

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคติน จากเปลือกส้มเขียวหวานโดยเทคนิคไมโครเวฟร่วม Optimization of Pectin from *Citrus reticulata* Blanco Peels by Microwave-Assisted Extraction

อัจฉรา เหล่าประเสริฐ, ชนวัฒน์ นิตน์วิจิตร,
กาญจนา นาคประสม และนักรบ นาคประสม*

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

เรืองชัย จูวัฒนสำราญ

สาขาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Atchara Laoprasert, Chanawat Nitatwichit,
Kanjana Narkprasom and Nukrob Narkprasom*

Division of Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University,
Nong Han, San Sai, Chiang Mai 50290

Ruangchai Juwattanasomran

Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University,
Nong Han, San Sai, Chiang Mai 50290

บทคัดย่อ

เปลือกส้มเขียวหวานเหลือทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำผลไม้สดนำไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีศักยภาพในการผลิตเพคติน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าโดยการสกัดเพคตินด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วม อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยกำลังไมโครเวฟ เวลาที่ใช้ในการสกัด อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย และ pH ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ และวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน นำมาการวิเคราะห์คัดเลือกปัจจัยและหาสภาวะที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มเขียวหวานเหลือทิ้ง คือ กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด 75 วินาที อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย 1:42.5 กรัมต่อมิลลิลิตร และ pH 1 ปริมาณผลผลิตเพคตินที่สกัดได้สูงสุด 17.67 เปอร์เซ็นต์ งานวิจัยนี้

สามารถนำไปพัฒนากระบวนการสกัดสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกส้มเขียวหวาน เพื่อนำไปใช้ผสมในเครื่องสำอางหรือผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ซึ่งมีประโยชน์ในด้านการเพิ่มรายได้และลดการกำจัดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำผลไม้

คำสำคัญ : การสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วม; เปลือกส้มเขียวหวานเหลือทิ้ง; การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน; การหาสภาวะที่เหมาะสม

Abstract

Citrus reticulata Blanco peels are the main by-product of the industrial beverage of fruit processing, which are rich in bioactive compound that have the potential to produce pectin. The objective of this research was to increase the value of pectin by microwave assisted extraction. The effects of extraction variables (microwave power, irradiation time, solid-liquid ratio and pH) were studied. The factorial 2 levels and Box-Behnken design were applied to analyze the level of significant variables and optimum condition. The result found that the highest pectin yield of 17.67 % from *Citrus reticulata* Blanco peels was obtained at microwave power of 450 W, irradiation time of 75 s, solid-liquid ratio of 1 : 42.5 g/mL and pH of 1. This research can be used to develop the process of extracting bioactive substances from tangerine peels for use in cosmetics or dietary supplements that are not harmful to consumers which it is useful in increasing income and reducing waste disposal in the juice industry.

Keywords: microwave-assisted extraction; *Citrus reticulata* peels waste; pectin; Box-Behnken design; optimization

1. บทนำ

ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata* Blanco) เป็นผลไม้ที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมากในภาคเหนือของประเทศไทย เนื่องจากมีรสชาติหอมหวานเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ทั้งมีสรรพคุณทางยา โดยส่วนเปลือกใช้เป็นยาแก้ลมวิงเวียน หน้ามืด ใช้เป็นยาแก้อาเจียนและใช้เป็นยาขับลม ท้องอืดแน่นเพื่อ จุกเสียดแน่นท้อง ส่วนผลสุกไปด้วยวิตามินซี ใช้ป้องกันโรคหวัดและการติดเชื้อแบคทีเรีย ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด บรรเทาอาการกระหายน้ำ ทั้งยังทำให้ระบบการย่อยอาหารของร่างกายทำงานไปเป็นอย่างดีปกติ ดังนั้น

จึงนิยมนำมาแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้นขายตามท้องตลาด ข้อมูลเบื้องต้นพบว่าผลผลิตส้มทั่วโลกประมาณ 51.8 พันล้านตัน นำมาแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น 2 พันล้านตัน โดยอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำส้มนั้น เปลือกส้มเป็นของเสียของกระบวนการประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [1] ซึ่งการเพิ่มมูลค่าจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้เป็นที่ต้องการอย่างมาก เนื่องจากการกำจัดของเสียเป็นจำนวนมากเหล่านี้เพิ่มค่าใช้จ่ายของโรงงานและต้องคำนึงถึงกฎหมายทางอุตสาหกรรม [2] ดังนั้นการแปรรูปของเสียให้มีมูลค่าสูงขึ้นช่วยให้โรงงานลดค่าใช้จ่ายหรืออาจเพิ่มกำไร และเพิ่ม

ผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ที่เป็นทางเลือกของอุตสาหกรรมน้ำมันและผู้บริโภค การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าเปลือกส้ม [1] มีสารสำคัญที่มีศักยภาพแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ อีกทั้งยังมีวัตถุดิบทางการเกษตรและของเหลือทิ้งทางการเกษตรหลากหลายชนิดที่สามารถนำมาสกัดเป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เปลือกและกากผลส้ม เปลือกส้มโอ เปลือกฝรั่ง กากแอปเปิ้ล เปลือกมะละกอ เปลือกมะนาว เปลือกกล้วย เป็นต้น [3] และมีการนำเทคนิคการสกัดผลิตภัณฑ์หลายแบบ ได้แก่ การสกัดแบบให้ความร้อน การสกัดแบบ Soxhlet การสกัดแบบ Ultrasound การสกัดแบบไมโครเวฟร่วม เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ผสมกันแบบซับซ้อนในผนังเซลล์ของพืช ส่วนใหญ่ประกอบด้วย D-กรดกาแลคและน้ำตาลตามธรรมชาติ เช่น L-แรมโนส I-อร่าบินอส และ D-กาแลคโตส ผลิตภัณฑ์นำไปใช้เป็นสารก่อเจล สารอิมัลชัน และตัวทำให้ข้นในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อผลิตแยมและเจลลี่ นอกจากนี้ยังใช้สารก่อเจลในผลิตภัณฑ์เคลือบสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคอ้วน [4] ซึ่งเห็นได้ว่าการเพิ่มมูลค่าของเปลือกส้มที่เป็นของเสียของโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีประโยชน์ในการแปรรูปเป็นสารตั้งต้นของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม [5]

การใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยในการสกัด (microwave-assisted extraction, MAE) โดยให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลน้ำในเซลล์พืชสั่นสะเทือน ทำให้เซลล์แตกออกจากการได้รับความร้อนยิ่งยวด และปล่อยสารสำคัญที่อยู่ภายในออกมา [6] ซึ่งเทคนิคนี้ช่วยในการเพิ่มมูลค่าจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรของกระบวนการอุตสาหกรรม โดยเทคนิคการสกัดแบบไมโครเวฟร่วมเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการสนใจในการสกัดสารสำคัญ เนื่องจากใช้

ระยะเวลาในกระบวนการต่ำ ตัวทำละลายน้อย ผลผลิตสูง และมีคุณภาพกว่า รวมทั้งต้นทุนต่ำกว่าแบบใช้ความร้อนในการสกัด [4]

เทคนิคการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมมีปัจจัยประกอบด้วยกำลังไมโครเวฟ เวลา อัตราส่วนตัวทำละลายต่อวัตถุดิบ ชนิด และความเข้มข้นของตัวทำละลาย ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำให้ต้องมีใช้เทคนิคทางสถิติ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการออกแบบการทดลอง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ถึงปัจจัยสำคัญและลดจำนวนในการทดลอง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นเป็นสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการหาสถานะของกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการ งานวิจัยอื่น ๆ วิธีพื้นผิวตอบสนองใช้ในการหาสถานะที่เหมาะสมเพื่อสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วม ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากเปลือกส้ม [5] คาร์โบไฮเดรตจากของเหลือทิ้งอุตสาหกรรมผลิตแป้งข้าวโพด [7] โพลีฟีนอลจากเปลือกโอ๊ก [8] สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากไซค์เซอร์รี่ [9] เป็นต้น

เนื่องจากปัจจัยในการสกัดผลิตภัณฑ์จากเปลือกส้มเขียวหวานด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วมที่ต้องการศึกษามีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ เพื่อใช้วิเคราะห์คัดเลือกปัจจัยที่สำคัญและวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมของปัจจัยที่สำคัญต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นตัวในการแก้ปัญหาได้สูง มีความสะดวกในการใช้งานกับการทำนายสถานะที่มีปัจจัยหรือตัวแปรที่มีจำนวนมากได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงในการทำนายความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการสกัดผลิตภัณฑ์จากเปลือก

