บทความวิจัย (Research Article)

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยหอมทองด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริก

Optimization of Pectin Extraction from 'Hom Thong' Banana Peel with Hydrochloric Acid and Citric Acid

นวลกมล อำนวยสิน*, ณัฐญาภรณ์ เสือชุมแสง และเทพปัญญา เจริญรัตน์

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Nuankamol Amnuaysin*, Natthayaporn Suachumsang and Theppanya Charoenrat

Department of Biotechnology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

กล้วยหอมทอง (*Musa acuminata*, AAA group) เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยผลกล้วยสดประกอบด้วยส่วนของเปลือกถึง 30 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเปลือกกล้วยจำนวนมากนี้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำเปลือกกล้วยหอมทองมาใช้เป็นแหล่งในการผลิตเพกทิน โดยศึกษาผลของชนิดของกรด (กรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริก) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (85-95 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา (60-180 นาที) และ pH (1.0-3.0) ต่อปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิลของเพกทินด้วยการวางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) จากการทดลองพบว่ากรดซิตริกมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรดไฮโดรคลอริกในการสกัดเพกทิน โดยเพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริกมีลักษณะทางกายภาพที่ดีและมีปริมาณผลผลิตสูง การสกัดเปลือกกล้วยหอมทองด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริกได้เพกทินชนิดที่มีเมทอกซิลสูง (high methoxyl pectin, HMP) และเพกทินชนิดที่มีเมทอกซิลต่ำ (low methoxyl pectin, LMP) ตามลำดับ โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิลของเพกทิน คือ pH นอกจากนี้อุณหภูมิและระยะเวลาที่สูงขึ้นสามารถกระตุ้นปริมาณผลผลิตเพกทินและปริมาณเมทอกซิลให้เพิ่มสูงขึ้นได้ เมื่อพิจารณาจากปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิล การใช้กรดไฮโดรคลอริก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส pH 2.03 ระยะเวลา 130 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินชนิด HMP โดยได้ปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิล 14.04 และ 9.24 % ตามลำดับ และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินชนิด LMP ที่มีปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิลสูงสุดคือ การใช้กรดซิตริก ที่อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส pH 3.0 ระยะเวลา 150 นาที (16.61 และ 6.09 % ตามลำดับ)

คำสำคัญ : กล้วยหอมทอง; การสกัดเพกทิน; สภาวะที่เหมาะสม; ปริมาณผลผลิต; ปริมาณเมทอกซิล

**Corresponding author: nuankamol_m@hotmail.com*
DOI: 10.14456/tjst.2018.45

Abstract

Banana (*Musa acuminata*, AAA group, cultivar 'Hom Thong') is one of the most economically important fruit of Thailand. Banana peels represent 30 % of the total weight of fresh banana and the large amount of these peels possesses environmental problem. This research focused on the potential of 'Hom Thong' banana peel to be a source of pectin. Effects of acids (hydrochloric acid and citric acid), extraction temperature (85-95 °C), time (60-180 min) and pH (1.0-3.0) on yield and methoxyl content of extracted pectin were determined using central composite design (CCD). It was found that citric acid was more effective in pectin extraction than hydrochloric acid. Extracted pectin from banana peels with citric acid showed a good physical property and had a high yield. High methoxyl pectin (HMP) and low methoxyl pectin (LMP) were obtained when the peels were extracted by hydrochloric acid and citric acid, respectively. The extraction pH was the main factor affecting yield and methoxyl content of pectin. Furthermore, higher temperatures and times could enhance pectin yield and methoxyl content. By considering yield and methoxyl content, the use of hydrochloric acid at 90 °C, pH 2.03 with an extraction time of 130 min was the optimal condition for HMP extraction. The yield and methoxyl content under this condition were 14.04 and 9.24 %, respectively. The optimal condition which produced LMP with maximum value of yield and methoxyl content was the use of citric acid at 93 °C, pH 3.0 with an extraction time of 150 min (16.61 and 6.09 %, respectively).

