ผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกทินจากกล้วยน้ำว้าสุกงอม
Effect of Extraction Methods on Physical and Chemical Properties of Pectin from Overripe 'Namwa' Banana

พรพรรณ จิอู๋ [1*], ณัฐวุฒิ เนียมสอน [2]
Phornpan Ji-u [1*], Natawut Neamsorn [2]

Received: October 28, 2021
Revised: February 28, 2022
Accepted: March 4, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของวิธีการสกัดเพกทินจากกล้วยน้ำว้าในระยะสุกงอมจากส่วนเปลือก เนื้อ และกล้วยทั้งผล 2 วิธี คือ การสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ อัตราส่วนของตัวอย่างต่อกรดไฮโดรคลอริก 1:12 ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 60 นาที และการสกัดด้วยกรดซิตริก 0.05 โมลาร์ อัตราส่วนตัวอย่างต่อกรดซิตริก 1:20 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 180 นาที พบว่าเพกทินที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 วิธี มีสีน้ำตาล ปริมาณเพกทินและสมบัติทางเคมี ได้แก่ น้ำหนักสมมูล ปริมาณเมทอกซิล ระดับการเกิดเอสเทอร์ และปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคของเพกทินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกก็มีค่าสูงกว่าการสกัดด้วยกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเนื้อกล้วยมี เพกทินมากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 15.23 d.b. รองลงมา คือ ส่วนของกล้วยทั้งผล และเปลือกกล้วย เท่ากับ ร้อยละ 9.38 และ 2.49 d.b. ตามลำดับ และเพกทินที่สกัดได้จากทั้งสามส่วน เป็นเพกทินชนิดที่มีเมทอกซิลสูง เนื่องจากปริมาณเมทอกซิลและระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินสกัดได้ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 11.60 - 15.49 และร้อยละ 82.74 - 93.84 ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 43.81 – 53.18

คำสำคัญ: เพกทิน กล้วยน้ำว้า สุกงอม

ABSTRACT

This research studied on the pectin extraction from three parts of overripe ‘Namwa’ banana i.e., peel, pulp and whole fruit with 2 extraction methods. The first method was done by using 0.05 M hydrochloric acid (HCl) at 95°C, 60 min and substrate to extractant ratio of 1:12. The second method was carried out by using 0.05 M citric acid and substrate to extractant ratio of 1:20 at 121 °C for 180 min. The results showed that pectin from both acid extractions had brown color. The yield and chemical properties of pectin (equivalent weight, methoxyl content, degree of esterification and galacturonic acid content) extracted by HCl were significantly higher than by citric acid. The highest yield of HCl-pectin extracted obtained from pulp (15.23% d.b.) while the HCl-pectin extracted yield from whole fruit and peel were 9.38% d.b. and 2.49% d.b., respectively. The pectin extracted from three parts of overripe ‘Namwa’ banana were high-methoxyl pectin due to the methoxyl contents and the degree of esterification of pectin extracted which were in range of 11.60-15.49% and 82.74-93.84%, respectively. The galacturonic acid contents of pectin in this research were in range of 43.81-53.18%.

Keywords: Pectin, ‘Namwa’ banana, Overripe

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]Program of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhorn Sawan Rajabhat University

[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

บทนำ

กล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* Linn. (ABB group) 'Namwa') เป็นสายพันธุ์กล้วยซึ่งมีที่มาจากการผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี [1] เป็นพืชที่ปลูกง่าย เจริญเติบโตได้ในทุกภาค ทุกสภาพดิน ให้ผลผลิตครั้งแรกเมื่อปลูกได้ 8-10 เดือน และสามารถแตกหน่อเติบโตให้ผลผลิตทั้งปี ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้ารวม 454,549 ไร่ ให้ผลผลิต 619,515 ตัน นับเป็นกล้วยที่มีพื้นที่เพาะปลูกสูงที่สุดและให้ผลผลิตสูงที่สุดในประเทศ [2] ซึ่งกล้วยจัดเป็นผลไม้ชนิดบ่มสุกได้ (climacteric fruit) ที่ยังคงมีอัตราการหายใจสูงหลังการเก็บเกี่ยว จึงสุกต่อได้ [3] การสุกของกล้วยแบ่งได้ 7 ระยะ ตั้งแต่ระยะที่ 1 ซึ่งมีสีเขียวทั้งผล จนถึงระยะที่ 7 เป็นกล้วยสุกที่เปลือกมีพื้นสีเหลืองและเริ่มมีจุดดำเกิดขึ้น [4] หากเกินกว่านี้ก็จะเป็นกล้วยระยะสุกงอม มีสีดำกระจายไปทั่วทั้งผลและหลุดออกจากขั้ว กล้วยในระยะสุกงอมนี้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค แม้ว่าจะสามารถนำไปแปรรูปเป็นกล้วยกวนหรือไซรัปกล้วย [5] แต่ก็ยังมีบางส่วนถูกทิ้งให้เน่าเสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์

