

# การสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งและมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นสารเคลือบบริโภคน้ำผลไม้เพื่อรักษาคุณภาพการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระหว่างการเก็บรักษา

นาฏกาญจน์ จักรานวัฒน์\* อรสา สีดาจิตร อังคณา ทักษิณกร และ ศุภกร หวังศิริกำโชค

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี  
129 หมู่ 21 ตำบลเนินหอม อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 25230

รับบทความ 7 สิงหาคม 2566 แก้ไขบทความ 18 ธันวาคม 2566 ตอรับบทความ 9 มกราคม 2567

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งแล้วนำมาพัฒนาเป็นสารเคลือบบริโภคน้ำผลไม้เพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุก เริ่มจากศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินโดยวางแผนการทดลองแบบ 3x3 แฟคทอเรียล มีปัจจัย 2 ได้แก่ระดับ pH ของกรดซิตริก (1, 2 และ 3) และอัตราส่วนผงเปลือกต่อปริมาณกรดซิตริก (1:10, 1:30 และ 1:50 โดยน้ำหนัก) ผลการทดลองพบว่าการใช้อัตราส่วนเท่ากับ 1:50 (โดยน้ำหนัก) ของผงเปลือกแคนตาลูปต่อปริมาณกรดซิตริก ที่ pH เท่ากับ 1 ได้ร้อยละของผลผลิตเพคตินสูงสุด (ร้อยละ  $33.58 \pm 0.34$ ) และเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ (%DE น้อยกว่าร้อยละ 50) โดยมีความบริสุทธิ์อยู่ภายใต้มาตรฐานที่ใช้สำหรับผลิตเพคตินทางการค้า จากนั้นนำเพคตินที่สกัดได้ผลผลิตมากที่สุดมาแปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก เติมน้ำตาลร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และแคลเซียมคลอไรด์ 0.04 กรัม พัฒนาเป็นสารเคลือบบริโภคน้ำผลไม้สำหรับรักษาคุณภาพการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $13 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน ผลการทดลองพบว่ามะม่วงที่เคลือบด้วยเพคตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีการสูญเสีย น้ำหนักและปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยที่สุดในขณะความแน่นเนื้อมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่น ๆ งานวิจัยนี้เป็นการเน้นย้ำการเพิ่มมูลค่าของเสียจากเปลือกแคนตาลูปและเป็นแนวทางการรักษาคุณภาพของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวอย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ :** เปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้ง; เพคติน; สารเคลือบบริโภคน้ำผลไม้; คุณภาพมะม่วง

# Extraction of Pectin from Cantaloupe Peel Waste and Its Utilization in the Edible Coating for the Ripeness Quality Control of Mango cv. Nam Dok Mai Si Thong during Storage

Nattakan Jakkranuhwat\* Orasa Seedajhit Angkana Taksinakorn and Supakorn Whangsirikumchok

Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus  
129 Moo 21 Tambon Noenhom, Amphoe Mueang, Prachinburi, 25230

---

*Received 7 August 2023; Revised 18 December 2023; Accepted 9 January 2024*

## Abstract

This study aimed to pectin was extracted from the cantaloupe peel wastes and then utilize it in the development of an edible coating to enhance the postharvest quality of mango cv. Nam Dok Mai Si Thong ripeness. First, the experimental design was 3 x 3 Factorial in CRD to study the optimization of pectin extraction conditions with 2 factors: citric acid at varying pH levels (1, 2 and 3) and the ratio of cantaloupe peel to citric acid (1:10, 1:30 and 1:50 by weight). The results indicated that the 1:50 (by weight) ratio of cantaloupe peel powder and citric acid extraction at pH 1 yielded the highest pectin ( $33.58 \pm 0.34\%$ ), accompanied by the lowest methoxyl pectin (%DE less than 50%). The purity of the extracted pectin met the standard required for commercial pectin manufacture. Then, the cantaloupe peel pectin, optimized for maximum yield, was utilized with 3 levels of pectin concentrations (10, 15, and 20% w/w), supplemented with 1% w/w glycerol and 0.04 g. of calcium chloride, was further utilized in an edible coating for mango cv. Nam Dok Mai Si Thong ripening quality preservation during storage at  $13 \pm 2$  °C for 18 days. The results showed that mangoes coated with 10 %w/w pectin exhibited the lowest weight loss and total soluble solids, as well as the greatest firmness compared to other conditions. This study highlights the added value of cantaloupe peel waste and offers a sustainable solution for enhancing the postharvest quality of mangoes.

