

การสกัดด้วยเอโนไซม์และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร  
จากพุทราพันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam.

นางสาวชัมย์พร แรงกลาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2551  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENZYMATIC EXTRACTION AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF DIETARY FIBER  
FROM JUJUBE *Ziziphus mauritiana* Lam.

Miss Chamaiporn Rangklang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสกัดด้วยเอนไซม์และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจาก  
พุทราพันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam.

โดย

นางสาวชมัยพร แรงกลาง

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเป็รื่อง

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รณณี สงวนดีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเป็รื่อง)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชื่นจิต ประกิจชัยวัฒนา)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรณจิรา วงศ์สวัสดิ์)

ชมัยพร แรงกลาง : การสกัดด้วยเอนไซม์และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากพุทรา  
พันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam. (ENZYMATIC EXTRACTION AND  
FUNCTIONAL PROPERTIES OF DIETARY FIBER FROM JUJUBE *Ziziphus  
mauritiana* Lam.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร. ปราณี อานเป็รื่อง, 116 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซีเลจจากพุทราพันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam. และศึกษากระบวนการสกัดใยอาหารจากกากพุทราที่ผ่านการสกัดมิวซีเลจแล้วด้วยเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L<sup>®</sup> รวมทั้งศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซีเลจผงและใยอาหารผงที่ได้ สำหรับภาวะที่ให้ปริมาณมิวซีเลจที่เหมาะสมคือ บ่มพุทราแก่จัดเป็นเวลา 9 วัน ให้ความร้อนผลพุทราสุกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3 นาที สกัดพุทราสุกด้วยน้ำในอัตราส่วนเนื้อพุทราสุกต่อน้ำ 1:7 อุณหภูมิ 60°C และตกตะกอนด้วยเอทานอลในอัตราส่วนสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล 1:3 จากการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซีเลจผงที่ได้เปรียบเทียบกับกัวร์กัมและแซนแทนกัม พบว่ามิวซีเลจผงมีค่าความสว่างมากกว่ากัวร์กัมแต่น้อยกว่าแซนแทนกัม มีความสามารถในการอุ้มน้ำ 11.77 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันมากกว่ากัวร์กัมและแซนแทนกัมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และมีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันน้อยกว่าแซนแทนกัมและกัวร์กัมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ในการศึกษาพฤติกรรมการไหล พบว่ามิวซีเลจมีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic ซึ่งคล้ายกับกัวร์กัม และพบว่าเมื่อสารละลายมิวซีเลจมีความเข้มข้นสูงขึ้นและค่า pH สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ส่งผลให้ค่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจลดลง การศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เพกทีเนสในการสกัดใยอาหารจากกากพุทรา ในส่วนของการล้างกากพุทราพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการล้างกากพุทราคือล้างกากพุทราด้วยน้ำในอัตราส่วนกากพุทราต่อน้ำ 1:2 จำนวน 3 ครั้ง จากนั้นศึกษาภาวะการสกัดใยอาหารจากกากพุทรา โดยแปรความเข้มข้นเอนไซม์ในช่วง 0-3.0% (v/w) และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 0-6 ชั่วโมง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้น โดยภาวะการสกัดใยอาหารที่เหมาะสมคือ การสกัดด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) โดยสามารถแบ่งระดับการตัดพันธะไกลโคซิดของพอลิเมอร์ในกากพุทราด้วยเอนไซม์ที่ประเมินจากค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ได้เป็น 5 ระดับคือ 1.01, 17.79, 19.29, 22.61 และ 23.98 mg glucose/ g fresh weight โดยใช้เวลาในการย่อยเท่ากับ 0, 0.5, 1, 2 และ 4 ชม. ตามลำดับ และจากการศึกษาปริมาณใยอาหารละลายน้ำ พบว่าระยะเวลาการย่อย 4 ชั่วโมง ส่งผลให้ได้ปริมาณใยอาหารละลายน้ำมากกว่าระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) จากนั้นเติมเอนไซม์ลงไป ณ จุดที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายเริ่มหยุดนิ่ง พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าสูงขึ้นและเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. จากการทดลองจะได้ใยอาหารผงที่มีระดับการตัดพันธะไกลโคซิดของพอลิเมอร์ในกากพุทราที่ระยะเวลาการย่อยสลายต่างกัน 3 ระดับ คือใยอาหารผงที่ย่อยด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. จากการศึกษาปริมาณใยอาหารละลายน้ำ พบว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีปริมาณใยอาหารละลายน้ำสูงกว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 ชม. และ 0 ชม. อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และจากการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารผงที่ได้ พบว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน สูงกว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 ชม. และ 0 ชม. อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าใยอาหารผงทั้ง 3 ตัวอย่าง มีคะแนนทางด้านสีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สำหรับลักษณะประสาทสัมผัสทางด้านอื่น ๆ คือ กลิ่น ความละเอียด การฟุ้งกระจายและการแขวนลอยในน้ำ ใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีคะแนนสูงกว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 ชม. และ 0 ชม. อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2551.....

# # 4872261123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : JUJUBE/ ENZYME/ DIETHARY FIBER

CHAMAIPORN RANGKLANG : EXTRACTION AND FUNCTIONAL

PROPERTIES OF MUCILAGE POWDER FROM JUJUBE *Ziziphus mauritiana*

Lam. ADVISOR : ASSOC. PROF. PRANEE ANPRUNG, Ph.D., 116 pp.

The objectives of this research were to study the extract condition of mucilage and the production of jujube (*Ziziphus mauritiana* Lam.) dietary fiber powder from jujube pomace using enzyme processing, and also to study the functional properties of mucilage powder and jujube dietary fiber powder. The extract condition which provided the highest mucilage yield was incubated jujube pulps for 9 days, blanching at 85°C for 3 min, mixing jujube pulp with water in the ratio of 1:7 at 60°C, and precipitating the mucilage solution with ethanol in the ratio of 1:3. From the study of functional properties of mucilage powder compared with guar gum and xanthan gum, results showed that mucilage powder had the L\* value similar to xanthan gum but higher than guar gum. Water holding capacity was 11.77 g water/ g dry weight. The value of oil absorption was higher than guar gum and xanthan gum, respectively ( $p \leq 0.05$ ). The emulsion capacity was less than xanthan gum and guar gum, respectively ( $p \leq 0.05$ ). The rheological properties were found that mucilage solution exhibited pseudoplastic behavior as the same with guar gum. This research also indicated that the higher concentration of mucilage solution and pH could increase the viscosity. However, when increasing temperature the viscosity was decreased. From the production of jujube dietary fiber powder using enzyme processing, results indicated that the optimum washing condition of jujube pomace was washing jujube pomace with water in the ratio of 1:2 for 3 times. Then treated jujube pomace with Pectinex® Ultra SP-L by varying the enzyme concentration (0-3.0% v/w) and hydrolysis time (0-6 h), results showed that the reducing sugars were increased when increasing concentration and hydrolysis time. The optimum process condition was treated jujube pomace with enzyme concentration of 2.0% (v/w) and hydrolyzed for 0, 0.5, 1, 2, and 4 h. This condition can be hydrolyzed jujube pomace in 5 levels different in the amount of reducing sugars (1.01, 17.79, 19.29, 22.61 and 23.98 mg glucose/ g fresh weight). The effect of these treatment conditions on jujube pomace showed that jujube pomace at hydrolysis time for 4 h had significantly higher soluble dietary fiber content than other hydrolysis times ( $p \leq 0.05$ ). Then studying the rate of hydrolysis by using enzyme concentration of 2.0% (v/w) at 4 h hydrolysis time, it was found that the reducing sugars increased and stable at hydrolysis time for 6 h. From this research, it can be divided the jujube dietary fiber powder into 3 levels according to the different of glycosidic bonds cleavage which were jujube dietary fiber powder from treated jujube pomace with enzyme for 0, 4, and 6 h, respectively. The jujube dietary powder at 6 h hydrolysis time had significantly higher soluble dietary fiber content than other hydrolysis times ( $p \leq 0.05$ ). From the studying of functional properties of jujube dietary fiber powder found that jujube dietary fiber powder at 6 h hydrolysis time had water holding capacity, oil holding capacity and emulsion capacity significantly higher than other hydrolysis times ( $p \leq 0.05$ ). Sensory evaluation of jujube dietary fiber powder at 6 h hydrolysis time showed that this condition had significantly greater scoring in color, jujube fruit odor, fine powder, spread and suspension ability than other hydrolysis times.

Department : Food Technology Student's Signature : \_\_\_\_\_

Field of Study : Food Technology Advisor's Signature : \_\_\_\_\_

Academic Year : 2008 \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปราณี อานเป็รื่อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้เสนอแนวคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ และได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทาง ให้ความช่วยเหลือทางด้านวิชาการตลอดจน ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. ชื่นจิต ประกิจชัยวัฒนา อาจารย์ ดร. ซาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และ ผศ. ดร. พวรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ กรุณาตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่คอยอบรม สั่งสอนให้ ความรู้เสมอมา

ขอขอบคุณโครงการนวัตกรรมเพื่อยกระดับคุณภาพและความปลอดภัยทาง อาหารสู่โครงสร้างเศรษฐกิจยุคใหม่ ทุนวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และบุคลากร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ตลอดจนถึง พี่ๆ และน้องๆ ร่วมสถาบันทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ และอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ เสมอมา

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติทุกคนที่คอยเอาใจใส่ ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านและเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 พุทธา.....	3
2.2 โยอาหาร.....	7
2.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหาร.....	9
2.4 พฤติกรรมการไหล.....	10
2.5 ประโยชน์ของโยอาหาร.....	14
2.6 มิวซีเลทจากพืช.....	16
2.7 กระบวนการผลิตโยอาหาร.....	18
2.8 บทบาทของเอนไซม์เพกทิเนสในการแปรรูปผักและผลไม้.....	20
2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์.....	23
2.10 การใช้เพกทิเนสในการแปรรูปผักและผลไม้.....	24
3 การดำเนินงานวิจัย.....	30
3.1 ขอบเขตงานวิจัย.....	30
3.2 วัตถุประสงค์ สารเคมี และอุปกรณ์.....	31
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	34
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	41
4.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซีเลจ.....	41
4.2.1 การคัดเลือกพุทธาสุกเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ.....	41





## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณสารอาหารที่พบในผลพุทรา.....	6
2.2	บทบาทของเพกตินต่อการย่อยสลายเนื้อเยื่อผลไม้.....	26
4.1	ปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากพุทราสุก 3 ระดับ.....	42
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของผลพุทราสุกที่ป่มเป็นระยะเวลา 9 วัน.....	42
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของมิวซีเลจผง.....	46
4.4	ค่าสีของมิวซีเลจผง แชนแทนกัม และกัวร์กัม.....	47
4.5	ความสามารถในการอุ้มน้ำของมิวซีเลจผง แชนแทนกัม และกัวร์กัม.....	49
4.6	ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของมิวซีเลจผง แชนแทนกัม และกัวร์กัม.....	50
4.7	ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของมิวซีเลจผง แชนแทนกัม และกัวร์กัม.....	51
4.8	ค่า consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n) ของสารละลายมิวซีเลจ และกัวร์กัมที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	54
4.9	ค่า yield stress ( $\tau_0$ ), consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n) ของสารละลายแชนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	54
4.10	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก ค่า pH และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS).....	63
4.11	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพุทราที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w).....	67
4.12	ค่าสีของใยอาหารผง.....	72
4.13	ความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารผง.....	75
4.14	ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของใยอาหารผง.....	76
4.15	ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของใยอาหารผง.....	77
4.16	ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของใยอาหารผง.....	79
ง.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากพุทราสุก 3 ระดับ.....	111
ง.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากการสกัดที่ภาวะต่างๆ.....	111

ตารางที่	หน้า
ง.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากการตกตะกอน ที่ภาวะต่างๆ..... 111
ง.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $+a^*$ ) ค่าสีเหลือง ( $+b^*$ )..... 112
ง.5	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของ มิวซีเลจผง แชนแทนกัม และกัวร์กัม..... 112
ง.6	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของ มิวซีเลจผง แชนแทนกัม และกัวร์กัม..... 112
ง.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (RS) ของกากพุทราที่ได้ จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 113
ง.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (RS) ของกากพุทราที่ได้ จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ..... 113
ง.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหารละลายน้ำ ในกากพุทราจากภาวะการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 113
ง.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหารละลายน้ำในกากพุทราจาก ภาวะการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังการเพิ่มเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ลงไป..... 114
ง.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $+a^*$ ) ค่าสีเหลือง ( $+b^*$ ) ของใยอาหารผง..... 114
ง.12	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC), ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) และความสามารถในการทำให้เกิด อิมัลชัน (EC) ของใยอาหารผง..... 114
ง.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของใยอาหารผง..... 115
ง.14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเติมเอนไซม์ความเข้มข้น 2%(v/w) เพิ่มที่ 4 ชั่วโมง..... 115

ง.15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเติมเอนไซม์ความเข้มข้น 2%(v/w) เพิ่มที่ 6 ชั่วโมง.....	115
------	--	-----

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะต้นพุทราและผลพุทรา ..... 4
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate ของของเหลว Non-Newtonian และของเหลว Non-Newtonian ..... 13
2.2	สารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ในเนื้อเยื่อพืช..... 20
2.3	ปฏิกิริยาของเอนไซม์เพคตินเนส..... 22
4.1	ปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากการสกัดที่ภาวะต่างๆ..... 44
4.2	ปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากการตกตะกอนที่ภาวะต่างๆ..... 45
4.3	มิวซีเลจผง กัวร์กัม และแซนแทนกัม..... 47
4.4	ลักษณะอนุภาคและพื้นผิวของมิวซีเลจผง กัวร์กัม และแซนแทนกัม..... 48
4.5	Rheograms ของสารละลายมิวซีเลจที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 53
4.6	Rheograms ของสารละลายกัวร์กัมที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 55
4.7	Rheograms ของสารละลายแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 56
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายมิวซีเลจที่ pH ต่างๆ..... 58
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายกัวร์กัมที่ pH ต่างๆ..... 58
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายแซนแทนกัมที่ pH ต่างๆ..... 59
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายมิวซีเลจที่อุณหภูมิต่างๆ..... 60
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายกัวร์กัมที่อุณหภูมิต่างๆ..... 60
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายแซนแทนกัมที่อุณหภูมิต่างๆ..... 61

รูปที่	หน้า
4.14 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในกากพุทราที่ได้จากกระบวนการทาง เอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ.....	64
4.15 ค่า pH ในกากพุทราที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ.....	65
4.16 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพุทราที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ...	66
4.17 ปริมาณใยอาหารละลายน้ำในกากพุทราจากภาวะการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	68
4.18 ปริมาณใยอาหารไม่ละลายน้ำในกากพุทราจากภาวะการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	68
4.19 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพุทราที่ลงเอนไซม์ความเข้มข้น 2% (v/w) เพิ่มที่เวลา การย่อยสลาย 4 ชม.....	69
4.20 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพุทราที่ลงเอนไซม์ความเข้มข้น 2% (v/w) เพิ่มที่เวลา การย่อยสลาย 6 ชม.....	70
4.21 ปริมาณใยอาหารละลายน้ำในใยอาหารผงที่ได้จากการย่อยกากพุทราด้วย เอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	71
4.22 ปริมาณใยอาหารไม่ละลายน้ำในใยอาหารผงที่ได้จากการย่อยกากพุทราด้วย เอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	71
4.23 ใยอาหารผง.....	72
4.24 ลักษณะอนุภาคและพื้นผิวดตัวอย่างใยอาหารผงทั้ง 3 ตัวอย่าง.....	74

# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันใยอาหารมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากใยอาหารมีความสำคัญต่อสุขภาพในการป้องกันและบรรเทาอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหาร ควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสและคอเลสเตอรอลในเลือด ให้ค่าพลังงานต่ำ และแสดงสมบัติเชิงหน้าที่ต่างๆ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความหนืด และการเกิดเจล เป็นต้น โดยใยอาหารชนิดละลายน้ำถือว่ามีความสำคัญในการนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหารเป็นอย่างมาก และมีราคาค่อนข้างสูง ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ (Deveries และ Reinhold, 1992) ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการวิเคราะห์การผลิตใยอาหารจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมากขึ้นแต่ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก โดยเฉพาะใยอาหารละลายน้ำซึ่งส่วนใหญ่พบในผลไม้และพืชบางชนิด เช่น กัญชง แอปเปิ้ล พุทรา เมล็ดแมงลัก กระจี้บเขียว เป็นต้น สำหรับมิวซิเลจ เป็นกลุ่มของใยอาหารละลายน้ำที่มีความน่าสนใจมากในปัจจุบัน โดยมีวซิเลจเป็น complex polysaccharide ของคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขามาก ประกอบด้วย galacturonic acid และ rhamnose (Zhao และคณะ, 2007) และมีรายงานระบุว่ามิวซิเลจที่สกัดได้จากเมล็ดแมงลักมีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic (Medina-Torres และคณะ, 2000; ศศิธร เรื่องจักรเพชร และ ปราณีย์ อานเป็รื่อง, 2002a) ทั้งนี้ยังได้มีการนำมิวซิเลจมาใช้ทางด้านอาหาร กล่าวคือการนำมิวซิเลจที่สกัดจากกระจี้บเขียวเติมในคูกี้ช็อกโกแลตเพื่อทดแทนมาการีนและไขแดง พบว่ามิวซิเลจมีคุณสมบัติในการรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้ดี ทั้งยังเป็นสารทดแทนไขมันและสารทำให้เกิดอิมัลชันที่ดีด้วย (Romanchik-cerpovicz, Tilmon และ Baldree, 2002) จากที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่ามิวซิเลจเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่งที่มีการศึกษาการใช้เป็นสารทดแทนกัม เนื่องจากจากมิวซิเลจมีสมบัติเชิงหน้าที่คล้ายกัมบางชนิดโดยเฉพาะกัวร์กัมและแซนแทนกัม ซึ่งเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมาเป็นเวลานาน ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด (Nussinovitch, 1997) สำหรับพุทราเป็นผลไม้ที่มีปริมาณใยอาหารละลายน้ำอยู่ในปริมาณสูงโดยเฉพาะมิวซิเลจ เมื่อพุทราสุกเนื้อภายในพุทราจะมีเมือกลิ้นๆ ปริมาณมาก ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนั้นการนำพุทราไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในตลาดค่อนข้างน้อยและมีราคาต่ำ ดังนั้นจึงน่าจะมีการนำพุทรามาพัฒนาเป็น

แหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตโยเกิร์ตได้ และยังเป็นทางเลือกเพิ่มมูลค่าให้กับพุดราด้วย ทางหนึ่ง และเนื่องจากเมื่อสกัดมิวซีเลจแล้วจะมีส่วนของพุดราที่ผ่านการสกัดมิวซีเลจหรือกากพุดราเหลือจากการสกัดจึงได้นำมาผลิตโยเกิร์ต ซึ่งขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตประกอบด้วย การบดเปียกวัตถุดิบ การล้าง การอบแห้ง และการบดแห้ง (Larrauri, 1999) นอกจากนี้ยังได้มีการปรับปรุงการผลิตโยเกิร์ตโดยใช้เอนไซม์ ซึ่งมีงานวิจัยพบว่าการใช้เอนไซม์ในกระบวนการผลิตนั้นช่วยทำให้โยเกิร์ตที่ได้มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มขึ้นและช่วยเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตที่ละลายได้ (Sakamoto และคณะ, 2006)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตมิวซีเลจผงและโยเกิร์ตจากพุดราพันธุ์สามรสโดยใช้เอนไซม์เพกทินเอสทางการค้า Pectinex<sup>®</sup> Ultra SP-L รวมทั้งศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซีเลจผงและโยเกิร์ตที่ได้ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพุดราไทย

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### 2.1 พุทรา

พุทรามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ziziphus mauritiana* Lam. อยู่ในวงศ์ Rhamnaceae มีชื่อเรียกในภาษาท้องถิ่นแตกต่างกันออกไปมากมาย ได้แก่ ทางภาคเหนือเรียกว่า มะดันหลวง มะท้อง มะตอง มะดันต้น หมากขอ เป็นต้น ส่วนทางภาคอีสานเรียกว่า หมากทัน ทางภาคกลางเรียก พุทรา (เพ็ญญา ทรัพย์เจริญ, 2540) โดยพุทราเป็นพืชที่พบทั่วไปในประเทศต่างๆ เช่น อินเดีย ศรีลังกา ปากีสถาน บังคลาเทศ พม่า ลาว เขมร ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย บราซิล อาร์เจนตินา และไทย รวมทั้งประเทศในแถบเมดิเตอร์เรเนียน เช่น สเปน แอฟริกา เป็นต้น สำหรับการปลูกพุทราในประเทศไทยตามหลักฐานได้กล่าวไว้ในสมัยกรุงศรีอยุธยาได้พบต้นพุทราพื้นเมืองขึ้นอยู่ทั่วไปในเมืองลพบุรี อยุธยา ต่อมาพบอยู่แพร่หลายทั่วทุกภาคจนถึงปัจจุบันนี้ ซึ่งแหล่งปลูกพุทราในปัจจุบันที่ยังปลูกเป็นอาชีพอยู่ ได้แก่ จังหวัดระนอง สมุทรสาคร ลพบุรี อยุธยา และสมุทรปราการ นอกจากนี้ยังพบว่าปลูกกันอย่างทั่วไปแทบทุกจังหวัด (เอกชัย พฤกษ์อำไพ และศิริชัย บุลวัฒนา, 2531)

##### 2.1.1 ลักษณะทั่วไปของพุทรา

พุทราเป็นไม้ผลขนาดกลาง สามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด มีความทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี ลำต้นของพุทรามีลักษณะเกือบจะกลม สีน้ำตาลแก่ ลำต้นหรือกิ่งเมื่อยังอ่อนจะมีขนอ่อนสีเทาขาวนวลปกคลุมอยู่ เมื่ออายุมากขึ้นขนอ่อนจะหลุดไป และเปลือกจะแตกเป็นทาง เพราะเนื้อไม้ขยายตัวใหญ่กว่าเดิม ลักษณะเปลือกพุทราแตกนี้ เป็นลักษณะประจำของพุทรา ปกติลำต้นจะสูงประมาณ 4-12 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของพุทรา ลำต้นและกิ่งจะมีหนามเกิดที่ข้อๆ ละ 2 หนามอยู่คนละข้างของตา ใบของพุทรามีเส้นใบเป็นเส้นใหญ่ 3 เส้นจากเส้นใหญ่ซึ่งแตกแขนงออกเป็นเส้นเล็กๆ ผิวใบด้านบนเป็นมัน ด้านล่างใบมีขนอ่อนสีขาวนวล ดอกจะมีขนาดเล็ก สีเหลืองอ่อน เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ออกดอกเป็นกระจุกที่ข้อประมาณ 10-15 ดอก ผลของพุทราเป็นผลเดี่ยว มีทั้งผลกลม ผลหุ่ย ผลรูปไข่ ผลยาวรี ผิวผลเมื่อยังอ่อนจะมีสีเขียวเข้ม เมื่อแก่จัดจะมีสีเขียวอ่อน สีเขียวอมเหลือง จนถึงสีเหลืองจางๆ เนื้อมีตั้งแต่สีขาว จนถึงสีออกเหลือง บางพันธุ์มีเนื้อแน่นและกรอบ บางพันธุ์มีเนื้อฟามๆ หรือเนื้อหยาบ ผลสุกจะออกสีแดงและผิวจะ



เหยี่ยวยน เมล็ดพุทราจะมีทั้งเมล็ดกลม ยาวรี ปลายเมล็ดแหลม หรือปลายมน แตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ ผิวของเมล็ดจะขรุขระและเป็นสีน้ำตาลอ่อน (เอกชัย พฤษทรัพย์ และ ศิริชัย บุญวัฒนา, 2531)



รูปที่ 2.1 ลักษณะต้นพุทราและผลพุทรา (นิตา หงษ์วิวัฒน์ และ ทวีทอง หงษ์วิวัฒน์, 2550)

### 2.1.2 พันธุ์ของพุทรา

พุทราที่ปลูกกันอยู่เดิมนั้นเป็นพันธุ์พื้นเมือง เมื่อประมาณ 70 ปีที่แล้วโดยมีผู้นำพันธุ์พุทราจากประเทศอินเดียและปากีสถานเข้ามาปลูกในประเทศไทย จึงได้มีการผสมพันธุ์กันกับพุทราไทย กลายเป็นพันธุ์ใหม่ที่มีคุณลักษณะที่ดีมีหลายสายพันธุ์ โดยพันธุ์พุทราที่ปลูกในปัจจุบัน ได้แก่ พันธุ์พื้นเมือง พันธุ์สามรส พันธุ์เจดีย์ พันธุ์บอมเบย์ พันธุ์เหรียญทอง พันธุ์แอปเปิล และพันธุ์

สาละหรือพันธุ์บอมยักซ์ สำหรับสายพันธุ์ที่พบได้ทั่วไปตามจังหวัดต่างๆ คือพุทราพันธุ์สามรส เนื่องจากปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด มีลักษณะเป็นผลกลมแป้น ที่ขั้วและก้นผลจะบวมมาก ผลสดมีหลายสี คือ สีเขียว สีเขียวอมเหลือง สีเหลืองปนแดง เปลือกบางใสเล็กน้อย ขนาดผลกว้างxยาว ประมาณ 2.0-2.5 x 2.0-2.5 เซนติเมตร เนื้อขาวละเอียด กรอบเล็กน้อย เนื้อหนาประมาณ 0.8-1.0 เซนติเมตร มีรสหวาน เปรี้ยวและฝาด สามารถกลมกล่อมพอดี เมล็ดภายในจะกลมเล็ก ขนาดของเมล็ดกว้าง x ยาวประมาณ 0.8-1.0 x 2.4-2.5 เซนติเมตร สำหรับอายุการเก็บของพุทราพันธุ์สามรสคือ เก็บเกี่ยวประมาณ 60 วันหลังออกดอก ซึ่งข้อเสียของพุทราพันธุ์สามรสคือ เมื่อเก็บไว้ประมาณ 1 คืน ผลจะแดงเร็ว (เอกชัย พุกษ์อำไพ และ ศิริชัย บุลวัฒนา, 2531)

### 2.1.3 การใช้ประโยชน์จากพุทราในประเทศไทย

ในทางตำรายาไทยพุทรามีสรรพคุณหลายอย่าง โดยผลสุกจะมีรสหวาน ฝาด เปรี้ยว มีสรรพคุณในการช่วยขับเสมหะ แก้ไอ และเป็นยาระบาย (ช่อทิพย์วรรณ พันธุ์แก้ว, 2542) ดังนั้นส่วนใหญ่จะนิยมรับประทานพุทราเป็นผลสด นอกจากจะใช้รับประทานผลสดแล้วยังมีการนำพุทราไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้รับประทานได้หลายชนิด ซึ่งเป็นการแปรรูปที่ทำในระดับครัวเรือนหรือกลุ่มแม่บ้านเพื่อเป็นการเสริมรายได้ โดยผลิตภัณฑ์พุทราที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ น้ำพุทรา พุทราแผ่น พุทราควน พุทราเชื่อม และพุทราดอง (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

### 2.1.4 คุณค่าทางอาหารของพุทรา

พุทราถือได้ว่าเป็นผลไม้ที่มีปริมาณสารอาหารค่อนข้างสูงประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปน้ำตาลธรรมชาติ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส นอกจากนี้ยังประกอบวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด ซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญและจำเป็นต่อร่างกาย รวมทั้งยังเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีผลดีต่อสุขภาพ เช่น โยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2543) นอกจากนี้ยังพบว่าพุทรามีสรรพคุณทางยาและมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยในผลพุทราที่มีน้ำหนักประมาณ 100 กรัม จะประกอบไปด้วยสารอาหารต่างๆ ที่สำคัญดังตารางที่ 2.1 Li, Ding และ Ding (2005) ศึกษาการมีฤทธิ์เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันของพุทราจีน 5 สายพันธุ์ พบว่าพุทราทั้ง 5 สายพันธุ์มีฤทธิ์เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน โดยมี 3 สายพันธุ์มีฤทธิ์เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันที่ดีกว่า  $\alpha$ -tocopherol ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณของสาร phenolic และ phytochemicals อื่นๆ เช่น ascorbic acid,

tocopherol และ pigments ที่มีอยู่ในผลพุทราแต่ละสายพันธุ์นั้นแตกต่างกัน Li และคณะ (2007) ศึกษาปริมาณสารอาหารในพุทราจีน 5 สายพันธุ์ พบว่า พุทราทั้ง 5 สายพันธุ์ พบน้ำตาลหลายชนิด ได้แก่ ฟรุคโตส กลูโคส แรมโนส ซอร์บิทอล และซูโครส เป็นต้น โดยจะพบฟรุคโตสและกลูโคสในปริมาณมาก สำหรับแร่ธาตุและวิตามินที่พบมากคือ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมงกานีส และวิตามินซี อีกทั้งยังประกอบด้วยใยอาหารละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในปริมาณสูง Zhao และคณะ (2007) ศึกษา water-soluble polysaccharide ของพุทราด้วย HPLC พบว่า polysaccharide ที่สกัดได้มี molecular weight มากกว่า 2000 kDa นอกจากนี้ยังพบว่า polysaccharide ที่สกัดได้ประกอบด้วย galacturonic acid และ rhamnose ในอัตราส่วน 8.1:1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารที่พบในผลพุทราที่มีน้ำหนักประมาณ 100 กรัม ของส่วนที่รับประทานได้

องค์ประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน	66 หน่วยแคลอรี
ความชื้น	76.9 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	20.4 กรัม
โปรตีน	1.6 กรัม
ไขมัน	0.4 กรัม
ใยอาหาร	1.1 กรัม
แคลเซียม	37 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	49 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.8 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	67 หน่วยสากล (I.U.)
วิตามินบี 1	0.03 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.01 มิลลิกรัม
วิตามินซี	46.0 มิลลิกรัม
ไนอะซิน	0.70 มิลลิกรัม

ที่มา: ศิวาพร ศิวเวชช (2546)

## 2.2 โยอาหาร (Dietary fiber)

โยอาหารหมายถึง ส่วนประกอบของพืช ผัก และผลไม้ที่รับประทานได้ เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วสามารถทนต่อการย่อยสลายของเอนไซม์ที่อยู่ในกระเพาะอาหาร และในลำไส้เล็กของมนุษย์ จึงผ่านกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อผ่านลำไส้ใหญ่บางส่วนของโยอาหารจะถูกย่อยโดยแบคทีเรีย (Thebaudin และคณะ, 1997) เส้นโยอาหารแบ่งตามการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้ (Deveries และ Reinhold, 1992) คือ

