การสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน

มาริษา ไชยโอสถ

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤศจิกายน 2549
ISBN 974-502-956-4
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ มาริษา ไชยโอสถ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

(ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์)

..... กรรมการ

(ดร.ปนิดา บรรจงสินศิริ)

..... กรรมการ

(ดร.ชุลีพร พุฒนวล)

..... กรรมการ

(ดร.อาภัสรา แสงนาค)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน

(ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์)

..... กรรมการ

(ดร.ปนิดา บรรจงสินศิริ)

..... กรรมการ

(ดร.ชุลีพร พุฒนวล)

..... กรรมการ

(ดร.อาภัสรา แสงนาค)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรรถชัย สารถวัลย์แพศย์)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)

วันที่ 14 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2549

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ดีด้วยความกรุณาจาก ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.ปนิดา บรรจงสินศิริ ดร.ชุลีพร พุฒนวล และ ดร.อาภัสรา แสงนาค กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้ขอเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ ดร.วนิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาเกี่ยวกับสถิติในการทำวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ บริษัท สไมล์ ฟรุ๊ต จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบมาใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย โครงการบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารทุกท่านที่เสียสละเวลาในการจัดหาและอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีด้วยความราบรื่นตลอดการทำการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่เป็นกำลังใจสำคัญ ตลอดจนพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกท่านที่มีคอยส่วนช่วยเหลือทั้งแรงกายแรงใจเพื่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยบูรพา ประจำภาคปลาย ปีการศึกษา 2547 และได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากโครงการบัณฑิตศึกษา ฝึกอบรมและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษา วิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

มาริษา ไชยโอสถ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

45911985: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: การสกัดเพกทิน/ ของเหลือทิ้งของขนุน

มาริษา ไชยโอสถ: การสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน (PECTIN EXTRACTION FROM JACKFRUIT WASTE) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์: กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, Ph.D., ปนิดา บรรจงสินศิริ, Ph.D. 140 หน้า. ปี พ.ศ. 2549 ISBN 974-502-956-4

ศึกษาการสกัดเพกทินจากส่วนเหลือทิ้งของขนุน 3 ชนิด (เปลือก ซัง และแกน) พบว่าของเหลือทิ้งทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณเพกทินไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) จึงเลือกใช้ส่วนเหลือทั้ง 3 ชนิด ในอัตราส่วน 1: 1: 1 เป็นวัตถุดิบในการสกัดเพกทิน โดยศึกษาปัจจัยในการสกัด 4 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายกรด อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัด มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (0.2-0.4 นอร์มัล) อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายกรด (1: 10-1: 20 นอร์มัล) อุณหภูมิ (60-90 องศาเซลเซียส) และเวลาที่ใช้ในการสกัด (45-90 นาที) โดยใช้แผนการทดลองแบบ Central Composite Design พบว่า ในการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.24 นอร์มัล อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 15 อุณหภูมิ 89 องศาเซลเซียส และเวลา 70 นาที ได้ปริมาณเพกทินสูงสุด 7.59 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพกทินที่สกัดได้มีปริมาณความชื้น 11.65 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 2.70 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสมมูลย์ 1,409.11 ปริมาณเมทอกซิล 2.69 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดยูโรนิก 57.08 เปอร์เซ็นต์ และระดับการเกิดเอสเทอร์ 26.75 เปอร์เซ็นต์ จึงจัดเป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ เมื่อนำมาทำเยลลี่สับปะรดแคลอรี่ต่ำ พบว่า เยลลี่ที่ใช้เพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนมีค่าความเป็นสีแดงสูงกว่าเยลลี่ที่ใช้เพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ แต่เยลลี่ทั้งสองตัวอย่างมีค่าความแข็งแรงของเจลใกล้เคียงกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

45911985: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORD: PECTIN EXTRACTION/ JACKFRUIT WASTE

