

การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะจั่วและการใช้ประโยชน์ ในระบบอาหาร

รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย¹ ขนิษฐา เลิกชัยภูมิ² เกษม นันทชัย¹ และ ธนกร โรจนกร³

Abstract

Tangwongchai, R., Lerkchaiyaphum, K., Nantachai, K., Rojanakorn, T.
Pectin extraction from Citron peel (*Citrus medica* Linn.) and
its use in food system

Songklanakarini J. Sci. Technol., 2006, 28(6) : 1351-1363

Screening experiments using 2^{5-1} fractional factorial design showed that pH, temperature, and extracting time were the main factors affecting the amount and quality of extracted pectin from *Citrus medica* Linn. Optimum condition of pectin extraction was studied using central composite design (CCD). Mathematical models relating pH, temperature and extracted time to amount of extracted pectin, equivalent weight, methyl content and anhydrogalacturonic acid content were established. Based on the mathematics models, the condition of pH 2, 100°C and 105 min was found to be the optimum conditions for pectin extraction from *Citrus medica* Linn. Mathematical and experimental results were verified. The use of extracted pectin as a gelling agent in pineapple jam revealed no significant difference in gel consistency compared to that of commercial pectin grade 150 ($p>0.05$). However, the commercial pectin had a higher

Department of Food Technology, Faculty of Technology, Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen, 40002 Thailand.

¹Ph.D. (Food Science and Technology) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ³Ph.D.(Food Engineering) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

Corresponding e-mail: ratchada@kku.ac.th

รับต้นฉบับ 16 มกราคม 2549 รับลงพิมพ์ 19 พฤษภาคม 2549

liking score on the spreadability, texture and overall liking. As a stabilizer in chocolate pasteurised milk, 0.2% of the extracted pectin was required to prevent precipitation of chocolate powder with the similar viscosity obtained from 0.06% κ-carageenan

Key words : pectin extraction, *Citrus medica*, jelling agent, stabilizer

บทคัดย่อ

รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย ขนิษฐา เลิกชัยภูมิ เกษม นันทชัย และ ธนกร โรจนกร
การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วและการใช้ประโยชน์ในระบบอาหาร
ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2549 28(6) : 1351-1363

ในการศึกษาคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่ว โดยใช้การออกแบบการทดลอง 2^{5-1} fractional factorial design พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้สกัดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณ และคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้ เมื่อทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากส้มมะงั่วโดยใช้แผน การทดลองแบบ central composite design สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายความสัมพันธ์ ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา (ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลา) กับค่าสังเกต (ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ ปริมาณ น้ำหนักสมมูลย์ ปริมาณเมทอกซิล และปริมาณ anhydrogalacturonic acid) โดยที่ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์และค่าที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกัน ($p>0.05$) พบว่า ที่สภาวะ pH 2 อุณหภูมิ 100°C และเวลา 105 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน เมื่อนำเพคตินที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมไปทดลองใช้เป็น สารที่ก่อให้เกิดลักษณะเจลในผลิตภัณฑ์แยมสับปะรด พบว่าแยมสับปะรดที่ได้มีความคงตัวของเจลไม่แตกต่างกับแยม สับปะรดที่ใช้เพคตินทางการค้าเกรด 150 อย่างไรก็ตาม ลักษณะการปาดป้าย เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของ แยมที่ใช้เพคตินทางการค้ามีค่าคะแนนที่สูงกว่า และเมื่อนำเพคตินไปใช้เป็นสารเสริมความคงตัวในนมพาสเจอร์ไรซ์ รสชอคโกแลต พบว่าต้องใช้เพคตินปริมาณ 0.2% จึงจะทำให้ผงชอคโกแลตสามารถแขวนลอยในนมได้โดยไม่ ตกตะกอนและมีความหนืดของนมชอคโกแลตที่ไม่แตกต่างจากการใช้แคลปาคาราจีแนน 0.06% เป็นสารเสริมความ คงตัว

เพคตินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจำพวก polysaccharide มีโครงสร้างหลักที่ประกอบด้วย D-galacturonic acid ที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 glycosidic พบเป็นองค์ ประกอบในผนังเซลล์พืชต่างๆ ไป โดยเฉพาะผลไม้ตระกูล ส้ม (citrus fruit) โดยทั่วไปเพคตินที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช สามารถสกัดออกมาได้โดยการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เพคตินในรูปที่ไม่ละลาย (insoluble pectin) ให้เป็น เพคตินในรูปที่ละลายได้ (soluble pectin) ดังนั้นชนิดและ ความเข้มข้นของกรดก็จะเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการ สกัดเพคตินจากเนื้อเยื่อพืช (Michel et al., 1985) นอกจากนี้มีรายงานการวิจัยถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อปริมาณ และคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้ เช่น จำนวนครั้งที่ทำ การสกัด อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อเยื่อพืชต่อปริมาตรสาร

ละลายกรดที่ใช้ในการสกัด อุณหภูมิและเวลาในการสกัด รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเพิ่มประสิทธิภาพในการ สกัด เป็นต้น (Dhingra, Gupta, 1982; Aravantinos-Zafiris and Oreopoulou, 1992; Agrawal and Pruthit, 1968; Simpson et al., 1984; Michel et al., 1985; Chang et al., 1994)

ส้มมะงั่วเป็นผลไม้ตระกูลส้มที่ปลูกทั่วไปในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ส้มมะงั่วมีเนื้อเปลือกชั้น กลาง (albedo) หนา ซึ่งเป็นบริเวณที่เพคตินสะสมอยู่เป็น ปริมาณมาก (Kertesz, 1951) ดังนั้นส้มมะงั่วจึงมีศักยภาพ ในการเป็นแหล่งเพคติน วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้เพื่อศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคตินที่สกัดจาก เปลือกส้มมะงั่วและหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่ผ่าน

การคัดเลือกแล้วในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่ว รวมทั้งหาแนวทางการใช้ประโยชน์เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่วในระบบอาหารเพื่อลดปริมาณการนำเข้าเพคตินจากต่างประเทศ

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมเปลือกส้มมะงั่ว

นำผลส้มมะงั่วที่อยู่ในระยะแก่จัด (ผลมีสีเขียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-10 ซม. อัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด 0.60-0.65) ทำการลอกเปลือกแยกเอาเฉพาะส่วนเนื้อเปลือกสีขาวด้านในและนำมาตีป่นด้วยเครื่องบด แล้วทำการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยนำไปต้มในเอทานอล 95% เป็นเวลา 15 นาที (อัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำหนักเปลือกสดเป็น 1:1) จากนั้นบีบเอทานอลออกโดยใช้เครื่องกดอัดไฮดรอลิก (hydraulic press) นำไปล้างน้ำ แล้วทำการบีบน้ำออกโดยใช้เครื่องกดอัดไฮดรอลิก ทำการล้างน้ำซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นทำการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C อบเป็นเวลา 12 ชั่วโมงโดยประมาณ แล้วบดและร่อนผ่านตะแกรง 50 mesh ความชื้นสุดท้ายเป็น 11% จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ -29°C เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการวิจัยต่อไป

2. การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่ว

คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่ว โดยศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนเปลือกส้มมะงั่วต่อน้ำที่ใช้ในการสกัด ปริมาณสารโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (sodium hexameta phosphate; SHMP) ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัด ทำการสกัดเพคตินโดยใช้ส่วนเนื้อเปลือกสีขาวด้านใน (จากข้อ 1) จำนวน 50 กรัม (น้ำหนักแห้ง) เติมน้ำกลั่นตามอัตราส่วนที่ศึกษาและเติมสาร SHMP ปรับ pH โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 N ทำการสกัดในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ปรับอุณหภูมิและเวลาในการสกัดตามสภาวะของแต่ละการทดลอง (Table 1) จากนั้นกรองของเหลวที่ได้จากการสกัดผ่านผ้าขาวบางจะได้ส่วนสารละลายเพคติน ส่วนกากนำไปเติมน้ำกลั่นในปริมาตร 1/4 ส่วนของปริมาตรน้ำ

กลั่นที่เดิมครั้งแรกและปรับ pH แล้วทำการสกัดซ้ำและกรองอีกครั้ง นำส่วนสารละลายเพคตินที่สกัดได้ทั้ง 2 ครั้งรวมกัน ทิ้งให้เย็น แล้วตกตะกอนด้วยเอทานอล 95% ที่ pH 1 ในอัตราส่วนเอทานอลต่อสารละลายเพคตินเป็น 1:1 ตั้งทิ้งไว้ 15 ชั่วโมง แล้วกรองตะกอนด้วยเครื่องกรองสุญญากาศผ่านผ้าลินินแก้วหนา 2 ชั้น หลังจากนั้นล้างตะกอนที่ได้ซ้ำอีกครั้งด้วยเอทานอล 95% ที่ pH 1 ทิ้งไว้ 15 ชั่วโมง ทำการกรอง แล้วล้างตะกอนด้วยเอทานอลเข้มข้น 70% ที่ pH 1 แล้วทำซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นล้างตะกอนด้วยอะซิโตนความเข้มข้น 50% แล้วทำซ้ำอีก 2 ครั้ง นำเพคตินที่กรองได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35°C นาน 12 ชั่วโมง แล้วบดเป็นผงร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh นำเพคตินที่สกัดได้วิเคราะห์ค่าต่างๆ คือ ชั่งน้ำหนักเพคตินที่สกัดได้เพื่อหาปริมาณเพคติน (% ของน้ำหนักแห้ง) วิเคราะห์ค่า ความชื้น น้ำหนักสมมูลย์ (Equivalent weight) ปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl content) และปริมาณ Anhydrogalacturonic acid โดยวิธีในการวิเคราะห์อ้างอิงตาม Ranganna (1977)

วางแผนการทดลองแบบ 2^{5-1} Fractional Factorial Experiments โดยศึกษาระดับของปัจจัยที่ระดับต่ำและระดับสูง ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแสดงใน Table 1 และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 10.0 เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน (multiple regression)

3. การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่ว

ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วที่คัดเลือกได้จากข้อ 2 เพื่อให้ได้ปริมาณและคุณภาพของเพคตินสูงที่สุด โดยใช้แผนการทดลอง Central Composite Designs (CCD) ทำการสกัดเพคตินตามขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 2 โดยมีระดับของปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเพคตินที่ระดับสูง (1) กลาง (0) ต่ำ (-1) $+\alpha$ และ $-\alpha$ ดังแสดงใน Table 2 วิเคราะห์คุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้เช่นเดียวกับข้อ 2 วิเคราะห์หาแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบ polynomial regression โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 10.0

Table 1. The levels of studied factors affected the pectin extraction from *Citrus medica* Linn. for screening experiments

| Studied Factors | Factor Levels | |
|---|---------------|--------|
| | Low | High |
| Citron to water ratio (g/mL) | 1 : 25 | 1 : 35 |
| Hexametaphosphate (% dry Citron weight) | 1 | 6 |
| pH (± 0.1) | 1.5 | 3 |
| Extracting Temperature ($^{\circ}\text{C} \pm 1$) | 60 | 90 |
| Extracting time (min) | 45 | 90 |

Table 2. The levels of studied factors for optimization step in the pectin extraction from *Citrus medica* Linn. for screening experiments

| Studied Factors | Factor Levels | | | | |
|---|---------------|-----|------|----|-----------|
| | $-\alpha$ | -1 | 0 | 1 | $+\alpha$ |
| pH (± 0.1) | 1 | 1.5 | 2.25 | 3 | 3.5 |
| Extracting temperature ($^{\circ}\text{C} \pm 1$) | 49.8 | 60 | 75 | 90 | 100.2 |
| Extracting time (min) | 29.7 | 45 | 67.5 | 90 | 105.3 |

เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และสร้างพื้นผิวตอบสนองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistica version 5.0

ทำการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ โดยการสุ่มสภาวะในการสกัดเพคติน 5 สภาวะ ทำการสกัดเพคตินและวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้ตามข้อ 2 เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และวัดค่าเยลลีเกรด (Ranganna, 1977) เปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วที่สกัดได้กับเพคตินทางการค้าเกรด 150

4. แนวทางการใช้ประโยชน์ของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่ว

นำเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่วไปใช้ทดลองใช้ในระบบอาหาร โดยใช้เป็นสารก่อให้เจลในแยมสับปะรดในลักษณะต่างๆ กับแยมสับปะรดที่ใช้เพคตินทางการค้าเกรด 150 โดยวัดความคงตัวของเจลโดยใช้เครื่อง Bostwick consistometer (Rolin and Vries, 1990) เปรียบเทียบการทดสอบความชอบ (preference test) ของผู้บริโภคจำนวน 60 คน โดยใช้แบบประเมินมาตรฐานวัดแบบ

