การสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยกรดผลไม้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

Optimization of pectin extraction from possum purple passion fruit peel (*Passiflora edulis*) with fruit acids

วัฒนา อัจฉริยะโพธา[1]*, เบญจางค์ อัจฉริยะโพธา[2]
Wattana Aschariyaphotha[1]*, Benjang Aschariyaphotha[2]

Received: 17 March 2022 ; **Revised**: 18 May 2022 ; **Accepted**: 6 June 2022

บทคัดย่อ

เพคตินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ประเภทเฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืชทำหน้าที่ในการยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกันโดยมีคุณสมบัติพิเศษคือ เมื่อละลายน้ำจะพองตัวเป็นเจลทำหน้าที่เป็นสารก่อสภาพเจลและเป็นสารให้ความข้นหนืดโดยเฉพาะในแยมและเยลลี่ตลอดจนเป็นแหล่งของใยอาหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินด้วยกรดผลไม้โดยใช้น้ำมะกรูดเทียบกับน้ำมะนาวแป้นพิจิตร และน้ำส้มซ่า ผลการทดลองพบว่าร้อยละผลได้ของเพคตินที่ คือ 12.74%, 11.92% และ 10.82% ตามลำดับ ชนิดของเพคตินที่ได้จากการสกัดจากกรดผลไม้ทั้ง 3 ชนิด เป็นเพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP) การหาสภาวะที่เหมาะของการสกัดด้วยน้ำมะกรูด 100% ด้วยพื้นผิวตอบสนองที่ออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) พบว่าที่สภาวะเวลาในการสกัด 120 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคติน (L:S) คือ 15:1 มิลลิลิตรต่อกรัม ให้ปริมาณร้อยละผลได้ (%Yield) ของเพคตินสูงที่สุดถึง 12.81% การออกแบบการทดลองสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้อื่นๆ ได้

คำสำคัญ: การสกัดเพคติน เปลือกเสาวรสสีม่วง น้ำมะกรูด เพคตินชนิดเมทอกซีต่ำ

Abstract

Pectin is a heteropolysaccharide polymer compound present in the primary cell walls of plants, where it binds cells together. It will swell into a gel, acting as a gelling agent, when it is dissolved in water. It is used as a thickening agent, especially in jams and jellies, as well as a source of dietary fiber. The purpose of this study is to study the extraction of pectin from possum purple passion fruit peel and to optimize conditions for fruit acid pectin extraction using kaffir lime juice compared to lemon 'Pan Phichit' juice and bitter orange juice. The pectin yields were 12.74%, 11.92% and 10.82%, respectively. The pectin extracted from fruit acids was low methoxyl pectin. Determination of the ideal conditions for kaffir lime juice extraction employed response surface methodology using Box-Behnken Design (BBD). It was found that the extraction time of 120 min, 90 °C, and L:S ratio 15:1 ml/g resulted in the highest %yield of 12.81%. The results of the experimental design confirmed that the pectin extraction model could be used as a guide for the extraction of pectin from other fruit peel.

Keywords: Pectin extraction, possum purple passion fruit peel, kaffir lime, low methoxyl pectin

---

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรนวัตกรรมชีวผลิตภัณฑ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180
[1] Assistant Professor, Department of Bio-products Innovation, Faculty of Science and Technology, Valaya Rajabhat University, Pathumthani, Thailand 13180
[2] Assistant Professor, Department of Home Economics, Faculty of Science and Technology, Valaya Rajabhat University, Pathumthani, Thailand 13180
* Correspondent author: wattana@vru.ac.th