Keywords: 'Hom Thong' banana; pectin extraction; optimal condition; yield; methoxyl content

1. คำนำ

กล้วยหอมทองเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศ มีการจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ สร้างรายได้ให้แก่ผู้ผลิตเป็นจำนวนมาก โดยกล้วยสามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย จากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ในปี พ.ศ. 2559 พบว่ามีการใช้กล้วยหอมในประเทศไทย 113,703 ตัน และมีการส่งออกกล้วยหอมสด 3,725 ตัน คิดเป็นมูลค่า 81.40 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) โดยส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ คือ ส่วนเนื้อผลทำให้เปลือกกล้วย ซึ่งคิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ ของผลกล้วย กลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการใช้งาน และเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเปลือกกล้วยมีปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รวมถึงมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูง จึงทำให้เป็นแหล่งสะสมของจุลินทรีย์ (Gonzalez-Montelongo *et al.*, 2010) การนำเปลือกกล้วยไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งของสารสำคัญ เช่น เพกทิน เซลลูโลส และสารประกอบฟีนอลิก จึงได้รับความสนใจมากขึ้นทั้งในแง่ของเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม (Oliveira *et al.*, 2016)

เพกทิน (pectin) เป็นพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่ซับซ้อน พบในพืชชั้นสูงเกือบทุกชนิด ประกอบด้วยโฮโมกาแลคทูโรแนน I (homogalacturonan I) แรมโนกาแลคทูโรแนน I (rhamnogalacturonan I) และแรมโนกาแลคทูโรแนน II (rhamnogalacturonan II) เป็นโครงสร้างหลัก โดยเพกทินจะเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์และเป็นส่วนประกอบสำคัญในมิดเดิลลาเมลลา

(middle lamella) เพกทินสามารถแบ่งตามระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชัน (degree of esterification, DE) ได้ 2 ชนิด คือ เพกทินที่มีเมทอกซิลสูง (high methoxyl pectin, HMP) จะมีระดับ DE มากกว่า 50 % ขึ้นไปหรือมีปริมาณเมทอกซิลตั้งแต่ 8.16 % และเพกทินที่มีเมทอกซิลต่ำ (low methoxyl pectin, LMP) ซึ่งมีระดับ DE ต่ำกว่า 50 % หรือมีปริมาณเมทอกซิลน้อยกว่า 8.16 % ความแตกต่างสำคัญระหว่าง HMP กับ LMP คือ กลไกในการเกิดเจล ซึ่งมีผลต่อการนำเพกทินไปใช้ประโยชน์ โดยเพกทินสามารถเกิดเป็นเจลได้เมื่อสายของโมเลกุลเกิดการสร้างพันธะและก่อตัวสร้างโครงข่ายสามมิติที่มีน้ำและตัวถูกละลายอยู่ภายใน (Pereira *et al*., 2016) ซึ่ง HMP สามารถเกิดเจลได้โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนและแรงไฮโดรโฟบิกระหว่างหมู่เมทอกซิลในสภาวะที่มีปริมาณน้ำตาลสูงและ pH ต่ำกว่า 3.5 ส่วน LMP จะเกิดเจลได้เมื่อมีไอออนของโลหะอยู่ด้วย โดยจะเกิดการสร้างพันธะไอออนิกระหว่างไอออนของแคลเซียมและหมู่คาร์บอกซิล (Lofgren and Hermansson, 2007) จากสมบัติของเพกทินที่สามารถเกิดเป็นเจลได้ในสภาวะที่เหมาะสม จึงทำให้มีการใช้เพกทินอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และยา โดยทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด (thickener) สารทำให้เกิดเจล (gelling agent) สารให้ความคงตัว (stabilizer) และสารเคลือบผิว (coating material) (ศิวะเทพ และกิตติชัย, 2557)