เส้น (ความยาวระหว่างปลายสองข้างเป็น 10 ซม.) ที่ปลายด้านหนึ่งระบุระดับความชอบต่ำสุด "ไม่ชอบเลย" และปลายอีกด้านระบุระดับความชอบสูงสุด "ชอบมาก" และใช้ทดสอบการเป็นสารเสริมความคงตัวในนมพาสเจอร์ไรส์รสช็อคโกแลต เปรียบเทียบความหนืดและการตกตะกอนของผงช็อคโกแลตในนมพาสเจอร์ไรส์รสช็อคโกแลตที่ใช้แคปซูลคาราจีแนนเป็นสารเสริมความคงตัว โดยการวัดความหนืดตามวิธีของสันติ (2535) และสังเกตการณ์ตกตะกอนของผงช็อคโกแลตในนมที่อุณหภูมิ 10°C

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ส้มมะงั่วมีปริมาณเนื้อเปลือกสีชาวด้านในในปริมาณ 28% (น้ำหนักผลสด) และเมื่อนำมายับยั้งเอ็นไซม์ด้วยเอทานอลและทำแห้งให้มีความชื้นเฉลี่ย 11% คิดเป็นน้ำหนัก 3% ของผลสด

1. การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มมะงั่ว

จากผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนของข้อมูล

ที่ได้จากการทดลอง (ชนิษฐา และคณะ, 2545) พบว่าปัจจัยด้านอัตราส่วนเปลือกส้มมะงั่วต่อน้ำที่ใช้ในการสกัดและปริมาณสารโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตไม่มีผลแตกต่างทางสถิติต่อปริมาณและคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้ (ปริมาณน้ำหนักรวมของเปลือกส้มมะงั่ว ปริมาณเมทอกซิล และปริมาณกรด anhydrogalacturonic; $p \geq 0.05$) ในขณะที่ปัจจัยด้านความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัด มีผลต่อความแตกต่างทางสถิติต่อปริมาณและคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้ ($p \geq 0.05$) ผลการคัดเลือกปัจจัยที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Pagan *et al.* (2001) ที่พบว่า อุณหภูมิ pH และเวลา มีผลต่อปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากกากพีช (peach pomace) และสอดคล้องกับการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวสีเขียว (Rouse and Crandall, 1978) ส้มตระกูล *Citrus grandis* (Dang and Dang, 1989) เปลือกส้มโอ (ธานี, 2533) กากแอปเปิ้ล (Pagan and Ibarz, 1999) เปลือกและกากส้ม (Aravantinos-Zafirios and Oreopoulou, 1992) และหัวบีท (Levigne *et al.*, 2001) ซึ่งรายงานไว้ว่า ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลาในการสกัด เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากวัตถุดิบ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองของ Dhingra และ Gupta (1982) รายงานว่า ปริมาณ SHMP ที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้จากฝรั่งปริมาณน้ำหนักรวมของเปลือกส้มมะงั่วและเมทอกซิล

จากผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนข้างต้น จึงสรุปว่า ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลา เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่ว ดังนั้นจึงใช้ปัจจัยทั้ง 3 ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วในการศึกษาขั้นต่อไป ส่วนปัจจัยอื่นคืออัตราส่วนของน้ำหนักรวมเนื้อเยื่อพีชต่อปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการสกัด และปริมาณ SHMP ถูกกำหนดให้คงที่ที่ระดับ 1:25 และ 1% ตามลำดับ

2. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่ว

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุ (polynomial regression) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณและคุณภาพเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วสูงสุด โดยการ

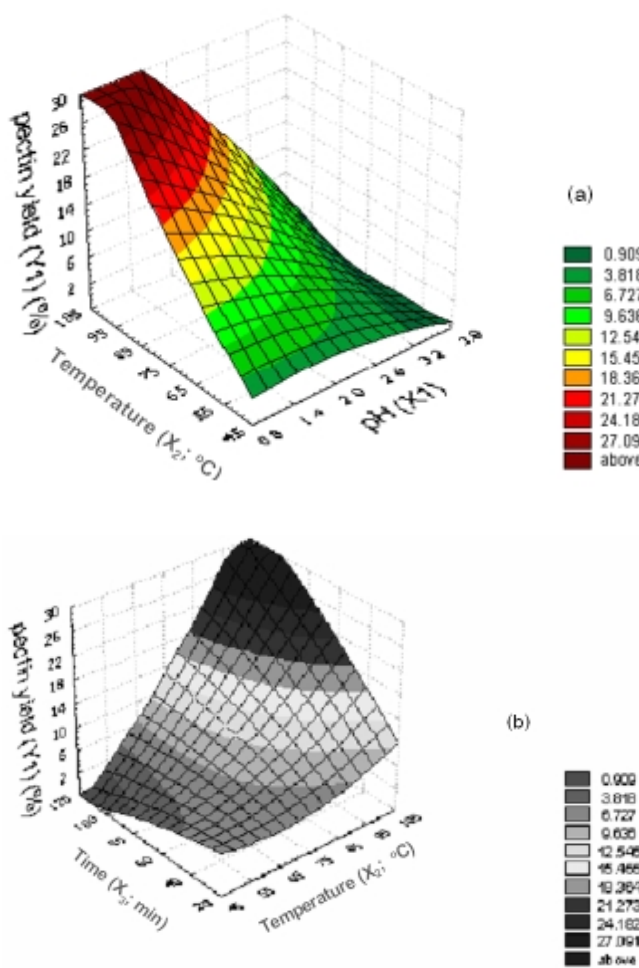
สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และพื้นผิวตอบสนองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านความเป็นกรด-ด่าง (X_1) อุณหภูมิ (X_2) และเวลาที่ใช้ในการสกัด (X_3)

2.1 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (Y_1)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินที่สกัดได้กับปัจจัยที่ศึกษามีแนวโน้มของความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นโค้ง (equation 1 และ Figure 1) ซึ่งความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 0.961 และมีนัยสำคัญของแบบจำลองที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (model significance; $p \leq 0.99$) กล่าวคือ อุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น โดยการสกัดที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลาในการสกัดนานขึ้นมีผลให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามการสกัดที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาในการสกัดนานขึ้นกลับมีผลให้เพคตินที่สกัดได้ลดลง ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่างในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณลดลง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่สกัดได้เพียงเล็กน้อยเมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่การสกัดที่อุณหภูมิสูง ($>85^\circ\text{C}$) และความเป็นกรด-ด่างต่ำ ($\text{pH} < 2$) มีปริมาณเพคตินที่สกัดได้สูงสุดในขอบเขตของปัจจัยที่ทำการศึกษา แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 2 และอุณหภูมิในการสกัดต่ำกว่า 75°C ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จะมีปริมาณลดลง (Figure 1)

$$Y_1 = 10.104 - 4.890X_1 + 5.191X_2 + 1.848X_3 + 0.686X_2^2 - 2.068X_1X_2 + 1.917X_2X_3 \quad (1)$$

