

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน ด้วยน้ำส้มสายชู

Optimizing of Pectin Extraction from Durian Rind Using Vinegar

พงษ์เสรีฐ ศรีพรหม^{1,*} กัญญารัตน์ เกิดศิริ¹ พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์² ปธานิน แสงอรุณ³

¹ สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

³ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

*Correspondent author: Pongsert.sr@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน ด้วยน้ำส้มสายชู ทำการออกแบบการทดลองแบบ Box-behnken design โดยปัจจัยที่ศึกษามี 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด เวลาที่ใช้ในการสกัด พีเอช และอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง ซึ่งมีตัวแปรตอบสนอง คือ ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคติน ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วย น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิในการสกัด 100 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 20 นาที ค่า pH 2.24 และอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง 7.42 มิลลิลิตรต่อกรัม พบว่า การสกัดด้วยน้ำส้มสายชูมีปริมาณร้อยละผลได้เท่ากับร้อยละ 11.95 และมีปริมาณเมทอกซี ร้อยละ 40.81 ซึ่งพบว่า การสกัดด้วยน้ำส้มสายชู จะได้เพคตินชนิดที่มีค่าเมทอกซีต่ำ

คำสำคัญ : การสกัดเพคติน เปลือกทุเรียน น้ำส้มสายชู เพคตินชนิดที่มีค่าเมทอกซีต่ำ

Abstract

The optimization of pectin extraction from durian rind extracted by vinegar was studied. The experiment was designed by Box-Behnken design with 4 independent such as temperature (°C) time (minutes) pH and liquid/solid ratio (ml/g). The percent of pectin yield is the response. The results showed that the optimum condition of pectin extracted from durian rind using vinegar is time 20 minutes, temperature 100°C, pH 2.24 and liquid/solid ratio 7.42 ml/g. The percent yield of pectin and the degree of esterification were 11.95% and 40.81% respectively. The results found that the pectin extracted by vinegar extraction is low methoxy pectin.

Keywords: Pectin extraction, Durian rind, Vinegar, Low methoxy pectin

1. บทนำ

เปลือกของทุเรียนถูกทิ้งเป็นของเสียในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ซึ่งนำไปสู่ปัญหาการจัดการ และปัญหาสิ่งแวดล้อม เปลือกทุเรียนมีส่วนประกอบที่เป็นเส้นใยเซลลูโลสมีปริมาณสูงถึง 30% นอกจากส่วนที่เป็นเซลลูโลส แล้วในเปลือกทุเรียนมีสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของเพคติน สามารถสกัดออกมาในรูปของเจล จึงสามารถเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้เป็นส่วนผสมรวมถึงสารตั้งต้นในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหาร [1]

เพคติน (pectin) เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ประเภท heteropolysaccharide ที่มี กรดกาแลกทูโรนิก (D-galacturonic acid) (ประมาณ 65% โดยน้ำหนัก) พบตามธรรมชาติในบริเวณผนังเซลล์ของพืช และรอยต่อระหว่างผนังเซลล์ โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส (cellulose) โดยทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกันคล้ายเป็นซีเมนต์ เพคตินสามารถนำมาใช้ประโยชน์ เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารเพื่อทำให้เกิดเจลได้ (gelling agent) [2] เนื่องจากเพคตินอยู่ในรูปของเส้นใยเซลลูโลสจำนวนมาก จึงนักวิจัยสนใจศึกษาวิธีการสกัดเพคตินออกจากเส้นใยเซลลูโลส เช่น การสกัดเพคตินด้วยการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) [3-5] ซึ่งพบว่าการสกัดเพคตินมีปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน เช่น ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการสกัด อัตราส่วนวัตถุดิบต่อปริมาตรของสารสกัด อุณหภูมิ และเวลาในการสกัด เป็นต้น นอกจากนี้แล้วนักวิจัยยังมีการศึกษาการใช้กรดเป็นตัวสกัด เช่น กรดไฮโดรคลอริก [5], กรดอะซิติก [6] และซิเตริก [7] เป็นต้น ดังนั้นนักวิจัยหลายคนจึงได้มีการหาสภาวะที่เหมาะสมและผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้ โดยใช้วิธีการตอบสนองพื้นผิว (Response Surface Methodology, RSM) [4] น้ำส้มสายชูเป็นกรดชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ง่ายในครัวเรือน ราคาถูก และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเพราะเป็นกรดที่สามารถรับประทานได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษากการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนโดยการใช้ น้ำส้มสายชู (vinegar) และหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box-

benhken design (BBD) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด และหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารและเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรต่อไป

