

สภาวะที่เหมาะสมของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย
OPTIMIZATION CONDITIONS OF PECTIN EXTRACTED FROM
SUGARCANE LEAVES

เอราวัณ เบ้าทอง^{1,*}, วินัย มีแสง¹, วณิชยา จรุงพงษ์¹, พลอยระดา ภูมี² และ อัจฉรวาดี เครือภักดี³
Erawan Baothong^{1,*}, Winai Meesang¹, Wanichaya Charoonphong¹, Ployrada Phumee²
and Ajcharawadee Kruapukdee³

¹ สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

² สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

³ สาขาพืชศาสตร์ สิ่งทอ และการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

¹ Department of Environment, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University

² General Education Udon Thani Rajabhat University

³ Department of Plant Science Textile and design, Faculty of Agriculture and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus

Received: 19 December 2022

Revised: 22 February 2023

Accepted: 20 March 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย โดยใช้โปรแกรม minitab ออกแบบสภาวะสกัดตามปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยด้าน pH เวลาในการสกัดและอุณหภูมิ ได้ 15 สภาวะ คือ pH อยู่ในช่วง 2-3 เวลาที่ใช้ในการสกัด คือ 30-240 นาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 60-90 °C พบว่าร้อยละผลผลิตที่ดีที่สุด คือ ในสภาวะ 10 มีสภาวะในการสกัด คือ pH เท่ากับ 3.0 เวลาเท่ากับ 30 นาที และอุณหภูมิ 75 °C มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 22.65 และในสภาวะ ที่ 1 มีค่าร้อยละผลผลิตน้อยที่สุด สภาวะในการสกัด คือ pH เท่ากับ 2.5 เวลาเท่ากับ 135 นาที และอุณหภูมิ 75 °C มีร้อยละ

* Corresponding author: เอราวัณ เบ้าทอง

E-mail: zempujin@gmail.com

ผลผลิตเท่ากับ 8.65 และพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากใบอ้อย คือ ปัจจัยด้าน pH และอุณหภูมิ

คำสำคัญ: เพคติน, ใบอ้อย, สภาวะที่เหมาะสม

Abstract

The objective of this research was to find the optimization condition in pectin extracting procession from sugarcane leaves by hydrochloric acid solution. Designed treatment from the Minitab program and following main factor was pH, extraction time, and temperature. There were 15 treatments followed by 2-3 pH, extraction time was 30-240 min and the temperature was 60-90 °C. It was found that the best condition for yield was treatment 10; pH 3.0, extraction time 30 min, temperature 75 °C, and the yield was 22.65 percent. The lowest yield was treatment 1; pH 2.5, extraction time 135 min, 75 °C, and the yield was 8.65 percent. It was found that the main factor for extracting pectin from sugarcane leaves were pH and temperature.

Keywords: Pectin, Sugarcane leaves, Optimization conditions

บทนำ

ปัญหาการเผาใบอ้อยเป็นปัญหาหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านมลพิษอากาศ ก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ฟุ้งกระจายไปตามพื้นที่ชุมชนต่างๆ ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของคนในชุมชนใกล้เคียง สำหรับปัญหาดังกล่าวทั้งภาครัฐและโรงงานน้ำตาลต่างๆ พยายามหาแนวทางในการลดการเผาใบอ้อยลง เช่น การรับซื้ออ้อยที่ไม่มีการเผาในราคาที่สูงกว่าแบบเผา หรือการรับซื้อใบอ้อยจากเกษตรกรเพื่อจูงใจให้เกษตรกรลดการเผาใบอ้อยลง เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวก็ยังคงเกิดขึ้นอยู่ทุกปีในทุกพื้นที่ที่มีการเผาปลุกอ้อย เนื่องจากมูลค่าของใบอ้อยยังไม่มีแรงจูงใจมากเพียงพอที่ทำให้เกษตรกรเลิกการเผา

(จุฑามาศ เลิศอยู่สุข และคณะ, 2561) ดังนั้นการหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของใบอ้อยจึงมีความจำเป็นเร่งด่วนเพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าวลง