เพกทิน (pectin) เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เช่นเดียวกับสตาร์ช และเซลลูโลส ซึ่งพบทั่วไปในผนังเซลล์ของพืช [6] เพกทินทำหน้าที่เป็นเยื่อป้องกันไม่ให้น้ำตาลถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ง่าย จึงช่วยลดน้ำตาลในเลือด และเป็นตัวป้องกันมิให้คอเลสเตอรอลความหนาแน่นต่ำ (LDL) ตกค้างที่หลอดเลือดหัวใจ ทำให้สามารถลดระดับไขมันคอเลสเตอรอลในเลือดได้ [7] ในปัจจุบันเพกทินได้เข้ามามีบทบาทในด้านอุตสาหกรรมอาหาร เป็นสารที่สำคัญสำหรับอาหารประเภทต่างๆ เช่น การทำแยม เยลลี่ มาร์มาเลต ลูกกวาด และขนมอบแห้ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมในอาหารและเครื่องดื่มบางชนิด [8] โดยเพกทินทางการค้าส่วนใหญ่จะผลิตได้จากผลไม้ตระกูลส้ม กากแอปเปิล และซูการ์บีท โดยใช้กรดในการสกัด [9-11] สำหรับในงานวิจัยมีการใช้กรดในการสกัดเพกทินจากวัสดุทางธรรมชาติอยู่หลายเทคนิควิธีการ เช่น การสกัดเพกทินจากเปลือกผลไม้ 8 ชนิด ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ อัตราส่วนของเปลือกบดแห้งต่อกรดไฮโดรคลอริก เท่ากับ 1:12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ให้ปริมาณเพกทินจากเปลือกมะนาวสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 16.36 และในเปลือกกล้วยมีปริมาณเพกทินต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 3.27 [12] ส่วนการใช้กรดซิตริกสกัดเพกทินร่วมกับการใช้ความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที (แบ่งเป็น 2 รอบๆ ละ 30 นาที) สามารถสกัดเพกทินจากซังขนุนได้มากกว่าการใช้ความร้อนต่ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ถึง 1.6 เท่า [13] และพบว่าเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มอล ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.5 สกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยสายพันธุ์แอฟริกาตะวันออก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะให้ผลผลิตเพกทินสูงกว่าการใช้กรดซิตริก 0.5 นอร์มอล ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.7 ที่เวลาและอุณหภูมิเดียวกัน [14]

ปริมาณเพกทินในผลไม้จะเปลี่ยนไปตามชนิดสายพันธุ์และระดับความสุก [15] เช่นในเปลือกกล้วยสายพันธุ์แอฟริกาตะวันออกปริมาณเพกทินจะลดลงจากร้อยละ 5.34 - 6.61 ในกล้วยดิบ (กล้วยระยะที่ 0) เหลือเพียง ร้อยละ 1.01 - 1.38 ในกล้วยสุกระยะที่ 7 เช่นเดียวกับเพกทินในเนื้อกล้วยที่ลดจากร้อยละ 18.1 - 22.65 ในกล้วยดิบ เหลือ ร้อยละ 0.65 - 1.28 ในกล้วยสุกระยะที่ 7 [16] ส่วนเปลือกของกล้วยป่า (*Musa acuminata*) ในระยะสุกจะมีปริมาณเพกทินสูงกว่ากล้วยดิบแต่เมื่อถึงระยะสุกงอมปริมาณเพกทินกลับลดลง แต่เพกทินที่ได้จะมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น [17] สำหรับในผลไม้บางชนิดเพกทินกลับเพิ่มมากขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะสุกงอม เช่นมะม่วงแก้วที่อยู่ในระยะสุกงอมจะมีเพกตินชนิดที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับมะม่วงสุก [18] และสตอเบอรี่ที่อยู่ระยะสุกงอมก็จะมีปริมาณเพกทินที่สกัดได้มากกว่าระยะสุก [19] แต่ยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณเพกทินในเนื้อกล้วยน้ำว้าที่อยู่ในระยะสุกงอม

งานวิจัยที่ผ่านมามีผู้วิจัยศึกษาการสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยที่เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตทั้งในแง่วิธีการและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[12, 14, 16-17, 20-21] แต่ยังไม่พบการศึกษาการสกัดเพกทินจากกล้วยทั้งผล ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบผลของวิธีในการสกัดเพกทินด้วยการใช้วิธีการสกัดที่สภาวะที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกทินที่ได้ โดยนำส่วนประกอบของกล้วย 3 ส่วน มาสกัดเพกทิน คือ เปลือก เนื้อ และกล้วยทั้งผล ซึ่งจะใช้กล้วยที่ระยะสุกงอมเนื่องจากเป็นกล้วยที่เหลือทิ้งและมีมูลค่าน้อย เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่กล้วยน้ำว้าและลดปริมาณเศษอาหารเหลือทิ้ง (food waste) ที่เกิดจากกล้วยน้ำว้าในระยะสุกงอม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol insoluble solid, AIS) เพื่อกำจัดเอนไซม์ในกล้วย และสารที่ละลายได้ในแอลกอฮล์ ใช้ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระยะที่ผลสุกมากเกินไป (เกินระยะสุกที่ 7 (Figure 1)) จากตลาดศรีนคร อ.เมืองนครสวรรค์ จ.นครสวรรค์ นำส่วนประกอบของกล้วยน้ำว้า ได้แก่ เปลือก เนื้อ และกล้วยทั้งผล อย่างละ 1 กิโลกรัม ล้างน้ำทำความสะอาดหลายๆ ครั้ง จนน้ำที่ล้างใส หั่นเป็นชิ้นเท่าๆ กัน ความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร ต้มส่วนประกอบของกล้วยแต่ละส่วนในเอทานอล ร้อยละ 95 อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที บีบเอาเอทานอลออก ล้างด้วยน้ำสะอาดและบีบน้ำออกโดยทำเช่นนี้ 3 ครั้ง นำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 10 จะได้ตะกอนกล้วยที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อใช้คำนวณร้อยละผลผลิตของเพกทิน นำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปสกัดเพกทินต่อไป