MARISA CHAIOSOT: PECTIN EXTRACTION FROM JACKFRUIT WASTE THESIS ADVISOR: KULLAYA LIMROONGREUNGRAT, Ph.D., PANIDA BUNJONGSINSIRI, Ph.D. 140 P. 2006. ISBN 974-502-956-4

Pectin extraction from three types of jackfruit waste (rind, pericarp and core) was studied. No significant difference of pectin yields among three types of jackfruit waste was observed. The mixture of jackfruit waste in the ratio of 1: 1: 1 was used as raw material in extracting the pectin. Four extraction factors including concentration of hydrochloric acid, ratio of waste to acid, temperature and extraction time which significantly affected on pectin yields and the quality of pectin, were selected to investigate the optimal condition for pectin extraction. Concentration of hydrochloric acid (0.2-0.4 N), ratio of waste to acid (1: 10-1: 20), temperature (60-90 °C) and extraction time (45-90 min), as well as central composite design were used to design an experiment. The extraction of pectin from jackfruit waste by using 0.24 N hydrochloric acid in 1: 15 waste to acid ratio at 89 °C for 70 minutes yielded the highest pectin content (7.59% dry weight). The obtained pectin containing 11.65 % moisture, 2.70 % ash, 1409.11 equivalent weight, 2.69 % methoxyl content, 57.08 % uronic acid and 26.75 % degree of esterification, was classified as low methoxyl pectin. The extracted pectin was utilized in the production of low calorie pineapple jelly. The jelly added to the extracted pectin had higher redness than that of jelly added low methoxyl commercial pectin; however, the gel strength of both jelly was identical.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย 3

สมมติฐานของการทำวิจัย 4

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 4

ขอบเขตทางการวิจัย 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

ขนุน 5

สารประกอบเพกทิน 6

กรรมวิธีการสกัดเพกทินจากเปลือกผลไม้ 16

เยลลี่ 26

การวางแผนการทดลองโดยใช้วิธี Response Surface Methodology 28

3 วิธีดำเนินการวิจัย 29

วัตถุดิบ 29

เครื่องมือและอุปกรณ์ 29

สารเคมี 30

วิธีดำเนินการทดลอง 31

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ 31

การคัดเลือกชนิดของส่วนเหลือทิ้งของขนุนที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน 31

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้
จากส่วนเหลือทิ้งของขนุน 34

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน	36
	การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเพกทินที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสม	38
	การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนในภาวะที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า	38
	การศึกษาการใช้ประโยชน์เพกทินที่ผลิตได้กับเพกทินทางการค้าในผลิตเยลลี่สับปะรดแคลอรี่ต่ำ	39
4	ผลการวิจัย	40
	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ	40
	ผลการคัดเลือกชนิดของส่วนเหลือทิ้งของขนุนที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน	40
	ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุน	42
	ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน	45
	ผลการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเพกทินที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสม	79
	ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนในภาวะที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า	81
	ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์เพกทินที่ผลิตได้กับเพกทินทางการค้าในผลิตเยลลี่สับปะรดแคลอรี่ต่ำ	82
5	อภิปรายและสรุปผล	84
	องค์ประกอบทางเคมีของส่วนเหลือทิ้งของขนุน	84
	ชนิดของส่วนเหลือทิ้งของขนุนที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน	84
	ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุน	85
	ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน	88
	ความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเพกทินที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสม	89

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	สมบัติทางเคมีและกายภาพของเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนในภาวะที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า	90
	การใช้ประโยชน์เพกทินที่ผลิตได้กับเพกทินทางการค้าในผลิตเยลลี่สับปะรดแคลอรี่ต่ำ	91
	สรุปผลการทดลอง	92
	ข้อเสนอแนะ	92
บรรณานุกรม		94
ภาคผนวก		100
	ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเคมี	101
	ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ	113
	ภาคผนวก ค สมบัติของเพกทินมาตรฐานชนิดเมทอกซิลต่ำ	120
	ภาคผนวก ง วิธีการทำเยลลี่สับปะรดแคลอรี่ต่ำ	123
	ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	124
ประวัติย่อของผู้วิจัย		140