บทนำ

เปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง (*Passiflora edulis*) เป็นส่วนรกหุ้มเมล็ดที่แยกจากกระบวนการผลิตน้ำเสาวรสสด ซึ่งโดยปกติแล้วจะถูกนำไปเป็นอาหารสัตว์หรือถูกทิ้งโดยไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ จากการรายงานก่อนหน้านี้พบว่าเสาวรสหนึ่งผลมีส่วนเปลือกคิดเป็น 50-60% ของน้ำหนักทั้งผล ซึ่งเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญอยู่ในปริมาณสูง ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีเพคตินเป็นส่วนของคาร์โบไฮเดรตของเปลือกโดยในเพคตินพที่พบเปลือกของเสาวรสนั้นเป็นเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำได้ (Yapo & Koffi, 2006) เพคตินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่พบในพืชจัดเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์เช่นเดียวกับแป้งและเซลลูโลส พบได้ในเซลล์ของพืชที่มีอายุน้อย ในบริเวณผนังเซลล์โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลสจะทำหน้าที่ในการยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกัน เพคตินสามารถนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม เพื่อทำให้เกิดเนื้อสัมผัสตามต้องการ โดยมีคุณสมบัติพิเศษคือ เมื่อละลายน้ำ จะพองตัวเป็นเจล ทำหน้าที่ได้ทั้งการเป็นสารก่อสภาพเจล (Gelling agent) (Adetunji *et al*., 2007) ใช้เป็นสารเพิ่มความเข้มข้นของของเหลว (Thickner) และสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดในซอสและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ มายองเนส น้ำสลัด เครื่องดื่ม และนำมาใช้ผลิตอาหาร นอกจากเพคตินจะใช้ในอุตสาหกรรมเป็นสารผสมอาหารโดยตรงแล้ว ยังสามารถนำมาใช้เป็นเส้นใยอาหารในรูปของอาหารเสริมสุขภาพ เช่น ช่วยลดคอเลสเตอรอล และลดระดับน้ำตาลในเลือด ใช้เป็นเส้นใยอาหารป้องกันโรคระบบทางเดินอาหาร และยังใช้ในด้านเภสัชกรรมโดยจะช่วยเพิ่มการทำงานของยาเป็นต้น (ชวนิฎฐ์ สิทธิดิลกรัตน์ และคณะ, 2548) เนื่องจากเพคตินเป็นส่วนประกอบในเส้นใยเซลลูโลส นักวิจัยจึงให้ความสนใจในการศึกษาถึงวิธีการสกัดเพคตินออกจากเส้นใยเซลลูโลส เช่น การใช้กระบวนการไฮโดรไลซิสในการสกัดเพคติน (Sukboonyasatit, Pornnikom and Natyay, 2018, Maran, 2015, Wai *et al*., 2010) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน เช่น ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการสกัด อัตราส่วนวัตถุดิบต่อปริมาณของสารสกัด เวลาที่ใช้สกัด และอุณหภูมิในการสกัดเป็นต้น และนักวิจัยยังมีการศึกษาการใช้กรดต่างๆ เป็นตัวสกัด เช่น กรดไฮโดรคลอริก (Wai *et al*., 2010) กรดแอซิติก (Wittayapapakorn & Taweekasemsombat, 2013) และซิตริก (Shaha *et al*., 2013) เป็นต้น โดยปัจจุบันประเทศไทยยังคงนำเข้าเพคตินในราคาสูง โดยราคาเพคตินจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบตั้งต้นที่นำมาสกัดและคุณภาพของเพคตินซึ่งในทางด้านการค้าแล้วนิยมสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้มและกากแอปเปิ้ล ทั้งนี้ถ้าหากนำเศษวัสดุเหลือทิ้งที่สามารถนำมาสกัดเพคตินได้จะทำให้เกิดเศรษฐกิจสีเขียวขึ้น (Green economy) ด้วยเหตุผลที่น่าสนใจนี้นักวิจัยจึงได้มีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้จากวัตถุดิบเหลือทิ้งต่างๆ โดยใช้กรดผลไม้ เช่น น้ำมะกรูด และน้ำส้มซ่า ซึ่งเป็นกรดจากธรรมชาติ และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นกรดที่สามารถรับประทานได้ ซึ่งมีการใช้การตอบสนองพื้นผิว (Response Surface Methodology, RSM) (พงษ์เสริฐ ศรีพรหม และคณะ, 2561; Maran, 2015) เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วง ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งโดยการใช้น้ำมะกรูด น้ำส้มซ่า และน้ำมะนาวแป้นพิจิตร ซึ่งเป็นกรดที่ไม่อันตรายเช่นกัน และหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box-benhken design (BBD) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารและเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. การเตรียมตัวอย่าง

เปลือกเสาวรสสีม่วงจากร้านขายน้ำเสาวรส อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ปอกส่วนที่เป็นสีม่วงของเปลือกออกให้เหลือแต่ส่วนสีขาว หั่นเป็นชิ้นขนาด 0.5x0.5 เซนติเมตร นำไปชั่งน้ำหนักสด แล้วอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักแห้ง เก็บไว้ในที่ปลอดความชื้นโดยไม่ต้องบด

2. การเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Emaga *et al*., 2008)

การกำจัดของแข็งที่ละลายในแอลกอฮอล์ออกก่อนการสกัดโดยใช้อัตราส่วนปลือกเสาวรสที่อบแห้งต่อเอทานอล 95% คือ 1:40 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นล้างตะกอนด้วยเอทานอล 95% อีก 2 ครั้ง นำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. การสกัดเพคตินด้วยกรดผลไม้ (Emaga *et al*., 2008)