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เปลือกทุเรียนได้มาจากตลาดในเขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร จากนั้นทำการแยกเปลือกส่วนสีเขียวออกจากเปลือกสีขาว ล้างน้ำให้สะอาด อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วทำการบดด้วยเครื่อง hammer mill และร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 40-mesh แล้วเก็บไว้ในที่ปลอดความชื้น

2.2 การสกัดเพคตินด้วยน้ำส้มสายชู

การสกัดเพคตินด้วยน้ำส้มสายชู ซึ่งเปลือกทุเรียนบดผงจำนวน 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำส้มสายชู (Vinegar) ให้ได้อัตราส่วนตามแผนการทดลอง ให้ความร้อนและกวนด้วยความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ และระยะเวลาตามกำหนด กรองแล้วนำส่วนที่กรองได้มาตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ (95% ethanol) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 ชั่วโมง จากนั้นกรองและทำการอบให้แห้งด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และนำเพคตินที่ได้มาหาค่าปริมาณร้อยละผลที่ได้ที่ได้ดังสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละผลได้} = \frac{\text{มวลของเพคตินที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{มวลทั้งหมดของผงเปลือกทุเรียนแห้ง (กรัม)}} \times 100 \quad (1)$$

2.3 . การหาระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน

ชั่งน้ำหนักเพคตินผง ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาณ 0.5 กรัม เติมนีเอทานอล 2 มิลลิลิตร จากนั้นละลายด้วยน้ำปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ 100 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาเลินลงไป แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 1 แล้วเติมน้ำปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตรแล้วเขย่าทิ้งไว้ 15 นาที แล้วเติมน้ำปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10

มิลลิลิตรแล้วเขย่าจนสีชมพูหายไป เติมฟีนอล์ฟทาลิน 5 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนสีชมพูเริ่มปรากฏ แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 2 คำนวณหาค่า degree of esterification (%DE) ตามสมการที่ 2

$$\text{ระดับเอสเทอริฟิเคชัน} = \frac{\text{ปริมาตร NaOH ที่ 2}}{\text{ปริมาตร NaOH ที่ 1} + \text{ปริมาตร NaOH ที่ 2}} \times 100 \quad (2)$$

2.4 การออกแบบการทดลอง

การสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้ำส้มสายชู ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design (BBD) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณร้อยละผลได้ที่มากที่สุด โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง (L:S), อุณหภูมิในการสกัด (T), pH และระยะเวลาการสกัด (t) และ ระดับปัจจัย 3 ระดับ โดยขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาดังแสดงในตารางที่ 1 จากการออกแบบการทดลองได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design

ปัจจัย	หน่วย	ระดับ	
		ต่ำ	สูง
อัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง	g/ml	5:1	15:1
อุณหภูมิในการสกัด	°C	100	140
pH		2	3
ระยะเวลาการสกัด	Min	20	60

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken

RunOrder	ปัจจัย				
	ระยะเวลาในการสกัด (min) (X ₁)	อุณหภูมิ (°C) (X ₂)	pH (X ₃)	อัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง (X ₄)	ร้อยละผลได้
1	40	80	3	5	6.68
2	60	60	2.5	15	8.49
3	40	80	2	5	3.28
4	60	80	3	15	4.45
5	40	80	2.5	15	6.15
6	60	80	2	15	1.63
7	40	80	2.5	15	8.00
8	40	80	2.5	15	8.16
9	40	100	2	15	6.68
10	60	80	2.5	25	3.38

11	40	60	2.5	25	15.75
12	60	100	2.5	15	10.42
13	20	80	2	15	6.84
14	40	60	2	15	8.92
15	20	60	2.5	15	8.95
16	40	80	3	25	2.21
17	40	100	3	15	11.10
18	40	100	2.5	5	17.87
19	40	60	3	15	7.60
20	20	80	2.5	5	5.18
21	20	80	2.5	25	6.67
22	60	80	2.5	5	4.19
23	40	80	2	25	4.07
24	20	80	3	15	3.46
25	20	100	2.5	15	8.09
26	40	60	2.5	5	6.70
27	40	100	2.5	25	6.64