**Keywords :** Cantaloupe peel waste; Pectin; Edible coating; Mango quality

---

\* *Corresponding Author. Tel.: +66 3721 7312, E-mail Address: nattakan.c@agro.kmutnb.ac.th*

## 1. บทนำ

แคนตาลูป (*Cucumis melo* var. *cantalupensis*) พืชในวงศ์แตง (Cucurbitaceae family) เป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดสระแก้วได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกอย่างกว้างขวาง โดยเนื้อแคนตาลูปมีรสหวาน กลิ่นหอมและอุดมไปด้วยวิตามินหลายชนิด เป็นที่นิยมของผู้บริโภคอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามแคนตาลูปเป็นผลไม้ที่ไม่ได้รับประทานเปลือกจึงเกิดเป็นของเสียเหลือทิ้ง โดยทั่วไปเปลือกของผักและผลไม้มีเพคตินสะสมอยู่ในปริมาณมาก เพคตินจัดเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ยา รวมถึงสิ่งทอ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารให้เกิดเจล (Gelatinification) มีความข้นหนืด (Thickening) และมีความคงตัว (Stabilization) โครงสร้างหลักของเพคตินประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก ( $\alpha$ -1,4 Glycosidic) พบทั่วไปบริเวณโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช [1], [2] นอกจากนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการนำเปลือกผลไม้เหลือทิ้งหลายชนิดมาสกัดเพคตินเพื่อใช้งานต่อ เช่น เพคตินจากเปลือกแอปเปิล ส้ม เสาวรส และเมล่อน เป็นต้น [1]-[4] ซึ่งสามารถลดการนำเข้าเพคตินทางการค้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงรวมถึงลดปริมาณการใช้สารเคมีในการสกัดเพคตินทางการค้าอีกด้วย

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (*Mango*; *Mangifera indica* Linn.) เป็นผลไม้ที่ทำรายได้ให้ประเทศไทยเป็นอันดับต้น ๆ สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ มีลักษณะเด่นคือ เมื่อผลสุกผิวเปลือกมีสีเหลืองนวลถึงเหลืองทอง เนื้อสีเหลืองและมีกลิ่นหอม จึงเป็นสายพันธุ์ที่มีความต้องการสูงในตลาดภายในและต่างประเทศ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการผลิตควบคู่กับการควบคุมคุณภาพและรักษาระยะสุกในระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเป็นผลไม้เขตร้อนซึ่งไวต่อการเกิดการสะท้านหนาว (Chilling or Freezing

injury) หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จึงมีการฉายรังสีเพื่อควบคุมคุณภาพ แต่บางครั้งประสบปัญหาการเกิดเส้นดำบริเวณผิวเปลือกและเกิดเนื้อสีน้ำตาลจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงหรือจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในมะม่วง ซึ่งมีผลต่อการพัฒนากลิ่นหอมและการสุกของมะม่วงทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค [5] จึงเริ่มมีการใช้สารเคลือบบริโภคได้ (Edible coating) โดยเฉพาะเพคตินเนื่องจากหาง่ายโดยพบได้ทั่วไปที่ผิวของผักและผลไม้ รวมถึงสามารถชะลอการซึมผ่านของก๊าซและชะลอการสุกได้ของผลไม้ระหว่างการเก็บรักษาได้ [6], [7]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเพิ่มมูลค่าสินค้าจากวัสดุเหลือทิ้งตามธรรมชาติในประเทศ โดยเฉพาะเปลือกแคนตาลูป นำมาสกัดเป็นเพคตินโดยใช้กรดเพื่อไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เนื่องจากมีต้นทุนถูก ง่าย และใช้เวลาสกัดไม่นาน โดยเลือกกรดซิตริก เนื่องจากเป็นกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและมีประสิทธิภาพการสกัดที่เทียบเท่ากรดไฮโดรคลอริกหรือกรดไนตริก [8], [9] รวมถึงนำสารเคลือบจากเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งที่ยังไม่มีงานวิจัยได้นำมาใช้ประโยชน์ในการรักษาคุณภาพมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อเป็นการเพิ่มคุณประโยชน์ให้แก่วัสดุเหลือทิ้งให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นและรักษาคุณภาพสินค้าเกษตรให้มีมูลค่าเพิ่ม สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจที่ยั่งยืนแบบองค์รวมของไทยภายใต้แนวคิด BCG economy (Bio-Circular-Green Economy)

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 การเตรียมเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้ง

เปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งจากร้านค้าอำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว ขนส่งมายังคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี มาล้างทำความสะอาด ขูดส่วนเนื้อที่ใช้อับประทานสีส้มที่ติดมาออกโดยเอาเฉพาะส่วนเปลือกสีเหลืองนวลกับส่วนสีขาวมาหั่นเป็นชิ้นขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 2x2 เซนติเมตร ความหนาถึงผนังชั้นกลาง (Mesocarp) นำเปลือกที่ได้ผสมกับเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วนเท่ากับ 1:1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ให้ความร้อนอุณหภูมิ 80±1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที นำมาบดด้วยเครื่องปั่นที่ระดับความเร็วรอบ 14000 รอบต่อนาที กรองส่วนของเหลวออกด้วยผ้าขาวบาง และนำส่วนที่เป็นของแข็งไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50±1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 ชั่วโมง จนได้ความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 3.92±0.22 จากนั้นนำตัวอย่างแห้งมาลดขนาดและนำไปผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช บรรจุใส่ถุงซิปล็อกปิดสนิท เก็บไว้ในโถดูดความชื้น