Figure 1 Overripe ‘Namwa’ banana (the peel color turn from yellow to brown and black)

2. การสกัดเพกทิน

งานวิจัยนี้ ศึกษาผลของเทคนิควิธีการสกัดเพกทิน 2 วิธี ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และกรดซิตริก ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที โดยใช้ส่วนประกอบของกล้วยน้ำว้าระยะสุกงอมจาก 3 ส่วน คือ เปลือก เนื้อ และกล้วยทั้งผล ทำการสกัด 3 ซ้ำ

2.1 การสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก (ดัดแปลงจาก [22])

นำตะกอนกล้วยที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์จากส่วนประกอบของกล้วยน้ำว้าระยะสุกงอม (เปลือก เนื้อ และกล้วยทั้งผล) ที่เตรียมได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างใส่บีกเกอร์ เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ อัตราส่วนของตัวอย่างต่อกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1:12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) นำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memert รุ่น D-91126, Germany) ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดย

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]Program of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhorn Sawan Rajabhat University

[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

ไม่มีการกวน กรองผ่านผ้าขาวบาง แล้วนำตัวอย่างที่กรองได้ไปเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ อัตราส่วนของตัวอย่างและกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1:12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) แล้วนำไปสกัดอีกครั้ง กรองผ่านผ้าขาวบาง นำสารละลายที่ได้ทั้งสองครั้งมารวมกัน แล้วจึงตกตะกอนเพกทิน โดยเติมเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทานอล 1:1 โดยปริมาตร (v/v) คนผสมแรง ๆ ให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 ชั่วโมง กรองแยกตะกอนเพกทินด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ล้างตะกอนเพกทินด้วยเอทานอลร้อยละ 95 3 ครั้งๆ ละ 5 มิลลิลิตร นำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง แล้วบดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 120 เมช (Mesh)

2.2 การสกัดด้วยกรดซิตริก (ดัดแปลงจาก[13])

นำตะกอนกล้วยที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์จากส่วนประกอบของกล้วยน้ำว้าระยะสุกงอม (เปลือก เนื้อ และทั้งผล) ที่เตรียมได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ใส่บีกเกอร์ เติมกรดซิตริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ อัตราส่วนของตัวอย่างต่อกรดซิตริก 1:20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) นำเข้าเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) (LabTech รุ่น LAC-5040S, Korea) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กรองผ่านขาวบาง นำกากไปสกัดซ้ำ รวมเวลาในการสกัด 180 นาที (ระยะเวลาในการทำงานของเครื่องรอบละ 90 นาที) นำสารละลายที่กรองได้ 2 ครั้งมารวมกัน เติมเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทานอล 1:1 โดยปริมาตร (v/v) คนผสมแรงๆ ให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 ชั่วโมง กรองแยกตะกอนเพกทินด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และล้างตะกอนเพกทินด้วยเอทานอล ร้อยละ 95 จำนวน 3 ครั้งๆ ละ 5 มิลลิลิตร นำตะกอนที่ได้อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง แล้วบดเป็นผงร่อนผ่านตะแกรงขนาด 120 เมช (Mesh)

3. การวิเคราะห์สมบัติของเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกเนื้อ และทั้งผลของกล้วยน้ำว้าระยะสุกงอม

3.1 การวิเคราะห์หาน้ำหนักสมมูล [23]

ชั่งเพกทินบดจากขั้นตอนที่ 2 จำนวน 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัม เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร หยดฟีนอลเรด 6 หยด ละลายเพกทินให้หมดที่อุณหภูมิห้อง ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ และคำนวณน้ำหนักสมมูลได้จาก

$$\text{น้ำหนักสมมูล (g/mol)} = \frac{1000 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของด่างที่ใช้ไทเทรต} \times \text{ความเข้มข้นของด่างที่ใช้ไทเทรต}}$$

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณเมทอกซิล [23]

นำสารละลายที่ได้จากการขั้นตอนหาน้ำหนักสมมูล เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าทันที สารละลายจะเป็นสีม่วง ปิดจุกขวดรูปชมพู่และวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยานาน 30 นาที เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.25 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ ได้สีของสารละลายกลับมาเป็นสีม่วง คำนวณหาปริมาณเมทอกซิลได้จาก

$$\text{ปริมาณเมทอกซิล} = \frac{N \times V \times E \times 1\,00}{1000 \times S}$$

เมื่อ N คือ จำนวนนอร์มอลิตีของด่างที่ใช้ไทเทรต
V คือ ปริมาตรของด่างที่ใช้ไทเทรต
E คือ น้ำหนักสมมูลของเมทอกซิล
S คือ น้ำหนักแห้งของเพกทินที่ใช้