### 2.2.1 โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber)

โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนของผนังเซลล์พืชที่ไม่ละลายน้ำแต่จะจับน้ำไว้พบมากในรำข้าว รำข้าวสาลี ข้าวโพด ผักต่าง ๆ ผลไม้บางชนิด แบคทีเรียในลำไส้สามารถย่อยโยอาหารกลุ่มนี้ได้บางส่วนอย่างช้าๆ โยอาหารกลุ่มนี้จะช่วยเพิ่มปริมาณกากในลำไส้ใหญ่ เพิ่มมวลอุจจาระ และช่วยลดอาการท้องผูก (Kaur และ Gupta, 2002; Rodriguez และคณะ, 2006) ซึ่งโยอาหารชนิดนี้ ประกอบด้วย

**2.2.1.1 เซลลูโลส** เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสมากกว่า 3000 ยูนิต เชื่อมต่อกันด้วย  $\beta$ -1,4 linkage ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในร่างกาย ไม่ละลายในน้ำและสารละลายต่าง

**2.2.1.2 เฮมิเซลลูโลส** พบรวมอยู่กับ เซลลูโลส ลิกนิน และเพคติน ในผนังเซลล์ของพืช เป็น heteropolysaccharide ละลายได้ในสารละลายต่าง โครงสร้างโซ่หลักประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส กลูโคส แมนโนส และกาแลกโทส สายโซ่ด้านข้าง ประกอบด้วย กลูโคส อะราบิโนส และกรดกลูคูโรนิก

**2.2.1.3 ลิกนิน** เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ aromatic alcohols ไม่ละลายน้ำทนต่อปฏิกิริยาของกรดต่าง และความร้อน โดยลิกนินเข้าแทรกและครอบคลุมในชั้นระหว่างเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

## 2.2.2 โยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber)

โยอาหารที่ละลายน้ำพบปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช เมื่อละลายน้ำสามารถเพิ่มความหนืดให้กับอาหารและสามารถถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ได้อย่างสมบูรณ์ มีผลช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและช่วยดูดซึ่มกลูโคสในลำไส้ ลดโอกาสการเป็นโรคหลอดเลือดแดงแข็ง โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคมะเร็งลำไส้ (Kay และคณะ, 1977; Jenkins และคณะ, 1979, Bolton, Heaton และ Burroughs, 1981; Kaur และ Gupta, 2002; Nawirska และ Kwasniewska, 2005) โยอาหารชนิดนี้พบมากในธัญพืชที่ไม่ได้ขัดสี พืชตระกูลถั่ว รำข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ผลไม้ เช่น พุทราสุก ส้มลูกพรุณ แอปเปิ้ล มะม่วงสุก กัถวย โยอาหารชนิดนี้ประกอบด้วย

**2.2.2.1 เพกติน** พบในชั้นลามาเมลลาตอนกลางของผนังเซลล์พืช ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน เพกตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแลกทูโรนิก เชื่อมต่อกันด้วย  $\alpha$ -1,4 linkage หมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลของกรดกาแลกทูโรนิก บางส่วนจะถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่เมทิลได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ เพกตินเมื่อทำปฏิกิริยากับกรด และน้ำตาลจะให้ลักษณะเป็นเจลที่ดี

**2.2.2.2 กัม** เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่สกัดได้จากทั้งพืชบก พืชน้ำ และจุลินทรีย์ มีคุณสมบัติให้ความหนืด และเจล กัมจากพืชได้จากแหล่งและส่วนต่างๆ คือ จากเมล็ด เช่น กัถวยกัม จากน้ำยาง เช่น กัมอะราบิก และจากสาหร่ายทะเล เช่น คาร์ราจีแนน เป็นต้น องค์ประกอบหลักของไซโมเลกุล คือ กลูโคส กาแลกโทส แมนโนส อะราบิโนส แรมโนส และ กรดยูโรนิก

**2.2.2.3 มิวซิเลจ** เป็น heteropolysaccharide ที่พืชสะสม ถูกหั่นในเอนโดสเปิร์มของพืชทำหน้าที่ป้องกันการเสียน้ำมากเกินไป ไซโมเลกุลหลักประกอบด้วย กาแลกโทส-แมนโนส กลูโคส-แมนโนส อะราบิโนส-ไซโลส กรดกาแลกทูโรนิก-แรมโนส โดยมีน้ำตาลกาแลกโทส เป็นโซ่ด้านข้าง ซึ่งมิวซิเลจนั้นมีลักษณะโครงสร้างใกล้เคียงกับกัม นักวิจัยพยายามแยกกลุ่มของมิวซิเลจและกัมออกจากกัน โดยที่ให้มิวซิเลจเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่พบในส่วนต่างๆของพืช มีหน้าที่ในการเป็นอาหารสำรองหรือกักเก็บน้ำ ส่วนกัมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไหลซึมออกมาภายหลังจากที่พืชเกิดบาดแผลเพื่อป้องกันจุลินทรีย์ที่จะเข้าไปรบกวนบาดแผล

## 2.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร

2.3.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของใยอาหาร โดยใยอาหารชนิดละลายน้ำมีความชอบในการจับกับน้ำสูง เพราะมี sugar residue ที่มี free polar group โดยใยอาหารละลายน้ำนั้นส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมาก ดังการศึกษาของ Grigelmo-Miguel และ Martin-Belloso (1999) ที่พบว่าสั้มสายพันธุ์ Salustiana มีความสามารถในการอุ้มน้ำมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของใยอาหารละลายน้ำมากที่สุด

2.3.2 ความสามารถในการเกิดเจล (Gel-forming capacity) ใยอาหารเมื่อละลายน้ำจะเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถเกิดโครงสร้างร่างแห โดยมีน้ำอยู่ในช่องว่างระหว่างร่างแห ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดเจลของใยอาหารคือ อุณหภูมิ ความเข้มข้นชนิดของไอออน และความเป็นกรดต่าง ใยอาหารละลายน้ำที่มีความสามารถในการเกิดเจลได้ดีคือ คาราจีแนน และเพคติน (Borderias และคณะ, 2005)

2.3.3 ความหนืด (Viscosity) หรือความต้านทานการไหล ใยอาหารเมื่อละลายน้ำจะดูดซับน้ำและเกิดการพองตัว ทำให้สารละลายมีความข้นหนืด ซึ่งเกี่ยวข้องกับสมบัติการไหลของใยอาหาร Grigelmo-Miguel, Ibarz-Ribas และ Martin-Belloso (1999) ศึกษาลักษณะการไหลของใยอาหารจากลูกพีท พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของใยอาหารคือ ความเข้มข้นของสารละลายใยอาหารและอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความหนืดของสารละลายใยอาหารลดลง Medina-Torres และคณะ (2000) ศึกษาสมบัติการไหลของมิวซีเลจที่ได้จาก *Opuntia ficus indica* พบว่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจร้อยละ 10 คล้ายกับสารละลายแซนแทนกัมร้อยละ 3 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมิผลทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง ความเข้มข้นของ  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  ทำให้ความหนืดของสารละลายมิวซีเลจลดลงมากกว่า  $Na^+$ ,  $K^+$  และเมื่อเพิ่ม pH จาก pH 2 ถึง pH 7 ทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นแต่เมื่อเข้าสู่ภาวะความเป็นด่าง (pH>7) ความหนืดของสารละลายจึงเริ่มคงที่

2.3.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity) คุณสมบัติในการอุ้มน้ำมันนี้เป็นสมบัติที่สำคัญในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อและปลา เช่น ใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อ Garcia และคณะ (2002) ศึกษาการเติมใยอาหารจากธัญพืชและผลไม้ในไส้กรอก พบว่าสามารถลดค่าพลังงานลงได้ร้อยละ 35 อีกทั้งใยอาหารที่ได้จากส้มยังให้เนื้อสัมผัสที่คล้ายกับไส้กรอกที่ใช้ไขมันในปริมาณสูง นอกจากนี้ Larrauri, Borroto และ Crespo (1997) พบว่าใยอาหารจากเปลือกมะม่วงมีความสามารถในการอุ้มน้ำมัน 11.4 g oil/ g dry matter

2.3.5 ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Emulsion capacity) Saenz, Sepulveda และ Matsuhiro (2004) ศึกษาความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของมิวซิเลจกัมจาก *Opuntia ficus indica* พบว่ามิวซิเลจกัมช่วยลด surface tension และ interfacial tension ทำให้อิมัลชันของน้ำและน้ำมันมีความเสถียรและไม่เกิดการ coalescence ในระบบ

2.3.6 การไหล (Rheological behavior) สำหรับพฤติกรรมการไหลได้รับความสนใจในการศึกษามากขึ้นโดยเฉพาะใยอาหารละลายน้ำ โดยการไหลของใยอาหารจะสัมพันธ์กับความหนืดและความสามารถในการอุ้มน้ำ ซึ่งใยอาหารแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมการไหลที่ต่างกัน เช่น แชนแทนกัมจะมีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic with yield stress (Sharma และคณะ, 2007) ส่วนใยอาหารจากลูกพีทและมิวซิเลจที่ได้จาก *Opuntia ficus indica* มีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic (Grigelmo-Migue และคณะ, 1999; Medina-Torres และคณะ, 2000)

## 2.4 พฤติกรรมการไหล

พฤติกรรมการไหลสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

### 2.4.1 Newtonian fluid

คือ ของเหลวที่มีความหนืดไม่ขึ้นกับอัตราเฉือน ความหนืดของของเหลวประเภทนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิและองค์ประกอบของของเหลวเท่านั้น ซึ่ง shear stress และ shear rate มีความสัมพันธ์กันตามสมการ (2.1) โดยที่  $\tau$  คือ shear stress ( $N/m^2$ ) ,  $\mu$  คือ viscosity ( $N.s/m^2$ ) และ  $\gamma$  คือ shear rate ( $s^{-1}$ ) ตัวอย่างอาหารที่เป็น Newtonian fluid ได้แก่ น้ำผลไม้แบบที่ไม่มีเนื้อ

ผลไม้ผสม ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปแบบเหลว สารละลายน้ำตาล น้ำผึ้ง น้ำ และแอลกอฮอล์ เป็นต้น (Rao, 1999; Schramm, 2005)

$$\tau = \mu\dot{\gamma} \quad (2.1)$$

#### 2.4.2 Non-Newtonian fluid

คือของเหลวที่มีความหนืดแปรตามอัตราเฉือนหรือเวลา โดยความหนืดของของเหลวอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นกับชนิดของของเหลว ซึ่งแสดงผลในค่าของ consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n) โดยของเหลว Non-Newtonian แบ่งตามพฤติกรรม การไหลได้ เป็น 2 แบบ (Rao, 1999; Schramm, 2005) ได้แก่

##### 2.4.2.1 ของเหลว Non-Newtonian ที่ไม่ขึ้นกับเวลา

หมายถึง ของเหลวที่ความหนืดปรากฏขึ้นกับอัตราเฉือน แต่ไม่ขึ้นกับเวลา ของเหลวชนิดนี้ได้แก่

- Bingham plastic fluid ของเหลวชนิดนี้ต้องได้รับ shear stress มากกว่า yield stress ( $\tau_0$ ) จึงเกิดการไหลได้ และเมื่อเกิดการไหลแล้วความหนืดของของเหลวจะไม่ขึ้นกับ shear rate โดยของเหลวชนิดนี้สัมพันธ์กับสมการ (2.2)

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma} \quad (2.2)$$

- Pseudoplastic fluid หรือ Shear thinning fluid เป็นของเหลวที่เมื่อเพิ่ม shear rate จะส่งผลให้ความหนืดลดลง สำหรับตัวอย่างของเหลวชนิดนี้ได้แก่ น้ำกะทิ เนื้อผลไม้ตีปั่น ไข่ขาว และครีมช้น เป็นต้น

- Dilatant fluid หรือ Shear thickening fluid เป็นของเหลวที่เมื่อเพิ่ม shear rate จะส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างของเหลวชนิดนี้ได้แก่ เนยถั่วลิสงที่ผ่านการโฮโมจีไนส์ และของผสม 60% ของแป้งข้าวโพดในน้ำ เป็นต้น

โดยของเหลวชนิด Pseudoplastic fluid และ Dilatant fluid จะมีความสัมพันธ์กับ Power law model (Ostwald de Waele model) ดังสมการที่ (2.3) ซึ่งในกรณีนี้ของเหลวมี yield stress ( $\tau_0$ ) จะมีความสัมพันธ์กับ Power law with yield stress model (Herschel-Bulkley model) ดังสมการที่ (2.4)

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.3)$$

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (2.4)$$



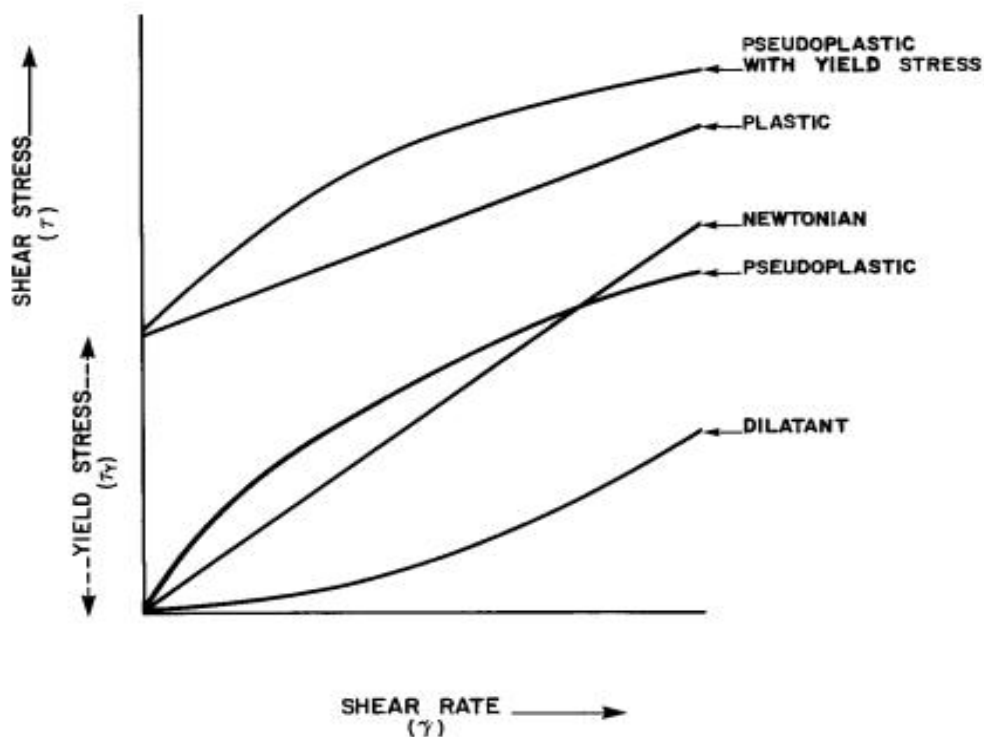
### 2.4.2.2 ของเหลว Non-Newtonian ที่ขึ้นกับเวลา

หมายถึง ของเหลวที่ shear stress และ shear rate เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดย shear stress ของของเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามเวลาที่ shear rate เดียวกัน ของเหลวชนิดนี้ได้แก่

- Thixotropic fluid เป็นของเหลวที่มีความหนืดลดลงเมื่อได้รับอัตราเฉือนที่คงที่ในเวลาเพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างของเหลวชนิดนี้ ได้แก่ นมข้นหวาน มายองเนส และไข่ขาว เป็นต้น

- Rheopectic fluid เป็นของเหลวที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอัตราเฉือนที่คงที่ในเวลาเพิ่มขึ้น โดยของเหลวประเภทนี้ยังไม่มีรายงานว่าพบในอาหาร

อาหารส่วนใหญ่มีลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic fluid โดยเฉพาะอาหารที่มีแป้งหรือไฮโดรคอลลอยด์เป็นส่วนผสม ซึ่งสารไฮโดรคอลลอยด์จะผสมในอาหารเพื่อเพิ่มลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร เช่น ใช้เพื่อเป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) และอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เป็นต้น โดยไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด ได้แก่ กัวร์กัม แชนแทนกัม คาราจีแนน และเพคติน เป็นต้น ซึ่งสารไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการไหลของไฮโดรคอลลอยด์ที่ต่างกัน (Marcotte, Hoshahill และ Ramaswamy, 2001; Petsev, 2004)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate ของของเหลว Non-Newtonian และของเหลว Non-Newtonian (Schramm, 2005)

มีรายงานการวิจัยที่ศึกษาพฤติกรรมการไหลของโยอาหารและไฮโดรคอลลอยด์ดังนี้ คือ Grigelmo-Migue และคณะ (1999) รายงานว่า พฤติกรรมการไหลของโยอาหารจากลูกพีช เป็นแบบ Psuedoplastic และพบว่าความเข้มข้นของโยอาหารและอุณหภูมิมีผลต่อค่าความหนืดโดยเมื่อความเข้มข้นของโยอาหารเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ความหนืดลดลง

Medina-Torres และคณะ (2000) รายงานว่า พฤติกรรมการไหลของมิวซีเลจที่ได้จาก *Opuntia ficus indica* เป็นแบบ Psuedoplastic โดยสารละลายมิวซีเลจ 10% ให้ความหนืดใกล้เคียงกับสารละลายแซนแทน 3% และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและค่า ionic strength ส่งผลให้ความหนืดของสารละลายลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มค่า pH จะส่งผลให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นและเมื่อเข้าสู่สภาวะความเป็นด่าง ( $\text{pH} > 7$ ) ความหนืดของสารละลายเริ่มคงที่

Chen และ Chen (2001) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของมิวซีเลจจากสาหร่าย *Monotroma nitidum* พบว่าสารละลายมิวซีเลจมีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่อเพิ่ม shear rate อุณหภูมิและความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์ แต่ค่าความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่า pH

Marcotte และคณะ (2001) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารไฮโดรคอลลอยด์หลายชนิด ได้แก่ คาร์ราจีแนน เพกทิน สตาร์ช เจลาติน และแซนแทนกัม พบว่าแซนแทนกัม และคาร์ราจีแนน มีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic with yield stress โดยใช้สมการ Herschel-Bulkley model ในการทำนายค่าพฤติกรรมการไหล สตาร์ชและเพกทินมีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic โดยใช้สมการ Power law model ในการทำนายค่าพฤติกรรมการไหล ส่วนเจลาตินมีพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian โดยใช้ Newtonian model ทำนายค่าพฤติกรรมการไหล

Sharma และคณะ (2007) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของไฮโดรคอลลอยด์ พบว่ากัวร์กัม โซเดียมอัลจิเนต ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และไฮดรอกซีโพรพิลกัวมีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic ส่วนแซนแทนกัม คาร์ราจีแนน กัมทรากาแคนด์ เมทิลเซลลูโลส และไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส มีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic with yield stress และโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีพฤติกรรมการไหลแบบ Thixotropic ส่วนกัมอะราบิกมีพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 40% และมีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic with yield stress ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 40%

## 2.5 ประโยชน์ของใยอาหาร

ใยอาหารถือได้ว่ามีประโยชน์อย่างมากในทางด้านสุขภาพ โดยเฉพาะใยอาหารละลายน้ำ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับประโยชน์ของใยอาหารต่อสุขภาพมากมาย ดังงานวิจัยของ Kay และ Truswell (1977) พบว่าใยอาหารช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ดี โดยการให้เพคติน ปริมาณ 15 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ร้อยละ 13 จากปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดตามปกติ อีกทั้ง Jenkins และคณะ (1979) ได้รายงานว่าการใช้กัวร์กัม 5 กรัม ผสมลงในซूप หรือผสมลงในน้ำผลไม้ หรือนม ให้คนใช้รับประทานก่อนบริโภคอาหารมื้อหลัก 3 มื้อ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ส่งผลให้ผู้ป่วยที่เป็นโรคไขมันในเลือดสูง มีระดับคอเลสเตอรอลลดลงถึงร้อยละ 10.6 จากปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดตามปกติ นอกจากนี้

Bolton, Heatton และ Burroughs (1981) ยังพบว่า การให้กลุ่มตัวอย่างรับประทานผลองุ่นและส้มเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ให้บริโภคน้ำองุ่นคั้นและน้ำส้มคั้น ปรากฏว่ากลุ่มตัวอย่างที่บริโภคผลไม้ทั้งผลนั้นปริมาณน้ำตาลในเลือดได้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยเพิ่มขึ้นไม่มากนักและใช้เวลานานกว่าจะลดลงไปในระดับปกติ ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ดื่มน้ำผลไม้คั้นนั้น ระดับน้ำตาลได้เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่า การดูดซึมน้ำตาลขณะที่มีปริมาณใยอาหารอยู่ด้วย ช่วยให้เกิดการดูดซึมน้ำตาลช้าลง

นอกจากใยอาหารจะมีประโยชน์ทางด้านสุขภาพแล้ว ใยอาหารยังมีประโยชน์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารด้วย ดังที่กล่าวข้างต้นแล้วว่า ใยอาหารมีสมบัติเชิงหน้าที่หลายด้าน ดังนั้นจึงได้มีการเติมใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร ดังเช่นการใช้ใยอาหารเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเข้าธัญพืชและผลิตภัณฑ์ขนมอบ ได้แก่ ขนมปัง และคุกกี้ ซึ่งแรกเริ่มได้มีการเติมธัญพืชในผลิตภัณฑ์เหล่านี้เพื่อเป็นแหล่งของใยอาหาร ต่อมาได้เปลี่ยนเป็นการเติมใยอาหารที่ได้จากผลไม้ เนื่องจากให้ปริมาณสารอาหารที่มากกว่า อีกทั้งยังมีปริมาณใยอาหารมากกว่าโดยเฉพาะใยอาหารชนิดละลายน้ำ ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง อีกทั้งยังมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Grigelmo-Miguel และ Martine-Belloso, 1999; Rodriguez และคณะ, 2006) นอกจากการเติมใยอาหารที่ได้จากผลไม้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบจะช่วยเพิ่มปริมาณสารอาหารแล้วยังช่วยลดปริมาณไขมันด้วย โดยจะเติมใยอาหารเพื่อทดแทนการใช้ไขมันซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอาหาร เนื่องจากใยอาหารมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันและมีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน อีกทั้งยังมีปริมาณพลังงานต่ำ สามารถนำมาให้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำได้ (Akoh, 1998; Grigelmo-Miguel และคณะ, 1999) Garcia และคณะ (2002) รายงานว่าการเติมใยอาหารจากธัญพืชและผลไม้ในไส้กรอกสามารถลดค่าพลังงานลงได้ร้อยละ 35 อีกทั้งยังให้เนื้อสัมผัสที่คล้ายกับไส้กรอกที่ใช้ไขมันในปริมาณสูง สำหรับการเติมใยอาหารในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนั้นจะช่วยเพิ่มความหนืดและเพิ่มความคงตัว โดยส่วนใหญ่จะใช้ใยอาหารละลายน้ำซึ่งจะมีความกระจายตัวในน้ำได้ดีกว่าใยอาหารไม่ละลายน้ำ เช่น การเติมเพกติน และกัวร์กัม ในกระบวนการผลิตเนยแข็งเพื่อลดปริมาณไขมัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส เช่น เนื้อสัมผัส และ กลิ่นรส นอกจากนี้การเติมใยอาหารในโยเกิร์ตและไอศกรีมยังช่วยเพิ่มความคงตัวและอิมัลชันในผลิตภัณฑ์ด้วย (Larreauri, Rupprez และ Suara-Calixto, 1996; Yadev และคณะ, 2007; Yadav, Johnston และ Hicks, 2009)

## 2.6 มิวซีเลจจากพืช

มิวซีเลจมีสมบัติคล้ายกับกัม ใช้เป็นสารให้ความหนืด (thickener) และสารให้ความคงตัว (stabilizer) มีรายงานการสกัดมิวซีเลจจากพืชต่างๆและการนำไปใช้ประโยชน์มากมาย โดยนักวิจัยหลายคนได้คิดหากระบวนการสกัดมิวซีเลจและทำบริสุทธิ์ ส่วนใหญ่เห็นว่ากระบวนการเหมาะสมในการสกัดและทำบริสุทธิ์มิวซีเลจคือ การสกัดมิวซีเลจโดยการ homogenize วัตถุดิบด้วยน้ำ และทำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนด้วย ethanol (Saenz และคณะ, 2004) Sepulveda และคณะ (2007) ศึกษาการสกัดมิวซีเลจจากพืชในกลุ่มกระบองเพชร (*Opuntia spp.*) โดยนำเนื้อมา homogenize กับน้ำ พบว่าที่อัตราส่วนเนื้อต่อน้ำ 1:7 อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัด  $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$  เวลาการสกัด 4 ชม. ได้ปริมาณผลผลิตมิวซีเลจสูงที่สุด และนำมิวซีเลจที่ได้มาตกตะกอนด้วย isopropyl alcohol และ ethanol พบว่าอัตราส่วนสารละลายมิวซีเลจต่อแอลกอฮอล์ 1:3 ผลผลิตที่ได้ของการตกตะกอนด้วย ethanol มากกว่า isopropyl alcohol แต่ที่อัตราส่วน 1:4 ผลผลิตที่ได้ของการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ทั้ง 2 เท่ากัน

Medina-Torres และคณะ (2000) รายงานว่า มิวซีเลจที่ได้จาก *Opuntia ficus indica* มีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic หรือ shear thinning โดยความหนืดของสารละลายมิวซีเลจ 10% คล้ายกับสารละลายแซนแทนกัม 3% และพบว่าเมื่อเพิ่ม pH ในสารละลายมิวซีเลจจะส่งผลให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและ ionic strength ส่งผลให้ความหนืดของสารละลายมิวซีเลจลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามิวซีเลจนั้นเป็น negatively charged polysaccharide molecule Medina-Torres และคณะ (2003) ศึกษาการใช้มิวซีเลจกัมจาก *Opuntia ficus indica* และคาราจีแนน ต่อสมบัติทางกลของเจล พบว่าที่อัตราส่วนการใช้มิวซีเลจต่อคาราจีแนน 80:20 จะได้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าคาราจีแนนบริสุทธิ์ ซึ่งมิวซีเลจกัมจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการยืดหยุ่น (elasticity) ของเจล นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมมิวซีเลจจาก *Opuntia ficus indica* ในการเกิดโฟมของไข่ ทำให้โฟมมีความเสถียรมากขึ้น เกิด syneresis น้อย โฟมไข่ที่เติมมิวซีเลจร้อยละ 0.5 เกิด syneresis มากกว่าโฟมไข่ที่เติมมิวซีเลจร้อยละ 0.8 (Saenz และคณะ, 2004) นอกจากนี้ยังพบว่าการนำมิวซีเลจจาก *Opuntia ficus indica* มาผลิตฟิล์มที่รับประทานได้และนำไปเคลือบผลสดอบเบอรี่สดจะช่วยเพิ่มอายุการเก็บผลสดอบเบอรี่สดได้ (Del-Valle และคณะ, 2005)

ศศิธร เรื่องจักรเพชร และ ปราณีย์ อ่านเปรื่อง (2002a) ศึกษาการผลิตผงเมือกเมล็ดแมงลัก พบว่าภาวะเหมาะสมในการผลิตผงเมือกเมล็ดแมงลัก ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ การสกัดในภาวะแบบเปียกด้วยการแช่น้ำที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  นาน 1 ชั่วโมง ตามด้วยการฟอกสีด้วยวิธี Alkaline Hydrogen Peroxide โดยใช้ 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  ที่ pH 9.0 นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  จะได้ผงเมือกเมล็ดแมงลักที่มีลักษณะที่ดีในด้านสีขาวครีม ด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ และปริมาณใยอาหารทั้งหมด ในปีเดียวกัน ศศิธร เรื่องจักรเพชร และ ปราณีย์ อ่านเปรื่อง (2002b) ศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของผงเมือกเมล็ดแมงลัก เปรียบเทียบกับ กัวร์กัม โลคัสปีนกัม และแซนแทนกัม พบว่าสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักมีพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ และแบบ Pseudoplastic ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 0.5% เช่นเดียวกับสารละลายกัวร์กัม และแซนแทนกัม การไหลของสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักที่สภาวะต่างๆ พบว่ามีพฤติกรรมเหมือนกับสารละลายกัวร์กัม โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล และค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายจะลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ อัตราการเฉือน และความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย นอกจากนี้ Patel, Prajapati และ Patel (2007) ศึกษาการสกัดมิวซิเลจจากเมล็ดแมงลักโดยการสกัดด้วยน้ำและตกตะกอนด้วย acetone ได้ปริมาณมิวซิเลจ 14 กรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง โดยมิวซิเลจที่ได้ละลายและพองตัวได้ดีในน้ำแต่ละลายใน organic solvent ได้บางส่วน เมื่อนำมาเป็นส่วนผสมในยาเปรียบเทียบกับสูตรยาที่ใช้แป้ง พบว่าการใช้มิวซิเลจ 10% w/w ส่งผลให้เวลาในการแตกสลาย (disintegration time) น้อยกว่าแป้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามิวซิเลจมีคุณสมบัติเป็น binder ที่ดี

Romanchik-cerpovicz และคณะ (2002) สกัดมิวซิเลจจากกระเจี๊ยบเขียวด้วยน้ำและตกตะกอนด้วยเอทานอล นำมิวซิเลจที่ได้เติมในคุกกี้ช็อกโกแลตเพื่อทดแทนมาการีนและไขมัน พบว่าเมื่อเก็บคุกกี้ไว้ 48 ชั่วโมง คุกกี้ที่ทดแทนด้วยมิวซิเลจยังคงมีความชื้นสูงกว่าในสูตรควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามิวซิเลจจากกระเจี๊ยบเขียวมีคุณสมบัติในการรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้ดี และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าได้คะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่าสูตรควบคุม Romanchik-cerpovicz, Costantino และ Gunn (2006) ศึกษาการใช้มิวซิเลจจากกระเจี๊ยบเขียวในผลิตภัณฑ์ของหวานที่ทำจากนมรสช็อกโกแลตเพื่อทดแทนไขมันนม พบว่าการทดแทนไขมันนมด้วยมิวซิเลจได้คะแนนการยอมรับไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม แต่เมื่อทดแทนไขมันนมด้วยมิวซิเลจ 100 % มีคะแนนความรู้สึกตกค้างในปากน้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาจะเห็นว่ามิวซิเลจสามารถเป็นสารทดแทนไขมันและสารทำให้เกิดอิมัลชันที่ดี

นอกจากนั้น Tilmon และ Romanchick-Cerpovicz (2001) รายงานว่าการใช้มิวซีเลจจาก กระเจี๊ยบเขียวแทนมาการีน 93% ในคุกกี้ช็อกโกแลตได้คะแนนการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากการใช้มาการีนในคุกกี้ช็อกโกแลตสูตรปกติ