## 2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้ง

นำผงเปลือกแคนตาลูปอบแห้งที่เตรียมได้ ปริมาณ 5 กรัม มาสกัดเพคตินโดยวางแผนการทดลองแบบ 3x3 แฟคทอเรียล (Factorial Experiment in CRD) โดยมีปัจจัยที่ต้องศึกษาได้แก่ ปัจจัย A คือระดับ pH ของกรดซิตริก ( $A_1 = 1$ ,  $A_2 = 2$  และ  $A_3 = 3$ ) และ ปัจจัย B คืออัตราส่วนเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งต่อกรดซิตริก ( $B_1 = 1:10$ ,  $B_2 = 1:30$  และ  $B_3 = 1:50$ ) ซึ่งสามารถวางแผนการทดลองทั้งหมดได้ 9 การทดลอง ๆ ละ 3 ชั่วโมง นำตัวอย่างแต่ละการทดลองให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับ 35±1 องศาเซลเซียส กรองด้วยผ้าขาวบางหนา 2 ชั้น นำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:2 (โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นนำไป

หมนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมนเหวี่ยงที่ระดับความเร็วรอบเท่ากับ 5500 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที แยกส่วนของสารละลายใสออกให้เหลือแต่ตะกอน นำตะกอนไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50±1 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีน้ำหนักคงที่ ลดขนาดด้วยเครื่องปั่นที่ระดับความเร็วรอบ 14000 รอบต่อนาที และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช นำผงเพคตินมาวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต จากนั้นนำผงเพคตินจากสภาวะที่สามารถสกัดเพคตินได้ปริมาณมากที่สุดมาวิเคราะห์คุณภาพ (น้ำหนักกรัมสมมูล ระดับเมทอกซิล ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน กรดกาแล็คทูโรนิก ความชื้น และเถ้า) เปรียบเทียบกับผลการทดลองของเพคตินทางการค้าที่ใช้สำหรับอาหาร

## 2.3 การศึกษาผลของสารเคลือบบริโภคได้ เพคตินที่สกัดจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุก

นำเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งที่สกัดได้มาพัฒนาเป็นสารเคลือบบริโภคได้ที่แปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมน้ำตาลร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และแคลเซียมคลอไรด์ 0.04 กรัมโดยน้ำหนัก นำตัวอย่างทั้งหมดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60±1 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส ลดอุณหภูมิเป็น 40±2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมะม่วงสุกน้ำหนักประมาณ 350 - 550 กรัมต่อผล จุ่มลงในสารเคลือบบริโภคได้ เป็นระยะเวลา 30 วินาที ผึ่งให้แห้งสนิท นำตัวอย่างเรียงใส่กล่องกระดาษลูกฟูก ขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 31x36x13 เซนติเมตร บรรจุมะม่วงกล่องละ 10 ผล ไม่วางซ้อนทับกันและปิดฝากล่อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส ตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ (อัตราการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความแน่นเนื้อ และวัดค่าสี) ทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 18 วัน

## 2.4 การวิเคราะห์คุณภาพ

### 2.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพเพคติน

#### 2.4.1.1 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (% Yield)

นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก คำนวณดังสมการที่ (1)

$$Yield (\%) = \frac{m_0}{m} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

$m_0$  = ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (กรัม)

$m$  = ปริมาณเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งที่ใช้ (กรัม)

#### 2.4.1.2 น้ำหนักกรัมสมมูลของเพคติน (Equivalent Weight: Eq.W) และ ระดับเมทอกซิล (Methoxyl Levels: % MeO)

ชั่งน้ำหนักผงเพคติน 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายผงเพคตินด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เพคตินละลาย เติมโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัม จากนั้นนำสารละลายไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จนสารละลายเริ่มเป็นสีชมพู (pH 7.5) บันทึกปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร) และคำนวณหาน้ำหนักกรัมสมมูลดังสมการที่ (2) จากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการทำให้เป็นกลางดังกล่าวมาหาระดับเมทอกซิลโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปชมพู่ทิ้งไว้ 30 นาที เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วนำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จนสารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร) [10] และคำนวณหาระดับเมทอกซิล ดังสมการที่ (3)

$$Eq.W = \frac{S}{NV} \quad (2)$$

โดยที่

$S$  = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเพคติน (มิลลิกรัม)

$N$  = ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอล)

$V$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

$$MeO (\%) = \frac{31 \times VN}{S} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

$31$  = ค่าคงที่น้ำหนักสมมูลของเมทอกซิล

$N$  = ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอล)

$V$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

$S$  = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเพคติน (มิลลิกรัม)

#### 2.4.1.3 ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of Esterification, % DE)

ชั่งน้ำหนักผงเพคติน 0.5 กรัม เติมเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันแล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล จนสีชมพูเริ่มปรากฏ บันทึกผล จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าแรง ๆ ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที นำไปเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าจนสีชมพูจางหาย เติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล จนสีชมพูเริ่ม

ปรากฏ [1] บันทึกผลและคำนวณหาค่าร้อยละของระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันดังสมการที่ (4)

$$DE (\%) = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่

$V_1$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ไทเทรตครั้งแรก (มิลลิลิตร)