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบที่มีอยู่ในใบอ้อยแล้ว พบว่ามีสารไบโอพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น เซลลูโลส และเพคติน เป็นต้น (López-Velázquez et al., 2021) โดยเฉพาะสารเพคตินเป็นสารที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมได้หลากหลายในปัจจุบัน เช่น อุตสาหกรรมอาหาร การผลิตแยม เครื่องดื่ม ยา ไหมละลาย และรวมถึงด้านสิ่งแวดล้อม โดยสามารถนำมาเคลือบเม็ดปุ๋ย เพื่อให้กลายเป็นปุ๋ยละลายช้าซึ่งช่วยลดการสูญเสียในการใช้ปุ๋ยได้ดี (Blanco-Pérez et al., 2021) ซึ่งราคาเพคตินอยู่ในช่วงกิโลกรัมละ 1,500 – 8,000 บาท ขึ้นอยู่กับร้อยละหมู่เอสเทอร์ในสายโซ่พอลิเมอร์ของเพคติน และมีแตกต่างกันไปในแต่ละวัตถุดิบ

ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากใบอ้อยให้มีร้อยละผลผลิตที่สูงที่สุด โดยอาศัยวิธีแบบ Box-Behnken design เพื่อใช้สำหรับการออกแบบการทดลองที่มีตัวแปรมากกว่า 3 ตัวแปรขึ้นไป (Demirel et al., 2022) และให้ผลการวิจัยนี้เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านมลพิษทางอากาศ และฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอนอันเกิดจากการเผาใบอ้อยได้ดียิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมใบอ้อย

เก็บใบอ้อยสดจากไร่อ้อยในเขตอำเภอโนนสะอาด จังหวัดอุดรธานี ช่วงเดือน ตุลาคม พ.ศ.2565 นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำใบอ้อยมาสับหยาบให้มีขนาดความยาว 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นละเอียดยี่ห้อ Nanotech รุ่น NT-010 กำลังไฟ 1500 วัตต์ และเก็บรักษาเนื้อใบอ้อยที่ปั่นได้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อใช้สำหรับขั้นตอนการสกัดต่อไป

ขั้นตอนวิธีการสกัดเพคติน

ชั่งใบอ้อยปั่นที่เตรียมไว้มา 100 กรัม เติมน้ำกลั่น 2,500 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ของน้ำยาสกัดด้วยการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 โมลาร์ ให้ได้ค่า pH ตามสภาวะในตารางที่ 1 ตั้งเวลาในการสกัดและอุณหภูมิที่ใช้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab® เวอร์ชัน 16 (Minitab Inc., State college, PA, USA) จากนั้นดำเนินการสกัดตามสภาวะ

ในตารางที่ 1 เมื่อครบตามกำหนดในแต่ละสภาวะ กรองและคั้นเนื้อใบอ้อยที่ได้ผ่านผ้าขาวบางในขณะที่ยังร้อน เติม 95% เอทิลแอลกอฮอล์เย็น ยี่ห้อ QReC เพื่อใช้ในการตกตะกอนเพคติน ในอัตราส่วนปริมาตร 1:1 จากนั้นนำตะกอนเพคตินไปแช่เย็นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 คืน นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนเพคตินความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ล้างตะกอนเพคตินด้วย 70% เอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำเพคตินไปอบที่ 65 °C ด้วยเตาอบลมร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่อง 0.25 มิลลิเมตร นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละผลผลิต ดังสมการที่ 1 ดังนี้ (Wai et al., 2010):

$$\text{ร้อยละผลผลิต (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักเพคตินที่สกัดได้} \times 100}{\text{น้ำหนักของใบอ้อยที่ใช้สกัด}} \quad (1)$$

คุณลักษณะเบื้องต้นของเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อย

นำเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อยมาตรวจสอบคุณลักษณะหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญเพื่อเป็นการตรวจยืนยันเอกลักษณ์ของสารที่สกัดได้ว่าเป็นสารเพคตินโดยเทียบกับสารมาตรฐานเพคติน ยี่ห้อ LOBA Chemie (Mumbai, India) เลขการผลิต S59001303 ซึ่งมีค่าร้อยละหมู่เอสเทอร์ (Degree of esterification) (%DE) อยู่ในช่วง 63.0 – 66.0% ด้วยเครื่อง Fourier transform-infrared (FTIR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum Two ประเทศสหรัฐอเมริกา

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการวิจัยร้อยละผลผลิตที่ได้แต่ละสภาวะเข้าสู่โปรแกรม Minitab® เวอร์ชัน 16 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบเส้นตรงและเงื่อนไขการปฏิสัมพันธ์วิเคราะห์ด้วยวิธี multiple linear regression (MLR)