สั้มเขียวหวานเหลือทิ้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วม ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถทำให้เกิดความคุ้มค่าต่อการลงทุน สามารถนำไปต่อยอดเพื่อขยายประสิทธิภาพการสกัดต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำเปลือกสั้มเขียวหวานเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำส้มคั้น (จากตลาดรวมโชค อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่) นำมาล้างทำความสะอาด ใส่ในภาชนะที่ผสมสารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ (KMS) 0.1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นเวลา 10 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเปลือกสั้มแห้งปั่นและกรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด 30 mesh นำผงเปลือกสั้มเก็บบรรจุในภาชนะปิดสนิทเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2 เครื่องสกัดแบบไมโครเวฟร่วม

เครื่องสกัดแบบไมโครเวฟร่วมประกอบด้วยตู้อบไมโครเวฟในครัวเรือน ชุดเครื่องแก้วสกัดสารสำคัญ ระบบน้ำหล่อเย็นของคอนเดนส์เซอร์ ชุดกลั่นใช้เครื่อง Thermo Electron Haake WKL 26 Recirculator Chiller โดยปรับน้ำหล่อเย็นควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส เครื่องสกัดแบบไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 100-800 W โดยใช้ขวดกันกลมขนาด 500 mL เป็นภาชนะในการสกัด

2.3 การสกัดเพคตินจากผงเปลือกสั้ม

ผงเปลือกสั้ม 1 กรัม ใส่ในขวดสกัดกันกลมขนาด 500 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นที่อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลายต่าง ๆ (1:30-50 กรัมต่อมิลลิลิตร) ที่ pH 1 ซึ่ง pH ถูกปรับด้วยกรดซัลฟิวริก 6.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร นำไปสกัดแบบไมโครเวฟร่วมให้ความร้อนที่กำลังไฟฟ้า (300-600 วัตต์) เป็นเวลาที่ใช้ในการสกัด (50-100 วินาที) หลังจากให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

นำตัวอย่างพักไว้ให้เย็น แล้วมาแยกของเหลวกับของแข็งด้วยกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรอง (Whatman® No. 1) รวบรวมของเหลวใส่เก็บ เพคตินหยาบถูกสกัดด้วยเทคนิคตกตะกอน โดยนำของเหลวใส่ผสมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ในอัตราส่วนเท่ากันโดยปริมาตร นำมาหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอน เพคตินจากของเหลว นำเพคตินที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

2.4 การหาปริมาณผลผลิตเพคตินที่สกัดได้

ชั่งน้ำหนักเพคตินที่ถูกทำแห้ง และคำนวณปริมาณผลผลิตในการสกัดเพคตินเปลือกสั้มเขียวหวาน ดังสมการที่ 1 [5]

$$Y = \left(\frac{m_p}{m_{rm}} \right) \times 100 \quad (1)$$

โดย Y คือ ปริมาณผลผลิตเพคติน (%); m_p คือ น้ำหนักของเพคตินที่สกัดได้ (กรัม); m_{rm} คือ น้ำหนักของผงเปลือกสั้มเขียวหวาน (กรัม)

2.5 การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกสั้มเขียวหวาน

คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกสั้มเขียวหวาน โดยศึกษาปัจจัยของกำลังไมโครเวฟ เวลาที่ใช้ในการสกัด อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย และ pH วางแผนการทดลองเชิงเศษส่วนของแฟคทอเรียล 2^{4-1} (fractional factorial experiment) โดยศึกษาระดับของปัจจัยที่ระดับต่ำและระดับสูง ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 1 และวิเคราะห์หาแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบการวิเคราะห์การถดถอย (regression) เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญในการสกัดเพคตินจากเปลือกสั้มเขียวหวาน

2.6 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสม

วิธีพื้นผิวตอบสนองถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกสั้มเขียวหวานเหลือทิ้ง โดย

ทดลอง 3 ชั่วโมง มีปัจจัยสำหรับการศึกษาประกอบด้วย กำลังไมโครเวฟ (X_1) เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย (X_3) ตามลำดับ และกำหนดเป็น 3 ระดับ +1, 0 และ -1 ซึ่งการทำนายค่าสูงสุดในการทดลองนี้เลือกพื้นผิวตอบสนองแบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ และทดลองหาปริมาณเพคตินที่สภาวะต่าง ๆ จำนวน 15 การทดลอง (ตารางที่ 2)

