0.00 ± 0.00 ^a	100 ± 0.00 ^a	100 ± 0.00 ^a	81.07 ± 3.42 ^b	74.82 ± 2.87 ^c	45.52 ± 2.14 ^d

^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 แสดงลักษณะผลกล้วยน้ำว้าที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งสาคุและ CMC จากผักตบชวา

ระยะเวลา (วัน)	ลักษณะปรากฏของผลกล้วยน้ำว้า					
	ไม่เคลือบ	ปริมาณส่วนผสมของ CMC (%) ในฟิล์ม				
		0	5	10	15	20
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
% การสูญเสีย น้ำหนัก	52.00 ± 1.12 ^a	48.34 ± 2.34 ^b	43.38 ± 1.98 ^c	39.60 ± 1.56 ^d	47.03 ± 1.89 ^b	51.79 ± 1.58 ^a

^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

คือ กล้วยที่ไม่ได้เคลือบ โดยทำการเคลือบกล้วยและวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่ากล้วยน้ำว่าที่ไม่ได้เคลือบด้วยฟิล์มมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด ส่วนกล้วยน้ำว่าที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 10% มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าต่ำกว่าฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่มีอัตราส่วน 15 และ 20% เนื่องจาก CMC มีสมบัติดูดความชื้น (hygroscopicity) เมื่อแผ่นฟิล์มสัมผัสกับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน จึงดูดซับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมและสะสมความชื้นไว้ในแผ่นฟิล์ม ส่งผลให้มีค่าการซึมผ่านของน้ำและแก๊สสูงขึ้นในช่วง 5 วันแรกของการทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษา ผลกล้วยน้ำว่าจึงมีระดับการสุกใกล้เคียงกับกล้วยกล้วยน้ำว่าที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งมันสำคูปและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0 และ 5% อย่างไรก็ตาม เมื่อกล้วยน้ำว่าที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งมันสำคูปและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 15 และ 20% ถูกเก็บรักษานานขึ้น โมเลกุลของน้ำที่ถูกกักไว้ในแผ่นฟิล์มกลับส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีการซึมผ่านของแก๊ส เช่น O_2 , CO_2 , CH_4 และ N_2 ได้ลดลง ทำให้ผลกล้วยเสื่อมเสียจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน [38] แต่แผ่นฟิล์มยังคงมีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีอยู่ ทำให้พฤติกรรมของการสูญเสียน้ำหนักของกล้วยทั้งสองตัวอย่างนี้เหมือนกับพฤติกรรมการสูญเสียน้ำหนักของกล้วยน้ำว่าที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งมันสำคูปและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0 และ 5% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pithakpol และคณะ [39] เมื่อเพิ่มปริมาณ CMC ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีค่ามากขึ้น แต่ฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ด และ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0 และ 5% มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่สูงกว่าอัตราส่วน 10% เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำหนักของไอน้ำที่มาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำที่สูงดังตารางที่ 2 ทำให้กล้วยน้ำว่าเกิดการคายน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซตลอดเวลา จึงมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Theamdee และ Pumnarin [33]

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลกล้วยน้ำว่า ดังตารางที่ 4 พบว่าในระยะเวลาการจัดเก็บ 5

วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่ไม่ได้เคลือบสารเคลือบผิวมีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้มค่อนข้างดำ และหากเก็บนานขึ้นผลกล้วยจะนิ่มและเกิดโรค ในการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ส่วนกล้วยที่เคลือบฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวา สีเปลือกกล้วยน้ำว่าเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้ม มีรอยจุดสีดำขึ้นบางจุดและมีรอยโรคขึ้นประปราย ซึ่งกล้วยที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 10% เกิดกระบวนการสุกช้าที่สุด ในระยะเวลาการจัดเก็บ 9 วัน อาจเนื่องมาจากผลของการป้องกันการซึมผ่านออกซิเจน ทำให้ภายในผลกล้วยมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลเพิ่มขึ้น ยับยั้งการสร้างก๊าซเอทิลีน ซึ่งช่วยลดการสูญเสียคลอโรฟิลล์ ชะลอการสุกและการเกิดโรคได้ [40-41] แต่ถ้าปริมาณ CMC จากผักตบชวามากขึ้น คือ 15 และ 20% พบว่าผลิตผลมีการสุกที่เร็วกว่า เนื่องจากสารเคลือบฟิล์ม เมื่อสัมผัสกับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมที่นาน ทำให้ CMC ดูดซับความชื้นสะสมอยู่ในแผ่นฟิล์ม ทำให้อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนและน้ำเพิ่มสูงขึ้น [38] ผลกล้วยจึงสุกเร็วกว่า แต่กล้วยน้ำว่าที่เคลือบฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่อัตราส่วน 0 และ 5% สุกเร็ว เนื่องจาก CMC จากผักตบชวาเข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลแป้งที่น้อยกว่า เกิดการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำ ดังนั้นกล้วยที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่มีอัตราส่วน 10% สามารถยืดอายุกล้วยได้นานขึ้นประมาณ 4 วัน