ปัจจุบันประเทศไทยยังต้องนำเข้าเพกทินจากต่างประเทศที่มีราคาค่อนข้างสูง โดยราคาของเพกทินขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตและคุณภาพของเพกทิน ซึ่งประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก รวมทั้งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งในการผลิตเพกทินได้ โดยงานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินมีการศึกษาในพืชหลายชนิด เช่น การศึกษาของ Woo และคณะ (2010) ในแก้วมังกรพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน คือ การใช้กรดซิตริก ที่ pH 3.5 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัด 60 นาที ส่วนสภาวะที่ทำให้ได้ปริมาณเมทอกซิลสูงที่สุด คือ การสกัดด้วยกรดซิตริก ที่ pH 4.0 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 120 นาที ต่อมาในปี ค.ศ. 2015 Castillo-Israel และคณะ ศึกษาการสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วย พบว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล pH 1.5 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัด 240 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน สำหรับเปลือกทับทิม สภาวะที่เหมาะสมที่สามารถสกัดเพกทินได้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด คือ การสกัดด้วยกรดซิตริก ที่อุณหภูมิ 88 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 120 นาที และ pH 2.5 (Pereira *et al*., 2016) นอกจากนี้การใช้กรดซิตริก ที่ pH 1.3 ระยะเวลา 80 นาที และอุณหภูมิในการสกัด 80 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเพกทินจากแครอท (Jafari *et al*., 2017) จากงานวิจัยเหล่านี้จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพกทิน คือ ชนิดของกรด อุณหภูมิ ระยะเวลา และ pH โดยงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยหลายสายพันธุ์ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการรายงานเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยหอมทองในระยะสุกเหลืองทั้งผลซึ่งเป็นระยะที่สอดคล้องกับการบริโภคกล้วยหอมทองในประเทศไทยและเป็นของเหลือทิ้งจากการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ในการนำเปลือกกล้วยหอมทองสุกมาใช้ประโยชน์ในการสกัดเพกทิน โดยศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ในการสกัดเพกทินต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ รวมทั้งปริมาณเมทอกซิลที่มีอยู่ในเพกทินซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะที่ส่งผลต่อการเกิด

เจลและการละลายน้ำของเพกทิน เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการสกัดกับปริมาณผลผลิต และได้ช่วงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ก่อนที่จะมีการศึกษาต่อไปถึงสมบัติของเพกทินจากเปลือกกล้วยหอมทองสุกเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า ซึ่งงานวิจัยนี้นอกจากเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่เปลือกกล้วยหอมทอง และลดปริมาณของเสียเหลือทิ้งจากการใช้งานแล้ว อาจเป็นแนวทางในการใช้เปลือกกล้วยหอมทองเป็นแหล่งผลิตเพกทินเพื่อเพิ่มการผลิตเพกทิน ลดปริมาณการนำเข้าอีกด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างเปลือกกล้วยหอมทอง

นำเปลือกกล้วยหอมทอง (*Musa acuminata*, AAA group, Gros Michel subgroup) ในระยะสุกเหลืองทั้งผล (all yellow stage) มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียด เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2.2 การเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์

เตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol insoluble solid, AIS) ตามวิธีของ Happi Emaga และคณะ (2008) โดยนำเปลือกกล้วยหอมทองที่ปั่นละเอียดแล้วมาเติม 95 % เอทานอล ในอัตราส่วน 1 : 40 เพื่อกำจัดสารที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ โดยนำไปต้มเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งให้เย็นก่อนนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นล้างตะกอนด้วย 70 % เอทานอล 96 % เอทานอล และอะซิโตน ตามลำดับ นำตะกอนที่ผ่านการล้างแล้วมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปใช้ในการสกัดเพกทิน

2.3 การสกัดเพกทิน

การสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยหอมทองจะหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยวางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) และศึกษาปัจจัย 4 ปัจจัย ประกอบด้วย numeric factor 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (85-95 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา (60-180 นาที) และ pH (1.0-3.0) และ categoric factor 1 ปัจจัย คือ ชนิดของกรด (กรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริก) ซึ่งจะได้จำนวนชุดการทดลองทั้งหมด 40 ชุดการทดลอง ในขั้นตอนของการสกัดทำตามวิธีของ Happi Emaga และคณะ (2008) โดยนำ AIS มาเติมน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1 : 29 ปรับ pH ด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือกรดซิตริก แล้วนำตัวอย่างไปสกัดเพกทินที่อุณหภูมิ และระยะเวลาแตกต่างกันตามชุดการทดลอง ด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า จากนั้นทิ้งให้เย็น แล้วกรองเอาตะกอนออก นำสารละลายมาปรับ pH เป็น 3.5 ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เติม 96 % เอทานอล 4 เท่าของปริมาตรสารละลาย เพื่อตกตะกอนเพกทิน กรองตะกอนเพกทินที่ได้ด้วยผ้าไนลอน แล้วนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze dryer)