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.3 การวิเคราะห์หาระดับการเกิดเอสเทอร์ (Degree of esterification, DE) และปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค (ดัดแปลงจาก [24, 25])

ชั่งเพกทิน 5 กรัม เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก-เอทานอล (กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิกรัม และเอทานอล ร้อยละ 60 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) กวน 10 นาที กรองและล้างตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก-เอทานอล ครั้งละ 15 มิลลิลิตร 6 ครั้ง ล้างด้วยสารละลายเอทานอล ร้อยละ 60 จนตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นสีขาว และล้างด้วยเอทานอลอีก 20 มิลลิลิตร อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล นำตะกอนที่ได้มา 1 ใน 100 โดยน้ำหนัก เติมเอทานอล ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมน้ำสะอาด 10 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล เติมฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด จดปริมาตรของด่างที่ใช้ (V_1) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 นอร์มอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าจนสีชมพูหายไป เติมฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จดปริมาตรด่างที่ใช้ (V_2) เทสารละลายลงในขวดกลั่นและเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปกลั่นเก็บส่วนที่ได้ในขวดที่บรรจุน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน 150 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร กลั่นจนได้ปริมาตรเพิ่มอีก 80-120 มิลลิลิตร นำส่วนที่กลั่นได้ไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล โดยใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จดปริมาตรที่ใช้ (S) ทำ Blank โดยไทเทรตสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล จำนวน 20 มิลลิลิตร ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จดปริมาตรที่ใช้ (B) และคำนวณหา (V_3) ปริมาณจาก

$$V_3 = B - S$$

$$\text{DE (as \% of total carboxyl group)} = \frac{100 \times V_2 \times E \times 100}{V_1+V_2+V_3}$$

$$\text{มิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิค} = 19.41 (V_1 + V_2 + V_3)$$

$$\text{ร้อยละกรดกาแลคทูโรนิค} = \frac{\text{กรดกาแลคทูโรนิค (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนทดลองแบบ 2x3 แฟกทอเรียล (2x3 Factorial design) โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 2 ปัจจัยคือ เทคนิคการสกัด 2 วิธี (การสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกรดซิตริก) และส่วนประกอบของกล้วย 3 ส่วน (เปลือก เนื้อ และทั้งผล) ซึ่งทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (version 23)

ผลการทดลอง และวิจารณ์

1. ลักษณะปรากฏและปริมาณเพกทินที่สกัดได้

เพกทินจากกล้วยที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 วิธีมีสีน้ำตาล โดยเพกทินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก (95 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที) มีสีอ่อนกว่าเพกทินที่สกัดด้วยกรดซิตริก (121 องศาเซลเซียส นาน 180 นาที) เนื่องจากในระหว่างการสกัดเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning) ซึ่งส่งผลต่อค่าสีของเพกทินและอาจทำให้เพกทินที่ได้มีสีน้ำตาล และการสกัดที่สภาวะอุณหภูมิสูงและใช้เวลานานกว่าจึงมีสีเข้มกว่า ปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากส่วนเปลือก เนื้อ และทั้งผลของกล้วยน้ำว้าระยะสุกงอม แสดงใน Table 1

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]Program of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhorn Sawan Rajabhat University

[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

Table 1 Percentage yield of pectin per dry materials

Material	Pectin (% w/w)	
	Hydrochloric acid	Citric acid
Peels	2.49±0.11^{aA}	1.39±0.06^{aA}
Pulps	15.23±0.07^{cB}	7.59±0.09^{cA}
Whole	9.38±0.08^{bB}	4.47±0.07^{bA}

Data are shown as average ± standard deviation

^{a,b,c} The means followed by same letter are not significantly different in the same column (p>0.05)

^{A,B} The means followed by same letter are not significantly different in the same row (p>0.05)