นำตะกอนเสาวรสที่อบแห้ง มาเติมน้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำมะกรูด 100% (pH 2.4±0.2), น้ำส้มซ่า 100% (pH 3.61±0.4) และน้ำมะนาวแป้นพิจิตร 100% (pH 2.5±0.2) ในอัตราส่วนของน้ำผลไม้ต่อตะกอนเสาวรสคือ 1:12 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 98

องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที กรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง จากนั้นเติมเอทานอล 95% ปริมาณ 4 เท่าของปริมาตรสารละลาย เพื่อตกตะกอนเพคติน แล้วกรองตะกอนเพคตินด้วยผ้าขาวบาง นำไปทำให้แห้งด้วยโถดูดความชื้น แล้วบดให้เป็นผง เก็บไว้ในที่ปลอดความชื้น และนำเพคตินที่ได้มาหาค่าปริมาณร้อยละผลได้ (%Yield) ได้ดังสมการที่ 1

$$\%Yield = \frac{\text{น้ำหนักของเพคตินที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{มวลทั้งหมดของตะกอนเสาวรสที่อบแห้ง (กรัม)}} \times 100 \quad (1)$$

4. การหาระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชัน

การหาระดับเอสเทอริฟิเคชั่น (degree of esterification, %DE) ตามวิธีการของธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล และคณะ (2556) โดยชั่งน้ำหนักเพคตินผงที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำมะกรูด น้ำส้มซ่า และน้ำมะนาวแป้นพิจิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ขวดละ 0.5 กรัม เติมเอทานอล 95% ขวดละ 2 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นปริมาตรที่ 1 จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้ 15 นาที แล้วเติมสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าจนสีชมพูหายไป หยด ฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนสีชมพูเริ่มปรากฏ แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นปริมาตรที่ 2 ค่า %DE ที่ได้ไปหาปริมาณเมทอกซิลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชันกับปริมาณเมทอกซิล (อรพิน ภูมิภมร, 2523)

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

5. การออกแบบการทดลอง

การสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design (BBD) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณ ร้อยละผลได้ที่มากที่สุดโดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อตะกอนเสาวรสที่อบแห้ง (L:S), อุณหภูมิในการสกัด (T), และระยะเวลาการสกัด (t) และระดับปัจจัย 3 ระดับ โดยขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาดังแสดงใน Table 1 จากการออกแบบการทดลองได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 45 การทดลอง (Table 2)

Table 1 Factor and Experiment Box-Behnken Design

Factor	Unit	Level	
		Low	High
L:S Ratio	g/ml	5:1	25:1
Temp	°C	100	140
Time	Min	100	140

Table 2 Experiment Box-Behnken design

RunOrder	Factor			
	Time (min) (X_1)	Temp (°C) (X_2)	L:S Ratio (ml/g) (X_3)	Yield (%)
1	100	90	25	7.50
2	120	90	15	12.79
3	100	90	25	7.21
4	100	100	15	8.13
5	120	80	5	7.99
6	100	80	15	6.77
7	120	80	25	10.12
8	140	90	5	5.22

Table 2 Experiment Box-Behnken design (cont.)

RunOrder	Factor			
	Time (min) (X_1)	Temp (°C) (X_2)	L:S Ratio (ml/g) (X_3)	Yield (%)
9	140	90	25	5.67
10	120	80	25	9.89
11	100	80	15	6.84
12	140	80	15	6.85
13	120	90	15	12.69
14	100	80	15	6.56
15	100	100	15	8.09
16	120	90	15	12.8
17	120	100	5	8.23
18	120	90	15	12.81
19	140	100	15	6.03
20	120	100	5	8.46
21	120	90	15	12.77
22	120	90	15	12.77
23	140	100	15	6.19
24	120	80	25	10.02
25	120	100	25	9.34
26	120	90	15	12.69
27	100	100	15	7.86
28	120	90	15	12.80
29	100	90	25	7.55
30	120	100	25	9.59
31	120	80	5	8.05
32	140	90	25	5.99
33	100	90	5	5.13
34	120	100	5	7.89
35	140	100	15	5.88
36	120	100	25	9.89
37	100	90	5	5.18
38	120	90	15	12.81
39	140	80	15	7.84
40	140	80	15	7.27
41	140	90	25	6.05
42	140	90	5	5.18
43	100	90	5	5.20
44	120	80	5	8.03
45	140	90	5	5.03