2.4 การวิเคราะห์เพกทินที่สกัดได้

2.4.1 ปริมาณผลผลิตเพกทิน

ชั่งน้ำหนักเพกทินที่สกัดได้ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณเปลือกกล้วยหอมทองที่ใช้ แล้วคำนวณปริมาณผลผลิต (yield) ตามสมการด้านล่าง

ปริมาณผลผลิต = (ปริมาณเพกทินที่สกัดได้ ÷ ปริมาณเปลือกกล้วยหอมทองที่ใช้) x 100

2.4.2 ปริมาณเมทอกซิล (ขนิษฐา, 2545)

ชั่งเพกทินที่ได้จากการสกัด 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม 99 % เอทานอล 0.4 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 3 หยด แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นปริมาตรที่ 1 จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ 2 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที แล้วเติมสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ 2 มิลลิลิตร เขย่าจนสีชมพูหายไป หยดฟีนอล์ฟทาลีนอีก 3 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นปริมาตรที่ 2 จากนั้นคำนวณระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชัน (degree of esterification, % DE) ตามสมการด้านล่าง

% DE = [สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตรที่ 2 ÷ (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตรที่ 1 + สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตรที่ 2)] x 100

นำค่า % DE ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบเพื่อหาปริมาณเมทอกซิลจากตารางความสัมพันธ์ระหว่าง % DE และปริมาณเมทอกซิล (พวงทอง และคณะ, 2541)

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) เพื่อใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตเพกทิน ปริมาณเมทอกซิลกับปัจจัยที่ศึกษา แล้วสร้างพื้นผิวตอบสนองเพื่อแสดงความสัมพันธ์และหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

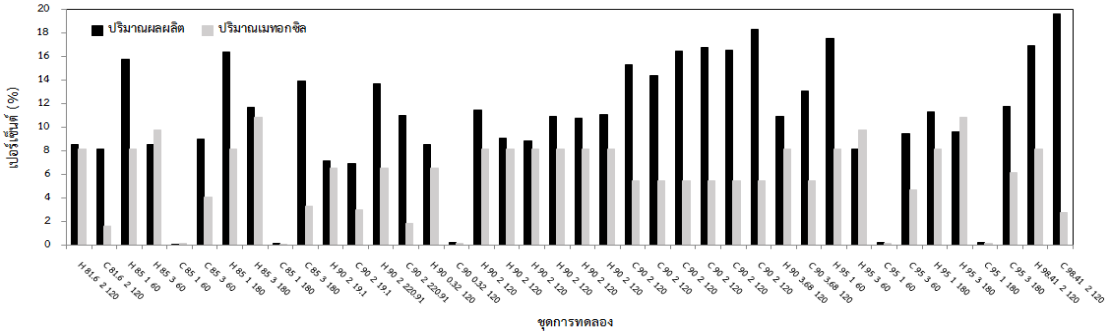
3.1 ปริมาณผลผลิตเพกทิน

การศึกษาการสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยหอมทอง โดยใช้ชนิดของกรด อุณหภูมิ ระยะเวลา และ pH ที่แตกต่างกัน พบว่าเพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริกมีลักษณะทางกายภาพที่ดี สีขาว และมีปริมาณผลผลิตค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก (รูปที่ 1) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Virk และ Sogi (2004) ที่พบว่ากรดซิตริกมีประสิทธิภาพดีกว่ากรดไฮโดรคลอริกในการสกัดเพกทินจากเปลือกแอปเปิ้ล

รูปที่ 1 ลักษณะของเพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริก pH 3.0 (รูปบน) เปรียบเทียบกับเพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก pH 2.0 (รูปล่าง)

ปริมาณผลผลิตของเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกกล้วยหอมทองจะมีค่าอยู่ในช่วง 6.93 ถึง 19.63 % ซึ่งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Oliveira และคณะ (2016) ในเปลือกกล้วย (*Musa acuminate*, AAA group) ที่มีปริมาณผลผลิตของเพกทินอยู่ในช่วง 5.2 ถึง 12.2 % อาจเนื่องมาจากสายพันธุ์ของกล้วยที่ใช้เป็นคนละสายพันธุ์และสภาวะในการสกัดแตกต่างกัน จากการศึกษานี้พบว่าการใช้กรดซิตริกที่อุณหภูมิ 98.41 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ที่ pH 2.0 สามารถสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยหอมทองได้

ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด คือ 19.63 % รองลงมา คือ การใช้กรดซิตริก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ที่ pH 2.0 โดยจะได้ผลผลิตเพกทิน 18.28 % (รูปที่ 2) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการสกัดด้วยกรดซิตริกจะได้ปริมาณผลผลิตเพกทินสูงกว่าการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกซึ่งเป็นกรดแก่ สอดคล้องกับการศึกษาของ Virk และ Sogi (2004) และ Schemin และคณะ (2005) ที่เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตเพกทินที่สกัดจากแอปเปิ้ลด้วยกรดต่างชนิดกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากการสกัดด้วยกรดแก่ทำให้ความสามารถในการละลายของเพกทินเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ไม่สามารถตกตะกอนได้โดยการเติมเอทานอล จึงทำให้ปริมาณผลผลิตเพกทินที่ได้น้อยกว่าการสกัดด้วยกรดอ่อน (Kliemann *et al*., 2009)



รูปที่ 2 ปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยชนิดของกรด (H: กรดไฮโดรคลอริก; C: กรดซิตริก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) pH และระยะเวลา (นาที) ที่แตกต่างกัน

3.2 ปริมาณเมทอกซิล

การวิเคราะห์ปริมาณเมทอกซิล พบว่าเพกทินที่สกัดจากเปลือกกล้วยหอมทองด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นเพกทินชนิดที่มีเมทอกซิลสูงหรือ HMP ที่มี % DE อยู่ในช่วงระหว่าง 50 ถึง 70 % ซึ่งงานวิจัยของ ณรงค์ และเมธินี ในปี พ.ศ. 2548 ก็พบว่าเพกทินที่สกัดจากเปลือกฝรั่งด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเพกทินชนิด HMP รวมทั้งการสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยด้วยกรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นกรดแก่ ที่ pH 1.5-2.0 อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 1-4 ชั่วโมง ก็ได้เพกทินชนิด HMP เช่นเดียวกัน (Happi Emaga *et al*., 2008) โดยในงานวิจัยนี้ การใช้กรดโฮโดรคลอริก ที่ pH 3.0 ในช่วงอุณหภูมิ 85-95 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดตั้งแต่ 60 นาทีขึ้นไป สามารถสกัดเพกทินชนิด HMP ได้ปริมาณเมทอกซิลสูงสุด (9-11 %) (รูปที่ 2) และมีปริมาณใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า ที่มีปริมาณเมทอกซิล 11.50±0.13 % (ธานุวัฒน์ และคณะ, 2556) สำหรับการสกัดโดยใช้กรดซิตริก พบว่าได้เพกทินชนิดที่มีเมทอกซิลต่ำหรือ LMP (% DE 10 ถึง 38 %) ซึ่งสภาวะที่สามารถสกัดเพกทินชนิด LMP ที่มีปริมาณเมทอกซิลสูงสุด คือ ช่วงอุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส pH 2.0-3.0 และระยะเวลาในการสกัด 90 นาทีขึ้นไป โดยมีปริมาณเมทอกซิลประมาณ 5-7 % (รูปที่ 2) สอดคล้องกับรายงานของ Raji และคณะ (2017) ที่ศึกษาการสกัดเพกทินจากเปลือกเมล่อน และพบว่าการใช้กรดซิตริก อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส สามารถสกัดเพกทินชนิด LMP ได้ แต่ตรงข้ามกับการศึกษาของ Khamsucharit

และคณะ (2017) ที่พบว่าเพกทินที่สกัดจากเปลือกกล้วยหอมทองดิบ (green stage) ด้วยกรดซิตริกเป็นเพกทินชนิด HMP โดยอาจเป็นผลมาจากระยะการสุกที่แตกต่างกัน ซึ่งในการศึกษานี้ใช้เปลือกกล้วยหอมทองในระยะสุกเหลืองทั้งผล (all yellow stage) ทำให้เพกทินที่ได้เป็นคนละชนิดกัน เนื่องจากผลไม้เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุก (ripening) โครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์ รวมถึงในมิดเดิลลาเมลลาจะเกิดการเปลี่ยนแปลง สังเกตได้จากผลไม้ที่สุกความแน่นเนื้อจะลดลง และเกิดการนิ่มลงของผล