Table 1 Factors and levels for screening of factors affecting

Factors	Levels	
	Low	High
Microwave power, X_1 (Watts)	300	600
Irradiation time, X_2 (seconds)	50	100
Solid-liquid ratio, X_3 (g/mL)	1:30	1:50
pH, X_4	1	2

Table 2 Factors and levels for Box-Behnken design

Factors	Levels		
	-1	0	1
Microwave power, X_1 (Watts)	300	450	600
Irradiation time, X_2 (seconds)	50	75	100
Solid-liquid ratio, X_3 (g/mL)	1:30	1:40	1:50

ปริมาณเพคตินที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองนำมาสร้างสมการพหุนามลำดับที่สอง เพื่อใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสามและการ

ตอบสนอง (Y) สามารถคำนวณปริมาณเพคตินตามสมการที่ 2

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{11} X_{12} + \beta_{22} X_{22} + \beta_{33} X_{32} \quad (2)$$

โดยที่ Y คือ ค่าทำนายการตอบสนอง; β_0 เป็นค่าคงที่; X_1, X_2, X_3 เป็นตัวแปรอิสระ; $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น; $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างตัวแปร; $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์กำลังสอง ซึ่งประสิทธิภาพของการทำนายผลผลิตสูงสุดโดยสมการพหุนามจะพิจารณาจากค่า R^2

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มเขียวหวาน

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยและวิเคราะห์สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 3 พบว่า pH ที่ใช้ในการสกัดให้ความแตกต่างทางสถิติต่อปริมาณของเพคตินที่สกัดได้ ($p < 0.05$) ตามด้วยอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย เวลาที่ใช้ในการสกัด และกำลังไมโครเวฟ ตามลำดับ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปรับลดและปรับเพิ่มด้วยวิธีการ steepest ascent เพื่อหาการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มเขียวหวาน ซึ่งผลการทดลองและการวิเคราะห์ความถดถอยข้างต้น พบว่า pH 1 มีผลต่อปริมาณของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มเขียวหวาน ส่วนปัจจัยกำลังไมโครเวฟ เวลาที่ใช้ในการสกัด และอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลายนำไปศึกษาในวิธีพื้นผิวตอบสนอง

3.2 pH ที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มเขียวหวาน

การศึกษา pH ของสารละลายที่มีผลต่อการสกัดเพคติน พบว่าปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายลดลง (pH 1 และ 2) และเมื่อ pH ของ

Table 3 Results of ANOVA and regression coefficients for screening of factors affecting

Factors	Coefficients	p-value
Intercept	6.87	0.00214
Microwave power, X_1 (Watts)	-0.75	0.35566
Irradiation time, X_2 (seconds)	-0.75	0.35566
Solid-liquid ratio, X_3 (g/mL)	1.5	0.11748
pH, X_4	-2.5	0.03596

สารละลายต่ำกว่า pH 1 ปริมาณการสกัดเพคตินจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Tangwongchai และคณะ [10] ที่ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วและการใช้ประโยชน์ในระบบอาหาร ใช้สภาวะ pH 2 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน โดยเมื่อสกัดที่ pH ต่ำปริมาณไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่มีอยู่ในระบบสูงจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์มากขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ เช่น โปรโตเพคตอนและแคลเซียมเพคตินที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ เป็นผลทำให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณสูง อย่างไรก็ตาม Trakunin ได้รายงานไว้ว่าเมื่อ pH เพิ่มขึ้นไฮโดรเจนไอออนในระบบการสกัดลดลงปริมาณเพคตินที่สกัดลดลงได้ [11] นอกจากนี้ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ Rungrodnimitchai [12] ที่ศึกษาแหล่งที่มาของเพคตินจากเนื้อตาลโตนดด้วยการสกัดไมโครเวฟ เมื่อใช้ pH 2 ในการสกัดจะได้ปริมาณเพคตินมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือก pH 1-2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าที่ pH 1 ได้ปริมาณเพคตินที่สกัดด้วยตัวทำละลายจากเปลือกส้มเขียวหวานมากที่สุด