ผลการศึกษา

1. ปริมาณร้อยละของผลผลิต

ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินที่ได้จากการนำเปลือกเสาวรสสีม่วงอบแห้งมาสกัดเพคตินด้วยกรดผลไม้ 100% พบว่าเพคตินที่สกัดด้วยน้ำมะกรูด 100% มีปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินมากที่สุด คือ 12.74% รองลงมาคือ เพคตินที่สกัดด้วยน้ำมะนาวแป้นพิจิตร 100% และน้ำส้มซ่า กรดซิตริก 100% ที่ได้ร้อยละ เพคติน คือ 11.92% และ 10.82% ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Pectin yield (%)

	Weigh of peel (g)	Weigh of pectin (g)	Yield (%)
Kaffir lime juice (100 %)	10	1.26	12.74±0.62
Lemon 'Pan- Phichit' juice (100 %)	10	1.26	11.92±0.52
Bitter orange juice (100 %)	10	0.38	10.82±0.60

2. การหาปริมาณเมทอกซิล

นำปริมาตรของสาระละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการไทเทรต ไปคำนวณหาค่า %DE และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DE กับปริมาณ เมทอกซิลจะได้ปริมาณเมทอกซิล ดังแสดงในTable 4 คือ เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสสีม่วง พบว่าเพคตินที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำมะกรูด 100% มีปริมาณเมทอกซิลมากที่สุด คิดเป็น 37.5% เพคตินที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำมะนาวแป้นพิจิตร 100% คิดเป็น 27.27% และเพคตินที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำส้มซ่า 100% มีปริมาณเมทอกซิลน้อยที่สุดคิดเป็น 23.08% เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง %DE นำไปเทียบกับตารางความสัมพันธ์กับปริมาณเมทอกซิล พบว่าเพคตินที่สกัดได้จากกรดผลไม้ทั้ง 3 ชนิด เป็นเพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP) ซึ่งเพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำมีลักษณะที่สามารถจะเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องมีของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solid) แต่ต้องมีไอออนของโลหะบางชนิดช่วยในการเกิดเจล เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) อยู่ประมาณ 3% และมีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ตั้งแต่ 10 - 80% ที่ pH ในช่วงตั้งแต่ 2.9 - 5.5 ลักษณะเจลที่ได้จะเป็นเจลชนิดที่สามารถอ่อนตัวลงเปลี่ยนกลับเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน (Thermoreverible gel) เนื้อสัมผัสของเจลจะมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากเพคตินที่มีเมทอกซิลสูง (อรพิน ภูมิภมร, 2523) งานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มซ่าเพื่อผลิตแยมส้มซ่า (สุรีวัลย์ สิมชาติ และคณะ, 2562) พบว่าปริมาณเมทอกซิลในเพคตินจากเปลือกส้มซ่าที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นเพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ (LMP) เช่นเดียวกับเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วง แต่ปริมาณเมทอกซิลในเพคตินของส้มซ่า ที่สกัดด้วยกรดซิตริกเป็นเพคตินที่มีเมทอกซิลสูง (Hight methoxyl pectin, HMP)

Table 4 Methoxyl of pectin from possum purple passion fruit peel

	Percent of Methoxyl	Degree of esterification (%DE)	Methoxyl
Kaffir lime juice (100 %)	7.35±0.14	37.50	LMP
Lemon juice (100 %)	4.45±0.21	27.27	LMP
Bitter orange juice (100 %)	3.76±0.12	23.08	LMP

* LMP = Low methoxyl pectin

3. ผลการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด

การหาสภาวะที่เหมาะของการสกัดเพคตินทำการออกแบบการทดลองแบบ BBD ซึ่งสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ที่ทำให้ได้ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินมากที่สุด พบว่า ร้อยละผลได้ของเพคตินอยู่ในช่วงร้อยละ 5.03-12.81 ดังแสดงใน Table 2 จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของปริมาณร้อยละผลได้ พบว่าค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 99.58% ที่ ($p<0.05$) สามารถสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าปริมาณผลผลิตร้อยละได้ดังนี้

$$\%Yield = -299.21 + 2.9389X_1 + 2.833X_2 + 1.1719X_3 - 0.010992X_1X_1 - 0.013475X_2X_2 - 0.024642X_3X_3 - 0.003237X_1X_2 - 0.001862X_1X_3 - 0.001433X_2X_3$$