จาก Table 1 พบว่าค่าร้อยละของผลผลิตเพกทินที่สกัดด้วยวิธีการใช้กรดไฮโดรคลอริกจะให้ปริมาณเพกทินมากกว่าและแตกต่างกัน จากการสกัดด้วยวิธีการใช้กรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) เนื่องจากผลของวิธีการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 1.35 ซึ่งต่ำกว่าวิธีการสกัดด้วยกรดซิตริก (ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.18) จึงส่งผลให้มีปริมาณไฮโดรเจนอิออน (H^+) อยู่ในระบบสูง จึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนสารประกอบเพกทินที่ไม่ละลายน้ำ ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ ส่งผลให้ปริมาณเพกตินที่สกัดได้มีปริมาณสูง [26] ทั้งนี้สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่แสดงว่าการสกัดเพกทินจากผลผลิตเกษตรด้วยกรดแก่จะให้ค่าปริมาณเพกทินสูงกว่าการสกัดด้วยกรดอ่อน เช่น เปลือกมะนาว [27] ซูการ์บีท [28] และเนื้อมะม่วงสุก [29] ปริมาณเพกทินจากเปลือกในระยะสุกงอมมีค่าค่อนข้างน้อย เนื่องจากปริมาณเพกทินในเปลือกกล้วยจะเพิ่มขึ้นตามระยะความสุก [30] และกลับลดลงเมื่อกล้วยเริ่มงอม ดังเช่นในงานวิจัยที่ศึกษาการสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยสายพันธุ์แอฟริกาตะวันออก (Saba) ที่ปริมาณเพกทินลดลงจาก ร้อยละ 16.54 เป็นร้อยละ 11.87 ซึ่งอาจเนื่องจากเพกทินถูกทำลายโดยเอนไซม์ [14] ในการทดลองนี้พบว่าส่วนที่ให้ปริมาณผลผลิตของเพกทินมากที่สุดคือส่วนเนื้อกล้วยเท่ากับร้อยละ 15.23 จากวิธีการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก ทั้งนี้หากปริมาณผลผลิตเพกทินมากกว่าร้อยละ 10 จะมีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงการค้า [18] ซึ่งเพกทินที่ผลิตในทางการค้าส่วนใหญ่ผลิตจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้มและกากเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปแอปเปิ้ล [31] โดยที่เปลือกของผลไม้ตระกูลส้มมีปริมาณเพกทินประมาณร้อยละ 13.4 - 29.1 โดยน้ำหนักแห้ง และแอปเปิ้ลมีปริมาณเพกทินร้อยละ 4.2 -19 โดยน้ำหนักแห้ง [32] ซึ่งเพกทินจากเนื้อกล้วยสุกงอมที่ได้จากการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณผลผลิตที่สามารถนำไปผลิตเชิงการค้าได้ ส่วนผลผลิตเพกทินที่ได้จากกล้วยสุกงอมทั้งผลจะมีค่าต่ำกว่าคือได้ปริมาณเพกทินร้อยละ 9.38 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเพกทินที่ผลิตได้จากเปลือกโกโก้ [33, 34] และมีข้อดีเมื่อเทียบกับการผลิตเพกทินจากเนื้อกล้วย คือ ไม่มีต้นทุนในการปอกเปลือก

2. สมบัติทางเคมีของเพกทินที่ได้จากเปลือก เนื้อ และทั้งผลของกล้วยน้ำว้า

2.1 น้ำหนักสมมูลของเพกทิน

จาก Table 2 พบว่าเพกทินจากส่วนเปลือก เนื้อ และทั้งผล มีค่าน้ำหนักสมมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) ทั้งสองวิธีการสกัด โดยน้ำหนักสมมูลของเพกทินจากส่วนของเนื้อมีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ ส่วนของทั้งผล และน้อยสุดคือส่วนเปลือก และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดพบว่า วิธีการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกให้ปริมาณน้ำหนักสมมูลของเพกทินจากเปลือก เนื้อ และทั้งผลมากกว่าวิธีการสกัดด้วยกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) เนื่องจากน้ำหนักสมมูลเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณหมู่คาร์บอกซิลอิสระที่ไม่ถูกเอสเทอริไฟด์ ดังนั้นน้ำหนักสมมูลมากจึงหมายถึง เพกทินมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระในโครงสร้างที่ไม่ถูกเอสเทอริไฟด์อยู่จำนวนมาก โดยปฏิกิริยา de-esterification สามารถเกิดได้มากขึ้น

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างในการสกัดลดลง อุณหภูมิและเวลาในการสกัดสูงขึ้น ซึ่งปฏิกิริยา de-esterification มีผลให้หมู่เมทิลถูกดึงออกจากโมเลกุลของเพกติน จึงทำให้หมู่คาร์บอกซิลอิสระในโครงสร้างที่ไม่ถูกเอสเทอริไฟด์อยู่จำนวนมาก [26] อย่างไรก็ตามผลจากการสกัดเพกทินในงานวิจัยนี้มีน้ำหนักสมมูลเพิ่มขึ้นเมื่อสกัดด้วยสภาวะที่มีค่าความเป็นกรดมากกว่า และที่อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการสกัดเพกทินจากเปลือกส้มมะงั่ว อาจเนื่องมาจากเพคตินที่สกัดได้มีการปนเปื้อนองค์ประกอบอื่นๆ ที่ถูกสกัดออกมาด้วย และในการคำนวณค่าน้ำหนักสมมูลจะคำนวณจากน้ำหนักแห้งของเพกทิน จึงอาจมีองค์ประกอบอื่นๆ นอกเหนือจากกรดกาแลคทูโรนิค เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และน้ำตาลฟรุคโตส เป็นต้น รวมอยู่ด้วย [26]

เพกทินส่วนที่มีน้ำหนักสมมูลมากที่สุดคือส่วนเนื้อกล้วย (ทั้งสองวิธีการสกัด) โดยเพกทินที่มีน้ำหนักสมมูลมากกว่าจะมีค่าน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า โครงสร้างเพกทินใหญ่กว่าและมีความสามารถในการเกิดเจลได้ดีกว่าเพกทินที่มีค่าน้ำหนักสมมูลต่ำ [20, 27] โดยค่าน้ำหนักสมมูลของเพกทินจากเปลือกในระยะสุกงอมนี้มีค่าระหว่าง 238.10 -252.52 g/mol ซึ่งน้อยกว่าน้ำหนักสมมูลของเพกทินจากเปลือกกล้วยในระยะดิบ ซึ่งมีค่ามากกว่า 900 g/mol [9] และค่าน้ำหนักสมมูลในเนื้อกล้วยระยะสุกงอมนี้ก็น้อยกว่าเนื้อกล้วย (Ugandan cooking bananas (EA-AAA) ซึ่งมีน้ำหนักสมมูลลดลงจาก 12,657.5 g/mol ในระยะสุกที่ 1 เป็น 1,986.4 g/mol ในระยะสุกที่ 7 [16] โดยการลดลงของน้ำหนักสมมูลแสดงถึงการเสื่อมสลายของเพกทิน [35] ซึ่งค่าน้ำหนักสมมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการหาปริมาณเมทอกซิลในขั้นตอนต่อไป