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่สกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวสีเขียว (Rouse and Crandall, 1978) และจากส้มตระกูล *Citrus grandis* (Dang and Dang, 1989) ซึ่งรายงานไว้ว่าปริมาณเพคตินจากการสกัดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยการสกัดเพคตินจากกากแอปเปิ้ล (Pagan and Ibarz, 1999) จากเปลือกและกากส้ม (Aravantinos-Zafirios and Oreopoulou, 1992) จากหัวบีท (Levigne *et al.*, 2001) และจากกากพีช (Pagan *et al.*, 2001)



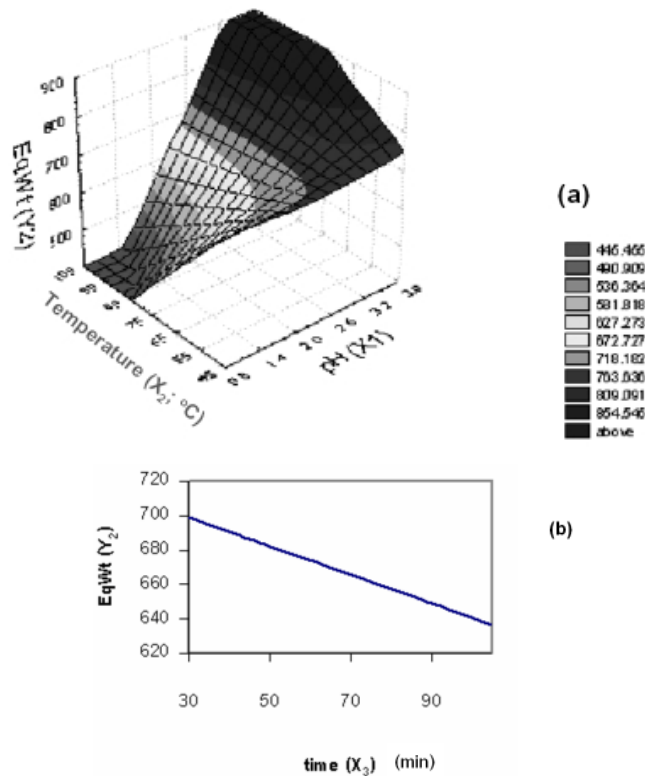
**Figure 1. (a) Three dimension plot for pectin yield (Y_1) as a function of pH (X_1) and temperature (X_2 ; °C)
 (b) Three dimension plot for pectin yield (Y_1) as a function of temperature (X_2 ; °C) and time (X_3 ; min)
 [Color figure can be viewed in the electronic version]**

รายงานว่าการสกัดที่อุณหภูมิสูง และ pH ต่ำให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้สูงที่สุด ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าการสกัดที่อุณหภูมิสูงการแพร่ของสารละลายสกัดเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชและการแพร่ของโมเลกุลเพคตินออกจากเนื้อเยื่อพืชเกิดในอัตราที่เร็วจึงทำให้เพคตินที่สกัดได้สูง และเวลาในการสกัดที่นานทำให้การเกิดปฏิกิริยาเกิดได้มากด้วยจึงทำให้สามารถสกัดเพคตินได้มาก (Kratchanov *et al.*, 1980) ส่วนผลของ pH ต่อปริมาณเพคตินอธิบายได้ว่าเมื่อการสกัดที่ pH ต่ำปริมาณไฮโดรเจนไอออน (H^+) มีอยู่ในระบบ

สูงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์มากขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้เป็นผลให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณสูง แต่เมื่อ pH เพิ่มสูงขึ้นไฮโดรเจนไอออนในระบบการสกัดลดลงปริมาณเพคตินที่สกัดได้จึงลดลง (ธานี, 2533)

2.2 ปริมาณน้ำหนักรวมของเพคตินที่สกัดได้ (Y_2)

ปริมาณน้ำหนักรวมของเพคตินที่สกัดได้มีแนวโน้มความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาในลักษณะเชิงเส้นตรง (equation 2 และ Figure 2) ซึ่งความสัมพันธ์ตาม



**Figure 2. (a) Three dimension plot for equivalent weight (Y₂) as a function of pH (X₁) and temperature (X₂; °C)
(b) The Relation plot for equivalent weight (Y₂) and time (X₃; min)
[Color figure can be viewed in the electronic version]**

สมการที่ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.899 และมีนัยสำคัญของแบบจำลองที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (p<0.99) โดยเมื่อความเป็นกรด-ด่างในการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำหนักรวมของเพคตินที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักรวมของเพคตินที่สกัดได้มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น

$$Y_2 = 667.733 + 104.189X_1 - 30.039X_2 - 18.616X_3 - 51.252X_1X_2 \quad (2)$$

ในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ ปริมาณน้ำหนักรวมของเพคตินที่สกัดได้ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัด ในขณะที่การสกัดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง อุณหภูมิในการสกัดที่เพิ่มสูงขึ้น มีผลให้ปริมาณน้ำหนักรวมของเพคตินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น

(Figure 2a) และเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำหนักรวมของเพคตินที่สกัดได้ลดลง (Figure 2b) เนื่องจากปริมาณน้ำหนักรวมเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณหมู่คาร์บอกซิลอิสระที่ไม่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ ดังนั้นปริมาณน้ำหนักรวมสูง หมายความว่า เพคตินมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระในโครงสร้างที่ไม่ถูกเอสเทอร์ไฟต์อยู่จำนวนมาก (มีหมู่คาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์อยู่น้อย) โดยปฏิกิริยา deesterification สามารถเกิดได้มากขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างในการสกัดลดลง อุณหภูมิและเวลาในการสกัดสูงขึ้น ซึ่งการเกิดปฏิกิริยา deesterification เป็นผลให้หมู่เมทิลถูกดึงออกจากโมเลกุลของเพคติน จึงทำให้ปริมาณหมู่คาร์บอกซิลที่ไม่ถูกเอสเทอร์ไฟต์อยู่จำนวนมาก ส่งผลให้ปริมาณน้ำหนักรวมมีค่ามาก อย่างไรก็ตามเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่วมีปริมาณน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลง ทั้งนี้