4. สรุปผลการวิจัย

จากการเตรียมสารเคลือบผิวแป้งมันสำคูปเม็ดและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาและการศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยน้ำว่า พบว่าความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ CMC จากผักตบชวามากขึ้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ค่าการละลาย ค่าซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าต่ำลง และอัตราการย่อยสลายได้ลดลง เมื่อปริมาณ CMC จากผักตบชวามากขึ้น การเคลือบผิวผลกล้วยน้ำว่าด้วยแป้งมันสำคูปเม็ดและ CMC จากผักตบชวาที่

อัตราส่วน 10% ช่วยชะลอการสุกของผลกล้วยน้ำว้า และยืดอายุการเก็บรักษากล้วยน้ำว้าได้ดีที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี (ค.บ.) สาขา วิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และศูนย์ วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ราชภัฏเทพสตรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับ การทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Soradech, S., Nunthanid, J., Limmatvapirat, S. and Luangtana-anan, M., 2017, "Utilization of Shellac and Gelatin Composite Film for Coating to Extend the Shelf Life of Banana," *Food Control*, 73, pp. 1310-1317.
2. Phinainitisatra, T. and Harkarnsujarit, N., 2021, "Development of Starch-based Peelable Coating for Edible Packaging," *International Journal of Food Science and Technology*, 56, pp. 321-329.
3. Breuninger, W.F., Piyachomkwan, K. and Siroth, K., 2009, "Tapioca/ Cassava Starch: Production and Use," *Starch: Chemistry and Technology*, 3rd ed., Elsevier.
4. Koohestani, B., Darban, A.K., Mokhtari, P., Yilmaz, E. and Darezereshki, E., 2018, "Comparison of Different Natural Fiber Treatments: A Literature Review," *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (1), pp. 1-14.
5. Sophonputtanaphoca, S., Chutong, P., Cha-aim, K. and Nooeaid, P., 2019, "Potential of Thai Rice Straw as a Raw Material for The Synthesis of Carboxymethylcellulose," *International Food Research Journal*, 26 (3), pp. 969-978.
6. Putri, D.A. and Kurniyati, Z., 2016, "Effect of Sodium Chloroacetate towards the Synthesis

of CMC (Carboxymethyl Cellulose) from Durian (Durio zibethinus) peel Cellulose," *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 3 (3), pp. 28-32.

7. Hidayat, S., Mubarok, I., Adiperdana, B., Suroto, B.J., Riveli, N., Hartati, Y.W. and Rahayu, I., 2019, "Characteristics of CMC from Corncob and its Application as Electrode Binder in Lithium Ion Battery," *Materials Science*, 966, pp. 433-436.
8. Ndimele P.E., Kumolu-Johnson C.A. and Anetekhai M.A., 2011, "The Invasive Aquatic Macrophyte, Water Hyacinth {Eichhornia crassipes (Mart.) Solm-Laubach: Pontedericeae}: Problems and Prospects," *Research Journal of Environmental Sciences*, 5 (6), pp. 509-520.
9. Abdel-Fattah, A. F. and Abdel-Naby, M. A., 2012, "Pretreatment and Enzymic Saccharification of Water Hyacinth Cellulose," *Carbohydrate Polymers*, 87 (3), pp. 2109-2113.
10. Ozdemir, K.S. and Gokmen, V., 2017, "Extending the Shelf-Life of Pomegranate arils with Chitosan-Ascorbic Acid Coating," *LWT - Food Science and Technology*, 76, pp. 172-180.
11. Gholamali, I. and Yadollahi, Mehdi., 2020, "Doxorubicin-Loaded Carboxymethyl cellulose/ Starch/ ZnONanocomposite Hydrogel Beads as an Anticancer Drug Carrier Agent," *International Journal of Biological Macromolecules*, 160, pp. 724-735.
12. iZCi, L., EKiCi, F. and GÜNLÜ, A., 2018, "Coating with Chitosan Film of Sea Bream (Sparus aurata) Fillets: Determining Shelf Life in Refrigerator Conditions," *Food Science and Technology (Campinas)*, 38 (1), pp. 54-59.
13. Ma'arif, L., Fitras, U. and Sedyadi, E., 2020, "Bioplastic Biodegradation Based on Gan-