Table 2 Chemical properties of pectin obtained from each part of banana extracted by two methods

Parameter	Pectin extraction	Peel	Pulp	Whole
Equivalent weigh (g/mol)	Hydrochloric acid	252.52 ± 0.11^{aB}	714.29 ± 0.06^{cB}	531.91 ± 0.10^{bB}
	Citric acid	238.10 ± 0.08^{aA}	704.23 ± 0.05^{cA}	487.80 ± 0.09^{bA}
Methoxyl content (%)	Hydrochloric acid	14.57 ± 0.12^{bB}	15.49 ± 0.13^{cB}	12.58 ± 0.13^{aB}
	Citric acid	11.60 ± 0.11^{aA}	13.23 ± 0.09^{cA}	12.08 ± 0.10^{bA}
Degree of esterification (%)	Hydrochloric acid	93.84 ± 0.09^{cB}	87.87 ± 0.10^{bB}	84.74 ± 0.07^{aB}
	Citric acid	86.89 ± 0.08^{cA}	84.06 ± 0.10^{bA}	82.74 ± 0.10^{aA}
Galacturonic acid content (%)	Hydrochloric acid	53.18 ± 0.06^{cB}	44.83 ± 0.08^{aB}	45.81 ± 0.07^{bB}
	Citric acid	50.47 ± 0.09^{cA}	44.06 ± 0.08^{bA}	43.81 ± 007^{aA}

Data are shown as average ± standard deviation

^{a,b,c} The means followed by same letter are not significantly different in the same row ($p>0.05$)

^{A,B} The means followed by same letter are not significantly different in the same column ($p>0.05$)

2.2 ปริมาณเมทอกซิลและระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทิน

การวิเคราะห์หาปริมาณเมทอกซิลและระดับการเกิดเอสเทอร์ เพื่อวิเคราะห์ประเภทของเพกทินที่สกัดได้ แสดงใน Table 2 พบว่าร้อยละของปริมาณเมทอกซิลในเพกทินที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเมทอกซิลมากกว่าและแตกต่างกันจากการสกัดด้วยกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ [14] ซึ่งใช้กรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มอล และกรดซิตริก 0.5 นอร์มอล ในการสกัดเพกตินจากเปลือกกล้วย สำหรับงานวิจัยนี้การสกัดเพกทินจากส่วนเนื้อให้ปริมาณเมทอกซิลมากที่สุดทั้ง 2 วิธีการสกัด ซึ่ง

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]Program of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhorn Sawan Rajabhat University

[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

ปริมาณเมทอกซิลที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่าร้อยละ 7 จัดเป็นเพกทินที่มีเมทอกซิลสูง (High methoxyl pectin, HMP) [27, 36] ค่าปริมาณเมทอกซิลยังแสดงถึงความสามารถในการละลาย โดยเพกทินที่มีเมทอกซิลสูงจะละลายในน้ำได้รวดเร็วกว่าเพกทินที่มีค่าต่ำ [14]

ค่าระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่ได้ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าปริมาณเมทอกซิล เพกทินที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีระดับการเกิดเอสเทอร์มากกว่าวิธีการสกัดด้วยกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และส่วนที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์มากที่สุด คือ ส่วนเปลือก ระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินจากการวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าร้อยละ 50 จึงเป็นที่ปรากฏชัดว่าเพกทินจากกล้วยน้ำว้าสุกงอมเป็นเพกทินชนิด HMP ที่เกิดเจลได้ในสภาวะกรดและมีน้ำตาล (ซูโครส) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 55 [37] อีกทั้งระดับการเกิดเอสเทอร์ยังส่งผลต่ออัตราการเกิดเจล โดยเพกทินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์สูงกว่าร้อยละ 72 จัดเป็นเพกทินชนิดเซตตัวเร็ว (Rapid-set pectin) และเพกทินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์ระหว่างร้อยละ 58-65 จัดเป็นเพกทินชนิดเซตตัวช้า (Slow-set pectin) [38] แสดงว่าเพกทินที่ได้จากทุกส่วนของกล้วยในระยะสุกงอมเป็นเพกทินชนิดเซ็ตตัวเร็ว

2.3 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค

การวิเคราะห์ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคเพื่อบ่งชี้ความบริสุทธิ์หรือความเป็นเพกทินของเพกทินที่สกัดได้ พบว่าเพกทินที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคมากกว่าและแตกต่างกันทุกส่วนประกอบจากการสกัดด้วยกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และส่วนที่มีปริมาณมากที่สุดคือส่วนเปลือกกล้วย (ทั้งสองวิธีการสกัด) โดยเพกทินที่สกัดได้จากกล้วยน้ำว้าสุกงอมในงานวิจัยนี้มีค่าปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค ร้อยละ 43.81 – 53.18 ซึ่งต่ำกว่าเพกทินทางการค้าที่มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 50.00-80.79 [39-41]