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อย

สภาวะ	pH	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ร้อยละผลผลิต
1	2	90	135	8.65
2	2.5	75	135	11.20
3	2.5	75	135	11.26
4	2.5	60	240	13.15
5	2.5	90	240	13.52
6	2	75	30	16.98
7	2.5	60	30	15.01
8	3	75	30	12.18
9	2.5	75	135	11.30
10	2.5	90	30	22.65
11	2	75	240	12.24
12	3	75	240	11.61
13	2	60	135	14.21
14	3	90	135	9.20
15	3	60	135	13.33

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ร้อยละผลผลิตของเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อย

ผลการวิจัยเมื่อทำการสกัดเพคตินจากใบอ้อยจำนวน 15 สภาวะ พบค่าร้อยละผลผลิตดังตารางที่ 1 โดยร้อยละผลผลิตที่มีค่าสูงที่สุดคือสภาวะที่ 10 มีค่าร้อยละผลผลิตเท่ากับ 22.65 ซึ่งมีสภาวะในการสกัดคือ ค่า pH เท่ากับ 2.5 เวลาในการสกัดเท่ากับ 30 นาทีและใช้อุณหภูมิเท่ากับ 90 °C และสภาวะที่ 1 มีร้อยละผลผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 8.65 ซึ่งมีสภาวะในการสกัดคือ ค่า pH เท่ากับ 2.0 เวลาในการสกัดเท่ากับ 135 นาทีและใช้อุณหภูมิเท่ากับ 90 °C ซึ่งจัดว่าเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อยมีร้อยละผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าร้อยละผลผลิตของเพคตินที่สกัดได้จากวัตถุดิบต่างๆ

ลำดับที่	วัตถุดิบ	%Yield	แหล่งอ้างอิง
1	แก้วมังกร	24.96	Thirugnanasambandham et al. (2014)
2	เปลือกขนุน	14.47	Sundarraj et al. (2017)
3	เปลือกมะนาว	10.34	Kurita et al. (2008)
4	เปลือกปีทูลสีแดง	9.90	Fissore et al. (2012)
5	เปลือกเลมอน	6.60	Masmoudi et al. (2008)

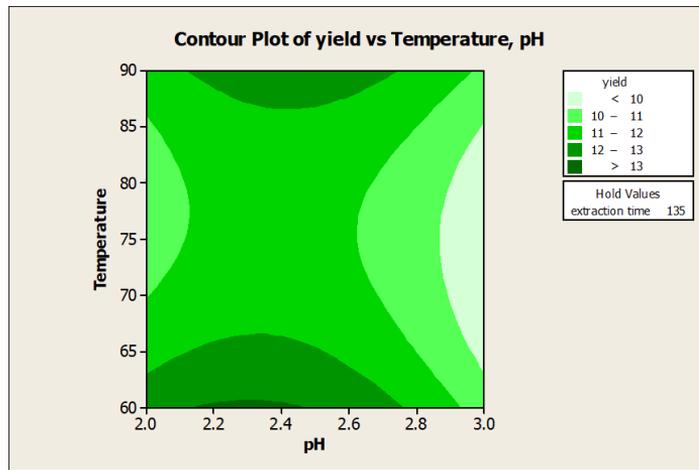
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการวิจัยนี้เมื่อนำผลของร้อยละผลผลิตจากตารางที่ 1 ลงในโปรแกรม Minitab® โดยเลือกสมการ second order polynomial ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดเพคตินจากใบอ้อย ซึ่งสมการสำหรับร้อยละผลผลิตแสดงดังสมการที่ 2 ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y = & 30.3985 + 19.6626X_1 - 0.952103X_2 - 0.0649592X_3 - 5.47167X_1^2 \\
 & + 0.00649815X_2^2 + 0.000305404X_3^2 + 0.0476667X_1X_2 \\
 & + 0.0198571X_1X_3 - 0.00115397X_2X_3
 \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อแทนค่า X_1 , X_2 และ X_3 แทนค่า pH, อุณหภูมิและเวลาในการสกัดเพคตินตามลำดับ