3.3 ผลของกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟในการสกัดเพคติน

การศึกษากำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟในการสกัดเพคติน พบว่าเมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น (300-600 วัตต์) ปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น แต่เมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มมากกว่า 600 วัตต์ ปริมาณเพคตินมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ความร้อนสามารถทำลายเพคตินจากพืชซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Gfrerer และ Lankmayr [13] ที่รายงานว่าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกถ่ายโอนไปยังโมเลกุลด้วยกลไกชนิดการเหนี่ยวนำเชิงไอออน (ionic conduction) และกลไกการชนกันการหมุนของทั้งสองขั้ว (dipole rotation) ซึ่งส่งผลให้พลังงานกระจายไปภายในตัวทำละลายและผนังแล้วเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุล ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานและความเกิดความร้อนขึ้น ทำให้ผนังเซลล์และเนื้อเยื่อเสียหาย จึงทำให้เพคตินแพร่กระจายเข้าสู่ตัวทำละลาย และทำให้ได้ปริมาณของเพคตินเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกกำลังไมโครเวฟ 300-600 วัตต์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

3.4 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดเพคติน

การศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น (50-100 วินาที) สามารถทำให้เกิดปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาที่ใช้ในการสกัดมากกว่า 100 วินาที ปริมาณเพคตินมีค่าลดลง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Chen และคณะ [14] คือ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นสามารถสกัดเพคตินได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลามากกว่าจุดที่เหมาะสม ความร้อนสามารถทำลายเพคตินจากพืช การสกัดที่เวลาน้อยกว่าทำให้การแพร่ของสารละลายกรดที่ใช้ในการสกัดเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชและการแพร่ของโมเลกุลเพคตินออกจากเนื้อเยื่อพืชเกิดในอัตราที่ต่ำ จึงทำให้ได้ปริมาณเพคตินน้อย แต่เมื่อเพิ่มเวลาของการสกัดให้นานขึ้นพบว่าประสิทธิภาพของการสกัดสูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุล

เพศดินสามารถละลายและแพร่ได้ดีและนาน จนถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณเพศดินสูงที่สุด หลังจากนั้นถึงแม้เพิ่มเวลาในการสกัดก็ไม่มีผลต่อการสกัดเพศดิน [11] ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ใช้ในการสกัด 50-100 วินาที เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

3.5 ผลของอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลายในการสกัดเพศดิน

การศึกษาอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดเพศดิน พบว่าปริมาณของเพศดินเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผงต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น (1:30 - 1:50 กรัมต่อมิลลิลิตร) และเมื่ออัตราส่วนผงต่อตัวทำละลายสูงกว่า 1:50 กรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณการสกัดเพศดินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Maran และคณะ [5] ที่รายงานว่าหากต้องการผลผลิตที่มากขึ้นทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งจะช่วยให้ตัวทำละลายสามารถซึมผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ของพืชได้ดีขึ้น การสกัดสารด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้น กระบวนการสกัดเกิดจากการสัมผัสของสารกับตัวทำละลายที่เกิดจากการแตกของเซลล์ ส่งผลให้สามารถสกัดสารออกมาจากพืช คลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในเซลล์พืช เกิดการขยายตัวเฉพาะที่ และเกิดการขยายตัวของผนังเซลล์ ส่งผลให้สามารถสกัดสารในพืชออกจากเซลล์ ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย 1:30 - 1:50 กรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

3.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพศดินจากเปลือกส้มเขียวหวานเหลือง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพศดินจากเปลือกส้มเขียวหวานเหลืองทั้ง คือ กำลังไมโครเวฟ เวลาที่ใช้ในการสกัด และอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย เมื่อมีการนำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพศดินจากเปลือกส้มเขียวหวานเหลืองทั้งด้วยวิธีพื้นผิวดูดซับ พบว่าผลจากการสกัดปริมาณเพศดินที่

สูงสุด คือ ที่สภาวะกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัดที่ 75 วินาที และอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร ได้ปริมาณเพศดิน (% yield) 16.67 % โดยสภาวะที่สกัดได้ดีที่สุด คือ ที่กำลังไมโครเวฟ 300 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัดที่ 75 วินาที และอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย 1:30 กรัมต่อมิลลิลิตร ได้ค่าปริมาณเพศดิน 4.00 % (ตารางที่ 4) การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์พบว่าสมการพหุนามกำลังสองถูกเลือกมาใช้ในการทำนายหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพศดินโดยวิธีไมโครเวฟร่วมดังสมการที่ 3