$V_2$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตครั้งสุดท้าย (มิลลิลิตร)

#### 2.4.1.4 กรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid)

ชั่งน้ำหนักพดดิน 0.1 กรัมผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ในขวดปรับปริมาตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ปิดสารละลายที่ได้ 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิดสารละลายเจือจางใส่ลงในหลอดทดลองปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 หลอด ๆ ละ 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ลงในหลอดทดลอง ๆ ละ 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 12 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 25 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร หาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกจากกราฟมาตรฐาน [11] ที่ความเข้มข้นของกรดกาแลคทูโรนิกระหว่าง 0-80 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

#### 2.4.1.5 ความชื้น (Moisture)

วิเคราะห์ความชื้นตามวิธีของ AOAC (ข้อ 925.10) [12] โดยคำนวณดังสมการที่ (5)

$$Moisture (\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่

$M_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$M_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

#### 2.4.1.6 เถ้า (Ash)

วิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธีของ AOAC (ข้อ 923.03) [12] โดยคำนวณดังสมการที่ (6)

$$Ash (\%) = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (6)$$

โดยที่

$M_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$M_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

#### 2.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพมะม่วงสุก

##### 2.4.2.1 อัตราการสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

ชั่งน้ำหนักมะม่วงนำมาคำนวณดังสมการที่ (7)

$$Weight\ loss (\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (7)$$

โดยที่

$M_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$M_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

##### 2.4.2.2 ความแน่นเนื้อ (Firmness)

วัดความแน่นเนื้อผ่านเปลือกของมะม่วงด้วยเครื่อง Texture Analyser บริเวณกึ่งกลางก้านผล (Mesocarp) โดยใช้โพรบสแตนเลสสตีลทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร กดด้วยความเร็ว 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที [13] ทำการวัดค่าจำนวน 6 ซ้ำ

##### 2.4.2.3 ค่าสี (Color)

นำมะม่วงมาปอกเปลือก ตัดส่วนหัว ตรงกลาง และส่วนท้ายของผลมะม่วงวัดค่าสีระบบ  $L^*a^*b^*$  ด้วยเครื่องวัดค่าสี HUNTER LAB รุ่น Color Flex ค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Hue angle ดังสมการที่ (8)

$$\text{Hue angle} = \text{Arctanagent} \frac{b^*}{a^*} \quad (8)$$

#### 2.4.2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids)

ปอกเปลือกมะม่วงและนำส่วนเนื้อไปลดขนาดด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงจากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง นำน้ำมะม่วงที่ได้มาหาค่า °Brix โดยใช้เครื่อง Refractometer

### 2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 25.0

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้ง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเพคติน (ตารางที่ 1) พบว่าการใช้กรดซิตริกที่ pH ต่ำ ส่งผลให้มีผลผลิตเพคตินปริมาณสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 1 ร้อยละของผลผลิตเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้ง

pH	อัตราส่วนเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งต่อปริมาณกรดซิตริก	ผลผลิตเพคติน (ร้อยละ)
1	1:10	10.30±0.30 <sup>Ba</sup>
	1:30	20.77±1.12 <sup>Bab</sup>
	1:50	33.58±0.34 <sup>Bb</sup>
2	1:10	8.45±0.58 <sup>Ba</sup>
	1:30	19.95±0.26 <sup>Bab</sup>

pH	อัตราส่วนเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งต่อปริมาณกรดซิตริก	ผลผลิตเพคติน (ร้อยละ)
3	1:50	32.48±0.25 <sup>Bb</sup>
	1:10	4.54±0.19 <sup>Aa</sup>
	1:30	5.84±0.12 <sup>Aab</sup>
	1:50	6.24±0.29 <sup>Ab</sup>

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรพิมพ์ใหญ่แตกต่างกันในแนวตั้ง (A, B), แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของปัจจัยด้าน pH ของกรดซิตริก ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรพิมพ์เล็กแตกต่างกันในแนวตั้ง (a, b), แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของปัจจัยด้านอัตราส่วนสารสกัด

เนื่องจากกรดซิตริกที่ระดับ pH ต่ำจะทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ในตัวทำละลายสูงและสามารถไปเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของโปรโตเพคติน (Protopectin) ซึ่งเป็นสารประกอบตั้งต้นของเพคติน โดยปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ไม่แตกตัวแต่เกิดการเชื่อมกับสายโซ่ที่อยู่ใกล้กันทำให้เพคตินตกตะกอนออกมา สอดคล้องกับงานวิจัยของ S. Ma et al. [14] พบว่าสภาวะสารละลายกรดที่ pH เท่ากับ 1.5 ได้ผลผลิตเพคตินมากกว่าที่ pH เท่ากับ 2 โดยสภาวะสารละลายกรดที่แรงขึ้น ส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ในการสร้างผนังเซลล์พืชหยุดชะงักและปล่อยเพคตินออกมามากขึ้น นอกจากนี้จากตารางที่ 1 ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณกรดซิตริกเป็นตัวทำละลายมีผลต่อการถายไอออนวลตีขึ้น ทำให้เพคตินสามารถละลายออกมาได้เต็มที่จนได้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตามหากระดับ pH ของตัวทำละลายเพิ่มสูงเกินไป ปริมาณไฮโดรเจนไอออนในระบบจะลดลงจนถึงจุดที่เพคตินตกตะกอนไม่ได้ ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จึงลดลง [15]