3.3 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Design Expert

นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจะทำให้ทราบว่าปัจจัยที่ศึกษา (ชนิดของกรด อุณหภูมิ ระยะเวลา และ pH) หรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณผลผลิตเพกทิน และปริมาณเมทอกซิล โดยถ้า *p*-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นหรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่นั้น มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

การวิเคราะห์ผลของชนิดของกรด อุณหภูมิ ระยะเวลา และ pH ต่อปริมาณผลผลิตเพกทิน พบว่า pH และอันตรกิริยาระหว่าง pH และชนิดของกรดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณผลผลิตเพกทิน (p-value < 0.05) และจากการวิเคราะห์แบบถดถอย เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษาต่อปริมาณผลผลิตเพกทิน จะได้สมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับปริมาณผลผลิตเพกทิน เมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริกในการสกัดตามสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดย R^2 มีค่าเท่ากับ 0.8132

สมการที่ 1 : ปริมาณผลผลิต = $120.34 - 2.37X_1 - 0.29X_2 - 5.58X_3 + 0.997X_1X_2 + 0.994X_1X_3 - 0.02X_2X_3 + 0.01X_1^2 + 0.994X_2^2 - 2.09X_3^2$

สมการที่ 2 : ปริมาณผลผลิต = $146.93 - 2.50X_1 - 0.29X_2 - 11.81X_3 + 0.995X_1X_2 + 0.994X_1X_3 - 0.02X_2X_3 + 0.01X_1^2 + 0.994X_2^2 + 2.09X_3^2$

เมื่อ X_1 = อุณหภูมิ (°C); X_2 = ระยะเวลา (นาที); X_3 = pH

สำหรับปริมาณเมทอกซิล พบว่าอุณหภูมิ pH ชนิดของกรด และอันตรกิริยาระหว่าง pH และชนิดของกรดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณเมทอกซิล (p-value < 0.05) และจากการวิเคราะห์แบบถดถอยจะได้สมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับปริมาณเมทอกซิล เมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริกในการสกัดตามสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9180

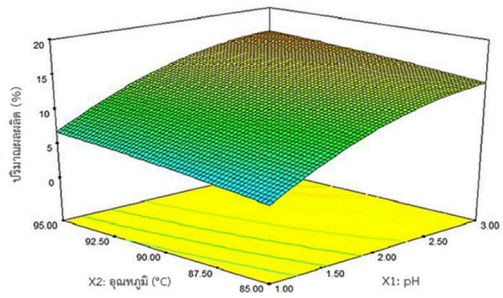
สมการที่ 3 : ปริมาณเมทอกซิล = $165.16 - 3.97X_1 + 0.01X_2 + 1.78X_3 - 0.994X_1X_2 - 004\ X_1X_3 - 0.997X_2X_3 + 0.02X_1^2 + 0.999X_2^2 + 0.38X_3^2$

สมการที่ 4 : ปริมาณเมทอกซิล = $185.06 - 4.12X_1 + 0.01X_2 + 0.62X_3 - 0.994\ X_1X_2 - 0.04\ X_1X_3 - 0.997X_2X_3 + 0.02X_1^2 + 0.999X_2^2 + 0.38X_3^2$

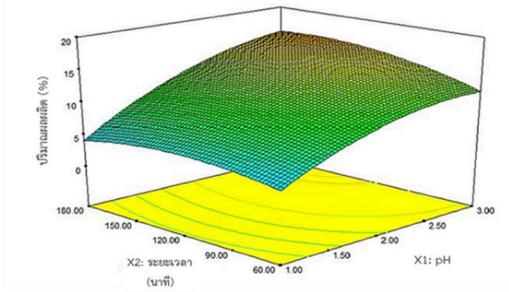
เมื่อ X_1 = อุณหภูมิ (°C); X_2 = ระยะเวลา (นาที); X_3 = pH

เมื่อสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองของปริมาณผลผลิตเพกทินระหว่าง pH และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด พบว่าปริมาณผลผลิตเพกทินที่สกัดโดยใช้กรดซิตริก ที่ระยะเวลา 120 นาที จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH และอุณหภูมิสูงขึ้น (รูปที่ 3) และจากกราฟพื้นผิวตอบสนองของปริมาณผลผลิตเพกทินระหว่าง pH และระยะเวลา โดยใช้กรดซิตริก และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ในการสกัด พบว่าเมื่อ pH และ