## 2.7 กระบวนการผลิตโยอาหาร

โดยทั่วไปมีการผลิตโยอาหารจากธัญพืชมากกว่าการผลิตจากผลไม้ แต่อย่างไรก็ตาม โยอาหารที่ผลิตจากผลไม้ถือได้ว่ามีคุณภาพที่ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากโยอาหารที่ผลิตจากผลไม้มี ปริมาณโยอาหารละลายน้ำในปริมาณที่มากกว่า มีความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันที่ดีกว่า โดยลักษณะที่สำคัญของโยอาหารในทางการค้าคือ มีปริมาณโยอาหารทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 50 มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 9 มีปริมาณไขมันต่ำ มีค่าพลังงานต่ำ (น้อยกว่า 8.36 kJ/g) มีกลิ่นรสและ รสชาติที่เป็นกลาง ซึ่งกระบวนการผลิตโยอาหารประกอบด้วยขั้นตอนหลัก (Larrauri, 1999) ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1. การบดเปียก (Wet milling)** เป็นการลดขนาดของวัตถุดิบให้มีขนาดที่ เหมาะสม โดยถ้าหากขนาดอนุภาคเล็กมากจะทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิตได้ง่ายในระหว่าง กระบวนการแยกน้ำออก แต่ถ้าหากอนุภาคมีขนาดใหญ่เกินไปทำให้ไม่สามารถแยกองค์ประกอบที่ ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาล ออกได้ในขั้นตอนการล้าง นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้ขั้นตอนการทำแห้งใช้ เวลานาน

**ขั้นตอนที่ 2. การล้าง (Washing)** เป็นขั้นตอนในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ และจุลินทรีย์ก่อโรคออกจากโยอาหาร ซึ่งน้ำตาลจะถูกกำจัดออกไปทำให้ไม่เกิดสีดำนับผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการอบแห้ง และทำให้โยอาหารที่ได้มีปริมาณแคลอรีต่ำ Larrauri และคณะ (1996) สกัดโยอาหารจากเปลือกมะม่วง พบว่าการใช้วัตถุดิบเปลือกมะม่วงที่มีขนาดอนุภาค 15 มิลลิเมตร นำมาล้าง 5 นาที ส่งผลให้โยอาหารผงที่ได้มีโพลีฟีนอลและโยอาหารละลายน้ำเหลืออยู่ มากที่สุด Larrauri และคณะ (1997) ศึกษากระบวนการล้างต่อคุณภาพของโยอาหารจาก เปลือกส้ม พบว่าการล้างด้วยน้ำร้อนส่งผลให้โยอาหารที่ได้มีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าล้างด้วยน้ำ อุณหภูมิห้อง โดยการล้างด้วยน้ำร้อนกับวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาค 15 มม. มีความสามารถในการ อุ้มน้ำมากกว่าวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาค 5 มิลลิเมตร

**ขั้นตอนที่ 3. การทำแห้ง (Drying)** ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญและมีราคาสูงที่สุดในขั้นตอนการผลิตใยอาหาร โดยการทำแห้งเป็นการกำจัดน้ำออกจากใยอาหารหลังจากขั้นตอนการล้าง ซึ่งจะช่วยให้ใยอาหารเก็บของใยอาหารโดยไม่ต้องใช้สารเคมี อีกทั้งยังเป็นการลดขนาดของบรรจุภัณฑ์และค่าใช้จ่ายในการขนส่ง นอกจากนี้ขั้นตอนการทำแห้งยังส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารอีกด้วย ซึ่งปัจจัยที่สำคัญในการทำแห้งคือ อุณหภูมิและปริมาณใยอาหารต่อภาคที่ใช้ในการทำแห้ง Larrauri และคณะ (1997) ใช้อุณหภูมิสูง  $110^{\circ}\text{C}$  ในการทำแห้ง และมีปริมาณใยอาหารในภาค  $8 \text{ kg/m}^2$  ทำให้ใยอาหารที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงจะส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหาร ซึ่งกระบวนการทำแห้งนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การอบแห้งแบบภาค การอบแห้งแบบสายพาน การอบแห้งแบบอุโมงค์ การอบแห้งแบบนิวมาติก การอบแห้งแบบพ่นฝอย การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด การอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก และการอบแห้งแบบระเหิด (รุ่งนภาพงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535) โดยจะเลือกการทำแห้งด้วยวิธีใดควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ (ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำตาล) และผลของกระบวนการทำแห้งต่อคุณภาพของใยอาหารที่ได้

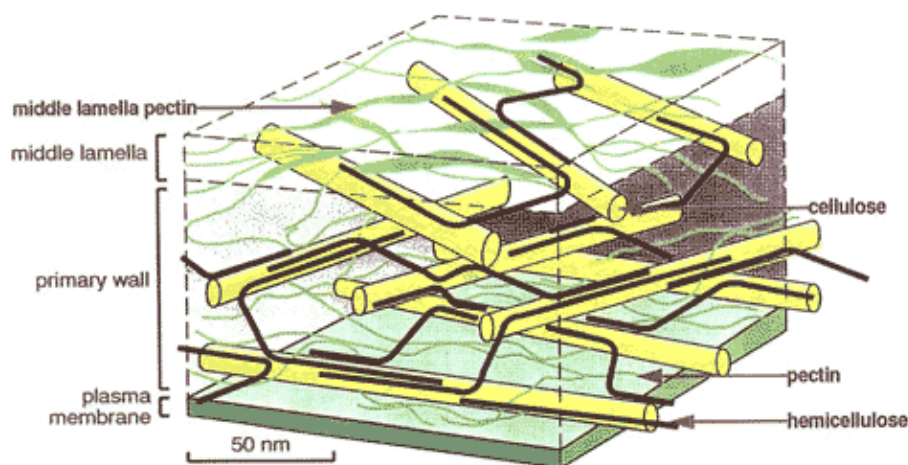
**ขั้นตอนที่ 4. การบดแห้ง (Dry milling)** เป็นการลดขนาดของใยอาหารที่ได้ให้เป็นผงเพื่อจ่ายต่อการนำไปใช้งาน โดยการบดมีผลต่อลักษณะการไฮเดรชันของใยอาหารซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพของอาหารที่ได้มีการเติมใยอาหาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีและกายภาพของใยอาหารด้วย ซึ่งขนาดอนุภาคของใยอาหารผงในทางการค้ามีขนาด 0.43 ถึง 0.15 มิลลิเมตร

นอกจากขั้นตอนหลักในการผลิตใยอาหารดังที่กล่าวมาได้มีกระบวนการอื่นในการผลิตใยอาหารเพื่อปรับปรุงคุณภาพของใยอาหารให้ดียิ่งขึ้นดังงานวิจัยของ Sakamoto และคณะ (2006) ที่ศึกษาการใช้เอนไซม์ 18 ชนิด สกัดใยอาหารจาก burdock roots และ bamboo shoots พบว่าเอนไซม์ Cellulosin ME ทำให้ใยอาหารที่ได้มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มขึ้นมากที่สุด ตามด้วยเอนไซม์ pectinase โดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ Cellulosin ME ในช่วงความเข้มข้น 0.02-1.0% ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 20 นาที พบว่าความแข็งของใยอาหารจาก burdock roots และ bamboo shoots ลดลงอย่างรวดเร็ว และจากการใช้เอนไซม์ Cellulosin ME ในการสกัดใยอาหาร burdock roots พบว่าช่วยเพิ่มใยอาหารละลายน้ำจาก 0.9 % เป็น 1.4 %



## 2.8 บทบาทของเอนไซม์เพกทิเนสในการแปรรูปผักและผลไม้

ชั้นสเตรตของเพกทิเนส คือ สารประกอบประเภทเพกทินและอนุพันธ์ของพอลิเมอร์ของ  $\alpha$ -1,4-D-galacturonopyranose units ซึ่งสารประเภทเพกทิน เป็นคอลลอยด์ของคาร์โบไฮเดรต พบในผลไม้ตั้งแต่ผลอ่อนถึงระยะสุกงอม ประกอบด้วย anhydrogalacturonic acid units และอนุพันธ์ ได้แก่ โปรโตเพคทิน เพกทิน กรดเพกติก กรดเพกทินิก ซึ่งสารประกอบเพกทินทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้าง พบในพืชทุกชนิดโดยเฉพาะที่ผนังเซลล์และระหว่างเซลล์ (intercellular) ดังรูปที่ 2.3 โดยสารประกอบเพกทินจะช่วยเพิ่มลักษณะคงตัวของเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ ทำหน้าที่เปรียบเหมือนซีเมนต์เชื่อมยึดเซลล์ต่างๆของเนื้อเยื่อไว้ เกิดการกักเก็บสารต่างๆไว้ในเนื้อเยื่อ ดังนั้นเมื่อมีการใช้เอนไซม์เพกทิเนสในการแปรรูปผักและผลไม้ เอนไซม์เพกทิเนสจะทำหน้าที่ไปตัดสารประกอบเพกทินซึ่งเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างพืชดังที่กล่าวมา ทำให้สารประกอบเพกทินมีขนาดโมเลกุลสั้นลง มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระบนโมเลกุลมากขึ้น ส่งผลให้สารประกอบเพกทินยึดจับกับผนังเซลล์อย่างหลวม ทำให้เนื้อสัมผัสของผักและผลไม้มีความอ่อนตัวลง และเกิดการปลดปล่อยสารต่างๆ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

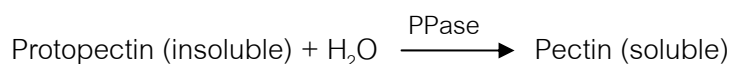


รูปที่ 2.3 สารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ในเนื้อเยื่อพืช  
(ดัดแปลงจาก Hopkins, 1999)

เอนไซม์เพกทิเนส พบทั่วไปในพืชชั้นสูงเช่นเดียวกับที่พบสารประกอบเพกทิน แต่อยู่คนละ ส่วนของเซลล์ แต่เมื่อเซลล์พืชช้ำหรือได้รับการกระทบกระเทือน เอนไซม์และเพกทินจะเคลื่อน เข้าใกล้กัน ทำให้เกิดการย่อยสลายลักษณะความคงตัวของเนื้อสัมผัสของผักผลไม้เสียไป ผักและผลไม้จะนิ่มลง โดยเพกทิเนสแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (ปราณี อานเป็รื่อง, 2547; Kashyap และคณะ, 2001; Jayani, Saxena และ Gupta, 2005)

### 2.8.1 โปรโตเพกทิเนส (Protopectinases, PPase)

เอนไซม์เพกทิเนสในกลุ่มนี้จะเร่งสลายโปรโตเพกทินที่ไม่ละลายน้ำส่งผลทำให้ พอลิเมอร์ของเพกทินมีสายสั้นลงและสามารถละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ดังปฏิกิริยา



### 2.8.2 เอสเทอเรส (Esterase)

เอนไซม์เพกทิเนสในกลุ่มนี้จะเร่งการเกิดปฏิกิริยา de-esterification ของเพกทิน โดยการดึงหมู่เมทิลเอสเทอร์ออก เอนไซม์กลุ่มนี้ได้แก่ เอนไซม์เพกทินเอสเทอเรส (PE) ดังปฏิกิริยา

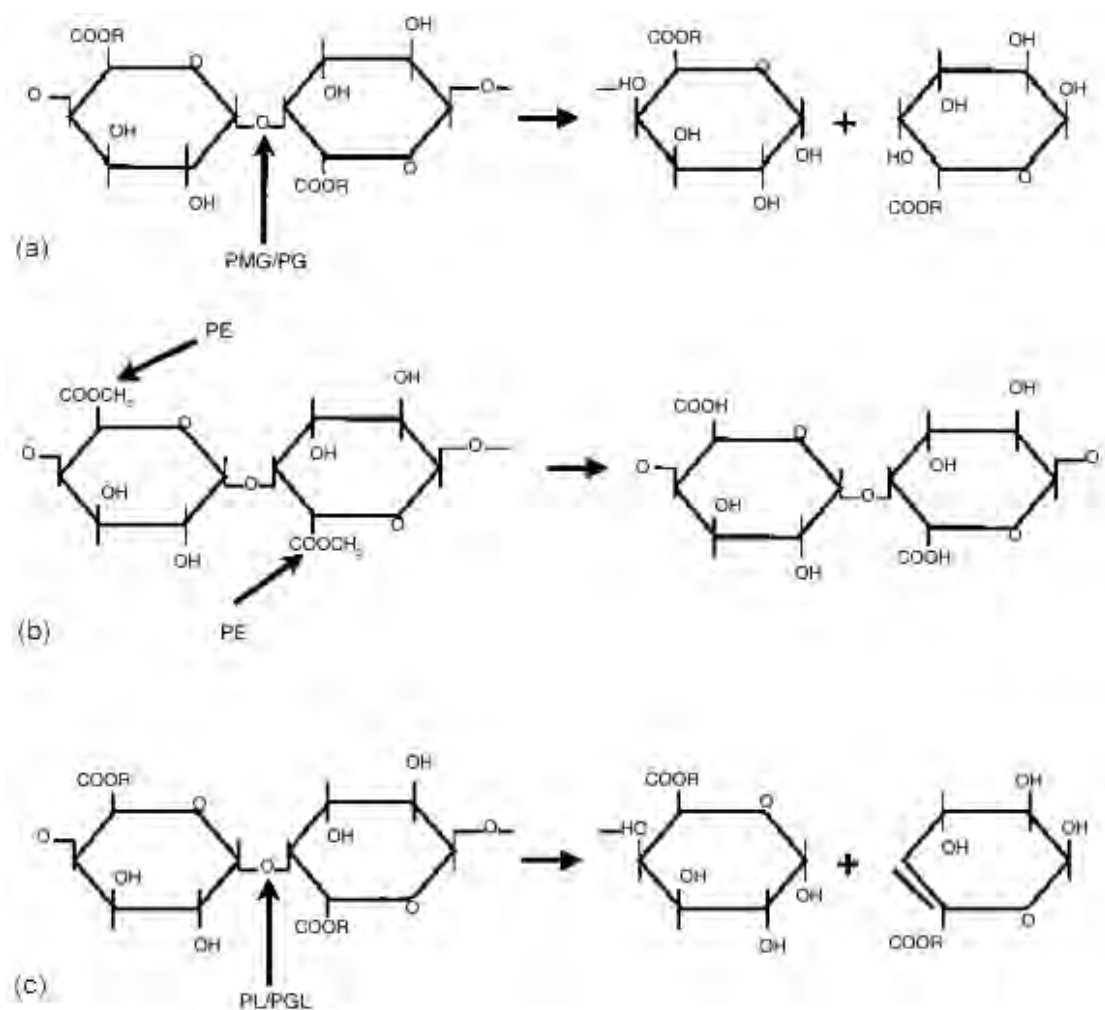


### 2.8.3 ดีพอลิเมอร์ส (Depolymerase)

เอนไซม์เพกทิเนสในกลุ่มนี้จะเร่งสลายพันธะ  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)-glycosidic ในสาร ประกอบเพกทิน โดยจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ตามชนิดของซึบสเตรต กลุ่มแรกคือ เอนไซม์ พอลิกาแลกทูโรเนส (PG) และเอนไซม์พอลิเมทิลกาแลกทูโรเนส (PMG) ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์พันธะ ไกลโคซิลของเพกเตตและเพกทินตามลำดับ ส่วนอีกกลุ่มคือ เอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนสไลเอส (PGL) และเอนไซม์พอลิเมทิลกาแลกทูโรเนสไลเอส (PMGL) ทำหน้าที่สลายพันธะไกลโคซิลของ เพกเตตและเพกทินตามลำดับ โดยอาศัย  $\beta$ -elimination ได้สารพอลิเมอร์สายสั้นที่สายหนึ่งมี ปลายรีดิวซ์และอีกสายพอลิเมอร์มีพันธะคู่ ดังปฏิกิริยา



โดยทั่วไปแล้วเอนไซม์เพคตินเนสที่ใช้และผลิตเพื่อจำหน่ายในทางการค้านั้นจะเป็น ส่วนผสมของเอนไซม์เพคตินเนสเป็นหลัก ได้แก่ เอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส พอลิกลแลกทูโลเนส และเพกเตตไลเอส นอกจากนี้ยังมีส่วนของเอนไซม์ชนิดอื่นร่วมอยู่ด้วย อาทิเช่น เซลลูเลส ไชลานเนส อะไมเลส ออกซิโดรีดักเทส และโปรตีเอส เป็นต้น ในสัดส่วนต่างๆกัน ซึ่งจะกันช่วยเสริม ประสิทธิภาพในการย่อยสลายองค์ประกอบต่างๆในเซลล์พืช โดยการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส ชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปฏิกริยาของเอนไซม์เพคตินเนส: (a) PG (R = H), PMG (R = CH<sub>3</sub>); (b) PE; (c) PGL (R = H), PL (R = CH<sub>3</sub>) โดยที่ลูกศรจะแสดงตำแหน่งที่เอนไซม์เข้าทำปฏิกริยากับสารประกอบเพคติน ซึ่ง PG = Polygalacturonases (EC 3.2.1.15); PE = Pectinesterase (EC 3.1.1.11); PL = Pectin lyase (EC 4.2.2.10) (Jayani และคณะ., 2005)

## 2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

ปัจจัยที่เหมาะสมต่อทำงานของเอนไซม์ เป็นสิ่งสำคัญมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยจะมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการทางเอนไซม์ อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปผักและผลไม้ด้วยเอนไซม์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อทำงานของเอนไซม์ จะส่งผลกระทบต่อลักษณะความขุ่น ความใส ความหนืด เนื้อสัมผัส สี กลิ่นรส และปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์มีดังนี้คือ (ปราณี อานเป็เรือง, 2547; Whitaker, 1996)

### 2.9.1 ปริมาณซับสเตรตและความเข้มข้นของเอนไซม์

เมื่อในระบบมีปริมาณของซับสเตรตและเอนไซม์เพิ่มมากขึ้น โอกาสที่เอนไซม์และซับสเตรตจับตัวกันย่อมมีมากขึ้น ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อปริมาณของซับสเตรตและเอนไซม์ลดลงโอกาสจับตัวกันของเอนไซม์และซับสเตรตจะลดลงด้วยเช่นกัน ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาลดลง โดยอัตราการเร่งปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของซับสเตรตหรือปริมาณของเอนไซม์ แต่ถ้ามีปริมาณซับสเตรตมากเกินไปก็ไม่มีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ปริมาณมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับซับสเตรตที่มากเกินไปได้ และเช่นเดียวกันถ้ามีปริมาณเอนไซม์มากเกินไป ก็ไม่มีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น เนื่องจากไม่มีซับสเตรตปริมาณมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ที่มากเกินไปได้

### 2.9.2 ค่า pH

ค่า pH มีผลต่อเสถียรภาพและแอกติวิตีของเอนไซม์ โดยเอนไซม์ทุกชนิดเป็นโปรตีน ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของเอนไซม์ก็คือปัจจัยที่มีผลให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนไป ซึ่ง pH จะไปมีผลต่อการแตกไอออนของ prototropic group ที่อยู่ในบริเวณเร่ง (active site) ของเอนไซม์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงรูปสามมิติซึ่งจะมีผลต่อการจับกับซับสเตรต หรือการเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังนำไปสู่การจับกับเอนไซม์ที่เปลี่ยนไปด้วย บางกรณี pH อาจมีผลให้ผลผลิตต่ำ ดังนั้นในปฏิกิริยาต้องควบคุม pH ให้เหมาะสมสูงสุดที่จะไม่ให้แอกติวิตีถูกยับยั้งไป ซึ่งเอนไซม์แต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ที่ระดับ pH ต่างกัน โดยจะมีช่วงหนึ่งที่เอนไซม์มีแอกติวิตีสูงสุด เรียกว่า optimum pH

### 2.9.3 อุณหภูมิ

ปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่จะให้ความเร็วปฏิกิริยาสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยเพิ่มพลังงานจลน์ที่โมเลกุลของสารปฏิกิริยา แล้วมีผลให้เกิดการชนกันได้มากขึ้นต่อหน่วยเวลา เช่นเดียวกันกับเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนและโมเลกุลของเอนไซม์มีโครงสร้างที่ละเอียดอ่อนมาก ถ้าโมเลกุลของสารปฏิกิริยามีพลังงานมากเกินไป โครงสร้างของเอนไซม์จะเสียหาย ทำให้เอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติและสูญเสียแอกติวิตีไปซึ่งเอนไซม์แต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานหรือ optimum temperature แตกต่างกัน โดยค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมนี้ หมายถึงอุณหภูมิสูงสุดที่เอนไซม์จะแสดงแอกติวิตีที่สูงที่สุด

### 2.9.4 ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา

เมื่อปริมาณซับสเตรตและเอนไซม์คงที่ การเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการย่อยสลายจะส่งผลทำให้เอนไซม์และซับสเตรตจับกันได้มากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาจึงเกิดได้มากขึ้น แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะไม่มีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เนื่องจากซับสเตรตหมดหรือปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุล

### 2.10 การใช้เพกทีเนสในการแปรรูปผักและผลไม้

เพกทีเนสเป็นเอนไซม์หลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมการแปรรูปผักและผลไม้ ซึ่งเอนไซม์เพกทีเนสมักใช้ร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการสกัดและเพิ่มผลผลิต เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ หรือเพื่อลดส่วนกากทิ้ง โดยเอนไซม์จะช่วยย่อยพอลิแซ็กคาไรด์ในวัตถุดิบหรือวัสดุที่ใช้ในการแปรรูปผักและผลไม้ (เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์, 2551; Alkorta และคณะ, 1998) สำหรับการใช้เอนไซม์เพกทีเนสในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ นั้นจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำผลไม้ที่สกัดได้ รวมทั้งสารกลีโคไซด์ เนื่องจากการสกัดน้ำผลไม้โดยทั่วไปที่ใช้วิธีการบีบอัดทางกายภาพ จะเริ่มต้นด้วยการทำให้เนื้อเยื่อในผนังเซลล์ฉีกขาดและทำให้เด็กลงผลผลิตจะขึ้นอยู่กับแรงอัดและลักษณะเนื้อผลไม้ ความอ่อนแก่ ความสด โดยถ้าเนื้อสัมผัสแข็ง ผลไม้อ่อน จะสกัดด้วยแรงกลได้ง่าย แต่ถ้าผลไม้นิ่มสุกงอม การบีบอัดจะให้น้ำน้อย ดังนั้นการใช้เอนไซม์จะช่วยให้น้ำมากขึ้นโดยเอนไซม์จะทำหน้าที่ทำลายเนื้อเยื่อเซลล์ผลไม้ ทำให้โครงสร้างเซลล์อ่อนตัว เกิดการปลดปล่อยของเหลวและปล่อยองค์ประกอบสำคัญ เช่น รงควัตถุและสารให้กลีโคไซด์ นอกจากนี้เอนไซม์เพกทีเนสยังมีบทบาทต่อความใสของน้ำผลไม้ด้วย เนื่องจากกระบวนการผลิตผลไม้ใส มีขั้นตอนการแยกตะกอนแขวนลอยของเพกติน เซลลูโลส ออกไป โดย

เซลล์แขวนลอยของคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นที่ตั้งทั้งเพกทินและเซลลูโลสอาจรวมตัวกับโปรตีนจะแยกด้วยวิธีการกรองได้ยาก ดังนั้นการใช้เอนไซม์เพกทิเนสซึ่งจะไปช่วยย่อยสลายสารเพกทินให้เปิดออก เพื่อให้โมเลกุลโปรตีนในคอลลอยด์และเพกทินมารวมกันเกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ง่ายต่อการกรองและการปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนออก ทำให้น้ำผลไม้ที่ได้มีความใสมากขึ้น (ปราณี อำนเป็รื่อง, 2547) สำหรับบทบาทของเพกทิเนสต่อการย่อยสลายเนื้อเยื่อผลไม้แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 บทบาทของเพกทินต่อการย่อยสลายเนื้อเยื่อผลไม้

เอนไซม์	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น	ผลิตภัณฑ์ที่ได้
เพกตินเอสเทอเรส (PE) ร่วมกับเกล็ดแคลเซียม	เกิดปฏิกิริยา saponification หรือ deesterification ที่ผนังเซลล์พืช	ทำให้ผลไม้มีความแน่นเนื้อลดลง
PG, PL, PAL	สลายเพกตินและกรดเพกติกที่ ผนังเซลล์บางส่วน	ทำให้เนื้อผลไม้อ่อนตัว (softening)
PG หรือ PL	สลายเพกตินและกรดเพกติกที่ middle lamella บางส่วน ทำให้ เนื้อเยื่อที่รวมอยู่ แยกออกจากกัน กระจัดกระจาย	ทำให้เนื้อผลไม้ยุ่ยและ (maceration)
PG + PE และ/หรือ PL ร่วมกับเฮมิเซลลูเลส เช่น อาราบานเนส กาแล็กทานเนส	ย่อยสลายเพกติน กรดเพกติก, อะราบีแนน, กาแล็กแทนในส่วน ที่เกี่ยวข้องที่ผนังเซลล์	ทำให้เนื้อเยื่อเซลล์ผลไม้ทั้งหมด ถูกทำลาย (disintegration) เกิดการปล่อยของเหลวละลาย เพกทิน อะราบีแนน และ กาแล็กแทนสายสั้น เกิดเป็น คอลลอยด์ที่เสถียรและข้น
เซลลูเลส + PE + PG และ/หรือ PL	เกิดการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์ ทั้งหมดของผนังเซลล์พืช	ทำให้เป็นของเหลว ไม่ข้น ไหลริน ได้ดี สารให้กลิ่นรสละลาย ผสม ได้ดี มีกลิ่นรสตามเฉพาะ ผลิตภัณฑ์
เฮมิเซลลูเลส, โอลิโกเมอเรส, เอกโซ-คาร์โบไฮเดรส, ไกลโคซิเดส (เช่น อะไมเลส)	เกิดการย่อยโมเลกุลของ พอลิแซ็กคาไรด์ให้เป็น โมโนแซ็กคาไรด์	เกิดเป็นน้ำเชื่อมของน้ำตาล เชิงเดี่ยว, คู่ เช่น กลูโคสไซรัป, ฟรุกโทสไซรัป, โอลิโกฟรุกโทส ไซรัป, ซึ่งมีรสหวานและตกผลึก ที่ความเข้มข้นสูง

ที่มา: ปราวณี อานเป็อง (2547)

มีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้เพกทินสในการแปรรูปผักและผลไม้ดังนี้

Sreenath, Sudarshanakrishna และ Santhanam (1994) ศึกษาการผลิตน้ำสับประรด โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสและเพกทินเอส โดยใช้เอนไซม์ความเข้มข้น 0.025% ระยะเวลาการย่อยสลาย 30 นาที ที่อุณหภูมิ 27-30°C พบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้หลังจากการใช้เอนไซม์สูงถึงร้อยละ 81-86 ซึ่งมากกว่าน้ำสับประรดที่ไม่ใช้เอนไซม์ที่ได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 72%

Brasil, Maia และ Figueiredo (1995) ศึกษาการผลิตน้ำฝรั่งโดยใช้เอนไซม์เพกทินเอส พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการย่อยสลายจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิต และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความหนืดและค่า pH จะลดลง โดยภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคือใช้เอนไซม์ความเข้มข้น 600 ppm ที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 120 นาที ส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิตของน้ำฝรั่งที่ได้สูงถึงร้อยละ 84.70

Alvarez และคณะ (1998) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำแอปเปิลโดยใช้เอนไซม์เพกทินเอสความเข้มข้น 0-400 ppm ระยะเวลาการย่อยสลายนาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C พบว่าน้ำแอปเปิลที่ได้มีความขุ่น ความหนืด และปริมาณสารเพกทินลดลง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองด้วย

Bhattacharya และ Rastogi (1998) ศึกษาผลของผลของความเข้มข้นของเอนไซม์เพกทินเอส ระยะเวลาในการย่อยสลาย และอุณหภูมิ ต่อค่าลักษณะการไหลของเนื้อมะม่วง พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา มีผลต่อพฤติกรรม การไหลของเนื้อมะม่วง โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยสลาย ส่งผลให้ลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic ลดลง และมีลักษณะการไหลใกล้เคียงกับ Newtonian มากขึ้น

Rastogi และ Rashmi (1999) ศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์เพกทินเอสและระยะเวลาในการย่อยสลายต่อลักษณะของน้ำมะม่วง พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมะม่วงคือ การใช้เอนไซม์เพกทินเอสความเข้มข้น 0.14% (v/w) ระยะเวลาในการย่อยสลาย 46.67 นาที ที่อุณหภูมิ 42°C ส่งผลช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของน้ำมะม่วงมากกว่าร้อยละ 64 โดยน้ำมะม่วงที่ได้มีความใสเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 71 ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายน้ำลดลงน้อยกว่าร้อยละ 2 และความหนืดของน้ำมะม่วงลดลงน้อยกว่า 1850 cP



Landbo และ Meyer (2001) ศึกษาการใช้กลุ่มของเอนไซม์ในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากกากแบคเคอเรนท์ที่เหลือจากการผลิตเป็นน้ำผลไม้ พบว่าในทุกๆ เอนไซม์นั้นสามารถย่อยสลายผนังเซลล์พืชได้ และพบว่าการใช้เอนไซม์ Grindamyl pectinase จะส่งผลให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด

Al-Hooti และคณะ (2002) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไซรัปจากผลอินทผลัม โดยใช้เอนไซม์เพกทิเนสและเซลลูเลส 0.5 1.0 และ 2.0% (v/w) ย่อยสลายนาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40°C พบว่าไซรัปที่ได้จากการใช้เอนไซม์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงถึงร้อยละ 68 ซึ่งมากกว่าไซรัปที่ไม่ใช้เอนไซม์ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดร้อยละ 35 นอกจากนี้การใช้เอนไซม์ยังช่วยคงลักษณะสีและกลิ่นรสธรรมชาติของอินทผลัมไว้ได้

Barros, Mendes และ Peres (2004) ศึกษาการใช้เอนไซม์ในกลุ่มเพกทิเนสในการผลิตน้ำเชอร์รี่และน้ำสับปะรด พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำเชอร์รี่และน้ำสับปะรดคือ การใช้เอนไซม์ความเข้มข้น 20 mg/L ระยะเวลาการย่อยสลายนาน 60 นาที ที่อุณหภูมิ 40°C ส่งผลให้น้ำเชอร์รี่และน้ำสับปะรดมีความหนืด ความขุ่น และปริมาณสารเพกตินลดลง และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกรอง

Rai และคณะ (2004) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มขี้ผึ้งโดยเอนไซม์เพกทิเนส พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และอุณหภูมิ ส่งผลให้น้ำส้มขี้ผึ้งมีความหนืดและปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ลดลง และน้ำส้มขี้ผึ้งมีความใสเพิ่มขึ้น โดยภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มขี้ผึ้งคือ การใช้เอนไซม์เพกทิเนสความเข้มข้น 0.0004% (v/w) ระยะเวลาในการย่อยสลาย 99.27 นาที ที่อุณหภูมิ 41.89 °C

Çinar (2005) ศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเอนไซม์เพกทิเนสรวมทั้งระยะเวลาการสกัดแคโรทีนอยด์จากเปลือกส้ม มันทเทศ และแครอท พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จะช่วยลดระยะเวลาในการสกัดแคโรทีนอยด์จากเปลือกส้ม มันทเทศ และแครอทได้ ซึ่งการเพิ่มระยะเวลาในการสกัดแคโรทีนอยด์จากแครอทนั้นจะส่งผลให้ได้ปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์

Lee และคณะ (2006) ศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์เพกทิเนส ระยะเวลาในการย่อยสลาย และอุณหภูมิ ต่อลักษณะน้ำกล้วย พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยสลาย ส่งผลให้น้ำกล้วยที่ได้สามารถกรองได้ง่ายขึ้น และมีความใสมากขึ้น โดยที่ความหนืดและขุ่นของน้ำกล้วยจะมีค่าลดลง ซึ่งภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำกล้วย คือการ

ใช้เอนไซม์เพกทิเนสความเข้มข้น 0.084% (v/w) ระยะเวลาในการย่อยสลาย 80 นาที ที่อุณหภูมิ 43.2°C

Sun และคณะ (2006) ศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เพกทิเนสในการผลิตน้ำแครอท พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำแครอทคือ การใช้เอนไซม์เพกทิเนสความเข้มข้น 100 ml/t เป็น ระยะเวลาการย่อยสลายนาน 80 นาที ที่อุณหภูมิ 45°C pH 4.8 ส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิตของ น้ำแครอทมากกว่าร้อยละ 63.5 มีปริมาณเบตาแคโรทีนมากกว่าร้อยละ 63.479 และมีความหนืด น้อยกว่า 2.128 cP

Sakamoto และคณะ (2006) ศึกษาการใช้เอนไซม์ 18 ชนิด สกัดใยอาหารจาก burdock roots และ bamboo shoots พบว่าเอนไซม์ Cellulosin ME ทำให้ใยอาหารที่ได้มีเนื้อสัมผัสอ่อน นุ่มขึ้นมากที่สุด ตามด้วย Pectinase โดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ Cellulosin ME ในช่วงความ เข้มข้น 0.02-1.0% ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 20 นาที พบว่าความแข็งของใยอาหารจาก burdock roots และ bamboo shoots ลดลงอย่างรวดเร็ว และจากการใช้เอนไซม์ Cellulosin ME ในการสกัดใยอาหาร burdock roots พบว่าช่วยเพิ่มใยอาหารละลายได้จากร้อยละ 0.9 เป็น ร้อยละ 1.4

Abdullah และคณะ (2007) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์เพกทิเนสผลิต น้ำมะเฟือง พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยสลาย ส่งผลให้ น้ำมะเฟืองมีความขุ่นลดลง มีความใสเพิ่มขึ้น และมีความหนืดลดลง โดยภาวะที่เหมาะสมในการ ผลิตน้ำมะเฟืองคือ การใช้เอนไซม์เพกทิเนสความเข้มข้น 0.10% (v/w) ที่อุณหภูมิ 30°C เป็น ระยะเวลา 20 นาที

Choudhari และ Ananthanarayan (2007) ศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ เซลลูเลสและเอนไซม์เพกทิเนส รวมทั้งระยะเวลาการสกัดไลโคพีนจากมะเขือเทศ พบว่าภาวะที่ เหมาะสมในการสกัดไลโคพีนจากมะเขือเทศคือ การใช้เอนไซม์เซลลูเลสเข้มข้น 6.0% (w/w) และ เอนไซม์เพกทิเนสเข้มข้น 0.5% (w/w) ส่งผลให้ได้ปริมาณไลโคพีนเพิ่มขึ้นสูงสุด 96.33 µg/g และ 90.6 µg/g ตามลำดับ และพบว่าระยะเวลาในการย่อยสลายส่งผลให้ปริมาณไลโคพีนที่สกัดได้มี ค่าต่างกัน โดยระยะเวลาที่ให้ปริมาณไลโคพีนเพิ่มขึ้นสูงสุด สำหรับเอนไซม์เซลลูเลสและเอนไซม์ เพกทิเนสคือ ระยะเวลาย่อยสลายนาน 15 นาที และ 20 นาที ตามลำดับ

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

##### 3.1.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซีเลจจากพุทราพันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam.

###### 3.1.1.1 การคัดเลือกพุทราสุกเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ

งานวิจัยส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกระดับความสุกของพุทราที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบโดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ปริมาณมิวซีเลจ

###### 3.1.1.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์

งานวิจัยส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อพุทราที่คัดเลือกได้จาก ข้อ 3.1.1.1 โดยศึกษาระยะเวลาการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ

###### 3.1.1.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซีเลจ

งานวิจัยส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซีเลจ จากพุทราที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.1.1.2 โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ เนื้อพุทราต่อน้ำ และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซีเลจ

###### 3.1.1.4 ศึกษาภาวะในการตกตะกอนมิวซีเลจด้วยเอทานอล

งานวิจัยส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนมิวซีเลจที่ได้จากข้อ 3.1.1.3 โดยศึกษาอัตราส่วนของสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล

### 3.1.1.5 ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซิเลจผง

งานวิจัยส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซิเลจผงที่ได้ โดยสมบัติเชิงหน้าที่ทางการศึกษาคือ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน และพฤติกรรมการไหล

### 3.1.2 การศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เพกทีเนส (Pectinex Ultra SP-L<sup>®</sup>, 10292 PGU/ml) ในการสกัดใยอาหารจากกากพุทรา

งานวิจัยส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะการผลิตใยอาหารจากส่วนของพุทรา ที่ผ่านการสกัดมิวซิเลจแล้วหรือกากพุทราโดยใช้เอนไซม์ โดยมีปัจจัยที่ศึกษาสองปัจจัยคือ ความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาที่ใช้ในการย่อย ติดตามการทำงานของเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ จากระดับการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในกากพุทราที่ประเมินจากค่าน้ำตาลรีดิวซ์ โดยเลือกภาวะที่ใยอาหารมีระดับการตัดพันธะไกลโคซิลครอบคลุมจากช่วงต่ำไปสูงเป็นตัวแทนในการศึกษาปริมาณใยอาหารและสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารที่ได้ ซึ่งได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน รวมทั้งประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของใยอาหารผงที่ได้

## 3.2 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์

### 3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมการสกัดมิวซิเลจ

พุทราที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยคือ พุทราพันธุ์สามรสที่แก่จัดหรืออยู่ในระยะพัฒนาเต็มที่ (อายุการเก็บเกี่ยว 60 วันหลังออกดอก) มีลักษณะเปลือกสีเขียวอมเหลือง จากสวนในจังหวัดอุตรดิตถ์ ประเทศไทย

### 3.2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ

กัวร์กัม	(T.C.S Pacific, Thailand)
แซนแทนกัม	(T.C.S Pacific, Thailand)

### 3.2.2 เอนไซม์

Amyloglucosidase	(Sigma-Aldrich, Germany)
Pectinex <sup>®</sup> Ultra SP-L	(Novo Industri A/S Copenhagen, Denmark)

Protease	(Sigma-Aldrich, Germany)
Termamyl <sup>®</sup>	(Sigma-Aldrich, Germany)

### 3.2.3 สารเคมี

#### 3.2.4.1 การสกัดมีวชีเลจ

Ethanol (95%)	A.R. grade (BDH, UK)
---------------	----------------------

#### 3.2.4.2 การฟอกสีมีวชีเลจ

Hydrogen peroxide	A.R. grade (Merck, Germany)
Hydrochloric acid	A.R. grade (J.T. Baker, USA)
Sodium hydroxide	A.R. grade (Ajax, Australia)

#### 3.2.4.3 ทดสอบแอกทิวิตีของเอนไซม์เพออกซิเดส

Ethanol (95%)	A.R. grade (BDH, UK)
Guaiacol	A.R. grade (Merck, Germany)
Hydrogen peroxide	A.R. grade (Merck, Germany)

#### 3.2.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

Sulfuric acid	A.R. grade (BDH, UK)
Hydrochloric acid	A.R. grade (Ajax, Australia)
Boric acid	A.R. grade (Ajax, Australia)
Selenium reagent mixture	A.R. grade (Ajax, Australia)
Sodium hydroxide	A.R. grade (Ajax, Australia)
Methylene blue	A.R. grade (Ajax, Australia)
Methyl red	A.R. grade (Merck, Germany)

#### 3.2.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

Petroleum ether	A.R. grade (Ajax, Australia)
-----------------	------------------------------

#### 3.2.4.6 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร

Acetone	A.R. grade (Ajax, Australia)
Celite	A.R. grade (Sigma-Aldrich, Germany)
Disodium hydrogen phosphate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Ethanol absolute	A.R. grade (Ajax, Australia)

Ethanol (95%)	A.R. grade (BDH, UK)
Hydrochloric acid	A.R. grade (J.T. Baker, USA)
Sodium dihydrogen phosphate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Sodium hydroxide	A.R. grade (Ajax, Australia)

#### 3.2.4.7 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

Ammonium molybdate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Anhydrous sodium dihydrogen phosphate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Anhydrous sodium sulphate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Copper sulphate pentahydrate	A.R. grade (Ajax, Australia)
D-(+)-glucose	A.R. grade (Merck, Germany)
Potassium sodium tartrate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Sodium hydroxide	A.R. grade (Ajax, Australia)
Sulfuric acid	A.R. grade (BDH, UK)
Sodium arsenate	A.R. grade (Fluka, USA)

#### 3.2.4.8 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก

Phenolphthalein	A.R. grade (Merck, Germany)
Potassium hydrogen phthalate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Sodium hydroxide	A.R. grade (Ajax, Australia)

### 3.2.5 อุปกรณ์

1. Blender (Cucina HR 1799, Philips, Netherlands)
2. Centrifuge (IEC multi RF, 220/224 Thermo IEC, USA)
3. 2 decimal place balance (Model BP3100S, Sartorius, Germany)
4. 4 decimal place balance (Model A2005, Sartorius, Germany)
5. Hot air oven (Model 600, Memmert, Germany)
6. Desicator
7. Kjeldahl distillation unit (Kjeldahl and Vapodest, K-424 Buchi, Switzerland)

8. Muffle furnace (Furnace Carbolote, S336RB Parsons Lane, Hope England)
9. Hot plate (Model M 21/1, Framo<sup>®</sup>-Gerätetechnik, Thailand)
10. Soxtherm Gerhardt (Model S-226, Germany)
11. Vacuum pump (Model 1023-V2-G583X ,GAST, Germany)
12. Magnetic stirrer (Framo<sup>®</sup>, Germany)
13. pH meter (Model Cyber Scan pH 1000 Bench, Eutech , Singapore)
14. Water bath shaker (Model 1092, GFL, Germany)
15. Spectrophotometer (Model V-530, JASCO, Japan)
16. Rheometer (C-VOR Bohlin Instruments, UK)
17. Centrifuge (Model ROTANTA 22R, Hettich, Germany)
18. Hand refractometer (Atago 32-62°Brix, Japan)
19. Vortex (Model, VX100Labnet, USA)
20. Chroma meter (Model CR 400, Minolta, Japan)
21. SPME Fiber Holder Polydimethylsiloxane (PDMS 100µm, Supelco)
22. Hand homogenizer (Model x 10/25, Ystral homogenizer, Netherlands)
23. Autoclave (Model SR-TMA18, National, Japan)
24. Freeze dryer (Heto FD8-55, Denmark)
25. Sieve 50 mesh (Retsch)

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซิเลจจากพุทราพันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam.

##### 3.3.1.1 คัดเลือกพุทราสุกเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ

นำพุทราพันธุ์สามรสที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 60 วันหลังออกดอกไปบ่มที่อุณหภูมิ  $32\pm 2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3, 6 และ 9 วัน ซึ่งจะได้เป็นระดับความสุกของพุทรา 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 (บ่มเป็นเวลา 3 วัน) ระดับที่ 2 (บ่มเป็นเวลา 6 วัน) และ ระดับที่ 3 (บ่มเป็นเวลา 9 วัน)

นำมาวิเคราะห์ปริมาณมิวซีเลจ โดยใช้ภาวะการสกัดพื้นฐานคือ ใช้อัตราส่วนเนื้อพุทราสุก(ที่แยกเมล็ดออกแล้ว)ต่อน้ำ 1:3 อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการสกัด 30<sup>0</sup>C บั่นลดขนาดด้วยเครื่องบั่นผสมเป็นระยะเวลา 1 นาที กรองด้วยผ้าขาวบางนำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ด้วยความเร็ว 10000xg นาน 30 นาที นำสารละลายมิวซีเลจ(ส่วนใส)มาตกตะกอนด้วยอัตราส่วนสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล1:3 เหวี่ยงแยกด้วยความเร็ว 10000xg นาน 10 นาที นำตะกอนที่ได้มาอบแห้งและหำร้อยละของผลผลิตเมื่อก คัดเลือกระดับความสูงของพุทราที่มีปริมาณมิวซีเลจสูงที่สุด ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นนำพุทราสุกที่คัดเลือกได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณใยอาหารละลายน้ำและใยอาหารไม่ละลายน้ำ (AOAC, 1995) แสดงในภาคผนวก ก.1-ก.6

### 3.3.1.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์

นำพุทราสุกที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.3.1.1 มาหาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ โดยนำพุทราสุกทั้งผลมาให้ความร้อนด้วยไอน้ำ แปรระยะเวลาในการให้ความร้อน 6 ระดับ คือ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที เริ่มจับเวลาเมื่อจุดกึ่งกลางของผลพุทราสุกมีอุณหภูมิ 85<sup>0</sup>C และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นนำมาทดสอบแอกทิวิตีของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส เพื่อยืนยันว่าภาวะที่เลือกใช้สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ ซึ่งการทดสอบแอกทิวิตีของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ทำโดยดัดแปลงวิธีของ Pearson (1970) แสดงในภาคผนวก ก.7 เลือภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาภาวะที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ทั้งหมด ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



### 3.3.1.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซีเลจ

แปรปริมาณอัตราส่วนของเนื้อพุทราสุกที่คัดเลือกได้มาสกัดด้วยน้ำในอัตราส่วนเนื้อพุทราสุกต่อน้ำ 4 ระดับ คือ 1:3, 1:5, 1:7 และ 1:9 แปรปริมาณอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวซีเลจ 4 ระดับ คือ 30°C, 45°C, 60°C และ 75°C บั่นลดขนาดด้วยเครื่องบั่นผสม เป็นระยะเวลา 1 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง (แยกส่วนกากไว้เพื่อนำไปผลิตโยเกิร์ตโดยใช้ เอนไซม์เพกทิเนส) นำสารละลายที่ได้ไปบั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์ด้วยความเร็ว 10000xg นาน 30 นาที นำสารละลายมิวซีเลจ(ส่วนใส)มาตกตะกอนด้วยอัตราส่วนสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล 1:3 บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10000xg นาน 10 นาที นำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งและหาร้อยละของผลผลิตเมื่อเลือกภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาภาวะที่ได้ร้อยละของผลผลิตเมื่อมากที่สุด ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ 4x4 Factorial ในแผนการทดลอง CRD วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 3.3.1.4 ศึกษาภาวะในการตกตะกอนมิวซีเลจด้วยเอทานอล

นำสารละลายมิวซีเลจที่สกัดได้จากข้อ 3.3.1.3 มาตกตะกอนด้วยเอทานอล โดยแปรอัตราส่วนของสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล 4 ระดับ คือ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10000xg นาน 10 นาที นำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งและหาร้อยละของผลผลิตเมื่อเลือกภาวะที่เหมาะสม โดยพิจารณาภาวะที่ได้ร้อยละของผลผลิตเมื่อมากที่สุด ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นำมิวซีเลจที่สกัดได้มาทำให้บริสุทธิ์โดยการแยกเอทานอลออก ด้วยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Wu และคณะ (1995) โดยการทำให้ dialysis มิวซีเลจด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 20 เท่า เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง เปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 6 ชั่วโมง โดยใช้ cellulose tubular membrane (molecular weight cutoff 12,000-14,000, Membrane filtration products, Inc., USA) และนำมิวซีเลจที่ได้มาฟอกสี โดยวิธี AHP ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Abdel-Aal, Sosulski และ Sokhansanj (1996) โดยฟอกสีด้วย 30% Hydrogen peroxide ความเข้มข้น 2% (w/v) ที่ pH 9 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง freeze dryer และบดร่อน

ผ่านตะแกรง 50 เมช จากนั้นจะนำมิวซีเลจผงที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณ Hydrogen peroxide คงเหลือในมิวซีเลจผง โดยนำไปละลายน้ำแล้ววัดด้วย Peroxide-test strip ของ Merck® วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณใยอาหารละลายน้ำและใยอาหารไม่ละลายน้ำ ตามวิธีของ AOAC (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ก.1-ก.6 วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Chroma Meter แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  วิเคราะห์ลักษณะอนุภาคและพื้นผิว ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) อีกทั้งนำมาวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่ เปรียบเทียบกับกับแก้วร็กัมและแซนแทนกัม ดังนี้ คือ

### 3.3.1.5 ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซีเลจผง

#### 3.3.1.5.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity)

วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำโดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Chau และ Cheung (1998) แสดงในภาคผนวก ก.8

#### 3.3.1.5.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Holding Capacity)

วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมันโดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Raghavendra และคณะ (2007) แสดงในภาคผนวก ก.9

#### 3.3.1.5.3 ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Emulsion Capacity)

วิเคราะห์ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Obatolu, Fasoyiro และ Ogunsunmi (2006) แสดงในภาคผนวก ก.10

#### 3.3.1.5.4 พฤติกรรมการไหล (Rheological properties)

เตรียมสารละลายมิวซีเลจเข้มข้น 5%, 7% และ 9% โดยละลายมิวซีเลจผงในน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายมิวซีเลจเกิดการ hydration อย่างสมบูรณ์ นำมาศึกษาพฤติกรรมการไหล เปรียบเทียบกับแก้วร็กัม (ความเข้มข้น 0.5%, 1% และ 2% โดยละลายแก้วร็กัมในน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง) และแซนแทนกัม (ความเข้มข้น 0.5%, 1% และ 2% โดยละลายแซนแทนกัมในน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง) ด้วยเครื่อง Rheometer โดยใช้ภาวะที่ดัดแปลงจากภาวะของ Medina-Torres และคณะ (2000) แสดงใน

ภาคผนวก ก.11 รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นความเป็นกรดต่าง (pH 3 – pH 11 โดยปรับสารละลายให้มีความเป็นกรดด้วย 0.1 M และ 1 M acetic acid และปรับสารละลายให้มีความเป็นด่างด้วย 0.1 M และ 1 M NaOH) และอุณหภูมิ (25<sup>o</sup>C - 75<sup>o</sup>C) ต่อค่าความหนืดของสารละลาย

### 3.3.2 ศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เพกทินเนส (Pectinex Ultra SP-L<sup>®</sup>, 10292 PGU/ml) ในการสกัดใยอาหารจากกากพุทรา

ผลิตใยอาหารจากกากพุทราที่ผ่านการสกัดมิวซีเลจแล้ว ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.3.1.3 ด้วยเอนไซม์เพกทินเนสทางการค้าคือ Pectinex<sup>®</sup> Ultra SP-L (10292 PGU/ml) ขั้นตอนแรกหาภาวะการล้างกากพุทราเพื่อให้ได้กากพุทราที่บริสุทธิ์ โดยแปรจำนวนครั้งในการล้างกากพุทราออกเป็น 5 ระดับคือ 0, 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง ล้างกากพุทราด้วยน้ำในอัตราส่วนกากพุทราต่อน้ำ 1:2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามวิธีของ Nelson (1944) แสดงในภาคผนวก ก.12 วัดค่า pH วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกตามวิธีของ AOAC (1995) แสดงในภาคผนวก ก.13 และวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ด้วย Hand Refractometer ในหน่วย °Brix ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หลังจากนั้นนำกากพุทราที่ได้มาเติมน้ำในอัตราส่วนกากพุทราต่อน้ำ 1:2 ทำปฏิกิริยาในขวดแก้วสี่ขาขนาด 500 มิลลิลิตร แบบ batch ที่อุณหภูมิ 32±2<sup>o</sup>C กวนผสมด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที แปรความเข้มข้นของเอนไซม์เป็น 7 ระดับคือ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0% (v/w) และแปรระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเป็น 9 ระดับคือ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100±5<sup>o</sup>C เป็นเวลานาน 5 นาที จากนั้นทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Hand homogenizer ที่ความเร็ว 16000 รอบต่อนาที นาน 3 นาที วิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) ด้วย Hand Refractometer ในหน่วย °Brix วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar; RS) ตามวิธีของ Nelson (1944) แสดงในภาคผนวก ก.12 ที่ทุกภาวะการทดลอง ซึ่งภาวะที่เลือกจะพิจารณาจากระดับการตัดพันธะไกลโคซิดของพอลิเมอร์กากพุทรา โดยประเมินจากค่าของน้ำตาลรีดิวซ์เป็นหลัก ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ 7x9 Factorial ในแผนการทดลอง CRD วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นำภาวะที่เลือกได้มาศึกษาอัตราการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดยการเติมเอนไซม์เพิ่มลงไป ณ จุดที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายเริ่มหยุดนิ่ง โดยแปรระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็น 8 ระดับคือ 0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0 ชั่วโมง เมื่อได้ภาวะอัตราการย่อยสลายเริ่มคงที่ ก็เติมเอนไซม์ลงไปอีกเช่นเดิม โดยแปรระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อไป ซึ่งจะทำเช่นเดียวกันนี้ จนกว่าจะพบว่าปฏิกิริยาเริ่มหยุดนิ่งไม่มีการย่อยสลายเกิดขึ้นแม้ว่าจะเติมเอนไซม์ลงไปหรือเพิ่มระยะเวลาการย่อยสลายก็ตาม วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ด้วย Hand Refractometer ในหน่วย °Brix วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar; RS) ตามวิธีของ Nelson (1944) แสดงในภาคผนวก ก.12 โดยพิจารณาภาวะที่เหมาะสมจากระดับการย่อยสลายที่ประเมินจากค่าของน้ำตาลรีดิวซ์เป็นหลัก ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หลังจากวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งประเมินจากค่าของน้ำตาลรีดิวซ์จะได้ตัวแทนภาวะการสกัดที่เหมาะสม นำภาวะที่เลือกได้มาวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารละลายน้ำและใยอาหารไม่ละลายน้ำ ตามวิธีของ AOAC (1995) แสดงในภาคผนวก ก.6 เพื่อเลือกภาวะการสกัดใยอาหารที่เหมาะสมที่ให้ใยอาหารละลายน้ำสูงสุด จากนั้นนำกากพืชรากที่ผ่านกระบวนการทางเอนไซม์ในภาวะที่เลือกได้มาทำแห้ง ด้วยวิธีแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง freeze dryer และบดร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช จากนั้นนำใยอาหารผงที่ได้มา วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Chroma Meter แห่่งกำเนิดแสง D<sub>65</sub> วิเคราะห์ลักษณะอนุภาคและพื้นผิว ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) อีกทั้งนำมาวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่ ดังนี้

### 3.3.2.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity)

วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำโดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Chau และ Cheung (1998) แสดงในภาคผนวก ก.8

### 3.3.2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Holding Capacity)

วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมันโดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Raghavendra และคณะ (2007) แสดงในภาคผนวก ก.9

### 3.3.2.3 ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Emulsion Capacity)

วิเคราะห์ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Obatolu และคณะ (2006) แสดงในภาคผนวก ก.10

### 3.3.2.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยอาหารผง

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยอาหารผงด้วยวิธี QDA โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่น ความละเอียด การฟุ้งกระจายและการแขวนลอยในน้ำ ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ข ทดลอง 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซีเลจจากพุทราพันธุ์สามรส

##### 4.1.1 การคัดเลือกพุทราสุกเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ

เนื่องจากเมื่อพุทราสุกจะสังเกตเห็นได้ว่ามีเมือกสีน้ำตาล ปริมาณมากเมื่อเทียบกับพุทราแก่จัด ดังนั้นจึงได้คัดเลือกระดับความสุกของพุทราพันธุ์สามรสเพื่อให้ได้ระดับความสุกของพุทราที่มีปริมาณมิวซีเลจสูงที่สุดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดมิวซีเลจ จากผลการทดลองบ่มพุทราแก่จัด (อายุการเก็บเกี่ยว 60 วัน หลังออกดอก) ที่อุณหภูมิ  $32\pm 2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3, 6 และ 9 วัน พบว่าระยะเวลาความสุกของพุทราที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตมิวซีเลจ ดังตารางที่ 4.1 โดยพุทราสุกระดับที่ 3 (บ่มเป็นเวลา 9 วัน) มีปริมาณผลผลิตมิวซีเลจมากที่สุด ซึ่งเท่ากับ 11.37 % dry weight และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปริมาณผลผลิตมิวซีเลจในพุทราสุกระดับที่ 3 มีความแตกต่างจากระดับที่ 1 และระดับที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) ทั้งนี้การทดลองได้ให้ระดับความสุกที่ 3 (บ่มเป็นเวลา 9 วัน) เป็นระดับพุทราที่มีความสุกมากที่สุดเนื่องจากเมื่อบ่มนานกว่านี้ผลพุทราจะเกิดการเน่าเสียและเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ โดยพุทราสุกระดับที่ 3 หากสังเกตลักษณะทางกายภาพจะเห็นได้ว่าจะมีเมือกสีน้ำตาล ปริมาณมากกว่าระดับที่ 1 และระดับที่ 2 ตามลำดับ โดยเมือกสีน้ำตาลนั้นคือปริมาณมิวซีเลจที่มีอยู่ในผลพุทรา ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ว่าพุทราสุกระดับที่ 3 จะมีปริมาณมิวซีเลจหรือเมือกสูงที่สุด จากนั้นได้นำพุทราสุกที่เลือกได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าพุทราสุกมีปริมาณใยอาหารละลายน้ำ 2.82 กรัม/100กรัม และใยอาหารไม่ละลายน้ำ 4.03 กรัม/100 กรัม ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากพุทราสุก 3 ระดับ

ระดับความสุก	ปริมาณมิวซีเลจ (% dry weight)
ระดับที่ 1 (บ่ม 3 วัน)	3.97 <sup>c</sup> ± 0.11
ระดับที่ 2 (บ่ม 6 วัน)	5.34 <sup>b</sup> ± 0.30
ระดับที่ 3 (บ่ม 9 วัน)	11.37 <sup>a</sup> ± 0.19

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของผลพุทราสุกที่บ่มเป็นระยะเวลา 9 วัน

องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100กรัม)	ผลพุทราสุก
ไขมัน	0.34 ± 0.04
โปรตีน	1.05 ± 0.02
เถ้า	1.46 ± 0.07
ความชื้น	87.22 ± 0.01
คาร์โบไฮเดรต	3.08 ± 0.02
ใยอาหารละลายน้ำ	2.82 ± 0.05
ใยอาหารไม่ละลายน้ำ	4.03 ± 0.04

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.1.2 ภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อพุทรา

ในการสกัดมิวซีเลจนั้นจำเป็นต้องมีการควั่นเอาเม็ดพุทราออก โดยหลังจากการควั่นเม็ดออกแล้วพบว่าเนื้อพุทราสุกจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ โดยผลไม่ส่วนใหญ่จะเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จะเกิดกับเนื้อเยื่อผลไม่เมื่อเซลล์ถูกทำลายทางกล เช่น การปอก การหั่น ทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์ PPO ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น o-diphenol สารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปให้เป็น o-quinone โดย o-quinone ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกัน

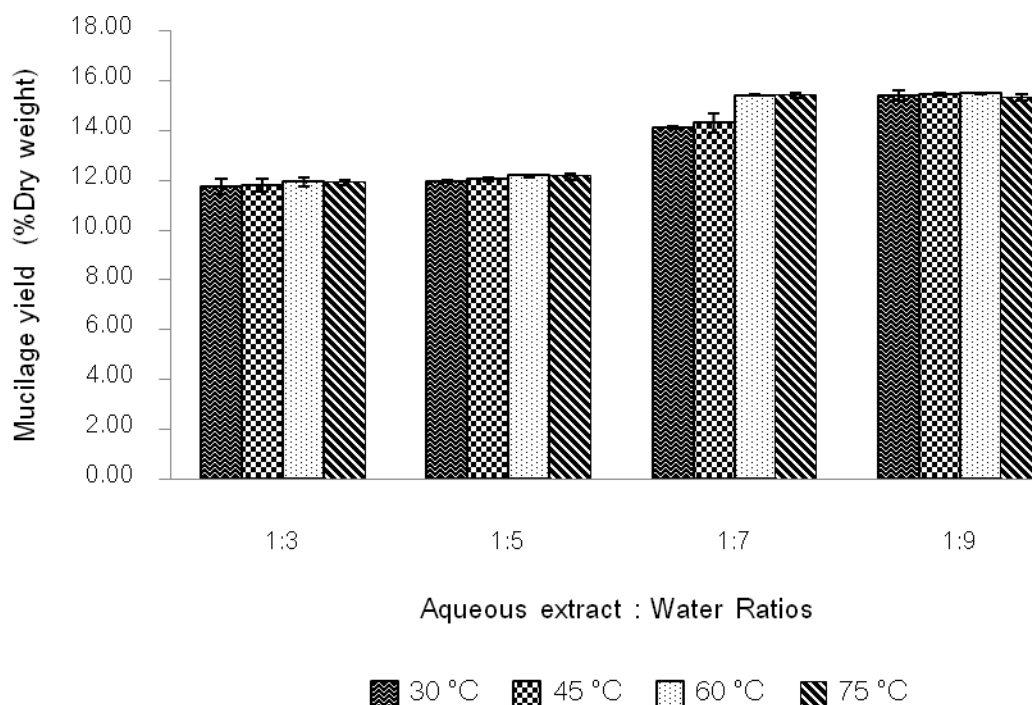
และเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโน ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (Owusu-apenten, 2005) จึงเห็นสีน้ำตาลเกิดขึ้นเมื่อคว้านเมล็ดพุทราออก ซึ่งสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อสีของมิวชิเลจและโยอาหารที่จะสกัดในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้หากระบวนการควบคุมปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น ด้วยการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่เวลาต่างๆ เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ซึ่งจากการทดลอง พบว่าเมื่อให้ความร้อนผลพุทราสุกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3, 4 และ 5 นาที ไม่พบ activity ของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสหรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาคือ การให้ความร้อนผลพุทราสุกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3 นาที เนื่องจากใช้เวลาน้อยที่สุดในการยับยั้ง activity ของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ ทั้งนี้การให้ความร้อนเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ เนื่องจากความร้อนจะส่งผลให้เอนไซม์ PPO เสียสภาพ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (Lee และ Whitaker, 1995)