จากผลการทดลองพบว่าการปรับระดับ pH ด้วยกรดซิตริกเท่ากับ 1 ในอัตราส่วนของผงเปลือกแคนตาลูปต่อปริมาณกรดซิตริกเท่ากับ 1:50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้ผลผลิตเพคตินมากที่สุดดังนั้นผู้วิจัยเลือก

สภาวะดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้จากเพคตินทางการค้าแสดงดังตารางที่ 2 และนำไปประยุกต์เป็นสารเคลือบบริโภคได้ต่อไป โดยคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองที่มีคุณสมบัติที่ยอมรับได้ในระดับทางการค้า ซึ่งมีน้ำหนักกรัมสมมูลน้อยกว่าเพคตินทางการค้า แสดงถึงเพคตินที่สกัดได้มีโครงสร้างของเพคตินเล็กกว่า น้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า รวมถึงมีคุณสมบัติการละลายและความสามารถในการเกิดเจลที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามน้ำหนักกรัมสมมูลของเพคตินมีค่ามากหรือน้อยนั้นยังขึ้นอยู่กับชนิด ความแก่-อ่อน สายพันธุ์ของผลไม้ วิธีการสกัด และวิธีการตกตะกอน [10],[16] ในส่วนของระดับเมทอกซิลจะพิจารณาร่วมกับระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (% DE) เพื่อใช้จัดประเภทของเพคติน โดยเพคตินที่มี % DE ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป หรือมีระดับเมทอกซิลตั้งแต่ร้อยละ 8.16 ขึ้นไปจัดเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลสูง (High methoxyl pectin)

ส่วนเพคตินที่มี % DE ต่ำกว่าร้อยละ 50 หรือมีระดับเมทอกซิลต่ำกว่าร้อยละ 8.16 จัดเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin) ซึ่งจะเกิดเจลได้เมื่อมีไอออนของโลหะอยู่ด้วย [15], [17] จากผลการทดลองพบว่าเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองที่ด้วยกรดซิตริกจัดอยู่ในกลุ่มของเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ (% DE และระดับเมทอกซิลเท่ากับร้อยละ  $28.12 \pm 1.02$  และ  $1.92 \pm 0.19$  ตามลำดับ) ซึ่งเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารให้ความคงตัว หรือสารเคลือบผิวเป็นต้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อระดับเมทอกซิลของเพคตินที่สกัดได้จากกรด เช่น pH ชนิดของกรด อุณหภูมิ ระยะเวลาการสกัด รวมถึงความสุก-แก่ของพืชที่ใช้สกัดเป็นต้น สอดคล้องกับ K. A. Israel et al. [8] พบว่าปริมาณเมทอกซิลที่สกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยหินระยะดิบมีปริมาณมากกว่าเปลือกกล้วยหินระยะสุก

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปที่สกัดได้เปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า

คุณสมบัติ	เพคตินจากเปลือกแคนตาลูป	เพคตินทางการค้า*
น้ำหนักกรัมสมมูล	$238.67 \pm 1.53$	$958.83 \pm 4.70$
ระดับเมทอกซิล (ร้อยละ)	$1.92 \pm 0.19$	$8.98 \pm 0.15$
ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (ร้อยละ)	$28.12 \pm 1.02$	$73.06 \pm 1.20$
ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	$75.70 \pm 1.14$	$72.00 \pm 0.20$
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	$2.75 \pm 0.19$	$1.69 \pm 0.02$
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	$0.34 \pm 0.04$	$0.91 \pm 0.05$

\*เพคตินทางการค้าเป็นเพคตินสำหรับอาหารที่ไม่ระบุชนิดของเพคติน

ในส่วนของกรดกาแลคทูโรนิกเป็นหน่วยย่อยของเพคติน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สำคัญในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนเพื่อบ่งบอกว่าสารนั้นมีความบริสุทธิ์เพียงพอที่เป็นเพคติน [18] โดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติได้กำหนดให้เพคตินที่ผลิตได้ควรมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกอย่างน้อยร้อยละ 65 ขึ้นไป [1], [18] จากผลการทดลองพบว่าปริมาณกรด