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเพศดิน} = & 17.00 + 0.88X_1 - 0.12X_2 \\ & + 1.75X_3 - 1.00X_1X_2 - 1.25X_1X_3 - 0.75X_2X_3 - \\ & 4.25X_1^2 - 2.75X_2^2 - 4.00X_3^2 \end{aligned} \quad (3)$$

โดยมีค่าความเชื่อมั่นที่ R^2 0.926 และจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (ตารางที่ 5) พบว่ากำลังไมโครเวฟกำลังสอง (X_1^2) อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลายกำลังสอง (X_2^2) อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลายเชิงเส้น (X_3) และเวลาที่ใช้ในการสกัดกำลังสอง (X_2^2) มีผลต่อปริมาณเพศดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สมการที่ 2 สามารถแสดงแผนภาพของพื้นผิวดูดซับของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดปริมาณเพศดินดังรูปที่ 1-3 ซึ่งนำมาใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ และที่สำคัญสมการที่ 3 ยังสามารถนำมาใช้ทำนายหาสภาวะที่เหมาะสม โดยทำนายหาสภาวะที่สกัดเพศดินสูงสุดจากตัวแปรของกำลังไมโครเวฟ (X_1) 300-600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 50-100 วินาที และอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย (X_3) 1:30 - 1:50 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมจากการคำนวณของสมการที่ 3 คือ กำลังไมโครเวฟ (X_1) 462.05 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) 73.23 วินาที และอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย (X_3) 1:42.49 กรัมต่อมิลลิลิตร ภายใต้สภาวะนี้สกัด

Table 4 Box-Behnken design for pectin extraction from *Citrus reticulata* Blanco

Run	Microwave power, X_1 (Watts)	Irradiation time, X_2 (seconds)	Solid-liquid ratio, X_3 (g/mL)	Pectin Yields (%)	
				Experimental	Predicted
1	300(-1)	50(-1)	1:40(0)	9.00	8.25
2	600(1)	50(-1)	1:40(0)	13.00	12.00
3	300(-1)	100(1)	1:40(0)	8.67	10.00
4	600(1)	100(1)	1:40(0)	8.67	9.75
5	300(-1)	75(0)	1:30(-1)	4.00	4.88
6	600(1)	75(0)	1:30(-1)	7.67	9.13
7	300(-1)	75(0)	1:50(1)	12.00	10.88
8	600(1)	75(0)	1:50(1)	11.33	10.13
9	450(0)	50(-1)	1:30(-1)	7.67	7.88
10	450(0)	100(1)	1:30(-1)	11.33	9.13
11	450(0)	50(-1)	1:50(1)	11.00	12.88
12	450(0)	100(1)	1:50(1)	11.33	11.13
13	450(0)	75(0)	1:40(0)	16.67	16.67
14	450(0)	75(0)	1:40(0)	16.67	16.67
15	450(0)	75(0)	1:40(0)	16.67	16.67

Table 5 Results of ANOVA and regression coefficients for Box-Behnken design

Factors	Coefficients	P-value
Intercept	17.00	0.00001
X_1	0.88	0.20255
X_2	-0.12	0.84238
X_3	1.75	0.03256
X_1X_2	-1.00	0.28937
X_1X_3	-1.25	0.19872
X_2X_3	-0.75	0.41495
X_1^2	-4.25	0.00473
X_2^2	-2.75	0.02595
X_3^2	-4.00	0.00610

เพคตินได้ 16.938 % ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 พบว่าสามารถวิเคราะห์ทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบไมโครเวฟ โดยที่สภาวะที่ทำให้ได้เพคตินสูงสุด โดยกำหนดให้กำลังไมโครเวฟ 300-600 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด 50-100 วินาที และอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย 1:30 - 1:50 กรัมต่อมิลลิลิตร สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินโดยวิธีไมโครเวฟร่วม คือ ที่กำลังไมโครเวฟ 462.05 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด 73.23 วินาที และอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย 1:42.49 กรัมต่อมิลลิลิตร ภายใต้สภาวะนี้ทำนายการสกัดเพคตินได้ 16.938 % แต่เนื่องจากให้การทดลองไม่สามารถใช้ค่าตามกำหนด จึงปรับค่าที่ใช้ในการทดลองที่ใกล้ไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด 75 วินาที และอัตราส่วนผงต่อตัว