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1-1 ปริมาณของเหลือทิ้งจากขนุนทั้งประเทศปี 2541-2545 2

1-2 สถิติการนำเข้าสารเพกทินทั้งประเทศปี 2541-2549 3

2-1 ปริมาณเพกทินที่พบในผลไม้บางชนิด 11

3-1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่นำมาศึกษาเพื่อประเมินอิทธิพลที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดจากของเหลือทิ้งของขนุน 34

3-2 แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^4 ที่ใช้ในการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพกทิน 35

3-3 แผนการทดลองแบบ Central Composite Design ที่ใช้ในการสกัดเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน 37

4-1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือก ซัง และแกนขนุนสดและอบแห้ง 40

4-2 ปริมาณของเพกทินจากส่วนเหลือทิ้งต่าง ๆ ของขนุน 42

4-3 ปริมาณและคุณภาพเพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุนในแต่ละระดับปัจจัย ... 43

4-4 ค่าอิทธิพลและระดับนัยสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทิน 44

4-5 ปริมาณและคุณภาพเพกทินในแต่ละระดับปัจจัยเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด 47

4-6 ค่าสัมประสิทธิ์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทิน (Y_1) น้ำหนักสมมูลย์ (Y_2) ปริมาณเมทอกซิล (Y_3) ปริมาณกรดยูโรนิก (Y_4) และระดับการเกิดเอสเทอร์ (Y_5) กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (X_1) อุณหภูมิ (X_2) เวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) กับปัจจัยที่ทำการศึกษา 49

4-7 ค่าสัมประสิทธิ์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทิน (Y_1) น้ำหนักสมมูลย์ (Y_2) ปริมาณเมทอกซิล (Y_3) ปริมาณกรดยูโรนิก (Y_4) และระดับการเกิดเอสเทอร์ (Y_5) กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (X_1) อุณหภูมิ (X_2) เวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) กับปัจจัยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 50

4-8 ปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากการทดลองทำการสกัดจริงเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 80

4-9 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของเพกทินที่สกัดจากของเหลือทิ้งของขนุนที่ภาวะเหมาะสมเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ 81

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-10 ค่าสีของเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุนและเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ 82

4-11 สมบัติทางกายภาพของเยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินของเหลือทิ้งของขนุนและเพกทินทางการค้า 83

ภาคผนวก ก-1 การเตรียมสารละลายกรดกาแลกทูโรนิกเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานกรดยูโรนิก 109

ภาคผนวก ข-1 ภาวะที่ใช้วัดความแข็งแรงของเจล 114

ภาคผนวก ค-1 สมบัติของเพกทินมาตรฐานชนิดเมทอกซิลต่ำ 120

ภาคผนวก จ-1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากเปลือก ซัง และแกนขนุน ภายใต้ภาวะความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.3 นอร์มัล อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรดเป็น 1: 15 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที 124

ภาคผนวก จ-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้ 125

ภาคผนวก จ-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักสมมูลย์ 126

ภาคผนวก จ-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเมทอกซิล 127

ภาคผนวก จ-5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิก 128

ภาคผนวก จ-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเกิดเอสเทอร์ 129

ภาคผนวก จ-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้ในภาวะที่เหมาะสม 130

ภาคผนวก จ-8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักสมมูลย์ในภาวะที่เหมาะสม 131

ภาคผนวก จ-9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเมทอกซิลในภาวะที่เหมาะสม 132

ภาคผนวก จ-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดยูโรนิกในภาวะที่เหมาะสม 133

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ภาคผนวก จ-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเกิดเอสเทอร์ในภาวะที่เหมาะสม 134
ภาคผนวก จ-12 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของปริมาณเพกทินที่สกัดได้ 135
ภาคผนวก จ-13 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของน้ำหนักสมมูลย์ 136
ภาคผนวก จ-14 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของปริมาณเมทอกซิล 137
ภาคผนวก จ-15 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของปริมาณกรดยูโรนิก 138
ภาคผนวก จ-16 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของระดับการเกิดเอสเทอร์ 139
ภาคผนวก จ-17 ผลการวิเคราะห์ Independent Sample t-Test ในขั้นตอนการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณเพกทินที่สกัดได้ 139