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้ำส้มสายชู

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้ำส้มสายชู ทำการออกแบบการทดลองแบบ BBD ซึ่งสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ที่ทำให้ได้ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินมากที่สุด พบว่า ร้อยละผลได้ของเพคตินอยู่ในช่วงร้อยละ 1.63-17.87 ดังแสดงในตารางที่ 2 จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของปริมาณร้อยละผลได้ พบว่า ค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 93.75% ที่ (p<0.05) สามารถสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าปริมาณผลผลิตร้อยละได้ดังนี้

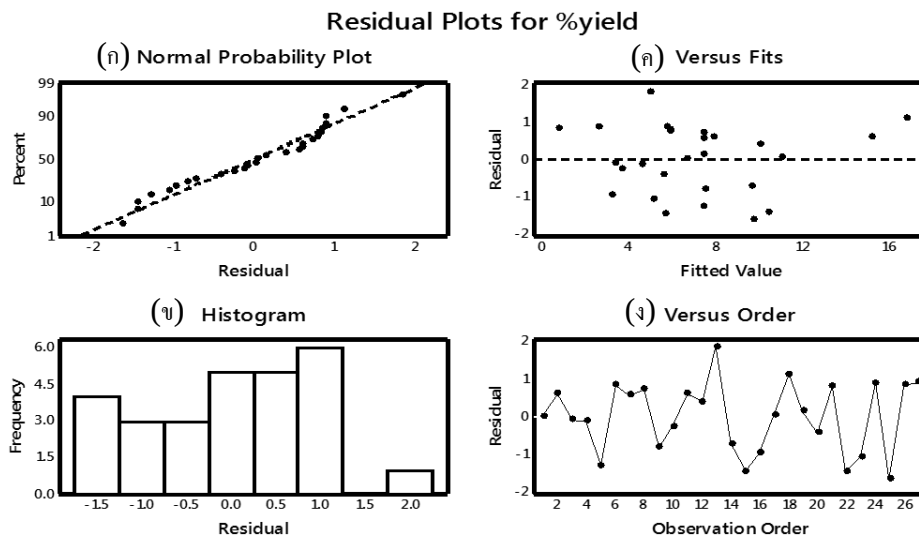
$$\%Yield = 7.500 - 0.152X_1 - 1.582 X_2 + 35.100 X_3 + 2.893 X_4 - 0.004X_1X_1 + 0.009X_2X_2 - 9.630X_3X_3 -$$

$$0.004X_4X_4 + 0.002 X_1 X_2 + 0.155 X_1X_3 - 0.003X_1X_4 + 0.144 X_2 X_3 - 0.025 X_2X_4 - 0.264 X_3 X_4$$

โดยที่ X_1 คือ เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที), X_2 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (องศาเซลเซียส), X_3 คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), X_4 คือ อัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง (L:S) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองพหุนามอันดับสองจากกราฟ Residual plot เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองดังรูปที่ 1 (ก) พบว่าข้อมูลความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) มีการกระจายของข้อมูล (Residual) อยู่บนเส้นตรง แสดงว่าไม่มีชุดการทดลองที่แสดงค่าความผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญซึ่งแสดงถึงความถูกต้องของข้อมูล เมื่อพิจารณากราฟฮิสโทแกรม (Histogram) ดังรูปที่ 1 (ข) พบว่า มีลักษณะเป็นเส้นโค้งระฆังคว่ำ โดยมีแนวโน้มวิ่งเข้าสู่ศูนย์ แสดงว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและมีความถูกต้อง เมื่อ

พิจารณารูปค่าความผิดพลาดมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ดังรูปที่ 1 (ก) พบว่า ชุดข้อมูล (Residual) มีการกระจายตัวที่ดี แสดงให้เห็นว่าไม่มีสัญญาณใดบ่งบอกถึงความผิดปกติของข้อมูล (Bias) และเมื่อพิจารณารูปค่าความผิดพลาดมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังรูปที่ 1 (ง) พบว่า ข้อมูลมีการแกว่งขึ้นลงในคาบของศูนย์

โดยภาพแบบลักษณะการแกว่งที่มีอิสระต่อกัน แสดงถึงข้อมูลที่ได้มีความถูกต้อง ซึ่งการพิจารณาความถูกต้องของข้อมูลทั้งหมดข้างต้นเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าสมการที่ 1 ที่ทำนายจากผลการทดลองนี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ



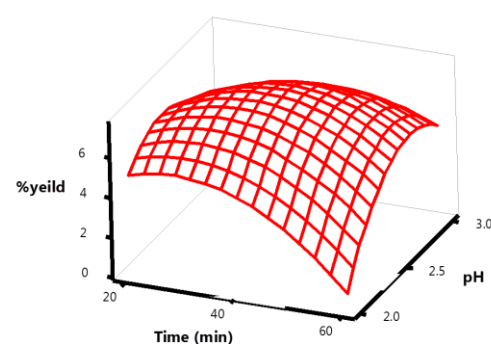
รูปที่ 1 Residual plot ของปริมาณร้อยละผลได้ของเพคติน

(ก) Normal Probability Plot (ข) Histogram (ค) Residual plot versus Fits (ง) Residual plot versus order

3.2 ผลของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้ำส้มสายชู

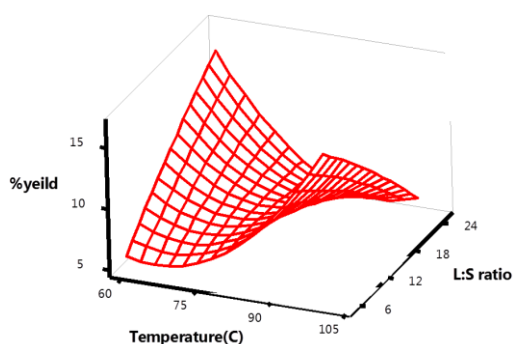
ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดและค่า pH ต่อปริมาณร้อยละผลได้จากการสกัดเพคติน พบว่า เวลาในการสกัดในช่วง 20-30 นาที ให้ปริมาณร้อยละผลได้สูงที่สุด เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการสกัดยาวนานจะสามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้เพคตินที่อยู่ชั้นมิลเลลลาเมลลาของผนังเซลล์สลายตัวออกมาได้มาก [8] แต่เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากกว่า 40 นาที ปริมาณเพคตินจะลดลง เนื่องจากระยะเวลานานจะส่งผลให้เพคตินที่มีโพลีเมอร์สายยาวของกรดกาแลคทูโรนิกถูกย่อยสลาย [9] เมื่อนำมาตกตะกอนด้วยเอทานอลจึงไม่เกิดเจลทำให้ปริมาณผลผลิตของเพคตินต่ำและค่าปริมาณความเป็นกรดต่าง (pH) ในช่วง pH 2.25-2.5 ให้ปริมาณร้อยละผลได้สูงสุด และเมื่อ pH มากกว่า 2.5 พบว่าความสามารถในการสกัดมีแนวโน้มลดลง แสดงว่า

ปริมาณผลผลิตมากที่สภาวะความเป็นกรดสูง ซึ่งให้ค่าปริมาณผลผลิตร้อยละของเพคตินสูงที่สุด มากกว่า 6% ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของระยะเวลาในการสกัดและค่า pH ต่อปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินที่ได้จากการสกัด

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดและอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง ที่มีต่อปริมาณร้อยละผลได้จากการสกัดเพคติน แสดงให้เห็นว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 100 °C จะให้ปริมาณร้อยละผลได้เพคตินสูงสุด เนื่องจากอุณหภูมิระดับนี้สามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ได้อย่างทั่วถึง ซึ่งสอดคล้องกับหลายการทดลอง [10] กล่าวได้ว่า ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินจะลดต่ำลงจนถึงอุณหภูมิ 75 °C และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นและอัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง ในช่วง 7:1-10:1 ml/g แสดงว่าปริมาณร้อยละผลได้จะมากที่อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็งต่ำ เนื่องจากยังอัตราส่วนของเหลวมาก ความเข้มข้นก็จะลดลงทำให้การเกาะตัวกันของเพคตินทำได้ยากขึ้น เมื่อตกตะกอนจึงเกิดเป็นเจลลดน้อยลง การเพิ่มอัตราส่วนของของเหลวในการสกัดจึงไม่มีผลต่อการละลายของเพคติน [11] ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของอุณหภูมิในการสกัดและอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็งต่อปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินที่ได้จากการสกัด

3.3 ผลสถานะที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองสามารถหาสถานะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้ำส้มสายชู ที่ให้ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ที่เวลาในการสกัด 20 นาที อุณหภูมิในการสกัด 100 องศาเซลเซียส pH เท่ากับ

2.24 และอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง 7.42 สามารถสกัดเพคตินได้สูงสุด ร้อยละ 11.95%