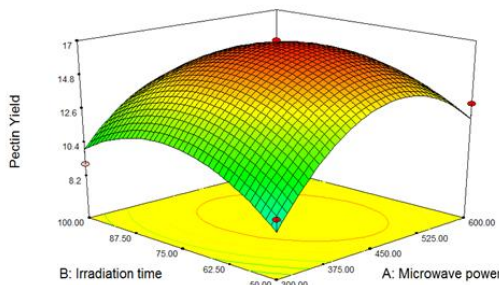


Figure 1 Response surface plot of microwave power and Irradiation time on pectin yields at 1:40 g/mL of

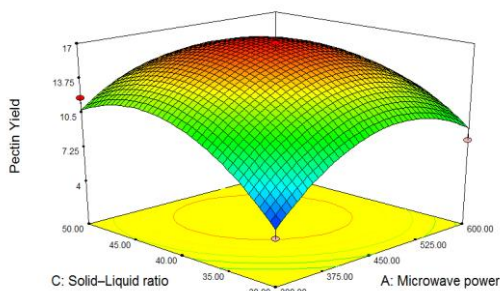


Figure 2 Response surface plot of microwave power and solid-liquid ratio on pectin yields at 75 seconds of Irradiation time

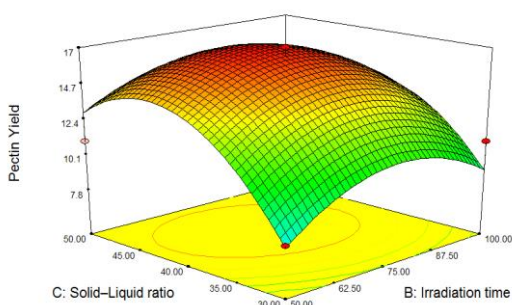


Figure 3 Response surface plot of Irradiation time and solid-liquid ratio on pectin yields at 450 Watts of microwave power

ทำละลาย 1:42.5 กรัมต่อมิลลิลิตร การยืนยันความถูกต้องด้วยการทดลองที่สภาวะดังกล่าว ปรากฏว่าได้เพคติน 17.667 ± 0.577 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการทำนาย โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Maran และคณะ [5] ที่ศึกษาการสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มแมนดาริน (*Citrus reticulata*) โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินด้วยวิธีไมโครเวฟร่วม คือ ที่กำลังไมโครเวฟ 422 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด 169 วินาที pH 1.4 และอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย 1:16.9 กรัมต่อมิลลิลิตร ภายใต้สภาวะนี้สกัดเพคตินได้ 19.24 % ซึ่งต่างกัน เนื่องจากวัตถุดิบ คือ ส้มต่างพันธุ์กันและอุปกรณ์ในการสกัดไม่เหมือนกัน การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ได้นี้สามารถนำไปปรับประยุกต์ใช้ในระดับที่ใหญ่ขึ้นหรือในอุตสาหกรรมในการผลิตเพคตินต่อไป

4. สรุป

เปลือกส้มเขียวหวานเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปทางอุตสาหกรรมเกษตรที่อุดมสมบูรณ์ด้วยเพคติน ซึ่งมีสรรพคุณทางเภสัชวิทยาและสามารถนำมาใช้ในทางโภชนาการเพื่อเพิ่มมูลค่า โดยการสกัดเพคตินด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วม อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยกำลังไมโครเวฟ เวลาที่ใช้ในการสกัด อัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย และ pH 1 การทดลองเบื้องต้นเป็นการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ และวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน นำมาการวิเคราะห์หาคัดเลือกปัจจัยและหาสภาวะที่เหมาะสมการศึกษา ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มเขียวหวานเหลือทิ้ง คือ กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการสกัด 75 วินาที อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย 1:42.5 กรัมต่อมิลลิลิตร ผลผลิตเพคตินที่สกัดได้สูงสุด 17.67 เปอร์เซ็นต์ โดยผลที่ได้จากการวิจัยนี้