จากผลการศึกษา พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลผลิตของการสกัดเพคตินจากใบอ้อยคือปัจจัยด้าน pH (X_1) มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 19.6626 และมีปัจจัยเสริมคือปัจจัยด้านอุณหภูมิในการสกัด (X_1X_2) มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.0476667 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการสกัดเพคตินในเปลือกกล้วย (Oliveira et al., 2016) พบว่าปัจจัยด้าน pH มีผลมากที่สุดต่อร้อยละผลผลิตของเพคตินในเปลือกกล้วย มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 2.68 โดยการอภิปรายผลพบว่าถ้าค่า pH ในน้ำยาสกัดมีความเข้มข้นมากขึ้น จะสามารถสกัดเพคตินออกมาจากวัสดุที่มีปริมาณเส้นใยสูงและมีโปรตีนต่ำได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามค่า pH ไม่ควรต่ำเกินไป เพราะจะทำให้สายโซ่ของเพคตินขาดจากกันได้



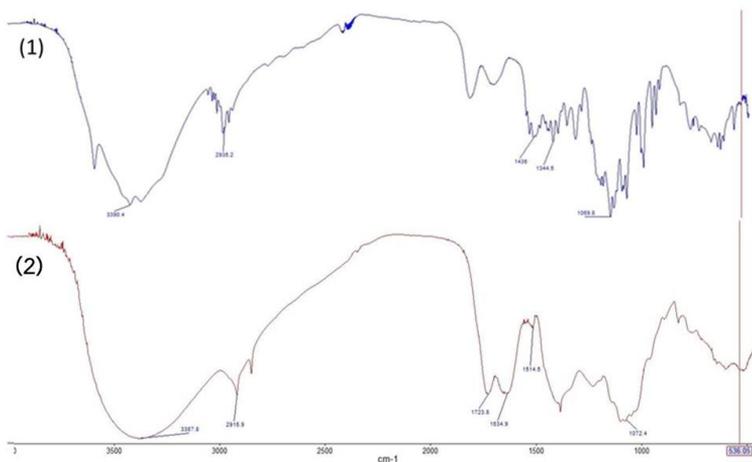
รูปที่ 1 Contour plot ค่าร้อยละผลผลิตของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย ระหว่างปัจจัยด้าน pH กับปัจจัยด้านอุณหภูมิ

จากรูปที่ 1 พบว่าเมื่อใช้ Surface contour line mode จากโปรแกรม MiniTab จะได้ผลการทำนายร้อยละผลผลิตของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย คือ ที่ระยะเวลาในการสกัด 135 นาที ค่า pH ของน้ำยาสกัดอยู่ในช่วง 2.0-3.0 และใช้อุณหภูมิในกระบวนการสกัดสารเพคตินมากกว่า 90 °C เพคตินจากใบอ้อยมีแนวโน้มจะได้ร้อยละการสกัดเพคตินที่สูงที่สุดคือ ประมาณมากกว่าร้อยละ 13.0 ขึ้นไป แต่ในการวิจัยครั้งนี้ใช้สภาวะที่ยังไม่ครอบคลุมถึงสภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งหน้าควรเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น

สเปกตรัม FTIR ของเพคตินที่สกัดได้

สเปกตรัมของเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เป็นเทคนิคที่สามารถใช้วิเคราะห์และตรวจยืนยันสารเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อย โดยอาศัยการปรากฏสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่สกัดได้เทียบกับสารมาตรฐานเพคติน รวมถึงยังใช้ตรวจสอบเบื้องต้นถึงคุณลักษณะของร้อยละหมู่เอสเทอร์ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่บ่งบอกถึงระดับคุณภาพของเพคตินได้อีกทางหนึ่งด้วย (Yang et al., 2018; Dranca & Oroian., 2018; เอรารวิน เบ้าทอง, 2561) เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสเปกตรัมของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อยกับรูปแบบของสเปกตรัมสารมาตรฐานเพคติน (Begum et al.,