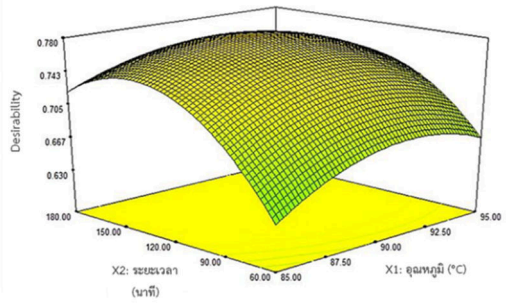
ระยะเวลาในการสกัดสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณผลผลิตของเพกทินเพิ่มขึ้นด้วย (รูปที่ 4) โดยอุณหภูมิและระยะเวลาที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้สามารถสกัดเพกทินได้เพิ่มมากขึ้น และจากการนำข้อมูลปริมาณผลผลิตเพกทินร่วมกับปริมาณของเมทอกซิลที่ได้มาทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน โดยพิจารณาจากค่า desirability ซึ่งเป็นค่าความพึงพอใจที่ไม่มีหน่วย และมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เมื่อกำหนดค่าตอบสนอง คือ ปริมาณผลผลิต และปริมาณเมทอกซิลให้ได้ค่าสูงสุด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินชนิด HMP คือ การสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ pH 2.03 โดยเมื่ออุณหภูมิ และระยะเวลาในการสกัดสูงขึ้น ปริมาณผลผลิตเพกทินและปริมาณเมทอกซิลจะเพิ่มขึ้นด้วย (รูปที่ 5) และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินชนิด HMP ให้มีปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิลสูงที่สุด คือ การใช้กรดไฮโดรคลอริก ที่ pH 2.03 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 130 นาที ซึ่งจะได้ปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิลเท่ากับ 14.04 และ 9.24 % ตามลำดับ



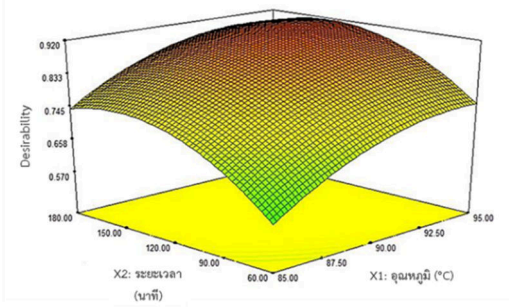
รูปที่ 3 พื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH และอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตเพกทิน เมื่อสกัดด้วยกรดซิตริกที่ระยะเวลา 120 นาที



รูปที่ 4 พื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH และระยะเวลาต่อปริมาณผลผลิตเพกทิน เมื่อสกัดด้วยกรดซิตริกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5 พื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาต่อค่าความพึงพอใจ (desirability) เมื่อสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ pH 2.03



รูปที่ 6 พื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาต่อค่าความพึงพอใจ (desirability) เมื่อสกัดด้วยกรดซิตริก ที่ pH 3.0

สำหรับเพกทินชนิด LMP สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ การใช้กรดซิตริก ที่ pH 3.0 โดยอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิลของเพกทินชนิด LMP เพิ่มขึ้นด้วย (รูปที่ 6) และการใช้อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 150 นาที ในการสกัดจะได้เพกทินชนิด LMP ที่มีปริมาณผลผลิตและปริมาณเมทอกซิลสูงที่สุด (16.61 และ 6.09 % ตามลำดับ)

4. สรุป

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกกล้วยหอมทอง โดยใช้ชนิดของกรด อุณหภูมิ ระยะเวลา และ pH ที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้กรดซิตริก อุณหภูมิ 98.41 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 120 นาที และ pH 2.0 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตเพกทินสูงสุด และเมื่อพิจารณาจากปริมาณผลผลิตเพกทินและปริมาณเมทอกซิล การใช้กรดไฮโดรคลอริก ที่ pH 2.03 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 130 นาที และการใช้กรดซิตริก ที่ pH 3.0 อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 150 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินชนิด HMP และ LMP ที่มีปริมาณผลผลิตเพกทินและปริมาณเมทอกซิลสูงที่สุด ตามลำดับ