โดยที่ X_1 คือ เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที), X_2 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (องศาเซลเซียส), X_3 คือ อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคติน (L:S) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองพหุนามอันดับสองจากกราฟ Residual plot เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองดัง Figure 1 (a) พบว่าข้อมูลความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) มีการกระจายของข้อมูล (Residual) อยู่บนเส้นตรงแสดงว่าไม่มีชุดการทดลองที่แสดงค่าความผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญซึ่งแสดงถึงความถูกต้องของข้อมูล เมื่อพิจารณากราฟฮิสโทแกรม (Histogram) ดัง Figure 1 (b) พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้งระฆังคว่ำ โดยมีแนวโน้มวิ่งเข้าสู่ศูนย์แสดงว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและมีความถูกต้อง เมื่อพิจารณากราฟค่าความผิดพลาดมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการคำนวณดัง Figure 1 (c) พบว่าชุดข้อมูล (Residual) มีการกระจายตัวที่ดีแสดงให้เห็นว่าไม่มีสัญญาณใดบ่งบอกถึงความผิดปกติของข้อมูล (Bias) และเมื่อพิจารณากราฟค่าความผิดพลาดมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการทดลองดัง Figure 1 (d) พบว่าข้อมูลมีการแกว่งขึ้นลงในคาบของศูนย์โดยภาพแบบลักษณะการแกว่งที่มีอิสระต่อกัน แสดงถึงข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องซึ่งการพิจารณาความถูกต้องของข้อมูลทั้งหมดข้างต้นเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าสมการที่ทำนายจากผลการทดลองนี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

4. ผลของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด

ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณร้อยละผลได้จากการสกัดเพคติน พบว่าเวลาในการสกัดในช่วง 109-130 นาที ให้ปริมาณร้อยละผลได้สูงที่สุด เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการสกัดยาวนานจะสามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้เพคตินที่อยู่ชั้นมิลเดิลลาเมลลาของผนังเซลล์สลายตัวออกมาได้มาก (Wilaiwan & Choojun, 2011) แต่เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากกว่า 130 นาที ปริมาณเพคตินจะลดลง เนื่องจากระยะเวลานานจะส่งผลให้เพคตินที่มีโพลิเมอร์สายยาวถูกย่อยสลาย (Ström *et al.*, 2007) เมื่อนำมาตกตะกอนด้วยเอทานอลจึงไม่เกิดเจลทำให้ปริมาณผลผลิตของเพคตินต่ำ และผลอุณหภูมิในช่วง 87-94 องศาเซลเซียส ให้ ปริมาณร้อยละผลได้สูงสุดและเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการสกัดมีแนวโน้มลดต่ำลง แสดงว่าปริมาณผลผลิตมากที่อุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณผลผลิตต่ำกว่า 10% ดัง Figure 2

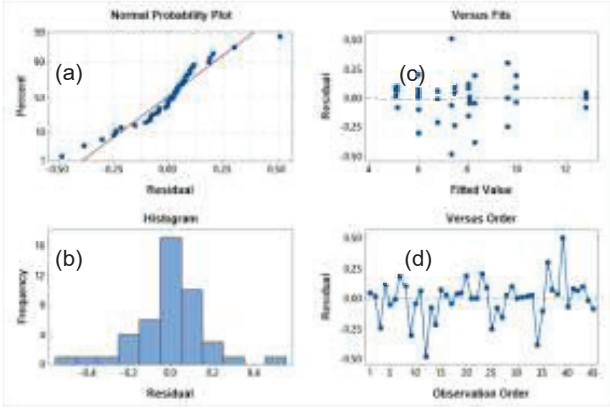

Figure 1 Residual plot for pectin yield ; % ; (a) Normal Probability Plot (b) Histogram (c) Residual plot versus Fits (d) Residual plot versus order

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดและอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อตะกอนเสาวรสอบแห้งที่มีต่อปริมาณร้อยละผลได้ จากการสกัดเพคติน แสดงให้เห็นว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 83-96 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณร้อยละผลได้เพคตินสูงสุด เนื่องจากอุณหภูมิระดับนี้สามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ได้อย่างทั่วถึง ซึ่งสอดคล้องกับหลายการทดลอง Kurita *et al.* (2008) ที่กล่าวว่าปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินจะลดต่ำลงจนถึงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แต่การสกัดจะมีร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อตะกอนเสาวรสอบแห้ง 12:1-22:1 มล./ก. แสดงว่าปริมาณร้อยละผลได้จะมากที่อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อตะกอนเสาวรสอบแห้งสูงเนื่องจากยิ่งอัตราส่วนต่อของเหลวมากความเข้มข้นก็จะลดลงทำให้การเกาะตัวกันของเพคตินทำได้ง่ายขึ้นเมื่อตกตะกอนจึงเกิดเป็นเจลเพิ่มขึ้นซึ่งมีแนวโน้มการเพิ่มอัตราส่วนของของเหลวในการสกัดว่าถ้ามีอัตราส่วนของน้ำมะกรูดสูงจะทำให้มีผลต่อการละลายของเพคตินได้ดีแต่ถ้าสูงมากจะทำให้อัตราการเกิดร้อยละผลได้ลดลง ดังแสดงใน Figure 3