#### 4.1.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวชิเลจ

กระบวนการสกัดมิวชิเลจแบบเปียกหรือการสกัดโดยการใช้น้ำ เป็นการสกัดที่ทำให้มิวชิเลจที่ได้ไม่เสียโครงสร้างทางเคมี อีกทั้งน้ำยังเป็นตัวทำละลายที่ดี เนื่องจากมิวชิเลจเป็นสารที่ละลายได้ดีในน้ำ มีนักวิจัยหลายท่านได้คิดหากระบวนการสกัดมิวชิเลจและทำบริสุทธิ์มิวชิเลจส่วนใหญ่เห็นว่ากระบวนการเหมาะสมในการสกัดและทำบริสุทธิ์มิวชิเลจคือ การสกัดมิวชิเลจโดยการ homogenize วัสดุกับด้วยน้ำ และทำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนด้วยเอทานอล (Saenz และคณะ, 2004) การทดลองจะใช้เนื้อพุทราสุกที่คว้านเมล็ดออกแล้วซึ่งในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของพุทราทั้งผลที่มีน้ำหนัก 100 กรัม พบว่ามีเนื้อพุทราอยู่ 92.32 กรัม จากผลการทดลองการสกัดมิวชิเลจจากพุทราที่ระดับอัตราส่วนเนื้อพุทรา (ที่คว้านเมล็ดออกแล้ว) ต่อ น้ำ 4 ระดับคือ 1:3, 1:5, 1:7 และ 1:9 อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวชิเลจ 4 ระดับคือ 30°C, 45°C, 60°C และ 75°C พบว่าที่ระดับอัตราส่วนเนื้อพุทราต่อ น้ำ 1:7 และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวชิเลจที่ 60°C สกัดมิวชิเลจได้ปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 15.40 (% dry weight) เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าที่ระดับอัตราส่วนเนื้อต่อ น้ำ 1:7 และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดมิวชิเลจที่ 60°C นั้นมีความแตกต่างจากสภาวะการสกัดระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และพบผลของอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ระหว่างปัจจัยทั้งสอง ดังรูปที่ 4.1 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดจะส่งผลให้สกัดมิวชิเลจได้ดีขึ้นทั้งนี้



เนื่องจากว่าอุณหภูมิจะไปเพิ่มพลังงานให้กับปฏิกิริยาทำให้กระบวนการสกัดมิวซีเลจดีขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ได้ผลผลิตมิวซีเลจสูงขึ้น

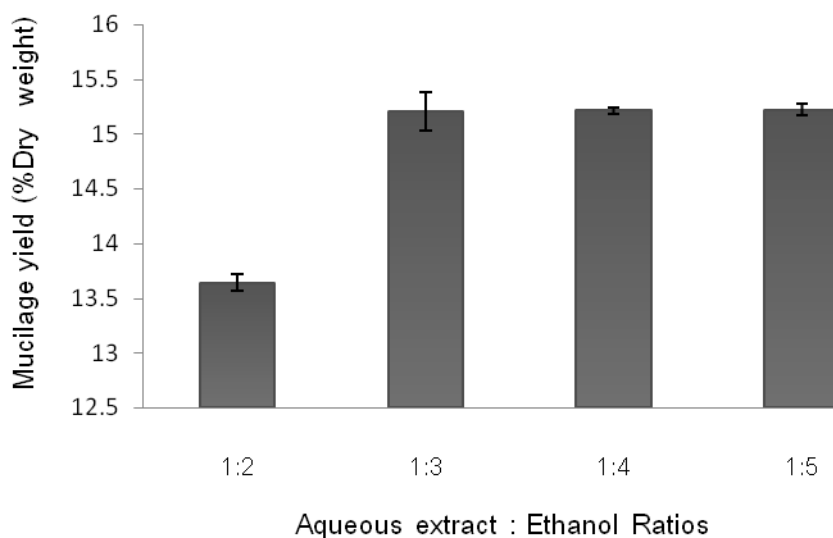


รูป 4.1 ปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากการสกัดที่ภาวะต่างๆ

#### 4.1.4 ศึกษาภาวะในการตกตะกอนมิวซีเลจด้วยเอทานอล

การตกตะกอนมิวซีเลจด้วยเอทานอลเป็นกระบวนการที่แยกมิวซีเลจออกจากน้ำได้ง่ายขึ้นและทำให้มิวซีเลจที่ได้มีความบริสุทธิ์ ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อเติมเอทานอลในสารละลายมิวซีเลจ เอทานอลจะไปแย่งจับกับน้ำทำให้มิวซีเลจที่จับอยู่กับน้ำหันมาจับกันเองแล้วรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและตกตะกอนลงมาทำให้สามารถแยกมิวซีเลจออกจากน้ำได้ จากการศึกษาภาวะในการตกตะกอนมิวซีเลจด้วยเอทานอล โดยแปรอัตราส่วนของสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล 4 ระดับคือ 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 พบว่าเมื่อตกตะกอนสารละลายมิวซีเลจด้วยเอทานอลที่อัตราส่วนของสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล 1:2 มีปริมาณผลผลิตของมิวซีเลจน้อยที่สุด เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปริมาณผลผลิตของมิวซีเลจที่ได้จากการตกตะกอนด้วยอัตราส่วนของสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล 1:2 มีความแตกต่างจากการตกตะกอนด้วยอัตราส่วน 1:3, 1:4 และ 1:5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ที่ระดับอัตราส่วน

การตกตะกอน 1:3, 1:4 และ 1:5 ปริมาณผลผลิตของมิวซีเลจไม่มีความแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.2 ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนสารละลายมิวซีเลจด้วยเอทานอลคือ การตกตะกอนด้วยอัตราส่วนของสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล 1:3 เนื่องจากเป็นภาวะที่ใช้เอทานอลในปริมาณน้อยแต่ส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิตของมิวซีเลจมาก โดยปริมาณผลผลิตของมิวซีเลจที่ได้ไม่มีความแตกต่างจากระดับอัตราส่วนการตกตะกอนที่ 1:4 และ 1:5



รูป 4.2 ปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากการตกตะกอนที่ภาวะต่างๆ

หลังจากที่ได้ภาวะในการสกัดมิวซีเลจจากพุทราพันธุ์สามรสแล้ว นำมาผลิตเป็นมิวซีเลจผง และได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมิวซีเลจผง ดังตารางที่ 4.3 พบว่ามิวซีเลจผงที่ได้มีปริมาณใยอาหารละลายน้ำสูงถึง 89.76 กรัม/100กรัม ซึ่งมีปริมาณสูงกว่ามิวซีเลจผงจากเมล็ดแมงลัก (ศศิธร เรื่องจักรเพชร และ ปราณีย์ อานเป็รื่อง, 2002b) ซึ่งมิวซีเลจผงจากเมล็ดแมงลักมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 86.48 กรัม/100กรัม แสดงให้เห็นว่ากระบวนการสกัดมิวซีเลจด้วยน้ำและตกตะกอนสารละลายมิวซีเลจด้วยเอทานอลดังที่ศึกษามีประสิทธิภาพที่ดีส่งผลให้มิวซีเลจที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง ดังนั้นจึงมีใยอาหารละลายน้ำในปริมาณสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการสกัดมิวซีเลจจากเมล็ดแมงลัก

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของมิวซีเลจผง

องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100กรัม)	มิวซีเลจผง
ไขมัน	0.12 ± 0.05
โปรตีน	0.27 ± 0.03
เถ้า	1.03 ± 0.09
ความชื้น	ND
คาร์โบไฮเดรต	8.82 ± 0.07
ใยอาหารละลายน้ำ	89.76 ± 0.03
ใยอาหารไม่ละลายน้ำ	ND

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ+ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจสอบได้

จากการวิเคราะห์ค่าสีของมิวซีเลจผง พบว่ามิวซีเลจผงที่ร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช มีค่าความสว่าง (L\*) ใกล้เคียงแซนแทนกัมและสูงกว่ากัวร์กัม ดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าการเตรียมวัตถุดิบในตอนต้นด้วยการหยุดปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาลด้วยไอน้ำกับผลุพทุราสุกเป็นระยะเวลา 3 นาที และการฟอกสีโดยวิธี AHP ด้วย 30% Hydrogen peroxide ความเข้มข้น 2% (w/v) ที่ pH 9 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่งผลให้ได้มิวซีเลจผงที่ได้มีความสว่างสูงใกล้เคียงกับแซนแทนกัมและสูงกว่ากัวร์กัม นอกจากนี้ยังพบว่ามิวซีเลจผงจากพทุราพันธุ์สามรสมีความสว่างมากกว่ามิวซีเลจผงจากเมล็ดแมงลักที่มีค่าความสว่างเท่ากับ 81.84 (ศศิธร เรืองจักรเพชร และปราณี อานเป็รื่อง, 2002b) อีกทั้งเมื่อนำมิวซีเลจผงที่ได้จากการฟอกสีมาวิเคราะห์ปริมาณ Hydrogen peroxide คงเหลือในมิวซีเลจผง โดยนำไปละลายน้ำแล้ววัดด้วย Peroxide-test strip ของ Merck® พบว่ามิวซีเลจผงที่ได้ไม่มีปริมาณ Hydrogen peroxide คงเหลืออยู่เลย โดยรูปของมิวซีเลจผง แซนแทนกัมและกัวร์กัม แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 มิวซีเลจผง กั๋วร็กัม และแชนแทนกัม

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของมิวซีเลจผง แชนแทนกัม และกั๋วร็กัม

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L <sup>*</sup>	a <sup>*</sup>	b <sup>*</sup>
มิวซีเลจผงจากพุทรา	89.10 <sup>b</sup> ± 0.01	-1.55 <sup>c</sup> ± 0.01	12.08 <sup>c</sup> ± 0.08
แชนแทนกัม	90.76 <sup>a</sup> ± 0.09	-0.72 <sup>a</sup> ± 0.07	9.95 <sup>b</sup> ± 0.19
กั๋วร็กัม	84.15 <sup>c</sup> ± 0.09	-0.75 <sup>b</sup> ± 0.04	12.56 <sup>a</sup> ± 0.09

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

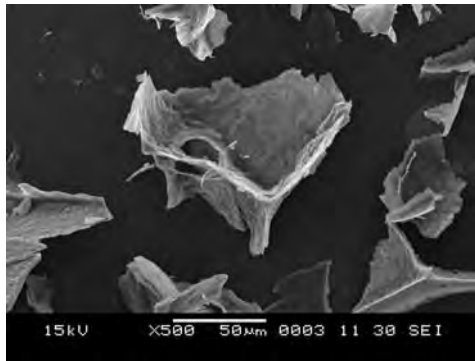
ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

Hunter color value : L<sup>\*</sup> = Lightness (100 = light, 0 = dark); a<sup>\*</sup> = + show redness, - show greenness

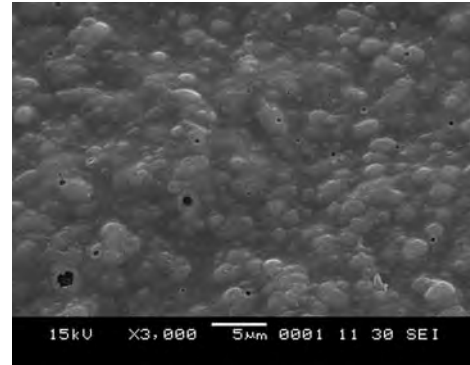
b<sup>\*</sup> = + show yellowness, - show blueness

จากการตรวจลักษณะอนุภาคและพื้นผิวของมิวซีเลจผงด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ลักษณะอนุภาคของมิวซีเลจผงมีรูปร่างค่อนข้างเป็นแผ่นแบนบาง ส่วนกั๋วร็กัมและแชนแทนกัมมีลักษณะอนุภาคค่อนข้างหนาเป็นก้อน สำหรับพื้นผิวของมิวซีเลจจะเห็นว่า มีลักษณะเป็นผิวเรียบมีรูพรุนเล็กน้อย ส่วนแชนแทนกัมมีลักษณะผิวขรุขระเป็นชั้น และกั๋วร็กัมมีลักษณะผิวเรียบเป็นชั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของกัมแต่ละชนิดแตกต่างกันและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน โดยลักษณะอนุภาคและพื้นผิวของมิวซีเลจนั้นจะเป็นลักษณะทางกายภาพที่อาจส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซีเลจผงได้ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน รูปจาก SEM จะเห็นได้ว่าพื้นผิวของมิวซีเลจมีรูพรุนเล็กน้อยดังนั้นจึงอาจส่งผลให้มิวซีเลจมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันที่ดีขึ้น เนื่องจากพื้นผิวที่เป็น

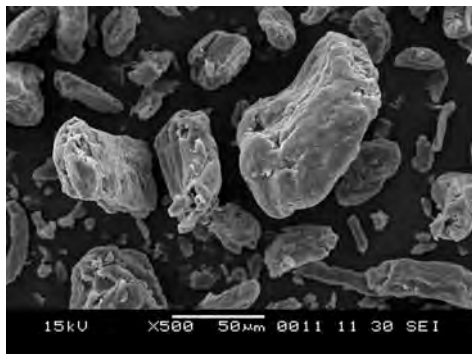
รูปจะส่งผลให้น้ำมันสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในอนุภาค ทำให้มิวซีเลจโอบล้อมน้ำมันไว้ได้  
ภายในโมเลกุลจึงส่งผลให้มิวซีเลจมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันได้ดี



ก. ลักษณะอนุภาคของมิวซีเลจผง



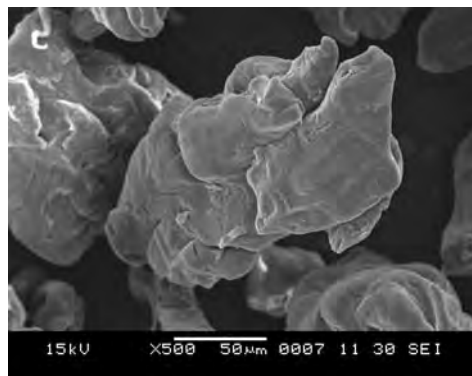
ข. พื้นผิวของมิวซีเลจผง



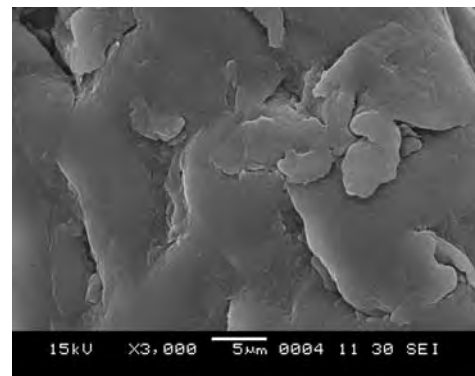
ค. ลักษณะอนุภาคของแซนแทนกัม



ง. พื้นผิวของแซนแทนกัม



จ. ลักษณะอนุภาคของกัวร์กัม



ฉ. พื้นผิวของกัวร์กัม

รูปที่ 4.4 ลักษณะอนุภาคและพื้นผิวของมิวซีเลจผง กัวร์กัม และแซนแทนกัม

#### 4.1.5 การศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซีเลจผง

##### 4.1.5.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity)

จากการศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่ามิวซีเลจผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 11.77 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง (1177%) ซึ่งน้อยกว่ามิวซีเลจที่สกัดได้จากเมล็ดแมงลักที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 15709% (ศศิธร เรืองจักรเพชร และ ปราณีย์ อานเป็รื่อง, 2002b) ส่วนแซนแทนกัมและกัวร์กัมไม่สามารถวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำได้ เนื่องจากสารละลายทั้งสองรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำอย่างแท้จริง (true solution) ซึ่งไม่สามารถเหวี่ยงแยกสารละลายผสมได้แม้จะเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วรอบสูง โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของมิวซีเลจจะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร Romanchik-cerpovicz และคณะ (2002) รายงานว่าการเติมมิวซีเลจจากกระเจี๊ยบเขียวในคูกี้ช็อคโกแลตเพื่อทดแทนมาการีนและไข่แดง พบว่าเมื่อเก็บคูกี้ไว้ 48 ชั่วโมง คูกี้ที่ทดแทนด้วยมิวซีเลจยังคงมีความชื้นสูงกว่าในสูตรควบคุม และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าได้คะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่าสูตรควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามิวซีเลจจากกระเจี๊ยบเขียวมีคุณสมบัติในการรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้ดี โดยมิวซีเลจจากกระเจี๊ยบเขียวมีความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 412.4% (Ndjouenkeu และคณะ 1997) ซึ่งน้อยกว่ามิวซีเลจจากพุทรา (1177%) ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่ามิวซีเลจจากพุทราน่าจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำหรือรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้ดีเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการอุ้มน้ำของมิวซีเลจผง แซนแทนกัม และกัวร์กัม

ตัวอย่าง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)
มิวซีเลจผงจากพุทรา	11.77 ± 0.84
แซนแทนกัม	true solution
กัวร์กัม	true solution

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.1.5.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Holding Capacity)

จากการศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำมัน พบว่ามิวซีเลจผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงที่สุดคือ 4.97 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง โดยความสามารถในการอุ้มน้ำมันของมิวซีเลจผงมีค่ามากกว่าแซนแทนกัมและกัวร์กัมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งมิวซีเลจผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันมากกว่ากัวร์กัมและแซนแทนกัมประมาณ 9 เท่าและ 6 เท่า ตามลำดับ ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของมิวซีเลจจากพุทรามีค่าใกล้เคียงกับมิวซีเลจจากเมล็ดแมงลักที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 4.15 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง (ศศิธร เรื่องจักรเพชร และ ปราณี อานเป็รื่อง, 2002b) ดังตารางที่ 4.6 โดยความสามารถในการอุ้มน้ำมันเป็นการแสดงสมบัติการดูดซับน้ำมันบนพื้นผิวของตัวอย่าง ทั้งนี้การที่มิวซีเลจมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงเนื่องจากว่าโมเลกุลของมิวซีเลจมีหมู่ไม่มีขั้วอยู่จำนวนมาก ทำให้สามารถโอบล้อมน้ำมันไว้ในโมเลกุลได้สูง ซึ่งสมบัติการอุ้มน้ำมันนี้มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นอย่างมาก เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยถ้าความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงจะส่งผลต่อการรักษากลิ่นรสและลดการสูญเสียไขมันในกระบวนการทำให้สุกในผลิตภัณฑ์เนื้อได้ดี (Thebaudin และคณะ, 1997)

ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของมิวซีเลจผง แซนแทนกัม และกัวร์กัม

ตัวอย่าง	ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง)
มิวซีเลจผงจากพุทรา	4.96 <sup>a</sup> ± 0.05
แซนแทนกัม	0.79 <sup>b</sup> ± 0.05
กัวร์กัม	0.57 <sup>c</sup> ± 0.03

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย+ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.5.3 ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Emulsion Capacity)

จากการศึกษาความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน พบว่ามิวซีเลจผงมีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันน้อยที่สุดคือเท่ากับ 52.22 % ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งแซนแทนกัมเป็นตัวทำให้เกิดอิมัลชันที่ดีมากจึงไม่เกิดการแยกชั้นของของเหลวเมื่อนำมาเหยียงแยก โดยความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของมิวซีเลจผงมีค่าน้อยกว่าแซนแทนกัมและกัวร์กัมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ศศิธร เรืองจักรเพชร และ ปราณีย์ อานเป็รื่อง (2002b) รายงานว่ามิวซีเลจที่สกัดได้จากเมล็ดแมงลักมีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันเท่ากับ 74.41% ซึ่งมีค่ามากกว่ามิวซีเลจจากพุทรา โดยความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันนี้มีผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด โดยมิวซีเลจจะไปลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน (interfacial tension) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์แตกตัวเป็นหยดน้ำมันขนาดเล็กๆ กระจายตัวในน้ำได้ ทำให้ลดการเกิด coalescence หรือ การรวมตัวกันของหยดน้ำมันหรือหยดน้ำขนาดเล็กๆ เป็นหยดน้ำหรือหยดน้ำมันขนาดใหญ่ (Benhura และ Chidewe, 2004) ดังงานวิจัยของ Saenz และคณะ (2004) ศึกษาความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของมิวซีเลจจาก *Opuntia ficus indica* พบว่ามิวซีเลจช่วยลด surface tension และ interfacial tension ทำให้อิมัลชันของน้ำและน้ำมันมีความเสถียรและไม่เกิดการ coalescence ในระบบ

ตารางที่ 4.7 ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของมิวซีเลจผง แซนแทนกัม และกัวร์กัม

ตัวอย่าง	ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (%)
มิวซีเลจผงจากพุทรา	52.22 <sup>c</sup> ± 0.48
แซนแทนกัม	100.00 <sup>a</sup> ± 0.00
กัวร์กัม	59.72 <sup>b</sup> ± 0.48

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

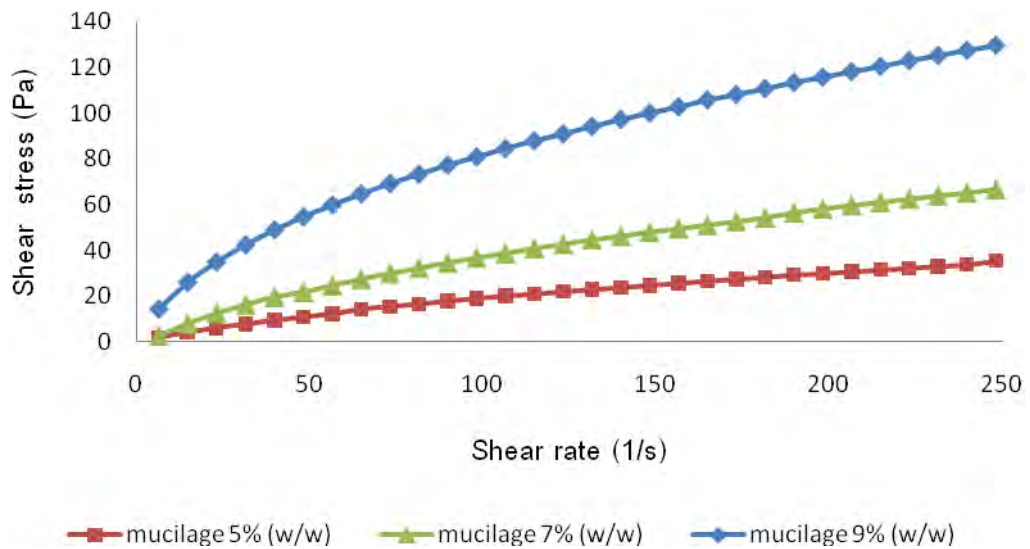


#### 4.1.5.4 พฤติกรรมการไหล (Rheological properties)

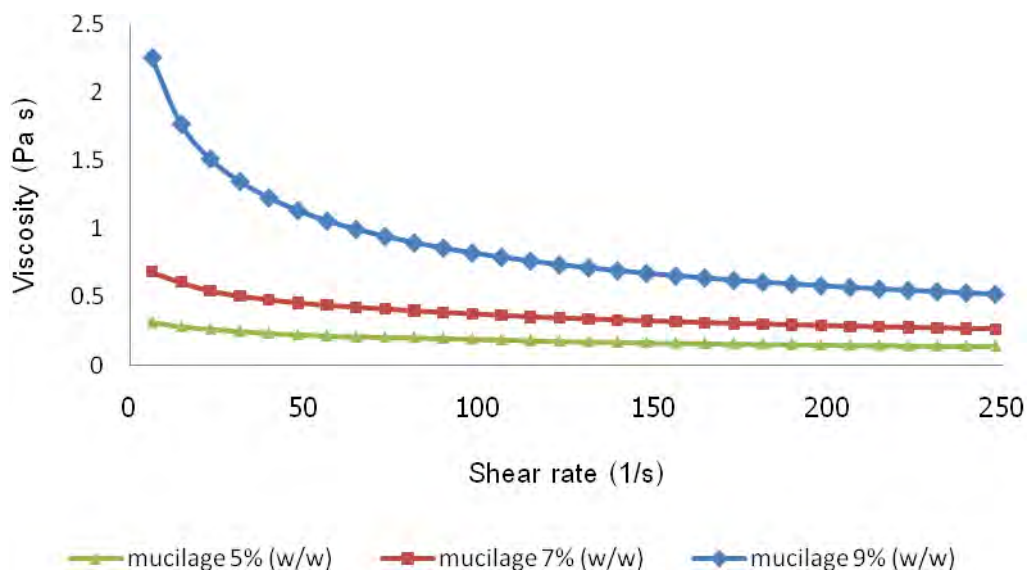
##### 4.1.5.4.1 อิทธิพลของความเข้มข้น (Concentration effect)

เนื่องจากมีรายงานว่า สารละลายมิวซีลจมีความหนืดแตกต่างจากสารละลายแซนแทนกัม ดังรายงานของ Medina-Torres และคณะ (2000) ที่พบว่าสารละลายมิวซีลจาก *Opuntia ficus indica* ความเข้มข้น 3% มีความหนืดใกล้เคียงกับสารละลายแซนแทนกัม 10% แต่เนื่องจากมิวซีลที่ได้จากพืชต่างชนิดกันจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังมีสมบัติเชิงหน้าที่แตกต่างกันดังที่ศึกษามาข้างต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ดัดแปรสภาวะการทดลองให้เหมาะสม เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นต่อความหนืดของสารละลายมิวซีลเปรียบเทียบกับกัมทางการค้าคือ กัวร์กัมและแซนแทนกัม โดยจะแปรความเข้มข้นของสารละลายมิวซีล สารละลายกัวร์กัมและสารละลายแซนแทนกัมในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ดังนี้คือ สารละลายมิวซีลความเข้มข้น 5%, 7% และ 9% (w/w) สารละลายกัวร์กัมความเข้มข้น 0.5%, 1% และ 2% (w/w) และสารละลายแซนแทนกัมความเข้มข้น 0.5%, 1% และ 2% (w/w) จากการศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายมิวซีลโดยใช้ Power law model (Ostwald-de-Waele) ทำนายพฤติกรรมการไหล แสดงผลในค่าของ consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n) พบว่าสารละลายมิวซีลความเข้มข้น 5%, 7% และ 9% (w/w) มีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic หรือ Shear thinning ดังแสดงในรูปที่ 4.5 โดยเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ shear stress เพิ่มขึ้นและสารละลายมิวซีลจะมีค่าความหนืดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากมิวซีลเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโมเลกุลยาวพันกันและกักเก็บน้ำไว้ในโมเลกุลของมัน เมื่อให้แรงน้อยๆพอลิเมอร์เหล่านี้จะมีการเรียงตัวใหม่ในทิศทางเดียวกับแรงที่ใส่เข้าไปและจะเกิดการไหลถ้าให้แรงมากๆ การไหลจะมากขึ้นซึ่งความหนืดจะลดลงตามไปด้วย (Marcotte และคณะ, 2001) ซึ่งในอัตราเฉือนเดียวกันค่า shear stress และค่าความหนืดของสารละลายมิวซีลที่ความเข้มข้นสูงจะมีค่ามากกว่าสารละลายมิวซีลที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ซึ่งจากการใช้ Power law model จะได้ค่า consistency coefficient (K) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความหนืดของของเหลวและ flow behavior index (n) เป็นค่าที่บ่งบอกลักษณะการไหลของของเหลว ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณค่า โดยค่า consistency coefficient (K) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมิวซีลมีความเข้มข้นสูงขึ้น อีกทั้งค่า flow behavior index (n) มีค่าน้อยกว่า 1 และจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมิวซีลสูงมากขึ้น โดยสารละลายมิวซีลจะมีพฤติกรรมการไหลคล้ายกับสารละลายกัวร์กัมคือ มีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic ซึ่งใช้ Power law model (Ostwald-de-Waele) ทำนายพฤติกรรมการไหลเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 4.6

ศศิธร เรืองจักรเพชร และ ปราณีย์ อานเป็รื่อง (2002b) พบว่ามิวซีเลจจากเมล็ดแมงลักมีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic นอกจากนี้ Medina-Torres และคณะ (2000) รายงานว่ามิวซีเลจที่สกัดได้จาก *Opuntia ficus indica* มีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic เช่นเดียวกันและพบว่าค่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้น



(a)



(b)

รูปที่ 4.5 Rheograms ของสารละลายมิวซีเลจที่ความเข้มข้นต่างๆ (a) ความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate (b) ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate

ตารางที่ 4.8 ค่า consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n) ของสารละลาย  
มิวซีเลจ และสารละลายกัวร์กัมที่ความเข้มข้นต่างๆ

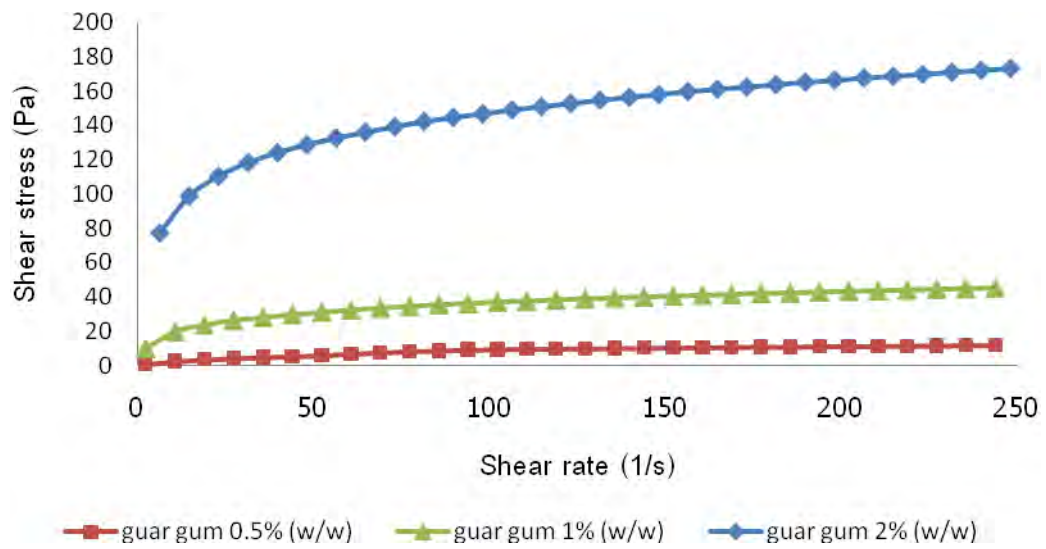
Concentration (w/w)		K (Pa s <sup>n</sup> )	n
Mucilage	5%	0.783±0.02	0.689±0.02
	7%	1.746±0.04	0.645±0.06
	9%	6.873±0.03	0.543±0.05
Guar gum	0.5%	1.128±0.02	0.435±0.06
	1%	10.894±0.06	0.261±0.08
	2%	58.258±0.02	0.199±0.03