2014) ซึ่งศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกขนุนพบว่ามีความคล้ายคลึงกัน ดังรูปที่ 2 โดยสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญประกอบไปด้วย สเปกตรัมที่ 950 และ $1,200\text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงคลื่นของหมู่เอเทอร์และวงพันธะ C-C (Santos et al., 2013; Oliveira et al., 2016) สเปกตรัมในช่วงคลื่น $1,530 - 1,510\text{ cm}^{-1}$ และ $1,640 - 1,660\text{ cm}^{-1}$ เป็นสเปกตรัมของหมู่เอสเทอร์และหมู่คาร์บอกซิลที่เกาะอยู่กับหมู่เอสเทอร์ตามลำดับ (Oliveira et al., 2016) ซึ่งในช่วงคลื่นสเปกตรัมนี้ ถ้าสเปกตรัมมีความกว้างและเด่นมากสามารถเป็นการบอถึงการเพิ่มขึ้นของร้อยละหมู่เอสเทอร์ในเพคตินนั้นด้วย (Kyomugasho et al., 2015) ในบางกรณีสเปกตรัมที่เกิดขึ้นอาจมีการขยับไปจากเดิมได้ในกรณีที่มีหมู่โพลีแซคคาไลด์ในโมเลกุลสูง ดังนั้นโดยส่วนใหญ่จะใช้สเปกตรัมที่ปรากฏ $1,650$ และ $1,750\text{ cm}^{-1}$ หรือบริเวณใกล้เคียงเพื่อวิเคราะห์ถึงร้อยละหมู่เอสเทอร์ (Bichara et al., 2016) สำหรับสเปกตรัมในช่วงคลื่น $2,900\text{ cm}^{-1}$ เป็นการแสดงถึงหมู่เมทอกซี ($-\text{OCH}_3$) ที่สามารถบอถึงความสามารถในการเกิดเป็นเจลของสารเพคตินได้มากขึ้นเมื่อสเปกตรัมมีความคมชัดสูง



รูปที่ 2 สเปกตรัม FTIR ของสารมาตรฐานเพคติน (1)

และของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อยสภาวะที่ 10 (2)

เมื่อพิจารณาถึงหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในโครงสร้างของเพคตินเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน เพคตินพบว่า สเปกตรัมที่บ่งบอกถึงคุณภาพเพคตินคือหมู่เอสเทอร์ในช่วงคลื่น $1530 - 1510$

cm^{-1} และ $1640 - 1660 \text{ cm}^{-1}$ ในเพคตินที่สกัดจากใบอ้อยมีพื้นที่ใต้กราฟสูงกว่าสารมาตรฐาน เพคติน ดังนั้นเพคตินที่ได้จากใบอ้อยจะมีคุณภาพสูงกว่าสารมาตรฐานเพคติน ดังในงานวิจัย ที่สกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอ (Roy et al., 2017) ที่พบค่าร้อยละหมู่เอสเทอร์ในเพคติน เท่ากับ 70.79 ซึ่งสูงกว่าในสารมาตรฐาน (61.00-66.00) ดังนั้นในอนาคตจึงควรมีการศึกษา ถึงสภาวะที่สามารถสกัดเพคตินจากใบอ้อยให้ได้ร้อยละผลผลิตมากยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยครั้งนี้ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากใบอ้อย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินได้ค่าร้อยละผลผลิตสูงสุดคือสภาวะที่ 10 ซึ่งมีสภาวะค่า pH เท่ากับ 3.0 เวลาในการสกัด 30 นาที และมีอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 75°C มีค่า สูงที่สุดคือเท่ากับร้อยละ 22.65 และในสภาวะที่ 1 ซึ่งมีสภาวะค่า pH เท่ากับ 2.5 เวลาใน การสกัด 135 นาที และมีอุณหภูมิเท่ากับ 75°C มีค่าน้อยที่สุดคือเท่ากับ ร้อยละ 8.65 เมื่อนำผลวิจัยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab[®] โหมด Box-Behnken design พบว่าปัจจัยที่มี ผลต่อการสกัดเพคตินจากใบอ้อยให้มีร้อยละผลผลิตสูงสุด คือ ปัจจัยด้าน pH ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 19.6626

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ อุปกรณ์และสถานที่ในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

จุฬามาศ เลิศอยู่สุข, สุวรรณมา ประณีตวตกุล และ ประเสริฐ ฉัตรวชิระวงษ์. (2561). การรับรู้ และความพึงพอใจของเกษตรกรต่อคุณลักษณะวิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในจังหวัดเพชรบูรณ์. *แก่นเกษตร*, 46(2), 237-246.

เอราวัณ เบ้าทอง. (2561). แนวทางการใช้ประโยชน์เปลือกทุเรียนผสมเปลือกมะพร้าวในการ สกัดเพคติน. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการ เรียนรู้*, 9(2), 200-210.