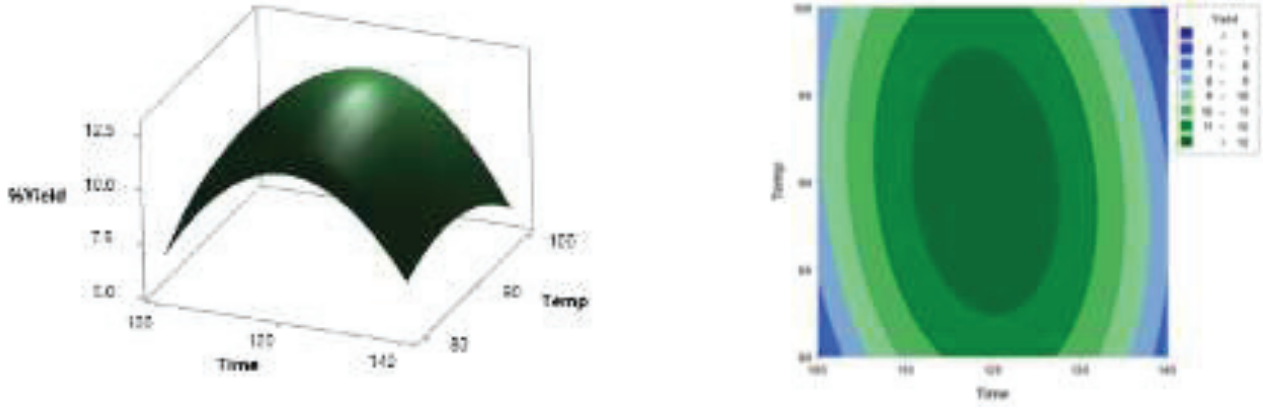

Figure 2 Response surface plot of extraction time and temperature

ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดและอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคตินที่มีต่อปริมาณร้อยละผลได้ จากการสกัดเพคติน แสดงให้เห็นว่าการสกัดที่เวลา 113-127 นาทีจะให้ปริมาณร้อยละผลได้เพคตินสูงสุด เนื่องจากการใช้เวลานานทำให้สารสกัดสามารถเข้าทำลายโครงสร้างของผนังและอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคตินและมีแนวโน้มว่าถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่ำและที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ร้อยละผลได้น้อยกว่า 10% ดังแสดงใน Figure 4