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

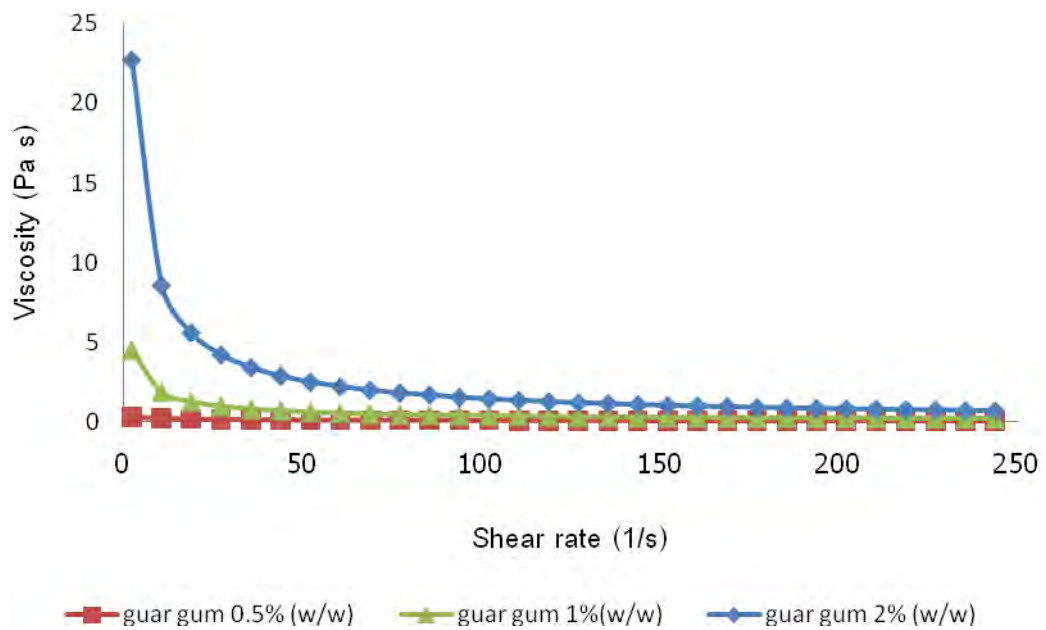
ตารางที่ 4.9 ค่า yield stress ( $\tau_0$ ), consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n)  
ของสารละลายแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่างๆ

Concentration (w/w)		$\tau_0$ (Pa)	K (Pa s <sup>n</sup> )	n
Xanthan gum	0.5%	0.019±0.04	1.588±0.04	0.283±0.01
	1%	0.337±0.01	3.296±0.01	0.310±0.07
	2%	0.399±0.04	7.155±0.03	0.289±0.05

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



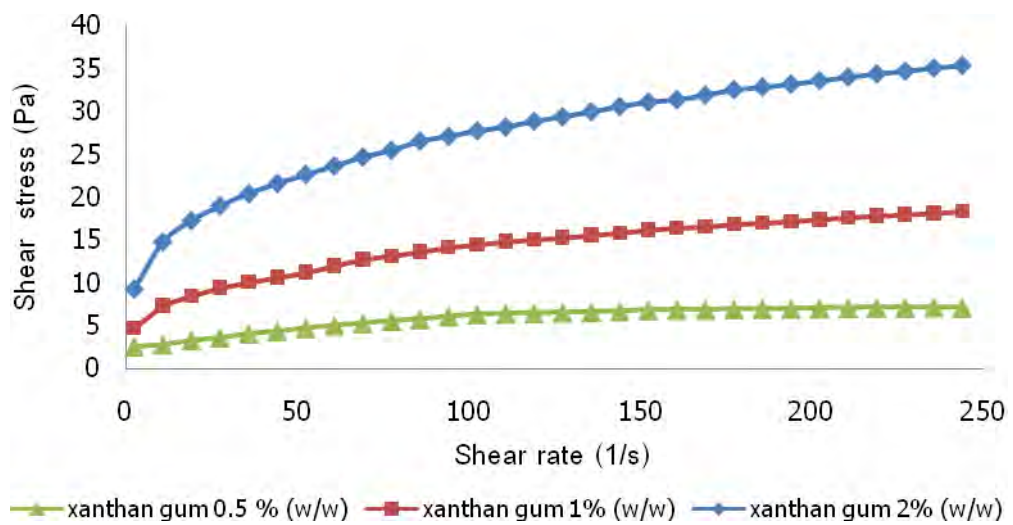
(a)



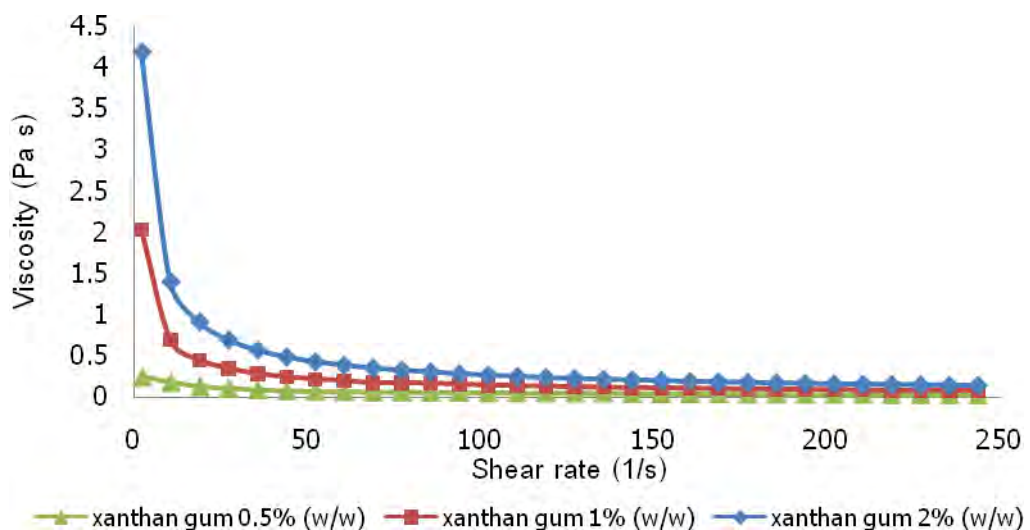
(b)

รูปที่ 4.6 Rheograms ของสารละลายกัวกัมที่ความเข้มข้นต่างๆ (a) ความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate (b) ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate

สำหรับสารละลายแซนแทนกัมเมื่อใช้ Herschel-Bulkley model ทำนายพฤติกรรมการไหลแสดงผลในค่าของ yield stress ( $\tau_0$ ), consistency coefficient (K) และ flow behavior index (n) พบว่าสารละลายแซนแทนกัมความเข้มข้น 0.5%, 1% และ 2% มีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic with yield stress ดังรูปที่ 4.7 โดย ค่า yield stress ( $\tau_0$ ) คือ แรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้ของเหลวเริ่มไหลได้ และพบว่าเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า yield stress ( $\tau_0$ ) สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ดังตารางที่ 4.9



(a)



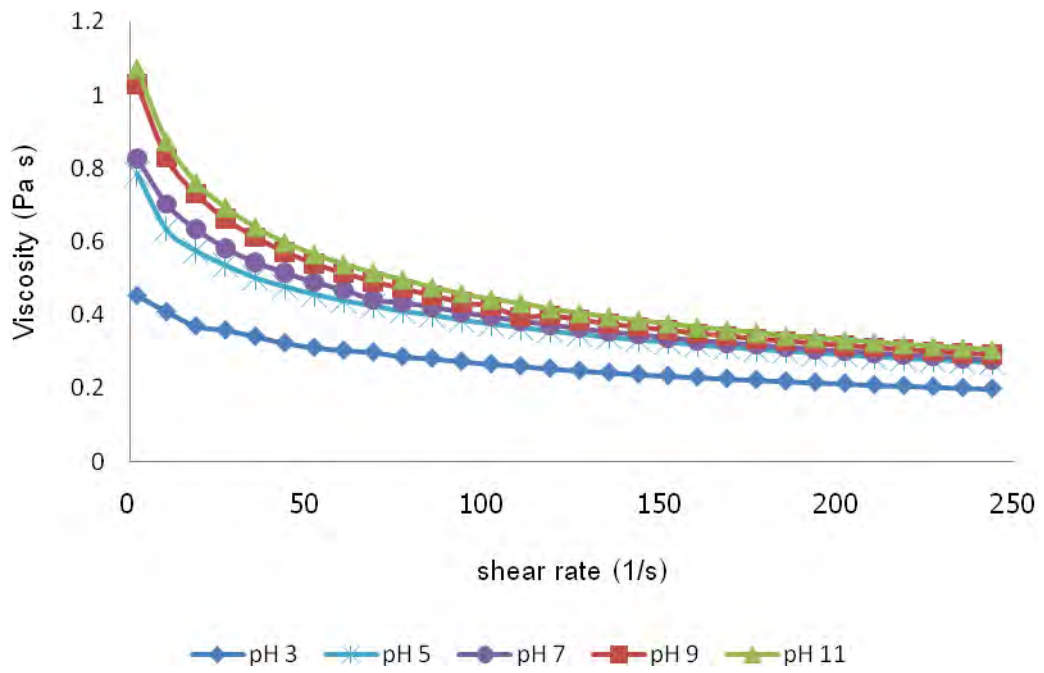
(b)

รูปที่ 4.7 Rheograms ของสารละลายแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่างๆ (a) ความสัมพันธ์ระหว่าง

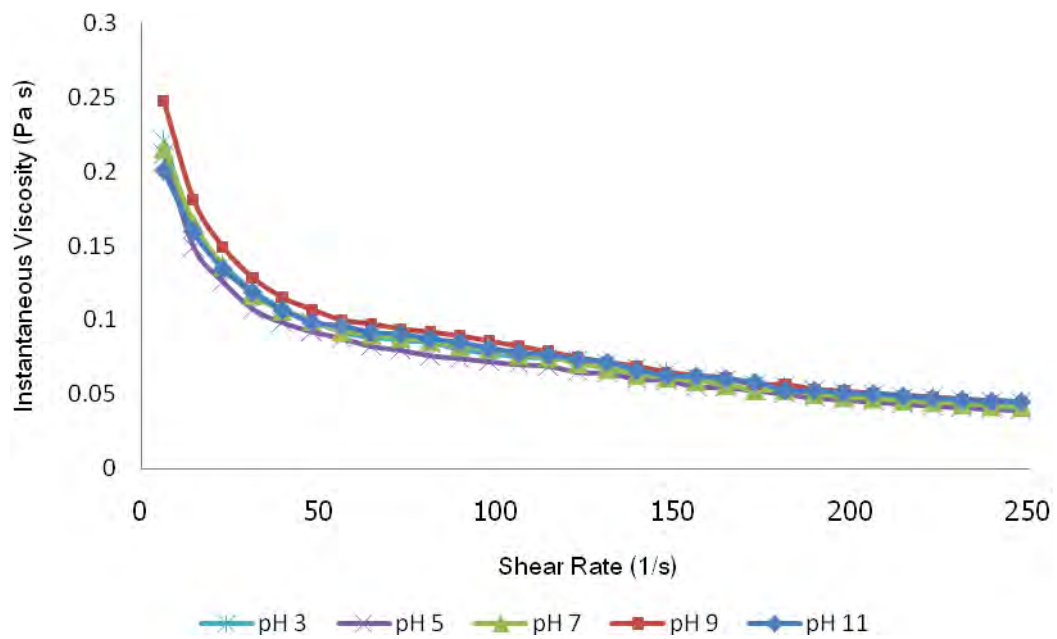
shear stress และ shear rate (b) ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate

#### 4.1.5.4.2 อิทธิพลของความเป็นกรดต่าง (Effect of pH)

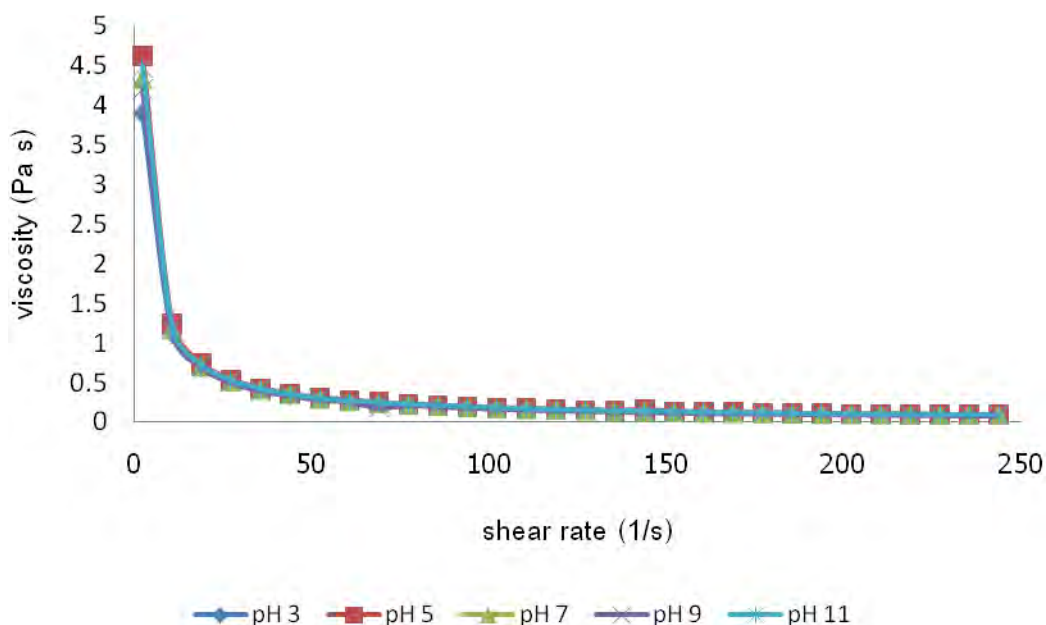
จากการศึกษาค่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจในภาวะค่าความเป็นกรดต่างต่างกัน (pH 3 – pH 11) เปรียบเทียบกับสารละลายกัวร์กัมและแซนแทนกัม ซึ่งศึกษาอิทธิพลของความเป็นกรดต่างของสารละลายมิวซีเลจความเข้มข้น 7% (w/w) เปรียบเทียบกับกัวร์กัมและแซนแทนกัมความเข้มข้น 0.5% (w/w) โดยวัดที่อัตราเฉือนในช่วง  $0.1-250 \text{ s}^{-1}$  ที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ภายในเวลา 180 วินาที พบว่าเมื่อค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้สารละลายมิวซีเลจมีความหนืดสูงขึ้น โดยในภาวะการเป็นกรดสูง (pH 3) สารละลายมิวซีเลจจะมีค่าความหนืดต่ำที่สุด ดังรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าสารละลายมิวซีเลจไม่เหมาะสมกับภาวะการเป็นกรดสูง เนื่องจากเมื่ออยู่ในภาวะกรดสูง กรดจะไปไฮโดรไลซ์โครงสร้างที่เป็นพอลิเมอร์ของมิวซีเลจทำให้พอลิเมอร์มีสายสั้นลง มีแรงต้านทานการไหลได้น้อยลงจึงทำให้สารละลายมิวซีเลจมีความหนืดลดลง และจากการศึกษาค่าความหนืดของสารละลายกัวร์กัมและแซนแทนกัม พบว่าเมื่อค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลต่อความหนืดของสารละลายกัวร์กัมและแซนแทนกัมมากนัก ดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 เนื่องจากกัวร์กัมและแซนแทนกัมทนต่อภาวะการเป็นกรดสูงได้ดี ดังนั้นในภาวะการเป็นกรดสูงจึงพบว่ากัวร์กัมและแซนแทนกัมนี้มีค่าความหนืดไม่แตกต่างจากภาวะการเป็นต่าง (Wang, Ellis และ Ross-Murphy, 2000; Nussinovitch, 1997) Medina-Torres และคณะ (2000) รายงานว่าค่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจจาก *Opuntia ficus indica* มีค่าสูงขึ้นตามค่า pH ของสารละลายที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chen และ Chen (2001) ที่พบว่าเมื่อสารละลายมิวซีเลจจาก green laver มีค่า pH สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายมีวชิเลจที่ pH ต่างๆ



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายกัวรีกัมที่ pH ต่างๆ

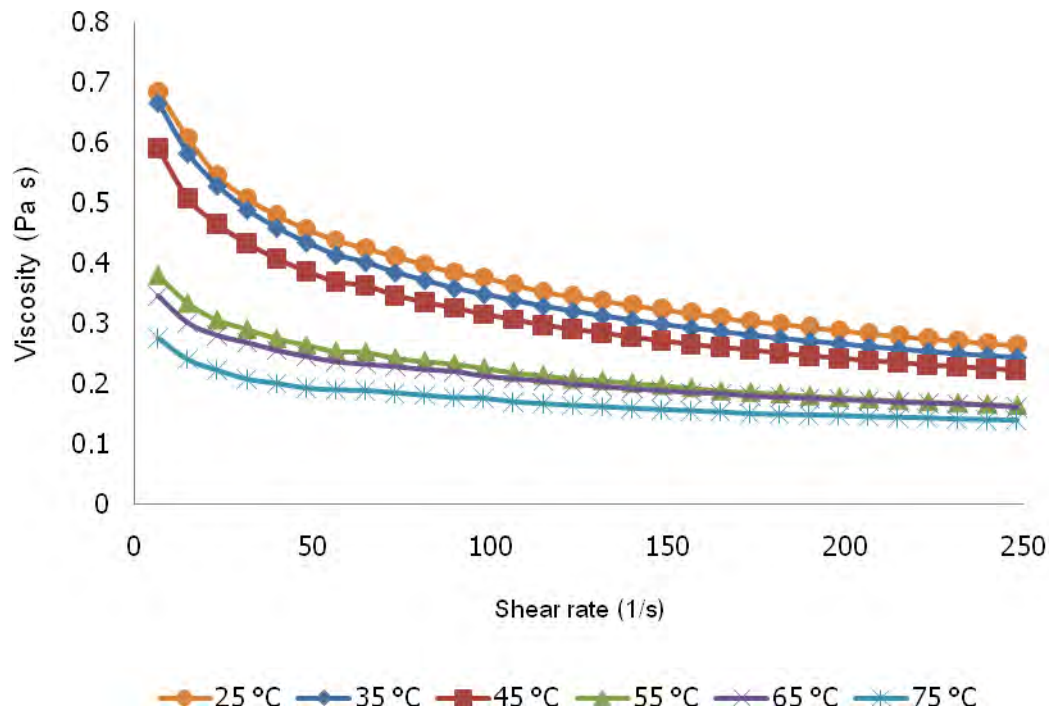


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายแซนแทนกันที่ pH ต่างๆ

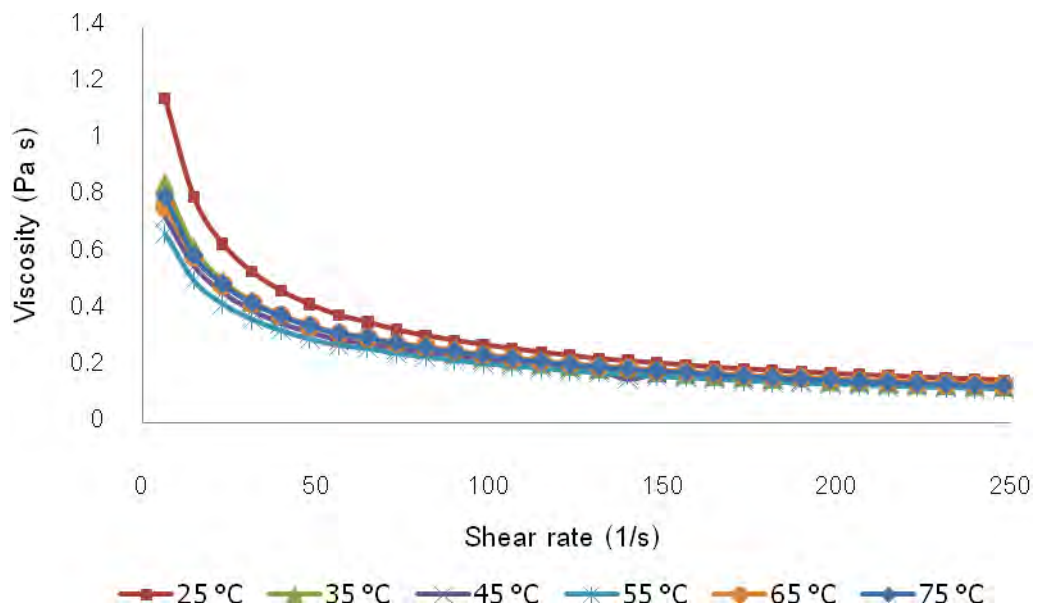
#### 4.1.5.4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิ (Temperature effect)

เมื่อศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ 25°C ถึง 75°C ต่อค่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจความเข้มข้น 7% (w/w) เปรียบเทียบกับกัวร์กัมและแซนแทนกันความเข้มข้น 0.5% (w/w) โดยวัดที่อัตราเฉือนในช่วง 0.1-250 s<sup>-1</sup> ภายในเวลา 180 วินาที พบว่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.11 Medina-Torres และคณะ (2000) รายงานว่าค่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจจาก *Opuntia ficus indica* มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Chen และ Chen (2001) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายมิวซีเลจจาก green laver เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดของสารละลายลดลงเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้สารพอลิเมอร์มีโครงสร้างเป็น random coil ทำให้การจับเกาะกันลดลง (inter molecular interaction) เป็นผลให้ความหนืดของสารละลายลดลง สำหรับสารละลายกัวร์กัมและแซนแทนกันการเพิ่มอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อความหนืดมากนัก เนื่องจากกัวร์กัมและแซนแทนกันมีความเสถียรต่ออุณหภูมิสูงได้ดี (Nussinovitch, 1997) ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13

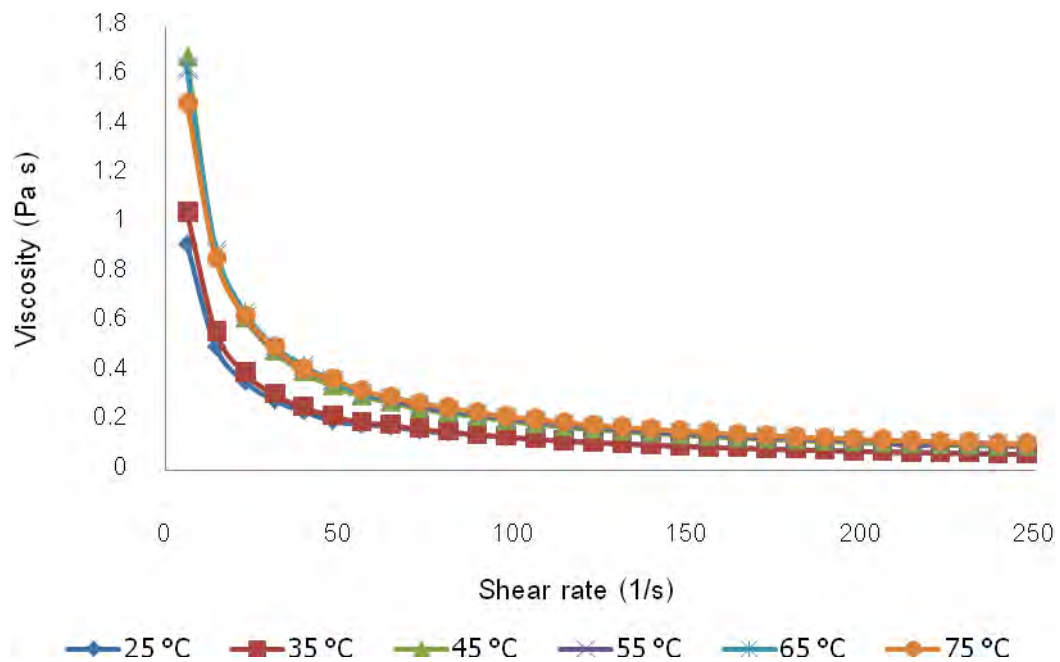




รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายมิวซีเลจ ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายกัวร์กัม ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate ของสารละลายแซนแทนแทนกัมที่อุณหภูมิต่างๆ

จากพฤติกรรมการไหลที่ศึกษามาพบว่ามิวซีเลจมีพฤติกรรมการไหลแบบ Psuedoplastic และพบว่าค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิมีผลต่อค่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ค่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจลดลง และเมื่อสารละลายมิวซีเลจอยู่ในภาวะกรดสูงจะส่งผลให้ค่าความหนืดลดลง ดังนั้นเมื่อนำมิวซีเลจไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถนำมิวซีเลจไปใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่าความเป็นกรดไม่สูงมากนัก นอกจากนั้นต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการใช้งานมิวซีเลจ

## 4.2 ภาวะการใช้เอนไซม์ในการสกัดใยอาหารจากกากพืชราก

เนื่องจากกากพืชรากที่ได้จากการสกัดมิวซิเลจแล้วมีองค์ประกอบของเพกทินที่ไม่ละลายในปริมาณสูง อีกทั้งยังประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ดังนั้นจึงใช้เอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ พอลิกลาแลกทูโรเนส เพกทินไลเอส เพกทินเอสเทอเรส เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรตีเอส และอะไมเลส ในการสกัดใยอาหารจากกากพืชราก เพื่อช่วยเสริมกันเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในกากพืชราก นอกจากนั้นเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L ยังเป็นเอนไซม์ที่สามารถใช้ในอาหารได้ ซึ่งรับรองโดย FAO/WHO, JECFA และ FCC

สำหรับขั้นตอนแรกคือการศึกษาระดับการล้างกากพืชรากที่ผ่านการสกัดมิวซิเลจออกแล้ว เพื่อให้ได้กากพืชรากที่บริสุทธิ์ โดยแปรจำนวนครั้งในการล้างกากพืชรากออกเป็น 5 ระดับคือ 0, 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง ล้างกากพืชรากด้วยน้ำในอัตราส่วนกากพืชรากต่อน้ำ 1:2 เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ วัดค่า pH วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก และวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการล้างกากพืชรากส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าลดลง ในขณะที่ค่า pH มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.10 ทั้งนี้เนื่องมาจากการล้างกากพืชรากเป็นขั้นตอนในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการและจุลินทรีย์ก่อโรคออกจากใยอาหาร โดยในขั้นตอนการล้าง น้ำตาลและกรดจะถูกกำจัดออกไปทำให้ใยอาหารที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น (Larrauri และคณะ, 1996) ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการล้างกากพืชรากคือการล้างกากพืชรากจำนวน 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.10 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก ค่า pH และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS)

จำนวนครั้งที่ล้าง	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (mg glucose/g FW)	ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก (%)	pH	TSS (°Brix)
0	14.91 <sup>a</sup> ± 0.04	1.67 <sup>a</sup> ± 0.04	3.76 <sup>e</sup> ± 0.04	1.8
1	9.00 <sup>b</sup> ± 0.04	1.30 <sup>b</sup> ± 0.04	4.43 <sup>d</sup> ± 0.04	1.2
2	5.78 <sup>c</sup> ± 0.04	0.95 <sup>c</sup> ± 0.04	4.94 <sup>c</sup> ± 0.04	0.8
3	1.30 <sup>d</sup> ± 0.04	0.70 <sup>d</sup> ± 0.04	5.54 <sup>b</sup> ± 0.04	0.4
4	0.91 <sup>d</sup> ± 0.04	0.60 <sup>d</sup> ± 0.04	5.61 <sup>a</sup> ± 0.04	0.4

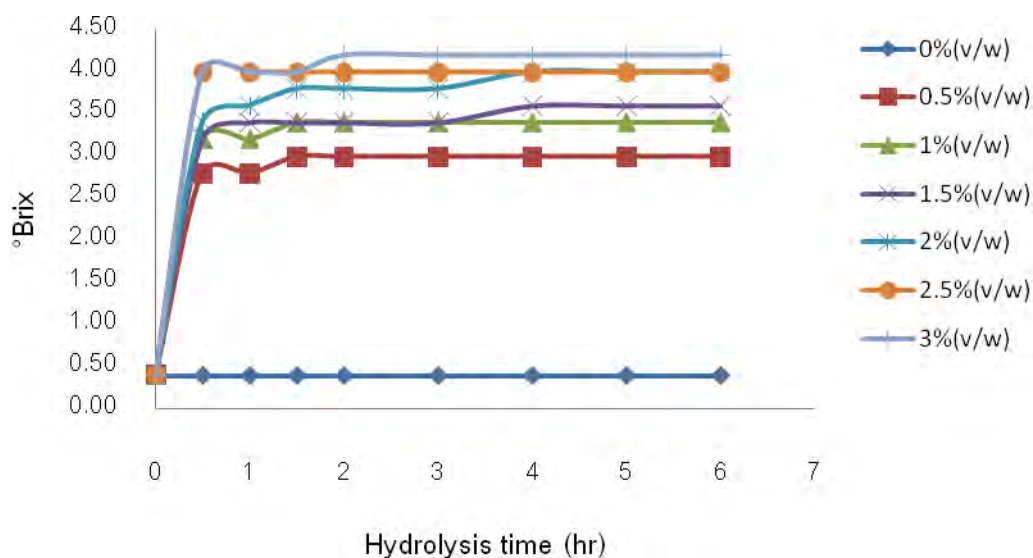
ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย+ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากการศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้าคือ Pectinex<sup>®</sup> Ultra SP-L ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ พอลิกลาแลกทูโรเนส เพกทินไลเอส เพกทินเอสเทอเรส เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรตีเอส และอะไมเลส ในการสกัดใยอาหารจากกากพุทราที่ผ่านการสกัดมิวซิเลจแล้ว โดยแปรความเข้มข้นเอนไซม์ในช่วง 0-3.0% (v/w) และแปรระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในช่วง 0-6 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และค่า pH ได้ผลดังนี้คือ