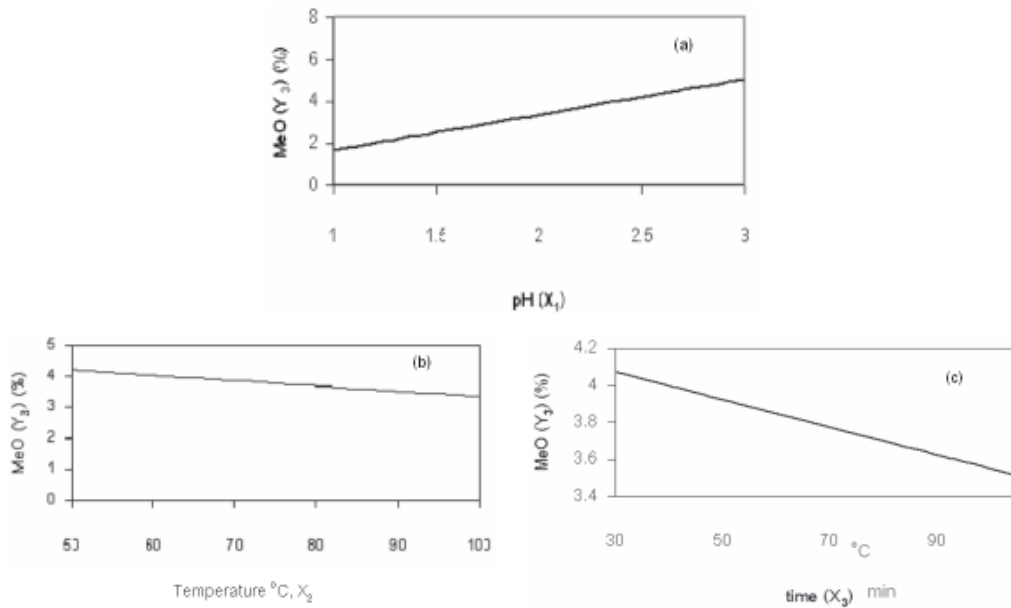


Figure 3. (a) A plot of methoxyl content (Y_3) to pH (X_1)
 (b) A plot of methoxyl content (Y_3) to temperature (X_2 ; °C)
 (c) A plot of methoxyl content (Y_3) to time (X_3 ; min)

อาจเนื่องมาจากเพคตินที่สกัดได้มีการปนเปื้อนขององค์ประกอบอื่นๆ ที่ถูกสกัดมาด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาที่องค์ประกอบของเปลือกด้านในของพืชตระกูลส้มพบว่าประกอบไปด้วยสารประกอบเพคติน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และน้ำตาลอื่นๆ เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาล ฟรุคโตส และน้ำตาลซูโครส (Nagy *et al.*, 1977) และในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ค่าที่ได้ออกมาคำนวณจากน้ำหนักแห้งของเพคตินทั้งหมดซึ่งอาจรวมถึงองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่กาแลกทูโลนิคที่ปนเปื้อนมาด้วย

2.3 ปริมาณเมทอกซิล (Y_3)

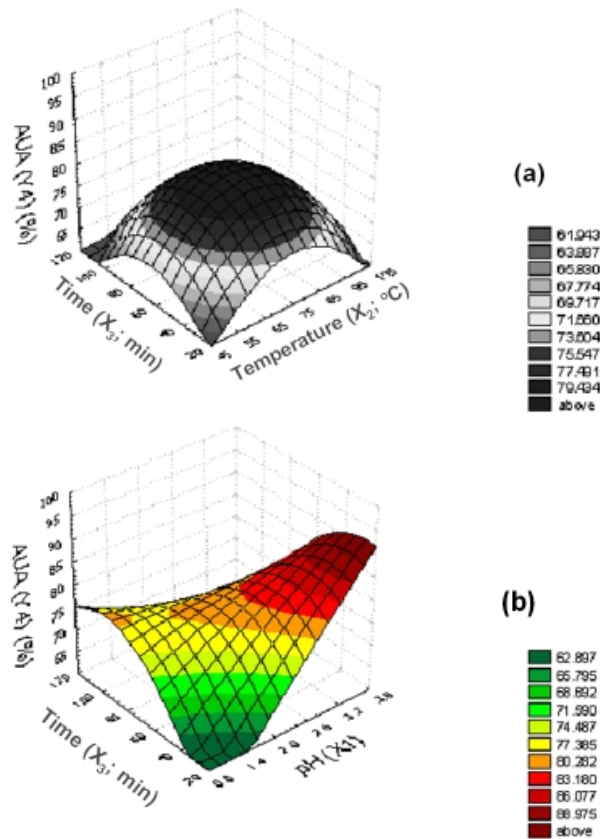
ปริมาณเมทอกซิลของเพคตินที่สกัดได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปัจจัยที่ศึกษา (equation 3 และ Figure 3) ซึ่งความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.781 และมีนัยสำคัญของแบบจำลองที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($p \leq 0.99$) โดยมีแนวโน้มแปรตามค่าความเป็นกรด-ด่าง และแปรผกผันกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด

$$Y_3 = 3.794 + 1.257X_1 - 0.255X_2 - 0.167X_3 \quad (3)$$

เมื่อความเป็นกรด-ด่างของระบบการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณเมทอกซิลของเพคตินที่สกัดได้เพิ่มสูงขึ้น (Figure 3a) อธิบายได้ว่า การสกัดที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำระบบมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนสูงทำให้ปฏิกิริยา deesterification เกิดได้ดีขึ้น ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่างของระบบเพิ่มสูงขึ้นปริมาณไฮโดรเจนไอออนลดลงเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยา deesterification ลดลงทำให้เพคตินที่สกัดได้มีปริมาณเมทอกซิลเพิ่มสูงขึ้น (ธานี, 2533) ส่วนผลของอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณเมทอกซิล (Figure 3b และ 3c) พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณเมทอกซิลของเพคตินที่สกัดได้ลดลง ผลที่ได้สอดคล้องกับธานี (2533) ที่รายงานไว้ว่า เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงและเวลาในการสกัดที่นานขึ้น เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอมีปริมาณเมทอกซิลลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นและเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยา deesterification ได้มากขึ้น ปริมาณเมทอกซิลของเพคตินที่สกัดได้จึงลดลง

2.4 ปริมาณ anhydrogalacturonic acid (Y_4)

ปริมาณ anhydrogalacturonic acid ของ



**Figure 4. (a) Three dimension plot for anhydrogalacturonic acid (Y_4) as a function of temperature (X_2 ; °C) and time (X_3 ; min)
(b) Three dimension plot for anhydrogalacturonic acid (Y_4) as a function of pH (X_1) and time (X_3 ; min)
[Color figure can be viewed in the electronic version]**