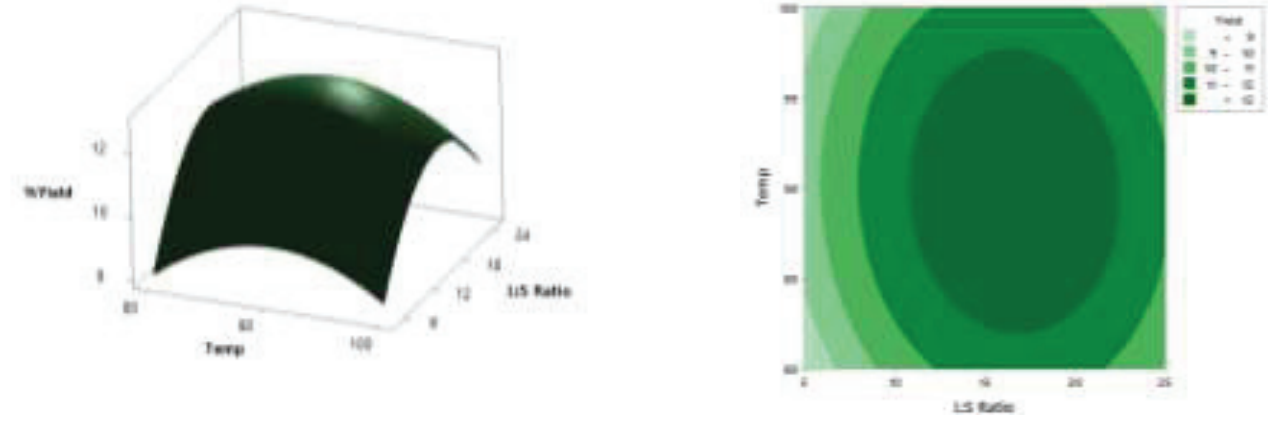

Figure 3 Response surface plot of extraction temperature and L: S Ratio

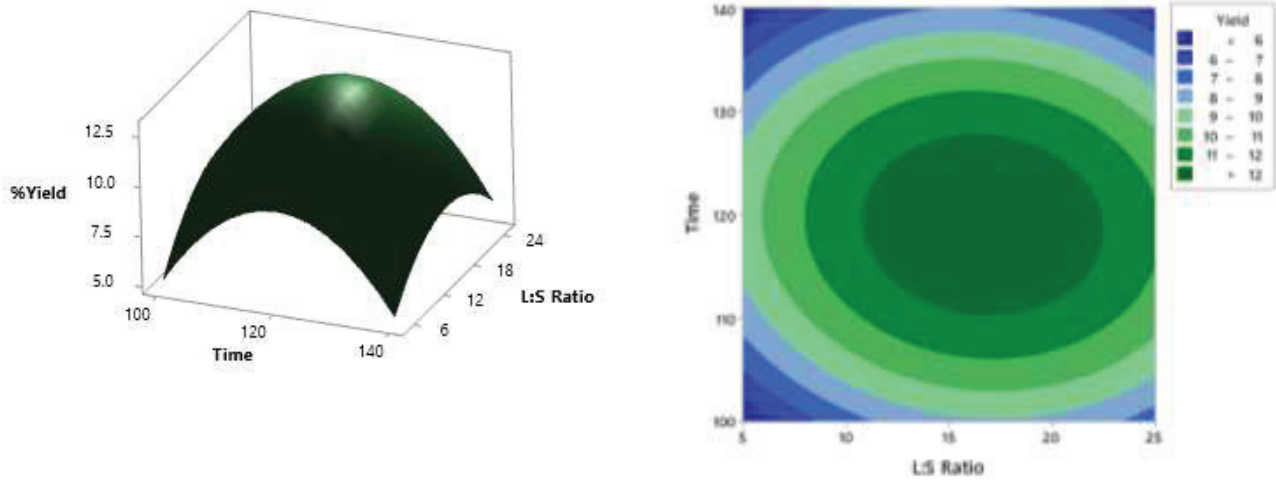

Figure 4 Response surface plot of extraction time and L: S Ratio

5. ผลสภาวะที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด 100% ที่ให้ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินสูงที่สุด พบว่า ที่เวลาในการสกัด 120 นาที อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง 15:1 มล./ก. สามารถสกัดเพคตินได้สูงสุด 12.77±0.07% ซึ่งผลการยืนยัน สภาวะที่เหมาะสมให้ค่าใกล้เคียงกับที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ งานวิจัยก่อนหน้านี้มีการใช้กรดที่แตกต่างกัน ได้แก่ กรดซิตริก กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก เพื่อสกัดเพคตินจากเปลือกมะกรูดซึ่งเพคตินที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริกมีร้อยละของผลผลิตสูงที่สุด และสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 100 นาที ค่าพีเอช 1 และ อัตราส่วนในการสกัดตัวอย่างต่อกรด 1:60 (จตุพล หาญดี และคณะ, 2559) เช่นเดียวกับ นวลกมล อำนวยสิน และคณะ (2561) ที่ใช้กรดซิตริกสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยหอมทองแต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรดอินทรีย์ได้แก่ กรดซิตริก และกรดไฮโดรคลอลิก ในการสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยหอมทองจะได้ปริมาณเพคตินที่สูงแต่ได้เมทอกซิลที่ต่ำอาจเป็นผลมาจากการสกัดด้วยกรดแก่ทำให้ความสามารถในการละลายของเพคตินเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ไม่สามารถตกตะกอนได้โดยการเติมเอทานอล จึงทำให้ปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้น้อยกว่าการสกัดด้วยกรดอ่อน (นวลกมล อำนวยสิน และคณะ, 2561)