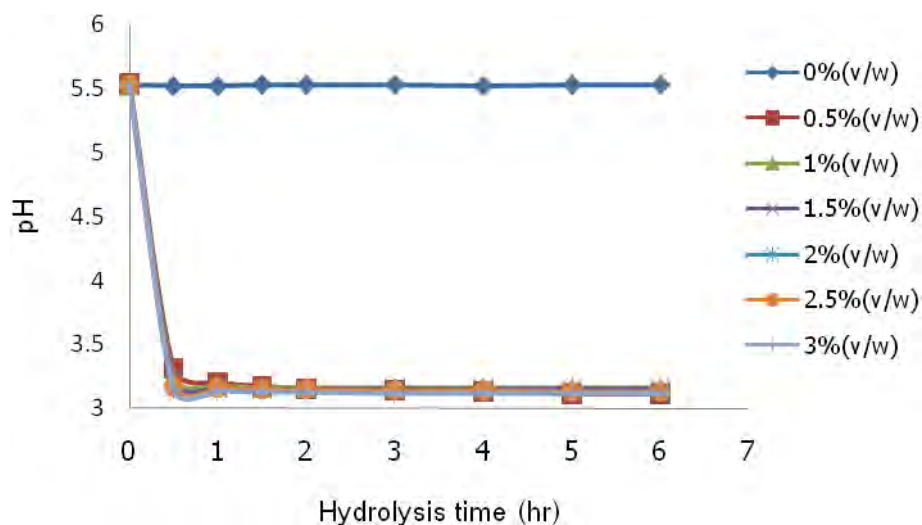
จากการติดตามการทำงานของเอนไซม์โดยพิจารณาจากปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในกากพุทรา พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14 เนื่องจากเอนไซม์ Pectinex<sup>®</sup> Ultra SP-L ที่ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด จะช่วยเสริมกันเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส จึงส่งผลทำให้อัตราการละลายของสารประกอบเพกทินในกากพุทราเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันส่วนของน้ำในกากพุทราจะถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายและมากขึ้น เมื่อโครงสร้างร่างแหของเพกทินที่อุ้มน้ำถูกทำให้ฉีกขาด และได้สารประกอบเพกทินที่สามารถละลายน้ำได้มากขึ้นด้วย ดังนั้น ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้จึงสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Brasil และคณะ (1995) ที่ศึกษาการใช้

เอนไซม์เพคตินเอสในการผลิตน้ำฝรั่ง พบว่าการใช้เอนไซม์จะทำให้น้ำฝรั่งที่ได้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้น



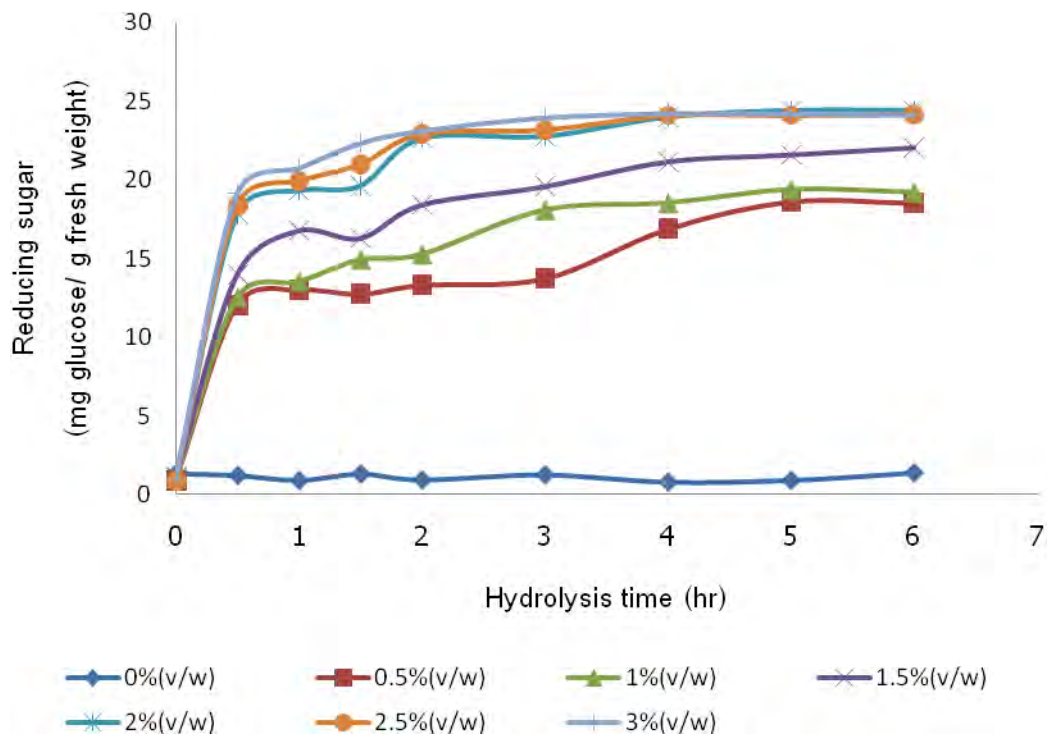
รูปที่ 4.14 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในกากพุทราที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

จากการติดตามการทำงานของเอนไซม์ โดยพิจารณาจากค่า pH พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า pH ลดลง เนื่องจากเอนไซม์จะแยกหมู่เมธิลออกจากเพกทินโดยการไฮโดรไลซ์พันธะเอสเทอร์ ได้เป็นกรดเพคติก กรดเพคตินิก เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ เพกทินเอสเทอเรส (ปราณี อานเบ็ริง, 2547) ดังรูปที่ 4.15 และจากการทดลองจะเห็นได้ว่า pH ที่ลดลงนั้นยังอยู่ในช่วง pH ที่เอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L สามารถทำงานได้ (pH 3 – pH 4.5) ดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบต่อการย่อยสลายกากพุทรา



รูปที่ 4.15 ค่า pH ในกากพืชรูทที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

จากการติดตามการทำงานของเอนไซม์โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดจากการตัดพันธะไกลโคซิดของพอลิเมอร์ในกากพืชรูท เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพืชรูท พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการย่อยสลายมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ( $p \leq 0.05$ ) และพบผลของอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปัจจัยทั้งสอง ( $p \leq 0.05$ ) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาการย่อย ส่งผลให้กากพืชรูทที่ได้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการตัดพันธะไกลโคซิดของพอลิเมอร์ในกากพืชรูทมากขึ้น โดยการทำงานของเอนไซม์เพกทิเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส ที่ย่อยสลายพันธะไกลโคซิดของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ตามลำดับ ที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อพืช (ปราณี อำนเป็รื่อง, 2547; Grohmann และ Baldwin, 1992; Sreenath และคณะ, 1999; Jayani และคณะ, 2005) ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพืชมะพร้าวที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพืชมะพร้าวที่ได้จากกระบวนการทางเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ พบว่าการใช้เอนไซม์เพกทิเนสที่ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ระยะเวลาการย่อย 0-6 ชม. เป็นภาวะที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วงกว้าง ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกับภาวะที่ใช้เอนไซม์ความเข้มข้น 2.5 (v/w) และ 3.0 (v/w) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพืชมะพร้าวที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0 (v/w) สามารถแบ่งระดับการย่อยด้วยเอนไซม์โดยประเมินในค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 5 ระดับ คือ 1.01, 17.79, 19.29, 22.61 และ 23.98 mg glucose/ g fresh weight ซึ่งใช้เวลาในการย่อยเท่ากับ 0, 0.5, 1, 2 และ 4 ชม. ตามลำดับดังตารางที่ 4.11 ดังนั้นจึงเลือกเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0 (v/w) เวลาการย่อยสลาย 0, 0.5, 1, 2 และ 4 ชม. เป็นตัวแทนเพื่อศึกษาผลของระดับการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในกากพืชมะพร้าวต่อปริมาณใยอาหารละลายน้ำและใยอาหารไม่ละลายน้ำ พบว่าเมื่อระยะเวลาการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้นหรือเมื่อมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นจะส่งผลให้ได้ปริมาณใยอาหารละลายน้ำเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ปริมาณใยอาหารไม่ละลายน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 ทั้งนี้เนื่องมาจากเอนไซม์ได้เข้าไปย่อยสารประกอบพวกเพกทินที่ไม่ละลายให้

เป็นเพกทินละลายได้ซึ่งจะมีหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำได้มากขึ้น (Sakamoto และคณะ, 2006) ซึ่งจากการศึกษา พบว่าภาวะการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 4 ชม. ส่งผลให้ได้ปริมาณใยอาหารละลายน้ำสูงและมีปริมาณใยอาหารไม่ละลายน้ำต่ำกว่าระดับอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

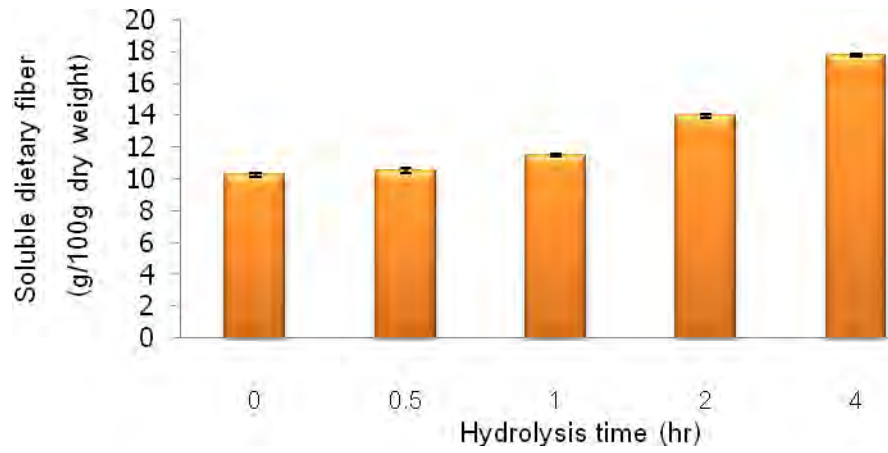
ตารางที่ 4.11 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพืชรากที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w)

ระยะเวลาการย่อยสลาย (hr)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (mg glucose/g fresh weight)
0	1.02 <sup>e</sup> ± 0.27
0.5	17.79 <sup>d</sup> ± 0.17
1.0	19.29 <sup>c</sup> ± 0.13
1.5	19.59 <sup>c</sup> ± 0.20
2	22.61 <sup>b</sup> ± 0.15
3	22.74 <sup>b</sup> ± 0.21
4	23.98 <sup>a</sup> ± 0.19
5	24.38 <sup>a</sup> ± 0.20
6	24.40 <sup>a</sup> ± 0.23

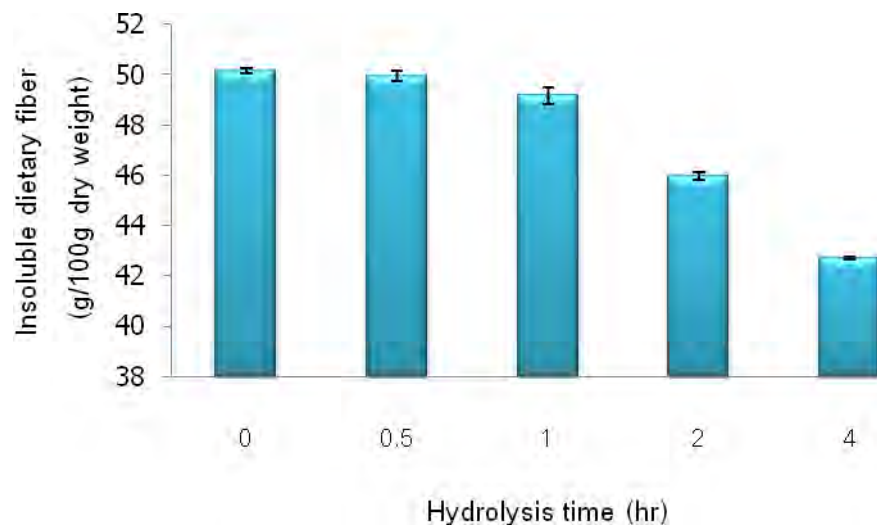
ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



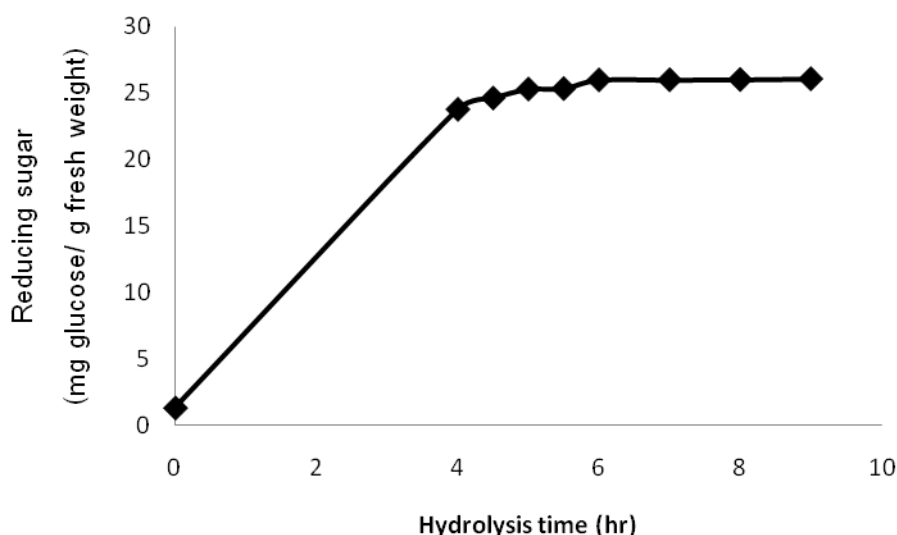


รูปที่ 4.17 ปริมาณใยอาหารละลายน้ำในกากพืชรากจากภาวะการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ

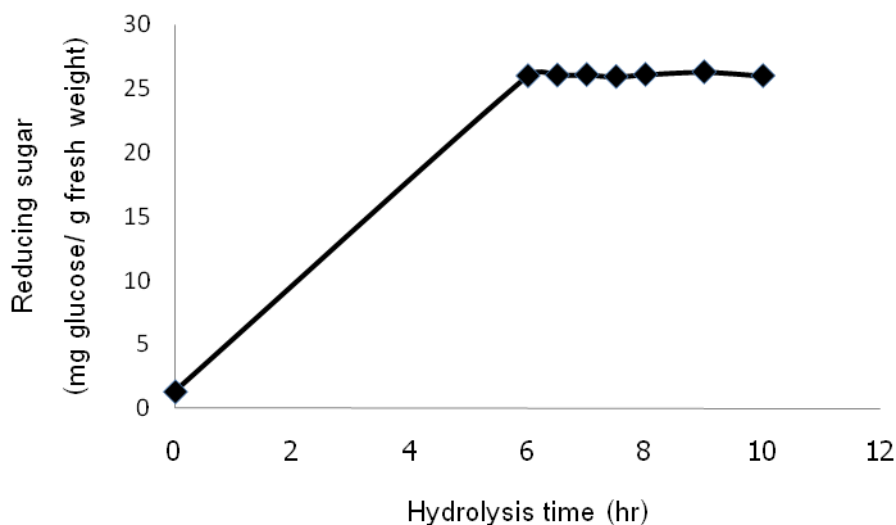


รูปที่ 4.18 ปริมาณใยอาหารไม่ละลายน้ำในกากพืชรากจากภาวะการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ

การศึกษาอัตราการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดยการเติมเอนไซม์เพิ่มลงไป ณ จุดที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายเริ่มหยุดนิ่ง ทั้งนี้เพื่อศึกษาว่าเมื่อเติมเอนไซม์ลงไป ณ จุดที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายเริ่มหยุดนิ่งจะมีการย่อยสลายเกิดขึ้นอีกหรือไม่ ซึ่งถ้าหากมีการย่อยสลายเกิดขึ้น แสดงว่าเอนไซม์ถูกยับยั้งโดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น แต่ถ้าหากไม่มีการย่อยสลายเกิดขึ้นแสดงว่าปริมาณซับสเตรตได้หมดลงจึงไม่มีปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้น โดยการทดลองจะเติมเอนไซม์ความเข้มข้น 2% (v/w) เพิ่มที่เวลาการย่อยสลาย 4 ชม. โดยใช้เวลาในการย่อยสลาย 0-9 ชม. จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการย่อยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. ดังรูปที่ 4.19 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายเริ่มหยุดนิ่งหรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มคงที่นั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากเอนไซม์ถูกยับยั้งโดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น (ปราณี อ่านเป็ร้อง, 2547) จากนั้นได้เติมเอนไซม์ความเข้มข้น 2% (v/w) ลงไปที่เวลาการย่อยสลาย 6 ชม. (เป็นระยะเวลาที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายเริ่มหยุดนิ่ง) โดยใช้เวลาในการย่อยสลาย 0-10 ชม. จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์คงที่ไม่เพิ่มขึ้นหรือไม่มีความแตกต่างจากการลงเอนไซม์ที่เวลาการย่อยสลาย 6 ชม. ถึงแม้ว่าจะใช้ระยะเวลาการย่อยสลายนานถึง 10 ชม. ดังรูปที่ 4.20 ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าปริมาณซับสเตรตได้หมดลงจึงไม่มีปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้น



รูปที่ 4.19 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพื้ที่เติมเอนไซม์ความเข้มข้น 2% (v/w) เพิ่มที่เวลาการย่อยสลาย 4 ชม.



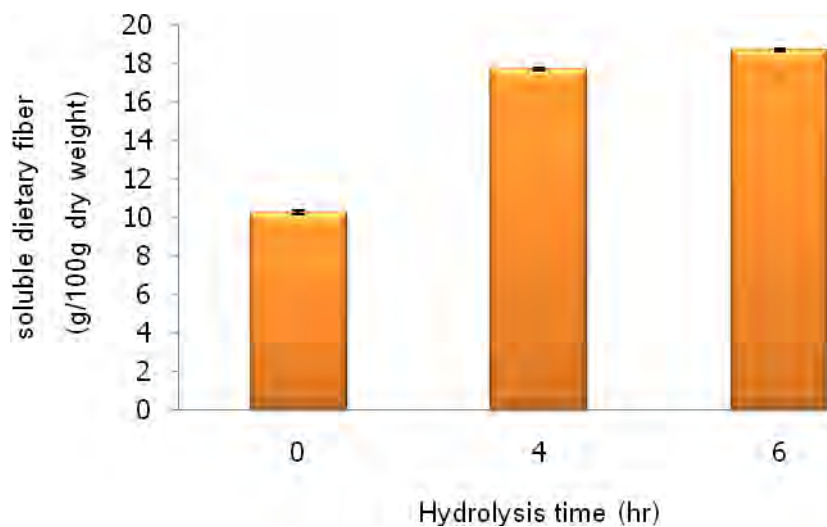
รูปที่ 4.20 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกากพุทราที่เติมเอนไซม์ความเข้มข้น 2% (v/w) เพิ่มที่เวลาการย่อยสลาย 6 ชม.

จากภาวะการย่อยสลายกากพุทราด้วยเอนไซม์ข้างต้น จะได้ระดับการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในกากพุทราด้วยเอนไซม์ในระดับต่างๆ โดยใช้ระยะเวลาการย่อยสลายที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองจะได้ระดับการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในกากพุทราที่ระยะเวลาการย่อยสลายต่างกัน 3 ระดับคือ การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. จากนั้นได้นำไปทำโยอาหารผงซึ่งทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง freeze dryer

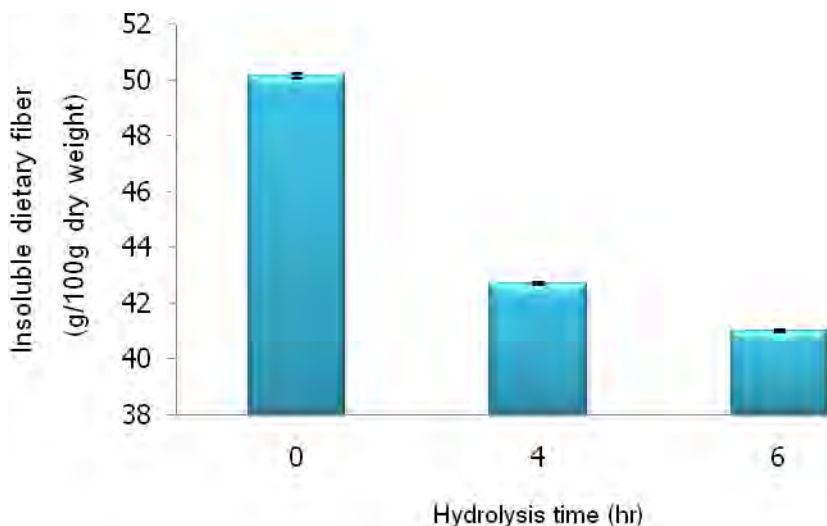
#### 4.2.1 ปริมาณโยอาหารละลายน้ำและโยอาหารไม่ละลายน้ำในโยอาหารผง

จากการวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารละลายน้ำและโยอาหารไม่ละลายน้ำของโยอาหารผงที่มีระดับการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในกากพุทราที่ระยะเวลาการย่อยสลายต่างกัน 3 ระดับคือ การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. พบว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีปริมาณโยอาหารละลายน้ำสูงที่สุด และมีปริมาณโยอาหารไม่ละลายน้ำต่ำที่สุด ซึ่งแตกต่างจากโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 0 ชม. และ 4 ชม. อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังรูปที่ 4.21 และ 4.22 ทั้งนี้เนื่องมาจากเอนไซม์ได้เข้าไปย่อยสลายประกอบพวกเพกทินที่ไม่ละลาย ให้เป็นเพกทินละลายได้ซึ่งจะมีหมู่

หมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำได้มากขึ้น (Sakamoto และคณะ, 2006)



รูปที่ 4.21 ปริมาณใยอาหารละลายน้ำในใยอาหารผงที่ได้จากการย่อยกากพืชรำด้วยเอนไซม์ ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.22 ปริมาณใยอาหารละลายน้ำในใยอาหารผงที่ได้จากการย่อยกากพืชรำด้วยเอนไซม์ ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ

#### 4.2.2 สีของโยอาหารผง

จากการวิเคราะห์ค่าสีของโยอาหารผงที่มีระดับการตัดพันธะไกลโคซิดของพอลิเมอร์ในกากพืชรำที่ระยะเวลาการย่อยสลายต่างกัน 3 ระดับคือ การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. พบว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) สูงที่สุด ซึ่งแตกต่างจากโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 0 ชม. และ 4 ชม. อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.12 โดยรูปของโยอาหารผงทั้ง 3 ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 23

ตารางที่ 4.12 ค่าสีของโยอาหารผงที่ได้จากการย่อยกากพืชรำด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาการย่อย (ชม.)	ค่าสี		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	43.71 <sup>c</sup> ± 0.04	7.51 <sup>a</sup> ± 0.04	16.42 <sup>c</sup> ± 0.13
4	48.39 <sup>b</sup> ± 0.14	7.46 <sup>a</sup> ± 0.05	19.56 <sup>a</sup> ± 0.18
6	49.58 <sup>a</sup> ± 0.52	6.73 <sup>b</sup> ± 0.11	19.09 <sup>b</sup> ± 0.32

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Hunter color value :  $L^*$  = Lightness (100 = light, 0 = dark);  $a^*$  = + show redness, - show greenness

$b^*$  = + show yellowness, - show blueness



ก. โยอาหารตัวอย่างที่ 1

ข. โยอาหารตัวอย่างที่ 2

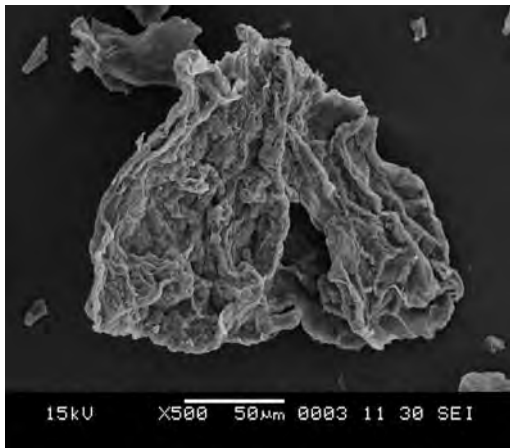
ค. โยอาหารตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 4.23 โยอาหารผง ก. โยอาหารตัวอย่างที่ 1 (ระยะเวลาการย่อยสลาย 0 ชม.)

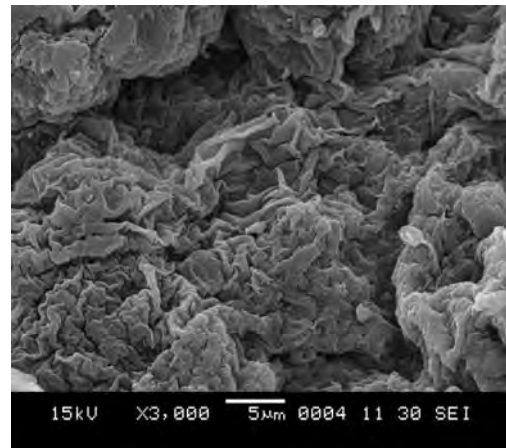
ข. โยอาหารตัวอย่างที่ 2 (ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 ชม.) และ ค. โยอาหารตัวอย่างที่ 3 (ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม.)

#### 4.2.3 ลักษณะอนุภาคและพื้นผิวของใยอาหารผง

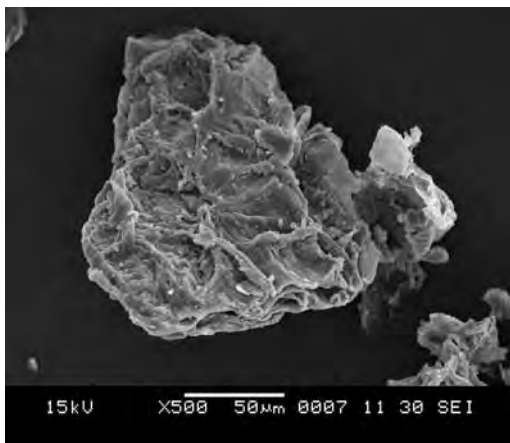
จากการตรวจลักษณะอนุภาคและพื้นผิวของใยอาหารผงที่มีระดับการตัดพันธะไกลโคซิดของพอลิเมอร์ในกากพุทราที่ระยะเวลาการย่อยสลายต่างกัน 3 ระดับคือ การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าลักษณะอนุภาคของใยอาหารผงที่ได้จากการย่อยกากพุทราด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. มีลักษณะเป็นก้อน และมีขนาดแตกต่างกัน โดยใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 0 ชม. มีขนาดใหญ่กว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 และ 6 ชม. ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าลักษณะพื้นผิวของใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีพื้นผิวที่เรียกว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 และ 0 ชม. ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการย่อยสลายจะส่งผลทำให้เอนไซม์และซับสเตรตจับกันได้มากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาจึงเกิดได้มากขึ้น เกิดการย่อยสลายกากพุทราได้มากขึ้น จึงทำให้ใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีขนาดเล็กกว่าและพื้นผิวเรียบกว่า (ปราณี อ่านเป็รื่อง, 2547)



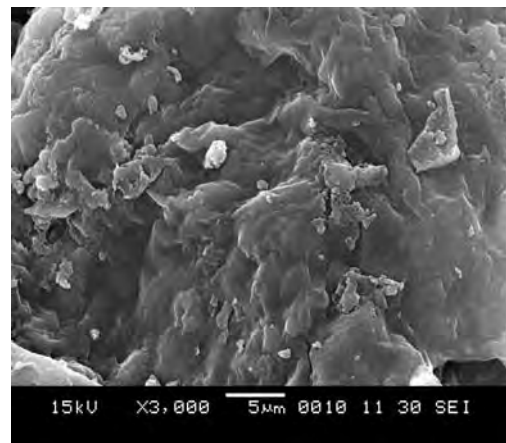
ก. ลักษณะอนุภาคใยอาหารผงตัวอย่างที่ 1



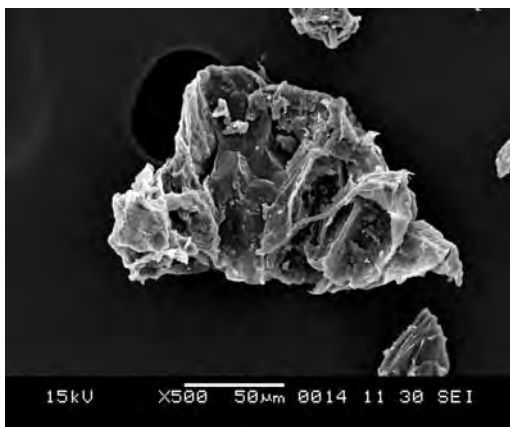
ข. พื้นผิวของใยอาหารผงตัวอย่างที่ 1



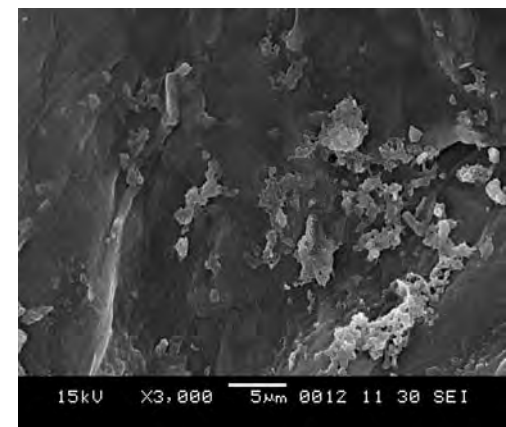
ค. ลักษณะอนุภาคใยอาหารผงตัวอย่างที่ 2



ง. พื้นผิวของใยอาหารผงตัวอย่างที่ 2



จ. ลักษณะอนุภาคใยอาหารผงตัวอย่างที่ 3



ฉ. พื้นผิวของใยอาหารผงตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 4.24 ลักษณะอนุภาคและพื้นผิวของตัวอย่างใยอาหารผงทั้ง 3 ตัวอย่าง (ใยอาหารผงตัวอย่างที่ 1 ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 0 ชม. ใยอาหารผงตัวอย่างที่ 2 ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 4 ชม. และใยอาหารผงตัวอย่างที่ 3 ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 6 ชม.)