สรุปผล

การสกัดเพกทินจากกล้วยน้ำว้าในระยะสุกงอมหรือเกินกว่าระยะสุกที่ 7 โดยใช้วิธีการสกัดที่ต่างกัน 2 วิธี ได้แก่ เทคนิคการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกและการสกัดด้วยกรดซิตริก ผลที่ได้พบว่าเพกทินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีสีน้ำตาลอ่อนกว่าการสกัดด้วยกรดซิตริก แต่มีค่าร้อยละผลผลิตเพกทินมากกว่าเพกทินที่สกัดด้วยกรดซิตริก ส่วนปริมาณเมทอกซิลของเพกทินจากทุกส่วนของผลกล้วยระยะสุกงอม มีค่ามากกว่าร้อยละ 7 โดยเพกทินที่ได้มีระดับการเกิดเอสเทอร์สูงกว่าร้อยละ 72 จัดเป็นเพกทินที่มีเมทอกซิลสูง (High methoxyl pectin, HMP) และเป็นเพกทินชนิดเซ็ตตัวเร็ว (Rapid-set pectin) ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคของเพกทินที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 43.81-53.18 โดยการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเพคทินจากกล้วยในระยะสุกงอม ซึ่งในส่วนของเนื้อกล้วยจะให้ผลผลิตเพกทินมากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 15.23 และส่วนเปลือกกล้วย จะให้ค่าปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคสูงที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 53.18

เอกสารอ้างอิง

[1] Sudhanyaratana, N., Aoki, S. and Rattana, K. (2016). Tissue culture and the analysis of ploidy stability of *Musa* (ABB) 'Namwa Mali-Ong'. SDU Research Journal. 9(3): 1-14. (in Thai)

[2] Department of Agriculture Extension. (2021). Agricultural productivity information system. [Online] Available from https: / / production. doae. go. th. [Accessed August 1, 2021] (in Thai).

[3] Knee, M. (2002). Fruit quality and its biological basis. CRC Press, Boca Raton, Florida.

[4] Robinson, J.C. and Saúco, V.G. (2010). Bananas and plantains. (2nd ed.). CABI Publishing, Oxford, UK.

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[5] Phanyasawan, C., Haruthaithanasun, V., Chompreeda, P., Siriacha, P. and Songkhawasi, T. (2004). Development of concentrated syrup from banana (*Musa acuminata* 'Gross Michel') by using enzyme. Proceedings of 42nd Kasetsart University Annual Conferrence: Fisheries, Agro-Industry, pp 434-441. Bangkok. Thailand. (in Thai).

[6] Brett, C.T. and Waldron, K.W. (1996). Physiology and biochemistry of plant cell walls. Springer Science & Business Media. Cambridge University Press, New York.

[7] Tepya, N. (2003). Pectin. Journal of Science and Technology: Nakhon Si Thammarat Rajabhat University. 3(2): 47-52. (in Thai).

[8] Kasetgala, M. and Kijjarak, R. (2003). Study of suitable methods and conditions for pectin ectraction form local waste. Rearch Report of Nakhon Si Thammarat Rajabhat University. Thailand. 94 p. (in Thai)

[9] Khamsucharit, P., Laohaphatanalert, K., Gavinlertvatana, P., Sriroth, K. and Sangseethong, K. (2018). Characterization of pectin extracted from banana peels of different varieties. Food science and biotechnology. 27(3): 623-629.

[10] May, C.D. (1990). Industrial pectins: Sources, production and applications. Carbohydrate Polymers. 12(1): 79-99.

[11] Cho, S. and Almeida, N. (2012). Dietary fiber and health. CRC Press, Boca Raton, Florida.

[12] Larptansuphaphol, T., Thongkwan, P. and Songpromtip, S. (2013). Extraction of pectin from peels of vegetables and fruits. Agricultural Science Journal. 44(2) (Suppl.): 433-436. (in Thai).

[13] Wititsiri, S. (2017). The comparative extractions of pectin quantities from stringy pulp of nanga jackfruit (Juampa Krop). Journal of Yala Rajabhat University. 9(2): 95-112. (in Thai).

[14] Castillo-Israel, K., Baguio, S., Diasanta, M., Lizardo, R., Dizon, E. and Mejico, M. (2015). Extraction and characterization of pectin from Saba banana [Musa 'saba' (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*)] peel wastes: a preliminary study. International Food Research Journal. 22(1): 202-207.

[15] Kontogiorgos, V. (2020). Pectin: technological and physiological properties. Springer International Publishing, Cham.

[16] Mugampoza, D., Gafuma, S., Kyosaba, P. and Namakajjo, R. (2020). Characterization of pectin from pulp and peel of Ugandan cooking bananas at different stages of ripening. Journal of Food Research. 9(5): 67-77.

[17] Oyawaluja, A., Oiseoghaede, J., Odukoya, O. and Aluko, T. (2020). Extraction and estimation of pectins from unripe, ripe and overripe banana (*Musa acuminata* L.) and plantain (*Musa paradisiaca* L.) peels and their antioxidant activities. Nigerian Journal of Pharmaceutical Research. 16(1): 87-96.