5. รายการอ้างอิง

ขนิษฐา เลิกชัยภูมิ, 2545, การสกัดเพคตินจากส้มมะงั่วและการใช้ประโยชน์ในระบบอาหาร, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ณรงค์ ศิริรัมย์ และเมธินี เห่วซึ่งเจริญ, 2548, การสกัดและสมบัติของเพกทินจากกากฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล, ปฏิมา ทองขวัญ และศิริลักษณ์ สรงพรมทิพย์, 2556, การสกัดเพคตินจากเปลือกผักและผลไม้, ว.วิทยาศาสตร์เกษตร 44(2)(พิเศษ): 433-436.

พวงทอง ใจสันติ์, จิตรา กลิ่นหอม และอัจฉรา เทียมภักดี, 2541, การทดสอบการใช้เพกทินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสในการผลิตแยม, รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ศิวะเทพ เรืองพรหม และกิตติชัย บรรจง, 2557, การเปรียบเทียบคุณลักษณะและผลผลิตของเพกตินจากเปลือกตาลดิบที่ใช้แอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนเอธิลแอกอฮอล์ 95% ในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง, ว.เกษตรพระจอมเกล้า 32(1): 50-58.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559, สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า, เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 402, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 111 น.

Castillo-Israel, K.A.T., Baguio, S.F., Diasanta, M.D.B., Lizardo, R.C.M., Dizon, E.I. and Mejico, M.I.F., 2015, Extraction and characterization of pectin from Saba banana [*Musa 'saba'* (*Musa acuminate* x *Musa balbisiana*)] peel wastes: A preliminary study, Food Res. Int. 22: 202-207.

Gonzalez-Montelongo, R., Lobo, M.G. and Gonzalez, M., 2010, Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds, Food Chem. 119: 1030-1039.

Happi Emaga, T., Ronkart, S.N., Robert, C., Wathelet, B. and Paquot, M., 2008, Characterisation of pectins extracted from

banana peels (*Musa AAA*) under different conditions using an experimental design, Food Chem. 108: 463-471.

Jafari, F., Khodaiyen, F., Kiani, H., and Hosseini, S.S., 2017, Pectin from carrot pomace: optimization of extraction and physicochemical properties, Carbohydr. Polymers 157: 1315-1322.

Kliemann, E., Nunes de Simas, K., Amante, E.R., Prudencio, E.S., Teofilo, R.F., Ferreira, M.M.C. and Amboni, R.D.M.C., 2009, Optimisation of pectin acid extraction from passion fruit peel (*Passiflora edulis* flavicarpa) using response surface methodology, Int. J. Food Sci. Technol. 44: 476-483.

Lofgren, C. and Hermansson, A.M., 2007, Synergistic rheological behavior of mixed HM/LM pectin gels, Food Hydrocoll. 21: 480-486.

Oliveira, T.I.S., Rosa, M.F., Cavalcante, F.L., Pereira, P.H.F., Moates, G.K., Wellner, N., Mazzetto, S.E., Waldron, K.W. and Azeredo, H.M.C., 2016, Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology, Food Chem. 198: 113-118.

Pereira, P.H.F., Oliveira, T.I.S., Rosa, M.F., Cavalcante, F.L., Moates, G.K., Wellner, N. and Waldron, K.W., 2016, Pectin extraction from pomegranate peels with citric acid, Int. J. Biol. Macromol. 88: 373-379.

Raji, Z., Khodaiyan, F., Rezaei, K., Kiani, H. and Hosseini, S.S., 2017, Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from melon peel, Int. J. Biol. Macromol. 98: 709-716.

Schemin, M.H.C., Fertonani, H.C.R., Waszczynskyj, N. and Wosiacki, G., 2005, Extraction of pectin from apple pomace, Braz. Arch. Biol. Technol. 48: 259-266.

Virk, B.S. and Sogi, D.S., 2004, Extraction and characterization of pectin from apple pomace (*Malus pumila* Cv Amari) peel waste, Int. J. Food Prop. 7: 1-11.

Woo, K.K., Chong, Y.Y., Li Hiong, S.K. and Tang, P.Y., 2010, Pectin extraction and characterization from red dragon fruit (*Hylocereus polyrizus*): A preliminary study, J. Biol. Sci. 10(7): 631-636.