yong Umbi States with Addition of Sorbitol and CMC (Carboxy Methyl Cellulose) In Soil Media," *Proceeding International Conference on Science and Engineering*, 3, pp. 429-435.

14. Talja, 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, pp. 288-295.

15. 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), pp. 1222-1228. (in thai)

16. Khemkaew, S. and Kaewpirom, S., 2016, "Effects of Glycerol and PEG-10 Dimethicone on Properties of Biofilm from Durian Rind," *The Journal of Industrial Technology*, 12 (2), pp. 11-21.

17. Rachtanapun, P., Luangkamin, S., Tanprasert, K. and Suriyatem, R., 2012, "Carboxymethyl Cellulose Film from Durian Rind," *LWT - Food Science and Technology*, 48, pp. 52-58.

18. Tavares, K.M., Campos, A., Mitsuyuki, M.C., Luchesi, B.R. and Marconcini, J.M., 2019, "Corn and Cassava Starch with Carboxymethyl Cellulose Films and Its Mechanical and Hydrophobic Properties," *Carbohydrate Polymers*, 223, pp. 1-11.

19. Tongdeesoontorn, W., Mauer, L.J., Wongruong, S., Sriburi, P. and Rachtanapun, P., 2020, "Physical and Antioxidant Properties of Cassava Starch-Carboxymethyl Cellulose Incorporated with Quercetin and TBHQ as Active Food Packaging," *Polymers*, 12 (2), pp. 1-18.

20. American Society for Testing and Materials, 2010, "ASTM E96/E96M-10 Standard Test Methods

for Water Vapor Transmission of Materials," *Annual Book of ASTM Standard*, Philadelphia. (DOI : 10.1520/E0096_E0096M-10)

21. Tavares, K.M., Campos, A., Luchesi, B.R., Resende, A. A., Oliveirad, J.E. and Marconcini, J.M., 2020, "Effect of Carboxymethyl Cellulose Concentration on Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of Corn Starch Films," *Carbohydrate Polymers*, 246, pp. 1-10.

22. Tsou, C.H., Suen, M.C., Yao, W.H., Yeh, J.T., Wu, C.S., Tsou, C.Y., Chiu, S.H., Chen, J.C., Wang, R.Y., Lin, S.M., Hung, W.S., Guzman, M.D., Hu, C.C. and Lee, K.R., 2014, "Preparation and Characterization of Bioplastic-Based Green Renewable Composites from Tapioca with Acetyl Tributyl Citrate as a Plasticizer," *Materials*, 7, pp. 5617-5632.

23. 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

24. Mandal, D., Lalhmingchawii, C., Hazarika, T.K. and Shukla, A.C., 2018, "Effect of Chitosan, Wax and Particle Film Coating on Shelf Life and Quality of Tomato cv. Samrudhi at Ambient Storage," *Research Journal of Agricultural Sciences*, 9 (1), pp. 111-116.

25. Suriyatem, R., Noikang, N., Kankam, T., Jantanasakulwong, K., Leksawasdi, N., Phimolsiripol, Y., Insomphun, C., Seesuriyachan, P., Chaiyaso, T., Jantrawut, P., Sommano, S.R., Ngo, T.M.P. and Rachtanapun, P., 2020, "Physical Properties of Carboxymethyl Cellulose from Palm Bunch and Bagasse Agricultural Wastes: Effect of Delignification with Hydrogen Peroxide," *Polymers*, 12, pp. 1-16.