เพคตินที่สกัดได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด (equation 4 และ Figure 4) ซึ่งความสัมพันธ์ตามสมการที่ 4 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.27 และมีนัยสำคัญของแบบจำลองที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($p \leq 0.99$) กล่าวคือ ปริมาณ anhydrogalacturonic acid ของเพคตินที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการสกัดแปรเปลี่ยนจนถึงจุดจุดหนึ่ง ปริมาณ anhydrogalacturonic acid ของเพคตินที่สกัดได้จะลดลง

$$Y_4 = 81.408 + 2.420X_1 - 3.488X_2^2 - 2.593X_3^2 - 4.021X_1X_3 \quad (4)$$

ปริมาณ anhydrogalacturonic acid เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น (Figure 4a) และมีปริมาณสูงสุดเมื่อถึงสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 76°C และเวลา 68 นาที หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 76°C และเวลานานกว่า 68 นาที เพคตินที่สกัดมีปริมาณ anhydrogalacturonic acid ลดลง ซึ่งในการสกัดที่นานขึ้นและอุณหภูมิการสกัดที่สูงขึ้นอาจทำให้มีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น เฮมิเซลลูโลส หรือน้ำตาลตัวอื่นที่มีอยู่ในส่วนเปลือกด้านในถูกสกัดออกมามากขึ้นทำให้เพคตินมีความบริสุทธิ์น้อยลง ผลของความเป็นกรด-ด่างและเวลาที่ใช้ในการสกัดเพคตินต่อปริมาณ anhydrogalacturonic acid ด้วย (Figure 4b) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณ anhydrogalacturonic acid ของ

เพคตินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น เมื่อทำการสกัดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ ($\text{pH} < 2.6$) และใช้เวลาในการสกัดนานขึ้น ในขณะที่ปริมาณ anhydrogalacturonic acid ของเพคตินที่สกัดได้ลดลง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 2.6 และเวลาในการสกัดนานกว่า 68 นาที

เมื่อพิจารณาปริมาณเพคตินที่สกัดได้ร่วมกับปริมาณ anhydrogalacturonic acid ปริมาณ anhydrogalacturonic acid ของเพคตินที่สกัดได้มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 76°C และเวลา 68 นาที เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาสูงมากขึ้นมีผลให้ปริมาณ anhydrogalacturonic acid ลดลง ในขณะที่เพคตินที่สกัดได้ยังคงเพิ่มปริมาณสูงขึ้นโดยเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณสูงสุดที่สภาวะการสกัดที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำ อุณหภูมิสูง และเวลาในการสกัดนาน แต่เพคตินที่สกัดได้จากสภาวะดังกล่าวมีปริมาณ anhydrogalacturonic acid ต่ำ อาจเป็นไปได้ว่าเพคตินที่ได้ออกมามีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่เพคตินปนเปื้อนอยู่สูง ดังนั้นสภาวะการสกัดที่ให้ปริมาณเพคตินสูงและเพคตินที่สกัดได้ยังคงมีปริมาณ anhydrogalacturonic acid สูงด้วย ต้องทำการสกัดที่ pH สูง และสกัดที่อุณหภูมิ 76°C และเวลา 68 นาที ซึ่งเป็นสภาวะในการสกัดเพคตินเพื่อให้ได้เพคตินที่มีความบริสุทธิ์สูงได้ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์เพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วที่สกัดได้จากสภาวะต่างๆ ในการทดลองมีปริมาณ anhydrogalacturonic acid อยู่ในช่วง 66.5-91.8 ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถยอมรับได้ตามกำหนดของ The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (1984) ซึ่งกำหนดให้เพคตินมีปริมาณ anhydrogalacturonic acid ต่ำสุดเป็น 65%

ในการพิจารณาเลือกสภาวะการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วที่เหมาะสมจะพิจารณาจากปริมาณเพคตินที่สกัดได้เป็นหลักโดยพิจารณาร่วมกับคุณลักษณะที่บ่งชี้ถึงคุณภาพเพคตินที่สกัดได้ด้วยคือปริมาณเมทอกซิลและปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณเพคตินที่ได้จากการสกัดสูง เพคตินที่สกัดได้มีปริมาณเมทอกซิลและปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ต่ำ ดังนั้นจึงใช้แบบจำลองของปริมาณเพคตินที่สกัดได้ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเมทอกซิลและปริมาณน้ำหนักสมมูลย์มาพิจารณาเพื่อหาสภาวะที่มีความเหมาะสมที่สุดในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วเพื่อให้ได้ปริมาณ

เพคตินที่สกัดได้สูง ในขณะที่มีปริมาณเมทอกซิลและปริมาณน้ำหนักสมมูลย์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยทำการแทนค่าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Version 97 พบว่าที่สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 2 อุณหภูมิ 100°C และเวลา 105 นาที เป็นสภาวะที่มีความเหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่ว โดยเพคตินที่สกัดได้เป็นเพคตินชนิด low methoxyl pectin จากการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ 33% ของน้ำหนักเปลือกแห้งและมีปริมาณเมทอกซิล 2.5% ของเพคตินแห้ง ปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ 581 เนื่องจากสภาวะดังกล่าวให้ปริมาณเพคตินที่สูงที่สุดในช่วงของปริมาณเมทอกซิลที่ใช้ในอุตสาหกรรมของเพคตินชนิด low methoxyl pectin (ปริมาณเมทอกซิล 2.5-4.5 % (Kertesz, 1951))

ในการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยสุ่มเลือกสภาวะที่อยู่ในขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษามาทำการทดลองสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่ว (ชินธิฐา, 2545) พบว่า ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ ปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ และปริมาณเมทอกซิลของเพคตินที่สกัดได้ใกล้เคียงกับที่ทำนายได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ส่วนปริมาณ anhydrogalacturonic acid ของเพคตินที่สกัดได้แตกต่างกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทุกสภาวะที่สุ่มเลือกมา แต่อย่างไรก็ตามโดยสรุปแล้วถือว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเพคตินที่สกัดได้ ปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ และปริมาณเมทอกซิลสามารถนำไปใช้ทำนายที่มีความแม่นยำที่เชื่อถือได้ในช่วงของสภาวะที่ศึกษา

3. คุณสมบัติของเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มมะงั่ว

เมื่อเปรียบเทียบเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่วกับเพคตินทางการค้าเกรด 150 (Table 3) พบว่าเพคตินทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณใกล้เคียงกัน ความชื้นของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่วสูงกว่าเพคตินทางการค้า แต่อย่างไรก็ตามความชื้นระดับนี้ไม่ทำให้เพคตินจับตัวเป็นก้อนเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -29°C อย่างน้อยเป็นเวลา 1 เดือน ส่วนลักษณะด้านสีของเพคติน พบว่าเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มมะงั่วจะมีความสว่างกว่าเพคตินทางการค้า