เมื่อทำการทดลองเพื่อยืนยันผล โดยทำการทดลองที่สภาวะดังกล่าว 3 ซ้ำ พบว่า มีปริมาณผลได้เฉลี่ยร้อยละ 11.46 ± 2 ซึ่งผลการยืนยันสภาวะที่เหมาะสมให้ค่าใกล้เคียงกับที่ได้จากการทำนาย นอกจากนี้ที่สภาวะที่เหมาะสมได้ทำการหาระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของเพคติน ได้ร้อยละ 40.81 ซึ่งพบว่าเพคตินที่ได้เป็นชนิดเมทอกซีต่ำ

ตารางที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนโดยใช้น้ำส้มสายชู

ตัวแปร	ค่าที่ใช้
เวลา(นาที)	20
อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	100
pH	2.24
อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง	7.42

4.สรุปผลการทดลอง

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียน โดยใช้น้ำส้มสายชูชนิดที่ใช้ในครัวเรือนและสามารถรับประทานได้ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าเพิ่มให้กับเปลือกทุเรียนที่เหลือใช้และถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมากในฤดูกาล โดยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken สามารถให้ปริมาณร้อยละผลได้สูงถึงร้อยละ 11.95 เมื่อใช้เวลาในการสกัด 20 นาที อุณหภูมิในการสกัด 100 องศาเซลเซียส ค่า pH 2.24 และอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง 7.42:1 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวเพคตินที่ได้มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของเพคตินร้อยละ 40.81 จัดเป็นเพคตินชนิดที่มีค่าเมทอกซีต่ำ (LMP) จากการยืนยันผลของสภาวะที่เหมาะสม พบว่า สามารถยืนยันได้ว่าแบบจำลองการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้ำส้มสายชูสามารถนำไปใช้ได้จริง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] S.Pongsamat ,T.Panmung and R.Thameuphakorn, “Carbohydrate substance from durian rind for pharmaceutical liquid preparations and food products,” Chulalongkorn University Intellectual Repository, vol 13, pp. 239-250, 2532.
- [2] L.R. Adetunji, A. Adekunle, V. Orsat, and V. Raghavan, “Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review, Food Hydrocolloids” vol 62, pp. 239-250, 2007
- [3] D. Sukboonyasatit, N. Pornnikom and N. Natyay, “Chemical and physical properties of pectin from okra,” Khon Kaen Agriculture Journal, vol 48, pp. 1419-1422, 2561.
- [4] J. Prakash Maran, “Statistical optimization of aqueous extraction of pectin from waste durian rinds,” International Journal of Biological Macromolecules vol 73, pp. 92–98, 2015.
- [5] W.W. Wai, F.M.A. Alkarkhi and A.M. Easa, “Effect of extraction conditions on yield and degree of esterification of durian rind pectin : An experimental design,” food and bioproducts processing vol 88, pp. 209–214, 2010.
- [6] S. Wittayapapakorn and S. Taweekasemsombat, “The optimum conditions of extracting pectin from agricultural materials,” Research Journal Special Issue The 5th Rajamangala University of Technology National Conference: Science, 2556.
- [7] R.K. Shaha, A.P.Y. Nayagi, Punichelvana and A. Afandi, “Optimized extraction condition and characterization of pectin from kaffir lime (Citrus hystrix),” Research Journal of Agriculture and forestry Sciences vol1(2), pp. 1-11, 2013.
- [8] O. Wilaiwan and S. Choojun, “Application of pectin crude extracts from Krung Kha Mao leaves (Cissampelos pareira L.) to immobilized cells of Lactobacillus casei subsp. rhamnosus TISTR 108 and Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus TISTR 1339 for lactic acid production,” Proceedings of 48th Kasetsart University Annual Conference: Science, 2554.
- [9] A. Ström, P. Ribelles, L. Lundin, I. Norton, E.R. Morris and A.K. Williams, “Influence of pectin fine structure on the mechanical properties of calcium-pectin and acid-pectin gels,” Biomacromolecules. vol 8, pp. 2668–2674, 2007.
- [10] O. Kurita, T. Fujiwara, and E. Yamazaki, “Characterization of the pectin extracted from citrus peel in the presence of citric acid,” Carbohydrate Polymer. vol 74, pp. 725-730, 2008.
- [11] J.T. Fu and MA. Rao, “Rheology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: The effect of sucrose,” Food Hydrocolloid. vol 15, pp. 93–100, 2001. gels: The effect of sucrose,” Food Hydrocolloid. vol 15: pp 93–100, 2001.