Begum, R., Aziz, M. G., Uddin, M. B., & Yusof, Y. A. (2014). Characterization of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) waste pectin as influenced by various

- extraction conditions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 244-251.
- Bichara, L. C., Alvarez, P. E., Bimb, M. V. F., Vaca, H., Gervasi, C., & Brandan, S. A. (2016). Structural and spectroscopic study of a pectin isolated from citrus peel by using FTIR and FT-Raman spectra and DFT calculations. *Infrared Physics & Technology*, 76, 315-327.
- Blanco-Pérez, F., Steigerwald, H., Schülke, S., Vieths, S., Toda, M., & Scheurer, S. (2021). The dietary fiber pectin: health benefits and potential for the treatment of allergies by modulation of gut microbiota. *Current Allergy and Asthma Reports*, 21(43), DOI: 10.1007/s11882-021-01020-z.
- Dranca, F., & Oroian, M. (2018). Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113, 327-350.
- Demirel, C., Kabutey, A., Herák, D., Sedlacek, A., Mizera, C., & Dajbych, O. (2022). Using box-behnken design coupled with response surface methodology for optimizing rapeseed oil expression parameters under heating and freezing conditions. *Processes*, 10, 490. <https://doi.org/10.3390/pr10030490>.
- Fissore, A., Rojas, M., & Gerschenson, L. N. (2012). Rheological performance of pectin-enriched products isolated from red beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) through alkaline and enzymatic treatments. *Food Hydrocolloids*, 26, 249 – 260.
- Kurita, T., Fujiwara, E., & Yamazaki, E. (2008). Characterization of the Pectin Extracted from Citrus Peel in the Presence of Citric Acid. *Carbohydrate Polymers*, 74, 725-730.
- Kyomugasho, C., Christiaens, S., Shpigelman, A., Loey, A. M. V., & Hendrickx, M. E. (2015). FT-IR spectroscopy, a reliable method for routine analysis of the

- degree of methylesterification of pectin in different fruit-and vegetable-based matrices. *Food Chemistry*, 176, 82-90.
- López-Velázquez, L. Y., Salgado-García, S., Córdova-Sánchez, S., Valerio-Cárdena, C., Bolio-López, G. I., Castañeda-Ceja, R., LagunésEspinoza, L. del C., & Falconi Calderón, R. (2021). Characterization of cellulose and sugarcane (*Saccharum* spp.) straw from five cultivars grown in the humid tropic of Mexico. *Agro Productividad*, <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i9.2034>.
- Masmoudi, S., Besbes, M., Chaabouni, C., Robert, M., Paquot, C., Blecker, C., & Attia, H. (2008). Optimization of pectin extraction from lemon by-product with acidified date juice using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 74, 185–192.
- Oliveira, T. I. S., Rosa, M. F., Canalcante, F. L., Pereira, P. H. F., Moates, G. K., Wellner, N., Mazzetto, S. E., Waldron, K. W., & Azerefo, H. M. C. (2016). Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology. *Food Chemistry*, 198, 113-118.
- Roy, M. C., Alam, M., Saeid, A. Das, B. C., Mia, M. B., Rahman, M. A., Eun, J. B., & Ahmed, M. (2017). Extraction and characterization of pectin from pomelo peel and its impact on nutritional properties of carrot jam during storage. *Journal of Food processing and Preservation*., 42, 1-9.
- Santos, J. D. G., Espeleta, A. F., Branco, A., & Assis, S. A. (2013). Aqueous Extraction of Pectin from Sisal Waste. *Carbohydrate Polymer*, 92, 1997-2001.
- Sundarraj, A. A., Vasudevan, R. T., & Sriramulu, G. (2017). Optimized extraction and characterization of pectin from jackfruit (*Artocarpus integer*) wastes using response surface methodology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106(3), DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.065.
- Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., & Maran, J. P. (2014). Process optimization and analysis of microwave assisted extraction of pectin from dragon fruit peel. *Carbohydrate. Polymer*, 112, 622-626.

- Wai, W. W., Alkarkhi, A. F. M., & Easa, A. M. (2010). Effect of extraction conditions on yield and degree of esterification of durian rind Pectin: An experimental design. *Food and Bioproduct Process*, 88, 209-214.
- Yang, J. S., Mu, T. H., & Ma. M. M. (2018). Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp. *Food Chemistry*, 244, 197-205.