Table 3. Amount and quality attributes of extracted pectin from *Citrus medica* Linn. at the optimized condition (pH 2, 100°C and 105 min) compared to a commercial pectin (Grade 150)

| Amount and quality attributes | Amount | |
|-------------------------------|---------------------|--------------------------|
| | Extracted pectin | Commercial Pectin (G150) |
| Amount of extracted pectin | 33.34% | - |
| Moisture | 10.12% ^a | 9.66% ^b |
| Ash | 1.27% ^a | 0.98% ^a |
| Colour (CIELAB) L* | 76.8 ^a | 68.03 ^b |
| a* | 1.01 ^b | 13.76 ^a |
| b* | 13.64 ^b | 15.61 ^a |
| Gelling Grade | 150 ^a | 150 ^a |
| Anhydrogalacturonic acid | 72.31% ^b | 78.16% ^a |
| Equivalent weight | 594.32 ^b | 659.85 ^a |
| Methoxyl Content | 2.65% ^b | 4.2% ^a |

The superscript of same letter in row showed no significant difference (p>0.05)

และเพคตินทางการค้ามีสีแดง (a) และสีเหลือง (b) มากกว่าเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มมะงั่ว เพคตินทั้งสองมีค่าเยลลี่เกรดเท่ากัน นั่นคือ 150 ส่วนปริมาณ anhydrogalacturonic acid ปริมาณน้ำหนักรวม และปริมาณเมทอกซิลของเพคตินทางการค้าสูงกว่าเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มมะงั่ว อย่างไรก็ตามเพคตินทางการค้ามีปริมาณเมทอกซิลอยู่ในช่วง Low methoxyl pectin จากคุณสมบัติของเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วที่สกัดได้จะนำไปใช้ประโยชน์ในอาหารในขั้นต่อไป

4. ผลการกำหนดแนวทางการใช้ประโยชน์ของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่ว

4.1 การใช้เพคตินเป็นสารก่อให้เกิดลักษณะเจล (gelling agent)

จาก Table 4 จะเห็นว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบต่อลักษณะด้านสี กลิ่น สัมผัส รสหวานของแยมที่ใช้เพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วไม่แตกต่างกันทางสถิติกับแยมที่ใช้เพคตินทางการค้าเกรด 150 (p>0.05) นอกจากนี้คุณลักษณะทางกายภาพด้านความสว่าง (L*) สีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ของแยมที่ผลิตโดยใช้เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มมะงั่วและเพคตินทางการค้าก็ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปริมาณ

เพคตินในผลิตภัณฑ์แยมเพียงเล็กน้อย (1%) เท่านั้น ส่วนลักษณะของแยมด้านความเหมาะสมในการปาดป้าย เนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่า ผู้ทดสอบชิมชอบลักษณะด้านความเหมาะสมในการปาดป้าย เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของแยมที่ใช้เพคตินทางการค้ามากกว่าแยมที่ใช้เพคตินที่ผลิตจากเปลือกส้มมะงั่ว ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของลักษณะความคงตัวของเจลจากคุณสมบัติของเพคตินทางการค้าและเพคตินที่สกัดได้จากการทดลองมีค่าเยลลี่เกรดเป็น 150 แยมที่ผลิตออกมามีลักษณะของเจลที่ใกล้เคียงกัน และวัดความคงตัวของเจลโดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบ Bostwick consistometer พบว่าตัวอย่างจากแยมที่ทำมาจากเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างแยมที่ผลิตจากเพคตินทางการค้า จะเห็นว่าความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของแยมที่ได้จากเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วมีคะแนนต่ำกว่าแยมที่ผลิตจากเพคตินทางการค้าเกรด 150 ซึ่งอาจจะเป็นความแตกต่างเพียงเล็กน้อยที่ผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบรวมของแยมที่ผลิตจากเพคตินที่สกัดได้อยู่ที่ 5.4 ถือว่าอยู่ในระดับชอบปานกลาง (คะแนนเต็ม 10) ส่วนแยมที่ผลิตจากเพคตินทางการค้ามีคะแนนอยู่ที่ 6.6 ซึ่งอยู่ที่ระดับใกล้เคียงกัน

Table 4. Sensory evaluation and physical measurement of pineapple jam using the extracted pectin compared to a commercial pectin (G150)

| Sensory Evaluation | sensory score ^{1/} | |
|------------------------------------|-------------------------------------|--|
| | Pineapple jam (extracted pectin) | Pineapple jam (commercial pectin, G150) |
| Color | 5.8 ^a | 6.0 ^a |
| flavour | 5.4 ^a | 5.9 ^a |
| Sweetness | 5.3 ^a | 5.9 ^a |
| Spreadability | 4.4 ^b | 5.4 ^a |
| Texture | 5.0 ^b | 5.9 ^a |
| Overall Liking | 5.4 ^b | 6.6 ^a |
| physical measurement ^{2/} | Reading | |
| CIELAB L* | 44.2 ^a | 42.0 ^a |
| a* | 35.1 ^a | 39.0 ^a |
| b* | 24.2 ^a | 21.5 ^a |
| Gel consistency (cm/30s) | 9.52 ^a | 9.45 ^a |

The superscript of same letter in row showed no significant difference (p>0.05)

^{1/}Using hedonic line scale, 60 panelists

^{2/}Using Ultrascan and Bostwick consistometer

4.2 การใช้เป็นสารเสริมความคงตัว (stabilising agent) ในนมพาสเจอร์ไรซ์รสช็อคโกแลต

นมช็อคโกแลตที่ใช้เพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วที่ระดับ 0.06% และ 0.1% มีความหนืดต่ำกว่านมช็อคโกแลตที่ใช้แคปซาคาราจีแนน (0.06%) เป็นสารเสริมความคงตัว และนมช็อคโกแลตที่ใช้เพคตินที่ระดับ 0.2% มีความหนืดไม่ต่างกับนมช็อคโกแลตที่ใช้แคปซาคาราจีแนน เป็นสารเสริมความคงตัว เมื่อเก็บนมช็อคโกแลตในสภาวะแช่เย็นที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 7 วัน พบว่าความหนืดของนมไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และเมื่อสังเกตการตกตะกอนหลังจากตั้งทิ้งไว้ 7 วันในตู้เย็นอุณหภูมิ 10°C พบว่านมช็อคโกแลตที่ไม่ใช้สารเสริมความคงตัว นมช็อคโกแลตใช้เพคตินเป็นสารเสริมความคงตัวที่ระดับ 0.06% และ 0.1% มีผงช็อคโกแลตที่ตกตะกอนอยู่ด้านล่างภาชนะอย่างเห็นได้ชัดเจนนตามลำดับ ส่วนนมช็อคโกแลตที่ใช้แคปซาคาราจีแนน 0.06% และเพคติน 0.2% เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 วัน ไม่พบการตกตะกอนของผงช็อคโกแลต และไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการตกตะกอนของผงช็อคโกแลตเมื่อตั้งทิ้งไว้จนครบ 7 วัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดที่ไม่เปลี่ยนแปลงทางสถิติ (p>0.05) จากผลการทดลองจะเห็นว่า ต้องใช้เพคตินที่