[18] Varanyanond, W., Naohara, J., Wongkrajang, K. and Manabe, M. (1999). Changes in pectin content and average molecular weight of pectin during maturation of

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]Program of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhorn Sawan Rajabhat University

[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

the mango “Kaew”. Food Science and Technology Research. 5(4): 362-364.

[19] Draye, M. and Van Cutsem, P. (2008). Pectin methylesterases induce an abrupt increase of acidic pectin during strawberry fruit ripening. Journal of Plant Physiology. 165(11): 1152-1160.

[20] Chaisri, K., Sa-ae, N. and Sinchai, P.S. (2019). The study on the properties of pectin extracts from *Musa* peels. In Faculty of Science, Songkhla Rajabhat University. Proceedings of 4th Nation Science and Technology: Southern Network Conference, pp 777-783, Febuary 7-8, 2019. Songkhla, Thailand. (in Thai).

[21] Amnuaysin, N., Suachumsang, N. and Charoenrat, T. (2018). Optimization of pectin extraction from ‘Hom Thong’ banana peel with hydrochloric acid and citric acid. Thai Journal of Science and Technology. 7(5)(Suppl.): 481-490. (in Thai).

[22] Lerkchaiyaphum, K. (2002). Pectin extraction from Citron (*Citrus medica* Linn.) and its used in food system. Master’s thesis, Khon Kaen University. Thailand. (in Thai).

[23] Williams, P.A. and Phillips, G.O. (2000). Gums and stabilisers for the food industry 10. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.

[24] Yodumnern, T. (2000). Yam production from “Ta-Koi” pamelo peel. Master’s thesis, Petchabun Rajabhat Institute. Thailand. (in Thai).

[25] FAO JECFA. (2009). Compendium of food additive specifications: Joint FAO/WHO expert committee on food additives - 71st meeting 2009. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[26] Tangwongchai, R., Lerkchaiyaphum, K., Nantachai, K. and Rojanakorn, T. (2006). Pectin extraction from Citron peel (Citrus medica Linn.) and its used in food system. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 28(6): 1351-1363. (in Thai).

[27] Rodsamran, P. and Sothornvit, R. (2019). Microwave heating extraction of pectin from lime peel: characterization and properties compared with the conventional heating method. Food Chemistry. 278: 364-372.

[28] Ma, S., Yu, S-j., Zheng, X-l., Wang, X-x., Bao, Q-d. and Guo, X-m. (2013). Extraction, characterization and spontaneous emulsifying properties of pectin from sugar beet pulp. Carbohydrate Polymers. 98(1): 750-753.

[29] Nguyen, H.D. and Nguyen, H.V. (2014). Effects of maturity stages and solvent types on extraction yield and quality of Chu mango pulp pectin. In Roberts, R.E. Proceedings of III Asia Pacific Symposium on Postharvest Research, Education and Extension: APS2014, pp 399-404. December 8-11, 2014. Hochiminh City, Vietnam.

[30] Emaga, T.H., Robert, C., Ronkart, S.N., Wathelet, B. and Paquot, M. (2008). Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties.

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Bioresource Technology. 99(10): 4346-4354.

[31] Ciriminna, R., Chavarría Hernández, N., Inés Rodríguez Hernández, A. and Pagliaro, M. (2015). Pectin: A new perspective from the biorefinery standpoint. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 9(4): 368-377.

[32] Masuelli, M. (2020). Pectins: extraction, purification, characterization and applications. IntechOpen, London.

[33] Mollea, C., Chiampo, F. and Conti, R. (2008). Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study. Food Chemistry. 107(3): 1353-1356.

[34] Campos-Vega, R., Oomah, B.D. and Vergara-Castaneda, H.A. (2020). Food wastes and by- products: nutraceutical and health potential. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.

[35] Nguyen, B. M. N. and Pirak, T. (2019). Physicochemical properties and antioxidant activities of white dragon fruit peel pectin extracted with conventional and ultrasound- assisted extraction. Cogent Food & Agriculture. 5(1): 1-13.

[36] Berk, Z. (2016). Citrus fruit processing. Academic Press, London.

[37] Somogyi, L., Ramaswamy, H.S. and Hui, Y.H. (1996). Processing fruits: science and technology. Taylor & Francis, UK.

[38] Shaha, R.K., Punichelvana, Y. and Afandi, A. (2013). Optimized extraction condition and characterization of pectin from Kaffir lime (Citrus hystrix). Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences. 1(2): 1-11.

[39] Sukboonyasatit, D., Pornnikom, N. and Natyay, N. (2018). Chemical and physical properties of pectin from okra. Khon Kaen Agriculture Journal. 46(1): 1418-1423. (in Thai).

[40] Suwannarat, Y., Sawasdikarn, J. and Suwannarat, R. (2019). Extraction and application of pectin from durian rind. Rajabhat Rambhai Barni Research Journal. 13(2): 25-37. (in Thai).

[41] Abdulslam, J. and Banjong, K. (2017). Factors affect pectin extraction process from ripen sugarpalm by water without pH adjusting. Journal of Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology). 9(18): 24-34. (in Thai).

*Corresponding author e-mail: phornpan.j@nsru.ac.th

[1]Program of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhorn Sawan Rajabhat University

[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University