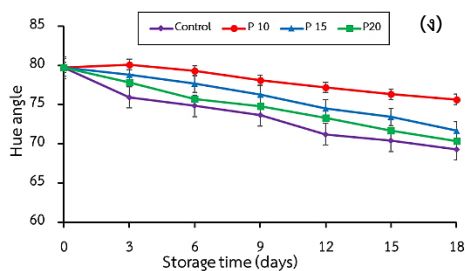
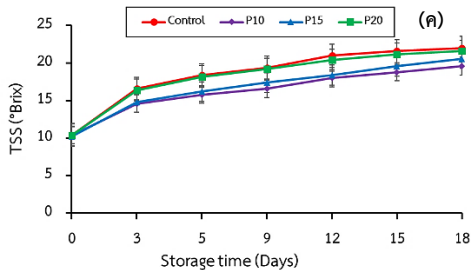
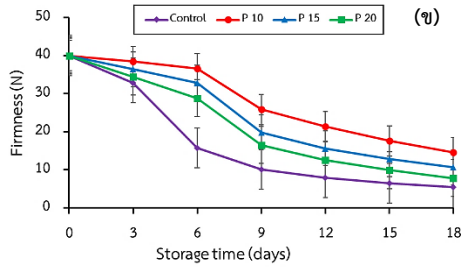
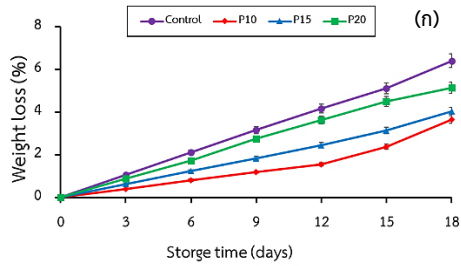
กาแลคทูโรนิกของเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองที่มีความบริสุทธิ์ตรงตามข้อกำหนดในการผลิตเพคติน ( $75.70 \pm 1.14$  มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) รวมถึงมีความบริสุทธิ์มากกว่าเพคตินทางการค้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ M. Kazemi et al. [19] พบว่าเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองที่จากโรงงานอุตสาหกรรมมีความบริสุทธิ์รวมถึงยังมีคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทาง

การค้า นอกจากนี้ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพของเพคตินทางการค้าโดยสมาคมผู้ผลิตเพคตินนานาชาติ (International Pectin Producers Association: IPPA) กำหนดว่าปริมาณความชื้นของเพคตินต้องไม่เกินร้อยละ 12 เพคตินจะไม่จับตัวกันเป็นก้อนและต้องมีปริมาณแฉะไม่เกินร้อยละ 1 [19] แสดงถึงความบริสุทธิ์ของเพคตินจากกระบวนการสกัด โดยปราศจากแร่ธาตุอื่นเจือปน ดังนั้นเพคตินที่สกัดจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองซึ่งมีมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเทียบเท่าเพคตินทางการค้าที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด แต่แตกต่างกันที่การนำไปประยุกต์ใช้งาน

### 3.2 การศึกษาผลของสารเคลือบบริโภาคได้เพคตินที่สกัดจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุก

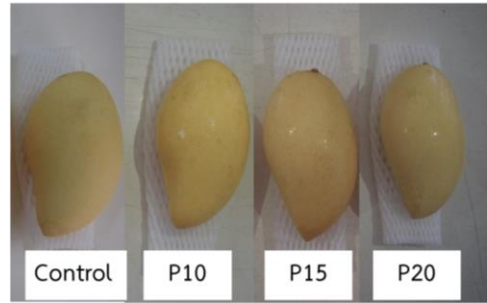
จากรูปที่ 1 (ก) และ (ข) พบว่าการนำมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมาเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภาคได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ไม่ได้เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่งผลให้ตัวอย่างมีความแน่นเนื้อมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากสารเคลือบบริโภาคได้ไปปกคลุมเปลือกและปิดช่องต่าง ๆ ที่ผิวของผลไม้ซึ่งถือเป็นการจำกัดการแพร่ของไอน้ำและก๊าซ ส่งผลให้มะม่วงมีอัตราการคายน้ำและการหายใจลดลง จนมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุม [20] รวมถึงสารเคลือบบริโภาคได้สามารถชะลอกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเนส (Pectinase) ในการย่อยสลายทำให้ผลไม้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ถือเป็นการลดอัตราการเผาผลาญช่วงผลไม้นี้แก่ [6] ส่งผลให้รักษาความแน่นเนื้อของผลไม้ตลอดการเก็บรักษา โดยการใช้สารเคลือบบริโภาคได้เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 10 ส่งผลให้มะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดและมี

ความแน่นเนื้อมากที่สุดเนื่องจากการเคลือบผิวทำให้เกิดสภาวะตัดแปรบรรยากาศ โดยจำกัดการผ่านเข้าออกของออกซิเจน เมื่อใช้สารที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปทำให้ชั้นผิวของสารเคลือบมีความหนามากขึ้นเกิดความร้อนสะสมภายในผลไม้ และมีการซึมผ่านของออกซิเจนน้อยเกินไปทำให้ผลไม้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน จนผลไม้มีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นและมีผลให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลงเช่นกัน [21]-[23] เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (รูปที่ 1(ค)) พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภาคได้เพคตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยที่สุด โดยการใช้สารเคลือบบริโภาคได้ช่วยลดอัตราการหายใจของมะม่วงทำให้เอทิลีนไม่ได้รับออกซิเจน สำหรับการใช้เป็นพลังงานกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme) ต่าง ๆ เช่น เอนไซม์อะไมเลสที่จะทำการไฮโดรไลซิสแป้งในมะม่วงและเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และน้ำตาลไม่รีดิวซ์ (Non-reducing sugar) ซึ่งส่งผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลง [23] และแสดงถึงมะม่วงสุกช้าลง สอดคล้องกับลักษณะสีของมะม่วงดังรูปที่ 1(ง) และรูปที่ 2 พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองทั้ง 4 สภาวะมีเฉดสีเหลือง (Hue angle ระหว่าง 79.71-69.28) ตลอดอายุการเก็บรักษา 18 โดยปกติระหว่างการเก็บรักษาสีเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจะเป็นสีเหลือง และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองที่เข้มขึ้นเนื่องจากแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองมีปริมาณมากขึ้นจากการที่รงควัตถุชนิดอื่น ๆ สลายตัวไปเมื่อมะม่วงสุก [24] จากการทดลองพบว่ามะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีน้อย แสดงถึงผลไม้มีอัตราการหายใจและผลิตเอทิลีนที่ลดลง ทำให้มะม่วงสุกช้าลงและเกิดกระบวนการย่อยสลายคลอโรฟิลล์ที่เปลือกของมะม่วงช้าลงด้วย [25]

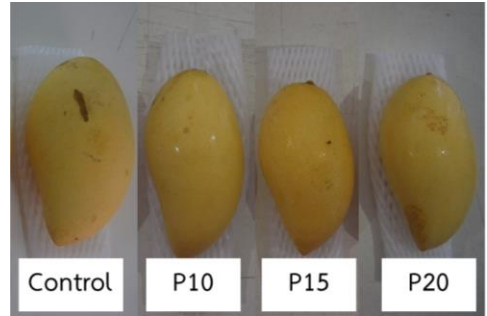


รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18 วัน; (ก): การสูญเสีย น้ำหนัก (ข): ความแน่นเนื้อ (ค): ปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ และ (ง): ค่าสี Hue angle

หมายเหตุ: Control คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่ได้เคลือบผิว, P10 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 10, P15 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 15 และ P20 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 20



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ลักษณะของผลมะม่วง; (ก): เก็บรักษาวันแรก และ (ข): เก็บรักษาวันที่ 18

หมายเหตุ: Control คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่ได้เคลือบผิว, P10 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 10, P15 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 15 และ P20 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 20

#### 4. สรุป

การสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้ง โดยการเติมกรดซิตริกเท่ากับ pH1 โดยใช้อัตราส่วนของ ผงเปลือกแคนตาลูปต่อปริมาณกรดซิตริกเท่ากับ 1:50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นสภาวะที่ได้ผลผลิตมากที่สุด และมีคุณภาพทางกายภาพและเคมีตามเกณฑ์มาตรฐาน ที่ใช้สำหรับผลิตเพคตินทางการค้า และเมื่อนำมาผลิต เป็นสารเคลือบบริโภคได้พบว่าที่ความเข้มข้นของ เพคตินเท่ากับร้อยละ 10 สามารถรักษาคุณภาพของ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุกได้ดีที่สุด ตลอดอายุการเก็บ รักษา ณ อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 วัน ดังนั้นการผลิตสารเคลือบบริโภคได้ในครั้งนี้ถือเป็นการใช้ประโยชน์จากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งให้มี มูลค่าเพิ่มและลดต้นทุนการนำเข้าเพคตินที่มีราคาสูง

จากต่างประเทศ รวมถึงใช้เป็นแนวทางการรักษาคุณภาพผลไม้ที่ยั่งยืน ในระหว่างการขนส่ง ณ อุณหภูมิต่ำ เพื่อชะลอการสุกและลดการเน่าเสียได้อีกด้วย

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี ที่สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Q. Liew, N. L. Chin, and Y. A. Yusof, "Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels," *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 2, pp. 231-236, Jan. 2014.
- [2] S. Kumar, J. Konwar, M. D. Purkayastha, S. Kalita, A. Mukherjee, and J. Dutta, "Current progress in valorization of food processing waste and by-products for pectin extraction," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 239, no. 4, pp. 124332, Jun. 2023.
- [3] C. F. Oliveira, D. Giordani, R. Lutckemier, P. D. Gurak, F. C. Olivera, and L. D. F. Marczak, "Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 71, pp. 110-115, Sep. 2016.
- [4] X. Wang, Q. Chen, and X. Lü, "Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water," *Food Hydrocolloids*, vol. 38, pp. 129-137, Jul. 2014.
- [5] National Research Council of Thailand, "The knowledge management and technology transfer of mango 'Nam Dok Mai Si Thong' for export," [Online]. Available: <https://www.dkmmmap.nrct.go.th/dkmmmap-2021/project-detail.php?pid=59-051>. [Accessed: Jun. 9, 2025].
- [6] N. Maftoonazad and H. S. Ramaswamy, "Application and evaluation of a pectin-based edible coating process for quality change kinetics and shelf-life extension of lime fruit (*Citrus aurantifolium*)," *Coatings*, vol. 9, no. 5, Apr. 2019.
- [7] S. M. Nor and P. Ding, "Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review," *Food Research International*, vol. 134, no. 5, pp. 109208, Aug. 2020.
- [8] K. A. Israel, S. F. Baguio, M. D. B. Diasanta, R. C. Lizardo, E. Dizon, and M. I. F. Mejico, "Extraction and characterization of pectin from saba banana [*Musa 'saba'* (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*)] peel wastes: A preliminary study," *International Food Research Journal*, vol. 22, no. 1, pp. 202-207, Jan. 2015.
- [9] W. E. Devi, R. N. Shukla, K. L. Bala, A. Kumar, A. A. Mishra, and K. C. Yadav, "Extraction of pectin from citrus fruit peel and its utilization in preparation of jelly," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 3, no. 5, May. 2014.