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	∝-D-กรดกาแลกทูโรนิก	7
2-2	โครงสร้างของเพกทิน	8
2-3	Pectin Backbone ซึ่งประกอบด้วย Hairy Regions (Rhamnogalacturonan and Side-Chains) และ Smooth Regions (Linear Galacturonan)	8
2-4	โครงสร้างของเพกทินชนิดเมทอกซิลสูง	9
2-5	โครงสร้างของเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ	10
2-6	โครงสร้างของ Amidated Methoxyl Pectin	10
2-7	เพกทินที่พบมากที่สุดในชั้นมิดเดิล ลาเมลลาของผนังเซลล์พืช	10
2-8	โครงสร้างของ Junction Zoneระหว่างการเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซิลสูง ที่ได้จากการสะท้อนของรังสีเอกซ์ เมื่อเกิด Hydrophobic Interaction ระหว่างคู่ของหมู่เมทิล (จุดทึบ) กับพันธะไฮโดรเจน (เส้นประ)	12
2-9	โครงสร้างของ Junction Zone ระหว่างการเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ แสดงใน Egg-Box Model	13
2-10	การจับแคลเซียมในสายโพลิเมอร์ของกรดกาแลกทูโรนิก (a) Egg-Box Dimer (b) Aggregation of Dimers (c) Egg-Box Cavity	13
3-1	ขั้นตอนการสกัดและตกตะกอนเพกทิน	33
4-1	ชนิดส่วนเหลือทิ้งของขนุนที่ใช้สกัดเพกทิน (เปลือก ซัง และแกนขนุนอบแห้ง)	41
4-2	เพกทินที่สกัดได้จากส่วนเหลือทิ้งของขนุน (เปลือก ซัง และแกนขนุนอบแห้ง)	41
4-3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอุณหภูมิ (X_2)	52
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับความเข้มข้น HCl (X_1) และเวลา (X_3)	53
4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)	54
4-6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4)	55

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกทินที่สกัดได้ (Y_1) กับเวลา (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อปริมาณกรด (X_4) 56

4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_2) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอุณหภูมิ (X_2) 58

4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_2) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และเวลา (X_3) 59

4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_2) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) 60

4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลย์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_2) กับเวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด(X_4) 61

4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอุณหภูมิ (X_2) 63

4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และเวลา (X_3) 64

4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) 65

4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) 66

4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่สกัดได้ (Y_3) กับเวลา (X_3) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) 67

4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอุณหภูมิ (X_2) 69

4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) 70

4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับอุณหภูมิ (X_1) และเวลา (X_2) 71

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) 72

4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ (Y_4) กับเวลา (X_3) และ อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_4) 73

4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_5) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และอุณหภูมิ (X_2) 75

4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_5) กับความเข้มข้นของ HCl (X_1) และเวลา (X_3) 76

4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_5) กับอุณหภูมิ (X_2) และ เวลา (X_3) 77

4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอร์ของเพกทินที่สกัดได้ (Y_5) กับอุณหภูมิ (X_2) และอัตราส่วนอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อกรด (X_3) 78

4-26 ปริมาณเพกทินที่สกัดได้เปรียบเทียบกับปริมาณเพกทินที่ทำนายได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 80

4-27 เพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุนและเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ 82

4-28 เยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินจากของเหลือทิ้งของขนุน (ก) และเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ (ข) 83

ภาคผนวก ก-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดยูโรนิกกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร 110

ภาคผนวก ข-1 เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2 116

ภาคผนวก ข-2 หัววัดทรงกลมขนาด 0.25 มิลลิเมตร (p 0.25/ s) 116

ภาคผนวก ข-3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ 117

ภาคผนวก ข-4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ที่เตรียมจากเพกทินที่สกัดได้จากของเหลือทิ้งของขนุน 118

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University