วิจารณ์และสรุปผล

จากการใช้กรดผลไม้เพื่อสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยกรดผลไม้ซึ่งสามารถหาได้ในตลาดทั่วไปซึ่งไม่เป็นอันตรายและสามารถรับประทานได้ โดยการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือทางอุตสาหกรรมเครื่องดื่มผลไม้ ผลการใช้กรดผลไม้ได้ผลว่าน้ำมะกรูดเข้มข้น 100% มีความสามารถในการสกัดเพคตินได้ดีกว่าน้ำมะนาวแป้นพิจิตรเข้มข้น 100% และน้ำส้มซ่าเข้มข้น 100% นอกจากนี้ที่สภาวะนี้ได้ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชันของเพคตินได้ 37.50% ซึ่งเพคตินที่ได้เป็นชนิดเมทอกซิลต่ำ (LMP) ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงโดยใช้น้ำมะกรูดเข้มข้น 100% โดยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design สามารถให้ปริมาณร้อยละผลได้สูงถึง 12.81% เมื่อใช้เวลาในการสกัด 120 นาที อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคติน หรือ อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง (L:S) 15:1 มล./ก. ผลการออกแบบการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าแบบจำลองการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด 100% สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้อื่นๆ ได้จริง

เอกสารอ้างอิง

จตุพล หาญดี, วิชัย เสริมผลและ วราวุธ ธนะมูล. (2559). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกมะกรูด. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ*.อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัย ขอนแก่น .

ชวนิฏฐ์ สิทธิดิลกรัตน์, พิลาณี ไวถนอมสัตย์ล จิราพร เชื้อกูล และปริศนา สิริอาชา. (2548). *การผลิตเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง* [วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล, ปฏิมา ทองขวัญ และศิริลักษณ์ สรงพรมทิพย์. (2556). *การสกัดเพคตินจากเปลือกผัก และผลไม้* [วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นวลกมล อำนวยสิน, ณัฐญาภรณ์ เสือชุมแสง และ เทพปัญญา เจริญรัตน์. (2561). การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยหอมทองด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริก. *Thai Journal of Science and Technology, 7(5).*

พงษ์เสริฐ ศรีพรหม กัญญารัตน์ เกิดศิริ พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์ และ ปธานิน แสงอรุณ. (2561).การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้ำส้มสายชู. *วิศวสารลาดกระบัง, 35*(3), 9-15.

สุรีวัลย์ สิมชาติ สุภาวิตา บุดดาเวียง นิภาพร พลเยี่ยม และ วัฒนา อัจฉริยะโพธา. (2562). การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มซ่าเพื่อผลิตแยมส้มซ่า. *การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 7.* มหาวิทยาลัยรังสิต.

อรพิน ภูมิภมร. (2523). *คาร์โบไฮเดรตในสารอาหารพอลีแซ็คคาไรด์* [วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตร- ศาสตร์]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adetunji, L.R., Adekunle A., Orsat V., and Raghavan V., (2007). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids, 62*, 239-250.

Emaga, H. T. ; Robert, C., Ronkart, S.N., Wathelet, B. and Paquot, M., (2008). Dietaryfibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana andplantain varieties. *Bioresource Technology, 99*, 4346-4354.

Kurita, O., Fujiwara T., & Yamazaki E., (2008). Characterization of the pectin extracted from citrus peel in the presence of citric acid, *Carbohydrate Polymer, 74*, 725-730.

Maran, P.J. (2015). Statistical optimization of aqueous extraction of pectin from waste durian rinds. *International Journal of Biological Macromolecules, 73*, 92-98.

Shaha, R.K., Nayagi, A.P.Y., Punichelvana & 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.

Ström, A., Ribelles P., Lundin L., Norton I., Morris E.R. & Williams A.K., (2007). Influence of pectin fine structure on the mechanical properties of calcium-pectin and acid-pectin gels. *Biomacromolecules, 8*, 2668-2674.

Sukboonyasatit, D., Pornnikom, N. & Natyay, N., (2018). Chemical and physical properties of pectin from okra. *Khon Kaen Agriculture Journal, 48*, 419-1422.

Wai, W.W., Alkarkhi, F.M.A. & Easa, A.M. (2010). Effect of extraction conditions on yield and degree of esterification of durian rind pectin: An experimental design. F*ood and Bioproducts Processing, 88*, 209-214.

Wilaiwan, O. & Choojun, S., (2554). 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. Kasetsart University.

Wittayapapakorn, S. & Taweekasemsombat, S. (2013). The optimum conditions of extracting pectin from agricultural materials. *Research Journal Special Issue the 5th Rajamangala University of Technology National Conference: Science*. Rajamangala University of Technology.

Yapo, B.M. & Koffi, K. L. (2006). Yellow passion fruit rind—A potential source of low-methoxyl pectin. *Journal of Agriculture and Food Chemistry, 54*, 2738-2744. http://dx.doi.org/10.1021/jf052605q