- [10] N. Wathoni, C. Y. Shan, W. Y. Shan, T. Rostinawati, R. B. Indradi, R. Pratiwi, and M. Muchtaridi, "Characterization and antioxidant activity of pectin from Indonesian mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Rind," *Heliyon*, vol. 5, no. 8, Sep. 2019.
- [11] S. H. Yoo, M. L. Fishman, A. T. Hotchkiss, and H. G. Lee, "Viscometric behavior of high-methoxy and low-methoxy pectin solutions," *Food Hydrocolloids*, vol. 20, no. 1, pp. 62-67, Jan. 2006.
- [12] AOAC, *Determination of Moisture, Ash, Protein and Fat*, 18th ed., Official Method of Analysis of the Association of Analytical Chemists. Washington DC: AOAC, 2005.
- [13] A. Uthairathanakij, P. Jitareerat and, J. Boonrod, "Effect of gamma doses on quality of unripe "Chok Anan" mango," in *Proceedings of 51st Kasetsart University Annual Conference: Plants*, Kasetsart University, Thailand, 2013, pp. 300-305.
- [14] S. Ma, S. J. Yu, X. L. Zheng, X. X. Wang, Q. D. Bao, and X. M. Guo, "Extraction, characterization and spontaneous emulsifying properties of pectin from sugar beet pulp," *Carbohydrate Polymers*, vol. 98, no. 1, pp. 750-753, Oct. 2013.
- [15] N. Amnuaysin, N. Suachumsang, and T. Charoenrat, "Optimization of pectin extraction from 'Hom Thong' banana peel with hydrochloric acid and citric acid," *Thai Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 5, pp. 481-490, 2018.
- [16] N. H. Hasem, S. F. Z. M. Fuzi, F. Kormin, M. F. A. Bakar, and S. F. Sabran, "Extraction and partial characterization of durian rind pectin," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 269, pp. 012019, Nov. 2018.
- [17] B. M. Yapo and K. L. Koffi, "Extraction and characterization of highly gelling low methoxy pectin from cashew apple pomace," *Foods*, vol. 3, no. 1, pp. 1-12, Dec. 2013.
- [18] T. Mada, R. Duraisamy, and F. Guesh, "Optimization and characterization of pectin extracted from banana and papaya mixed peels using response surface methodology," *Food Science & Nutrition*, vol. 10, no. 4, pp. 1222-1238, Apr. 2022.
- [19] M. Kazemi, S. A. Samani, S. Ezzati, F. Khodaiyan, S. S. Hosseini, and M. Jafari, "High-quality pectin from cantaloupe waste: eco-friendly extraction process, optimization, characterization and bioactivity measurements," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 101, no. 15, pp. 6552-6562, Dec. 2021.
- [20] T. Saha, D. K. D. Roy, M. N. Khatun, and M. Asaduzzaman, "Quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*) coated with aloe vera and honey in the refrigerated condition," *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 14, pp. 100709, Dec. 2023.
- [21] M. G. Lin, O. Lasekan, N. Saari, and S. K. Bejo, "The effect of the application of edible coatings on or before ultraviolet

- treatment on postharvested longan fruits," *Journal of Food Quality*, vol. 2017, no. 1, pp. 5454263, Oct. 2017.
- [22] D. Mandal, L. Sailo, T. K. Hazarika, and A. C. Shukla, "Effect of edible coating on shelf life and quality of local mango cv. rangkuai of mizoram," *Research on Crops*, vol. 19, no. 3, pp. 419-424, Oct. 2018.
- [23] T. T. Pham, L. L. P. Nguyen, M. S. Dam, and L. Baranyai, "Application of edible coating in extension of fruit shelf life: review," *AgriEngineering*, vol. 5, no. 1, pp. 520-536, Mar. 2023.
- [24] P. Klangmuang and R. Sothornvit, "Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with thai essential oils on mango (cv. Namdokmai Sithong)," *Food Bioscience*, vol. 23, pp. 9-15, Jun. 2018.
- [25] P. Jongsri, P. Rojsitthisak, T. Wangsomboondee, and K. Seraypheap, "Influence of chitosan coating combined with spermidine on anthracnose disease and qualities of 'Nam Dok Mai' mango after harvest," *Scientia Horticulturae*, vol. 224, pp. 180-187, Oct. 2017.