สกัดได้ในปริมาณ 0.2% จึงจะมีผลให้ผงช็อคโกแลตมีความคงตัวแขวนลอยในผลิตภัณฑ์นมเทียบเท่ากับนมช็อคโกแลตที่ใช้แคปซาคาราจีแนน (0.06%) เป็นสารเสริมความคงตัว ดังนั้นที่ระดับประสิทธิภาพในการป้องกันการตกตะกอนของผงช็อคโกแลตในนมพาสเจอร์ไรซ์ที่เท่ากันต้องใช้เพคตินที่สกัดได้จากส้มมะงั่วมากกว่าแคปซาคาราจีแนนถึง 3 เท่า

สรุปผลการทดลอง

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคตินคือ pH อุณหภูมิ และเวลา เมื่อนำปัจจัยดังกล่าวมาหาสภาวะที่เหมาะสมสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินที่สกัดได้ ปริมาณน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ ปริมาณเมทอกซิล และปริมาณ anhydrogalacturonic acid กับปัจจัยที่ศึกษา และได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มมะงั่วคือที่ pH 2 อุณหภูมิ 100°C และเวลา 105 นาที เพคตินที่สกัดจากสภาวะดังกล่าวเมื่อนำไปใช้เป็นสารก่อให้เกิดลักษณะเจลในแยมสับปะรดพบว่าให้ลักษณะของแยมที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับแยมที่ผลิตทางการค้าเกรด 150 (p>0.05) และเมื่อนำเพคตินที่สกัดได้ไปใช้เป็นสารเสริมความ

คงตัวในนมพาสเจอร์ไรส์รสช็อคโกแลต พบว่าต้องใช้เพคตินมากกว่าแคปซูลคาราจีแนนถึง 3 เท่า เพื่อป้องกันการตกตะกอนของผงช็อคโกแลตในนมพาสเจอร์ไรส์

เอกสารอ้างอิง

- ชนิษฐา เลิกชัยภูมิ รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย เกษม นันทชัย และ ธนกร โรจนกร. 2545. การสกัดเพคตินจากส้มมะงั่ว. การนำเสนอภาคโปสเตอร์: การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตรครั้งที่ 4 Thaifex & Thamex 2002: อาหารไทยเพื่อพัฒนาประเทศและการส่งออก 31 พค. - 1 มิ.ย 2545. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ.
- ชนิษฐา เลิกชัยภูมิ. 2545. การสกัดเพคตินจากส้มมะงั่วและการใช้ประโยชน์ในระบบอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ธานี ตระกูลอินทร์. 2533. ผลของโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตและเอททิลีนไดเอมีนเตตราอะซิติกแอซิดต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สันติ ทิพยางค์. 2535. การผลิตน้ำนมถั่วเหลืองยูเอชทีที่มีความคงตัวด้วยคาราจีแนน. อาหาร. 22(3): 53-55.
- Agarwal, P.C and Pruthit, J.S. 1968. A Study of Factors Governing the Recovery and Quality of Pectin from Fresh Mandarin Orange Waste (Peel and Pomace). Indian Food Packer. 22(4): 5-6.
- Aravantinos-Zafirris, G. and Oreopoulou, V. 1992. The Effect of Nitric Acid Extraction Variables on Orange Pectin. J. Sci and Agri. 60: 127-129.
- Chang, K.C., Dhurandhar, N., You, X., Miyamoto, A. 1994. Sunflower Head Residue Pectin Extraction as Affected by Physical Conditions. J. Food Sci. 59(6): 1207-1210.
- Dang, M.H., Dang, V.L. 1989. Optimization of Pectin Extraction from Dried Peel of Citrus Grandis. Polymer bulletin. 22(5-6): 599-602.
- Dhingra, M.K., Gupta, O.P. 1982. Evaluation of Chemicals for Pectin Extraction from Guava (*Psidium guajava* L.) Fruit. J. Food Sci and Tech. 22: 137-175.

- Kertesz, Z.I. 1951. The pectic substances. New York: Interscience Publishers, Inc.
- Kratchanov, C., Marev, K., Kirchev, N., Bratanoff, A. 1980. Improving Pectin Technology: Extraction Using Pulsating Hydrodynamic Action. J. Food Sci and Tech. 21(6): 751-761.
- Levigne, S., Ralet, M.C., Thibault, J.F. 2002. Characterisation of Pectin Extraction from Fresh Sugar Beet Under Different Conditions Using an Experimental Design. Carbohydrate Polymers. 49(2): 145-153.
- Michel, F., Thibault, J.F., Mercier, C., Heitz, F. and Pouillaude, F. 1985. Extraction and Characterization of Pectins from Sugar Beet Pulp. J. Food Sci. 50: 1499-1500.
- Nagy, S., Shaw, E.P., Veldhuis, K.M. 1977. Citrus Science and Technology. U.S.A: AIV Publishing.
- Pagan, J., Ibarz, A. 1999. Extraction and Rheological Properties of Pectin from Fresh Peach Pomace. J. Food Eng. 39: 193-201.
- Pagan, J., Ibarz, A., Llorca, M., Coll, L., Pagan, A., Barbosa-canovas, G.V. 2001. Extraction and Characterization of Pectin from Stored Peach Pomace. Food Res. Int. 34(7): 605-612.
- Ranganna, S. 1977. Manual of Analysis of Fruit and vegetable Products. 2nd ed. Newdelhi: Tata McGraw Hill Publishing Co.
- Rolin, C., Vries, J.D. 1990. Pectin. In Harris P. Ed. Food Gels. London: Elsevier Applied Science.
- Rouse, A.H., Crandall, P.G. 1978. Pectin Content of Lime and Lemon Peel as Extraction by Nitric Acid. J. Food Sci. 43: 72-73.
- Simpson, B.K., Egyankor, K.B., Martin, A.M. 1984. Extraction, Purification and Determination of Pectin in Tropical Fruits. J. Food Proc. and Pres. 8(2): 63-72.
- The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 1984. Anticaking agent, buffering agent, salt, emulsifier, enzyme, extracted solvent, flavouring agent and miscellaneous food additives. In Compendium of Food additive specifications. FAO Food and Nutrition. p 32.