26. Jinaphan, N., Sangsuwan, J. Sutthasupa, S. and Kamthai, S., 2012, "Properties of Carboxymethyl Cellulose (CMC) Film from Rice Straw Pulp," *Agricultural Science Journal*, 43, pp. 616-620. (in Thai)
27. Juárez-Lunaa, G. N., Favela-Torres, E., Quevedo, I. R. and Batina, N., 2019, "Enzymatically Assisted Isolation of High-Quality Cellulose Nanoparticles from Water Hyacinth Stems," *Carbohydrate Polymers*, 220, pp. 110-117.
28. Hidayat, S., Susanty., Riveli, N., Suroto, B.J. and Rahayu, I., 2018, "Synthesis and Characterization of CMC from Water Hyacinth for Lithium-Ion battery Applications," *AIP Conference Proceedings*, 1927 (1), pp. 1-5.
29. Anantachaisilp, S., Siripromsombut, S., Ruan-soong, T. and Kwamman, T., 2021, "An Eco-Friendly Bioplastic Film obtained from Water Hyacinth," *Journal of Physics: Conference Series*, 1719, pp. 1-6.
30. Rambabu, K., Bharath, G., Banat, F., Show, P.L. and Cocolletzi, H. H., 2019, "Mango Leaf Extract Incorporated Chitosan Antioxidant Film for Active Food Packaging," *International Journal of Biological Macromolecules*, 126, pp. 1234-1243.
31. Pisamai, J., Yongkasikan, A., Sangwain, C. and Nanthachai, N., 2012, "The Study of Edible Film from Mango Powder," *Agricultural Science Journal*, 45 (2), pp. 89-92.
32. 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.
33. Theamdee, P. and Pumnarin, K., 2020, "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," *KMUTT Research and Development Journal*, 43 (4), pp. 517-528. (In Thai)
34. Akhtar, H. M. S., Riaz, A., Hamed, Y.S., Abdin, M., Chen, G., Wan, P. and Zeng, X., 2018, "Production and Characterization of CMC-based Antioxidant and Antimicrobial Films Enriched with Chickpea Hull Polysaccharides," *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, pp. 469-477.
35. Jannatyha, N., Shojaee-Aliabadi, S., Moslehishad, M. and Moradi, E., 2020, "Comparing Mechanical, Barrier and Antimicrobial Properties of Nanocellulose/ CMC and Nanochitosan/ CMC Composite Films," *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, pp. 2323-2328.
36. Tavares, K.M., de Campos, A., Luchesi, B.R., Resende, A.A., de Oliveira, J.E. and Marconcini, J.M., 2020, "Effect of Carboxymethyl Cellulose Concentration on Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of Corn Starch Films," *Carbohydrate Polymers*, 246 (116521), pp. 1-10.
37. Suriyatem, R., Auras, R.A. and Rachtanapun, P., 2019, "Utilization of Carboxymethyl Cellulose from Durian Rind Agricultural Waste to Improve Physical Properties and Stability of Rice Starch-Based Film," *Journal of Polymers and the Environment*, 27, pp. 286-298.
38. Wang, J., Xu, X., Zhang, J., Chen, M., Dong, S., Han, J. and Wei, M., 2018, "Moisture-Permeable, Humidity-Enhanced Gas Barrier Films Based on Organic/Inorganic Multilayers," *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10 (33), 28130-28138.
39. Pithakpol, W., Peerae, W., Pojanataree, P. and Vorapunthu, S., 2016, "Effect of Carboxymethylcellulose from Water Hyacinth on Postharvest Quality of Longkong," *Khon Kaen Agriculture Journal*, 44 (1), pp. 880-886. (In Thai)

40. Lerdthanangkul, S. and Krochta, J. M., 1996, "Edible Coating Effect on Post-harvest Quality of Green Bell Peppers," *Journal Food Science*, 61 (1), pp. 176-179.

41. Srithanyarat, S., Ratanachinakorn, B. and Songchan, K., 2012, "Effect of Some Coatings on the Quality of Mangoes cv. Nam Dok Mai No.4 During Storage," *Agriculture Science Journal*, 43 (2), pp. 101-104. (In Thai)