สามารถประยุกต์การผลิตเพคติน ซึ่งสามารถนำไปใช้ผสมอาหาร เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) สารข้น (thickener) และสารที่ทำให้เกิดความเสถียร (stabilizer) ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท ได้แก่ แยม เยลลี่ ใช้เป็นสารข้นหนืดของซอส น้ำเชื่อมเข้มข้น น้ำสลัด และใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์นม

และโยเกิร์ต เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ลักษณะโครงการวิจัยใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยครั้งนี้

Table 6 Comparison of optimization between predicted and experimental of pectin yields

	Microwave power, X_1 (Watts)	Irradiation time, X_2 (seconds)	Solid-liquid ratio, X_3 (g/mL)	Pectin Yields (%)
Optimization from predicted	462.05	73.23	1:42.49	16.938
Experimental condition and predicted yields	450	75	1:42.5	16.904
Experimental condition and yields	450	75	1:42.5	17.667±0.577

6. References

- [1] Boukroufa, M., Boutekedjiret, C., Petigny, L., Rakotomanomana, N. and Chemat, F., 2015, Bio-refinery of orange peels waste: A new concept based on integrated green and solvent free extraction processes using ultrasound and microwave techniques to obtain essential oil, polyphenols and pectin, Ultrasonics Sonochem. 24: 72-79.
- [2] Sahraoui, N., Vian, M.A., Maataoui, M.E., Boutekedjiret, C. and Chemat, F., 2011, Valorization of citrus by-products using microwave steam distillation (MSD), Innovat.FoodSci.Emerg.Tech. 12: 163-170.
- [3] Vitthayaprapakorn, C. and Taveekasem somphut, S., 2011, The optimum conditions of extracting pectin from agricultural materials, J. RMUTP Res. (Special Issue): 20-25. (in Thai)
- [4] Hosseini, S.S., Khodaiyan, F. and Yarmand, M.S., 2016, Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties, Carbohydr. Polym. 140: 59-65.
- [5] Maran, J.P., Sivakumara, V., Thirugnana sambandham, K. and Sridhar, R., 2013, Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel, Carbohydr. Polym. 97: 703-709.
- [6] Suede, A., 2017, Microwave-assisted extraction of active compounds from medicinal plants, EAU heritage J. Sci. Tech. 1: 1-14. (in Thai)

- [7] Yoshida, T., Tsubaki, S., Teramoto, Y. and Azuma, J., 2010, Optimization of microwave-assisted extraction of carbohydrates from industrial waste of corn starch production using response surface methodology, *Bioresour. Technol.* 101: 7820-7826.
- [8] Bouras, M., Chadni, M., Barba, F.J., Grimi, N., Bals, O. and Vorobiev, E., 2015, Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from Quercus bark, *Ind. Crop Prod.* 77: 590-601.
- [9] Simic, V.M., Rajkovic, K.M., Stojicevic, S.S., Velickovic, D.T., Nikolic, N.C., Lazic, M.L. and Karabegovic, I.T., 2016, Optimization of microwave-assisted extraction of total polyphenolic compounds from chokeberries by response surface methodology and artificial neural network, *Separ. Purif. Tech.* 160: 89-97.
- [10] Tangwongchai, R., Lerkchaiyaphum, K., Nantachai, K. and Rojanakorn, T., 2006, Pectin extraction from Citron peel (*Citrus medica* Linn.) and its use in food system, *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 28(6): 1351-1363. (in Thai)
- [11] Trakunin, T., 1990, Effect of Sodium Hexa metaphosphate and Ethylenediamine tetraacetic Acid on Pectin Extraction from Pomelo Peel, Master Thesis, Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)
- [12] Rungrodnimitchai, S., 2011, Novel source of pectin from young sugar palm by microwave assisted extraction, *Procedia Food Sci.* 1: 1553-1559.
- [13] Gfrerer, M. and Lankmayr, E., 2005, Screening optimization and validation of microwave assisted extraction for the determination of persistent organo chlorine pesticides, *Anal. Chim. Acta.* 533: 203-211.
- [14] Chen, Y., Xie, M.Y. and Gong, X.F., 2007, Microwave-assisted extraction used for the isolation of total triterpenoid saponins from *Ganoderma atrum*, *J. Food Eng.* 81: 162-170.