#### 4.2.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของโยอาหารผง

##### 4.2.4.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำของโยอาหารผง

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของโยอาหารผงที่มีระดับการตัดพันธะไกลโคซิดของพอลิเมอร์ในกากพุดราที่ระยะเวลาการย่อยสลายต่างกัน 3 ระดับคือการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. พบว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 0 ชม. และ 4 ชม. อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.13 ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ได้เข้าไปย่อยสลายประกอบพวกเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ได้เป็นพอลิแซ็กคาไรด์สายสั้น เผยหมู่ไฮดรอกซิลมากขึ้น ทำให้สามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น สำหรับความสามารถในการอุ้มน้ำของโยอาหารจากพุดรามีค่าสูงกว่าโยอาหารจากแอปเปิล (4.5 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) โยอาหารจากถั่ว (3.5 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) โยอาหารจากข้าวสาลี (3.1 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) โยอาหารจากแคโรท (3.8 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) และโยอาหารจากมะพร้าว (7.11 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) แต่มีค่าน้อยกว่าโยอาหารจากซูการ์บีท (10.1 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) (Thebaudin และคณะ, 1997; Raghavendra และคณะ, 2007)

ตารางที่ 4.13 ความสามารถในการอุ้มน้ำของโยอาหารผง

ระยะเวลาการย่อย (ชม.)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง)
0	6.87 <sup>c</sup> ± 0.57
4	8.31 <sup>b</sup> ± 0.20
6	9.77 <sup>a</sup> ± 0.77

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



#### 4.2.4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของโยอาหารผง

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของโยอาหารผงที่มีระดับการตัดพั้นระโกลโคซิลของพอลิเมอร์ในกากพุทราที่ระยะเวลาการย่อยสลายต่างกัน 3 ระดับคือ การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. พบว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงที่สุด ซึ่งแตกต่างจากโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 0 ชม. และ 4 ชม. อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.14 โดยความสามารถในการอุ้มน้ำมันเป็นการแสดงสมบัติการดูดซับน้ำมันบนพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำมันของโยอาหารเป็นสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญกับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยถ้าความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงจะส่งผลต่อการรักษากลิ่นรสและลดการสูญเสียไขมันในกระบวนการทำให้สุกในผลิตภัณฑ์เนื้อได้ดี (Thebaudin และคณะ, 1997) นอกจากนี้ยังพบว่าโยอาหารผงจากพุทรามีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่าโยอาหารจากแอปเปิล (1.3 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) โยอาหารจากถั่ว (1.0 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) โยอาหารจากข้าวสาลี (1.3 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) และโยอาหารจากแครอท (1.2 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) แต่มีค่าน้อยกว่าโยอาหารจากชุกการ์บีท (5.1 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) และโยอาหารจากมะพร้าว (4.8 กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง) (Thebaudin และคณะ, 1997; Raghavendra และคณะ, 2007)

ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของโยอาหารผง

ระยะเวลาการย่อย (ชม.)	ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง)
0	1.63 <sup>c</sup> ± 0.15
4	2.77 <sup>b</sup> ± 0.13
6	3.09 <sup>a</sup> ± 0.08

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวดิ่งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.4.3 ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของโยอาหารผง

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของโยอาหารผงที่มีระดับการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในกาพูทราที่ระยะเวลาการย่อยสลายต่างกัน 3 ระดับคือ การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. พบว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันสูงที่สุด ซึ่งแตกต่างจากโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 0 ชม. และ 4 ชม. อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.15 ซึ่งความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันนี้มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น มีผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด โดยโยอาหารจะไปลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน (interfacial tension) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์แตกตัวเป็นหยดน้ำมันขนาดเล็กๆ กระจายตัวในน้ำได้ ทำให้ลดการเกิด coalescence หรือ การรวมตัวกันของหยดน้ำมันหรือหยดน้ำขนาดเล็กๆ เป็นหยดน้ำหรือหยดน้ำมันขนาดใหญ่ (Benhura และ Chidewe, 2004)

ตารางที่ 4.15 ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของโยอาหารผง

ระยะเวลาการย่อย (ชม.)	ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (%)
0	12.31 <sup>c</sup> ± 1.33
4	24.10 <sup>b</sup> ± 0.89
6	26.67 <sup>a</sup> ± 1.18

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยอาหารผง

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ในด้านสี กลิ่น ความละเอียด การฟุ้งกระจายและการแขวนลอยในน้ำของโยอาหารที่มีระดับการตัดพันธะไกลโคซิลด้วยเอนไซม์ต่างกัน โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.16 ซึ่งพบว่าโยอาหารผงทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีสีส้มอมเหลืองและไม่มีความแตกต่างกันทางด้านสี สำหรับลักษณะประสาทสัมผัสทางด้านอื่นๆคือ กลิ่น ความละเอียด การฟุ้งกระจายและการแขวนลอยในน้ำ โยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. จะมีความชัดเจนมากกว่าโยอาหารระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากการที่โยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย

6 ซม. มีกลิ่นหอมของพุทราค่อนข้างชัดเจนกว่าโยอาหารผงระดับอื่นๆ เนื่องมาจาก ที่ผนังเซลล์เนื้อเยื่อผลไม้จะประกอบด้วยสารเพกทินที่ยึดติดอยู่กับเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำให้เกิดการกักเก็บสารให้กลิ่นไว้ภายในเนื้อเยื่อ ดังนั้นเมื่อใช้เอนไซม์ย่อยสลายสารประกอบเพกทินโดยการตัดที่สายโซ่หลักหรือโซ่กิ่งของเพกทิน จะทำให้โครงสร้างของเพกทินเปลี่ยนแปลงไป จะได้เพกทินที่ละลายน้ำได้มากขึ้น และเพกทินจะยึดจับกับผนังเซลล์โดยรอบอย่างหลวมๆ ทำให้เนื้อเยื่อผลไม้มีความอ่อนตัวมากขึ้นเกิดการปลดปล่อยสารให้กลิ่นของผลไม้ออกมาได้มากขึ้น โดยเมื่อใช้เอนไซม์ย่อยสลายเป็นระยะเวลาสั้นขึ้น จะส่งผลทำให้กลิ่นของผลไม้ชัดเจนขึ้น (ปราณี, 2547; Mutlu และคณะ, 1999) ดังนั้นโยอาหารผงที่ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 6 ซม. จึงมีกลิ่นหอมของพุทราชัดเจนกว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 ซม. และ 0 ซม. สำหรับการฟุ้งกระจายจะพบว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ซม. มีการฟุ้งกระจายน้อยกว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 ซม. และ 0 ซม. ทั้งนี้เนื่องจากโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ซม. มีลักษณะพื้นผิวที่เรียกว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 ซม. และ 0 ซม. (จาก SEM) ดังนั้นจึงส่งผลให้อนุภาคของโยอาหารผงมาจับตัวกันได้ดีขึ้น ทำให้ไม่เกิดการฟุ้งกระจายเมื่อใช้ช้อนตักหรือเปลี่ยนถ่ายภาชนะ ในขณะที่โยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 0 ซม. มีลักษณะพื้นผิวก่อนข้างขรุขระไม่เรียบเนียนส่งผลให้อนุภาคของโยอาหารเกาะกลุ่มกันค่อนข้างน้อยจึงทำให้อากาศสามารถแทรกตัวเข้ามาอยู่ระหว่างอนุภาคได้ จึงเกิดการฟุ้งกระจายมากเมื่อใช้ช้อนตักหรือเปลี่ยนถ่ายภาชนะ โดยลักษณะการฟุ้งกระจายจะส่งผลต่อการแขวนลอยในน้ำด้วยเช่นกัน ซึ่งถ้าหากว่าโยอาหารผงมีการฟุ้งกระจายสูงจะส่งผลให้เกิดการแขวนลอยในน้ำได้ไม่ดีเกิดอนุภาคลอยอยู่บนผิวน้ำไม่แขวนลอยในน้ำ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ซม. เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารเนื่องจากว่ามีกลิ่นรสของพุทราที่ชัดเจนมาก ลักษณะผงค่อนข้างละเอียด เกิดการฟุ้งกระจายค่อนข้างน้อยเมื่อใช้ภาชนะตักหรือเปลี่ยนถ่ายภาชนะ นอกจากนั้นยังสามารถแขวนลอยในน้ำได้

ตารางที่ 4.16 ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของโยอาหารผง

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระยะเวลาการย่อย (ชม.)		
	0	4	6
สี	3.64 <sup>a</sup> ± 0.36	3.55 <sup>a</sup> ± 0.39	3.71 <sup>a</sup> ± 0.36
กลิ่น	1.44 <sup>c</sup> ± 0.12	3.68 <sup>b</sup> ± 0.34	4.41 <sup>a</sup> ± 0.34
ความละเอียด	2.38 <sup>c</sup> ± 0.23	3.45 <sup>b</sup> ± 0.34	3.93 <sup>a</sup> ± 0.39
การฟุ้งกระจาย	1.46 <sup>c</sup> ± 0.16	3.44 <sup>b</sup> ± 0.25	3.75 <sup>a</sup> ± 0.23
การแขวนลอยในน้ำ	1.44 <sup>c</sup> ± 0.15	2.95 <sup>b</sup> ± 0.12	3.50 <sup>a</sup> ± 0.23

ตัวเลขในตารางคือค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาสามารถสรุปได้ว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมิวซีเลจจาก พุทราพันธุ์สามรสคือการนำพุทราพันธุ์สามรสที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 60 วัน หลังออกดอกมาบ่มเป็น ระยะเวลา 9 วัน จะได้ระยะความสุกของพุทราที่มีปริมาณมิวซีเลจสูงที่สุด ส่วนภาวะที่เหมาะสมใน การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลพุทราสุกคือ การให้ความร้อนด้วยไอน้ำจนวนจุดกึ่งกลาง ของผลพุทราที่มีอุณหภูมิ 85°C เป็นเวลานาน 3 นาที สำหรับภาวะที่เหมาะสมในการสกัดมิวซีเลจคือ การสกัดด้วยน้ำในอัตราส่วนเนื้อพุทราสุกต่อน้ำ 1:7 โดยใช้อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัด 60°C และการตกตะกอนสารละลายมิวซีเลจด้วยเอทานอลในอัตราส่วนสารละลายมิวซีเลจต่อเอทานอล 1:3 หลังจากนำมิวซีเลจผงมาวัดสี พบว่ามิวซีเลจผงมีค่าความสว่างใกล้เคียงกับแซนแทนกัมและ สูงกว่ากัวร์กัม จากการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซีเลจผง พบว่ามิวซีเลจผงมีความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันมีค่าน้อยกว่าแซนแทนกัมและกัวร์กัม ในขณะที่ ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของมิวซีเลจผงมีค่ามากกว่ากัวร์กัมและแซนแทนกัม 9 เท่าและ 6 เท่า ตามลำดับ และจากการศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายมิวซีเลจ พบว่าสารละลาย มิวซีเลจมีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic เช่นเดียวกับกัวร์กัม ส่วนแซนแทนกัมมีพฤติกรรม การไหลแบบ Pseudoplastic with yield stress และพบว่าความเข้มข้นของสารละลาย ค่าความ เป็นกรดต่าง และอุณหภูมิ มีผลต่อค่าความหนืดของสารละลายมิวซีเลจ โดยเมื่อความเข้มข้นของ สารละลายมิวซีเลจสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดมากขึ้นเช่นเดียวกับสารละลายกัวร์กัมและ แซนแทนกัม แต่เมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างและเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความหนืดลดลง ส่วน สารละลายกัวร์กัมและแซนแทนกัมการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิไม่มีอิทธิพล ต่อค่าความหนืด สำหรับการศึกษาภาวะการใช้เอนไซม์เพกทิเนสในการสกัดโยอาหารจากกาก พุทราที่ผ่านการสกัดมิวซีเลจแล้ว พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการทำปฏิกิริยา เพิ่มมากขึ้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า pH มีแนวโน้มที่ลดลง โดยภาวะการสกัดโยอาหารที่เหมาะสม คือการใช้เอนไซม์ที่ ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ระยะเวลาการย่อยสลาย 0-6 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใน ช่วงกว้าง และจากการวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารละลายน้ำและโยอาหารไม่ละลายน้ำ พบว่า ระยะเวลาการย่อย 4 ชั่วโมง ส่งผลให้ได้ปริมาณโยอาหารละลายน้ำสูงที่สุดและมีปริมาณโยอาหาร

ไม่ละลายน้ำน้อยที่สุด จากการศึกษาอัตราการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดยการเติมเอนไซม์เพิ่มลงไป ณ จุดที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายเริ่มหยุดนิ่ง พบว่าเมื่อระยะเวลาการย่อยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าสูงขึ้นและเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. และเมื่อเติมเอนไซม์ ณ จุดที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายเริ่มหยุดนิ่ง (ที่ 6 ชม.) พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์คงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจากการทดลองจะได้ระดับการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในกากพุทราที่ระยะเวลาการย่อยสลายต่างกัน 3 ระดับคือ การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เป็นระยะเวลา 0, 4 และ 6 ชม. และจากการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารผงที่ได้ พบว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน สูงกว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 ชม. และ 0 ชม. ตามลำดับ นอกจากนี้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสยังพบว่าใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. มีสีไม่แตกต่างจากใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 4 ชม. และ 0 ชม. ในขณะที่คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านอื่นๆคือ กลิ่น ความละเอียด การฟุ้งกระจายและการแขวนลอยในน้ำ ของใยอาหารผงที่ใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย 6 ชม. จะมีความชัดเจนมากกว่าใยอาหารระดับอื่นๆ

### ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองสามารถสรุปแนวทางการวิจัยที่อาจศึกษาต่อไปดังนี้

#### 1. ด้านกระบวนการผลิต

ควรศึกษาภาวะการผลิตใยอาหารจากกากพุทราโดยทดลองเปลี่ยนชนิดหรือแปรสัดส่วนความเข้มข้นของเอนไซม์ให้เหมาะสมกับองค์ประกอบหลักบริเวณผนังเซลล์ของพุทรา เช่น สารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์และปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารให้หลากหลายมากขึ้น

#### 2. ด้านลักษณะเฉพาะของมิวซีเลจผงและใยอาหารผง

ควรศึกษาลักษณะเฉพาะของมิวซีเลจผงและใยอาหารผง เช่น การใช้มิวซีเลจผงเป็นสารให้ความหนืด สารเพิ่มลักษณะเนื้อสัมผัส และใช้ใยอาหารผงเป็นสารให้เนื้อสัมผัสและเป็นสารเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเปรียบเทียบกับสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 2547. อาหารจากพืชมงคล. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สำนักพัฒนาการ  
ถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กระยาทิพย์ เรือนใจ. 2543. ผลไม้ คุณค่านานา เพื่อสุขภาพ. กรุงเทพมหานคร: ต้นธรรม.
- ช่อทิพย์วรรณ พันธุ์แก้ว. 2542. คุณวิเศษของผักและผลไม้. กรุงเทพมหานคร: ต้นธรรม.
- นิตา หงษ์วิวัฒน์ และ ทวีทอง หงษ์วิวัฒน์. 2550. ผลไม้ 111 ชนิด คุณค่าอาหารและการกิน.  
กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แสงแดด.
- ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. เอ็นไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์. 2551. เอ็นไซม์ตัดแปรคาร์โบไฮเดรตในอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร:  
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เพ็ญภา ททรัพย์เจริญ. 2540. สมุนไพรกับวัฒนธรรมไทย ตอนที่ 1 ต้นไม้ตามทิศ.  
กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร. กรุงเทพมหานคร:  
ไอเดียเอสโตร.
- ศศิธร เรื่องจักรเพ็ชร และ ปราณี อ่านเปรื่อง. 2002a. การผลิตผงเมือกเมล็ดแมงลัก. อาหาร  
32(2): 144-153.
- ศศิธร เรื่องจักรเพ็ชร และ ปราณี อ่านเปรื่อง. 2002b. ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของผงเมือก  
เมล็ดแมงลัก. อาหาร 32(3): 144-153.
- ศิวาพร ศิวเวชช. 2546. ผลิตภัณฑ์พืชมงคล. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอกชัย พฤษอำไพ และ ศิริชัย บุลวัฒนา. 2531. พืชมงคล. กรุงเทพมหานคร: สุวนเกษตรกรรม.

### ภาษาอังกฤษ

- Abdel-Aal, E. S. M., Sosulski, F. W., and Sokhansanj, S. 1996. Bleaching of wheat distillers' grains and its fiber and protein fractions with alkaline hydrogen peroxide. Food Science and Technology / Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 27(2): 166-172.
- Abdullah, A. G. L., Sulaiman, N. M., Aroua, M. K., and Megat Mohd Noor, M. J. 2007. Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. Journal of Food Engineering 81: 65-71.
- Akoh, C. C. 1998. Fat Replacers. Food Technology 52(3): 47-53.
- Alkorta, I., Garbisu, C., Llama, M. J., and Serra, J. L. 1998. Industrial applications of pectic enzymes: a review. Process Biochemistry 33: 21-28.
- Al-Hooti, S. N., Sidhu, J. S., Al-Saqer, J. M., and Al-Othman, A. 2002. Chemical composition and quality of date syrup as affected by pectinase/cellulase enzyme treatment. Food Chemistry 79: 215-220.
- Alvarez, S., Alvarez, R., Riera, F. A., and Coca, J. 1998. Influence of depectinization on apple juice ultrafiltration. Colloid and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 138: 377-382.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the AOAC International. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.
- Barros, S. T. D., Mendes, E. S., and Peres, L. 2004. Influence of depectinization in the ultrafiltration of west Indian cherry (*Malpighia glabra* L.) and pineapple (*Ananas comosus* (L.) Meer) juices. Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas 24(2): 194-201.
- Benhura, M. A. N., and Chidewe, C. K. 2004. The emulsifying properties of a polysaccharide isolated from the fruit of *Cordia abyssinica*. International Journal of Food Science and Technology 39: 579-583.
- Bhattacharya, S. and Rastogi, N. K. 1998. Rheological properties of enzyme-treated mango pulp. Journal of Food Engineering 36: 249-262.



- Bolton, R. P., Heaton, K. w., and Burroughs, L. F. 1981. The role of dietary fiber in satiety, glucose, and insulin: studies with fruit and fruit juice. The American Journal of Clinical Nutrition 34: 211-217.
- Borderias, A. J., Sanchez-Alonso, I., and Perez-Mateos, M. 2005. New applications of fibers in foods- addition to fishery products. Trends in Food Science. & Technology 16: 458-465.
- Brasil, I. M., Maia, G. A., and Figueiredo, R. W. 1995. Physical-chemical changes drying extraction and clarification of guava juice. Food Chemistry 54(4): 383-386.
- Chau, C.F., and Chueng, P. C. K. 1998. Functional properties of flours prepared from three Chinese indigenous legume seeds. Food Chemistry 61(4): 429-433.
- Chen, R. H., and Chen, W. Y. 2001. Rheology properties of the water-soluble mucilage of a green laver, *Monostroma nitidum*. Journal of Applied Phycology 13: 481-488.
- Choudhari, S. M. and Ananthanarayan, L. 2007. Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. Food Chemistry 102: 77-81.
- Çinar, I. 2005. Effects of cellulase and pectinase concentrations on the colour yield of enzyme extracted plant carotenoids. Process Biochemistry 40: 945-949.
- Del-Valle, V., Hernandez-Munoz, P., Guarda, A., and Galotto, M. J. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. Food Chemistry 91: 751-756.
- Deveries, L. J., and Reinhold, V. N. 1992. Controlling dietary fiber in food products. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Garcia, M.L., Dominguez, R., Galvez, M.D., Casas, C., and Selgas, M.D. 2002. Utilization of cereal and fruit fibers in low fat dry fermented sausages. Meat Science 60:227-236.
- Grigelmo-Miguel, N., Ibarz-Ribas, A., and Martin-Belloso, O. 1999. Rheology of peach dietary fiber suspensions. Journal of Food Engineering 39: 91-99.

- Grigelmo-Miguel, N. and Martine-Belloso, O. 1999. Influence of fruit dietary fibre addition on physical and sensorial properties of strawberry jams. Journal of Food Engineering 41: 13-21.
- Grigelmo-Miguel, N., and Martin-Belloso, O. 1999. Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. Food Research International 31(5): 355-366.
- Hopkins, W. G. 1999. Introduction to Plant Physiology. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Jayani, R. S., Saxena, S., and Gupta, R. 2005. Microbial pectinolytic enzymes: A review. Process Biochemistry 40: 2931-2944.
- Jenkins, D. J. A., Leeds, A. R., Slavin, B., Mann, J., and Jepson, E. M. 1979. Dietary fiber and blood lipids: reduction of serum cholesterol in type II hyperlipidemia by guar gum. The American Journal of Clinical Nutrition 32: 16-18.
- Kaur, N., and Gupta, A. K. 2002. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. Journal of Biosciences 27(7): 703-714.
- Kay, R. M., and Truswell, A. S. 1977. Effect of citrus pectin on blood lipids and fecal steroid excretion in man. The American Journal of Clinical Nutrition 30: 171-175.
- Kashyap, D. R., Vohra, P. K., Chopra, S., and Tewari, R. 2001. Applications of pectinases in the commercial sector: a review. Bioresource Technology 77: 215-227.
- Landbo, A. K., and Meyer, A. S. 2001. Enzyme-assisted extraction of antioxidative phenols from black currant juice press residues (*Ribes nigrum*). Journal of Agriculture and Food Chemistry 49: 3169-3177.
- Larrauri, J.A., Rupprez, B., and Suara-Calixto, F. 1996. Mango peels as a new tropical fibre: preparation and characterization. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 29:729-733.
- Larrauri, J.A, Borroto, B., and Crespo, A. 1997. Water recycling in processing orange peel to a high dietary fiber powder. Trends in Food Science. & Technology 32:73-76.

- Larrauri, J.A., 1999. New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruit by product. Trends in Food Science. & Technology 10:3-8.
- Lee, C. Y. and Whitaker, J. R. 1995. Enzymatic Browning and Its Prevention. Washington D.C.: American Chemical Society.
- Lee, W. C., Yusof, S., Hamid, N. S. A., and Baharin, B. S. 2006. Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM). Journal of Food Engineering 73: 55-63.
- Li, J. W., Ding, S.D., and Ding, X. L. 2005. Comparison of antioxidant capacities of extracts from five cultivars of Chinese jujube. Process Biochemistry 40: 3607-3613.
- Li, J. W., Fan, L. P., Ding, S. D., and Ding, X. L. 2007. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube. Food Chemistry 103: 454-460.
- Marcotte, M., Hoshahili, A. R. T., and Ramaswamy, H. S. 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. Food Research International 34: 695-703.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente E., Torrestiana-Sanchez, B. and Katthain, R. 2000. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). Food Hydrocolloids 14: 417-424.
- Medina-Torres, L., Fuente, E.B., Torrestiana-Sanchez, B., and Albonso, S. 2003. Mechanical properties of gels formed by mixtures of mucilage gum (*Opuntia ficus indica*) and carrageenans. Carbohydrate Polymers 52:143-150.
- Mutlu, M., Sariođlu, K., Demir, N., Ercan, M. T., and Acar, J. 1999. The use of commercial pectinase in fruit juice industry. Part I: viscosimetric determination of enzyme activity. Journal of Food Engineering 41: 147-150.
- Nawirska, A. and Kwasniewska. M. 2005. Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. Food Chemistry 91: 221-225.

- Ndjouenkeu, R., Akingbala, J. O., and Oguntimein, G. B. 1997. Emulsifying properties of three African food hydrocolloids: Okra (*Hibiscus esculentus*), dika (*Irvingia gabonensis*), and Khan (*Beliscumiedis sp.*). Plant Foods for Human Nutrition 51: 245-255.
- Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for determination of glucose. Journal of Biological Chemistry 153: 375-380.
- Nussinovitch, A. 1997. Hydrocolloid Applications: Gum Technology in the Food and Other Industries. USA. Chapman and Hall.
- Obatolu, V. A., Fasoyiro, S. B., and Ogunsunmi, L. 2001. Effect of processing on functional properties of yam beans (*Sphenostylis stenocarpa*). Food Science and Technology 7(4): 319-322.
- Owusu-Apenten. 2005. Introduction to Food Chemistry. Boca Raton: CRC Press.
- Patel, D. M., Prajapati, D. G., and Patel, N. M. 2007. Seed mucilage from *Ocimum americanum Linn.* as disintegrant in tablets : separate and evaluate. Indian Journal of Pharmaceutical Science 431-435.
- Pearson, D. 1970. The Chemical Analysis of Food. 6<sup>th</sup> ed. New York: Chemical Publishing.
- Petsev, D. N. 2004. Emulsions: Structure Stability and Interactions. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Rai, P., Majumdar, G. C., Dasgupta, S., and De, S. 2004. Optimizing pectinase usage in pretreatment of mosambi juice for clarification by response surface methodology. Journal of Food Engineering 64: 397-403.
- Raghavendra, S. N., Ramachandra Swamy, S. R., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Sourav, K., and Tharanathan, R. N. 2007. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. Journal of Food Engineering 72: 281-286.
- Rao, M. A. 1999. Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications. Gaithersburg: An Aspen publication.

- Rastogi, N. K. and Rashmi, K. R. 1999. Optimisation of enzymatic liquefaction of mango pulp by response surface methodology. European Food Research and Technology 209: 57–62.
- Rodriguez, R., Jimenez, A., Fernandez-Bolanos, J., Guillen, R., and Heredia, A. 2006. Dietary fiber from vegetable products as source of functional ingredients. Trends in Food Science & Technology 17: 3-15.
- Romanchik-cerpovicz, J. E., Tilmon, R. W., and Baldree, K. A. 2002. Moisture retention and consumer acceptability of chocolate bar cookies prepared with okra gum as a fat ingredient substitute. Journal of The American Dietetic Association 102: 1301-1303.
- Romanchik-cerpovicz, J. E., Costantino, A. C., and Gunn, L. H. 2006. Sensory evaluation ratings and melting characteristics show that okra gum is an acceptable milk-fat ingredient substitute in chocolate frozen dairy dessert. Journal of the American Dietetic Association 106: 594-597.
- Saenz, C., Sepulveda, E., and Matsuhiro, B. 2004. Opuntia spp mucilage' s: functional component with industrial perspectives. Journal of Arid Environments 57: 275-290.
- Sakamoto, K., Shibata, K., and Ishihara, M. 2006. Decreased hardness of dietary fiber-rich foods by the enzyme-infusion method. Bioscience Biotechnology Biochemistry 70(7): 1564-1570.
- Schramm, L. L. 2005. Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA.
- Sepulveda, E., Saenz, C., Aliaga, E., and Aceituno, C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. Journal of Arid Environments 68: 534-545.
- Sharma, B. R., Dhuldhoya, N. C., Merchant, S. U., and Merchant, U. C. 2007. Hydrocolloids: efficient rheology control additives. Science Tech Entrepreneur February Issue: 1-9.

- Sreenath, H. K., Sudarshanakrishna, K. S., and Santhanam, K. 1994. Improvement of juice recovery from pineapple pulp/residue using cellulases and pectinases. Journal of Fermentation and Bioengineering 78(6): 486-488.
- Sun, Y., Wang, Z., Wu, J., Chen, F., Liao, X., and Hu, X. 2006. Optimising enzymatic maceration in pretreatment of carrot juice concentrate by response surface methodology. International Journal of Food Science and Technology 41: 1082-1089.
- Tilmon, R. W., and Romanchik-Cerpovicz, J. E., 2001. Feasibility of using okra exudate as a fat replacer in low fat chocolate dropped cookies. Journal of The American Dietetic Association 101: A23.
- Thebaudin, J. Y., Lefebvre, A. C., Harrington, M., and Bourgeois, C. M. 1997. Dietary fibers: nutrition and technological interest. Trends in Food Science. & Technology 8(2):41-48.
- Whitaker, J. R. 1996. Enzymes. In O. R. Fennema (ed.), Food Chemistry, pp.453-472. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Wang, Q., Ellis, P. R. and Ross-Murphy, S. B. 2000. The stability of guar gum in an aqueous system under acidic conditions. Food Hydrocolloids 14: 129-134.
- Wu, A. M., Jaing, Y., Huang, P. Y., and Shen, F. 1995. Characterization of the okra mucilage by interaction with Gal, GalNAc, and GlcNAc specific lecithins. Biochimica et Biophysica Acta 1243: 157-160.
- Yadav, M. P., Johnston, D. B., Hotchkiss, A. T., and Hicks, K. B. 2007. Corn fiber gum: A potential gum arabic replacer for beverage flavor emulsification. Food Hydrocolloids 21: 1022–1030.
- Yadav, M. P., Johnston, D. B., and Hicks, K. B. 2009. Corn fiber gum: New structure/function relationships for this potential beverage flavor stabilizer. Food Hydrocolloids 23: 1488–1493.
- Zhao, Z., Dai, H., Chang, H., Gao, X., Liu, M., and Tu, P. 2007. Characterization of a pectic polysaccharide from the fruit of *Ziziphus jujube*. Chemistry of Natural Compounds 43(4): 374-376.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### วิธีการวิเคราะห์

#### ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตามวิธี AOAC (1995) section 32.1.03

##### อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. โถดูดความชื้น

##### วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมที่อบแห้งแล้วและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างจะคงที่
3. ทิ้งตัวอย่างให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาค่าความชื้นจากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$



## ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ตามวิธีของ AOAC (1995) section 32.2.03

### อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (BUCHI ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, Switzerland, distillation unit รุ่น B-324, Switzerland, scrubber รุ่น B-414, Switzerland)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 N
3. สารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 4 % (w/v)
4. Selenium reagent mixture
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 35 % (w/v)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยผสมสารละลาย methylene blue 0.2 % ในแอลกอฮอล์ แล้วกรอง 25 มิลลิลิตร กับสารละลาย methyl red 0.2 % ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

### วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติม Selenium mixture เพื่อเร่งปฏิกิริยาประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างที่เติมสารตามข้อ 2. ไปย่อยด้วยเครื่อง Buchi Digestion Unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอน้ำ (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2 - 3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)

5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	70	มิลลิลิตร
Boric acid	50	มิลลิลิตร
H <sub>2</sub> O	50	มิลลิลิตร
Time	6	นาที

6. ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริก เมื่อกลั่นครบตามกำหนดเวลาจะได้สารละลายที่มีสีเขียว

7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในพลาสติกที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้

8. นำสารที่กลั่นได้ในพลาสติกทั้งหมดมาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

มาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ (end point) เป็นสีม่วงแดง

9. ทำ blank แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่าง และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

10. คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4 \times CF}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

เมื่อ  $V_a$  คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

$V_b$  คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

$N$  คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต มีหน่วยเป็น Normal

$CF$  คือ Conversion Factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองใช้

6.25)

### ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

ตามวิธีของ AOAC (1995) section 32.1.05

#### อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200, England)
2. ครุชีเบิล (Crucible)
3. Hot plate
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
5. โถดูดความชื้น

#### วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3-5 กรัม ใส่ในครุชีเบิลที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ Hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

### ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ตามวิธีของ AOAC (1995) section 32.1.13

#### อุปกรณ์

1. Soxtherm Gerhardt (รุ่น S-226, Germany)

#### วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแล้วและทราบน้ำหนักแน่นอน 2 กรัม โดยห่อด้วยกระดาษ Whatman No. 1 ใส่ใน thimble
2. ใส่ thimble ซึ่งมีตัวอย่างบรรจุอยู่ในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักแน่นอน
3. ใส่ petroleum ether ที่ใช้เป็นตัวสกัด 80 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด

4. สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง และควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส
5. ระเหยสารละลายในส่วนของ petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบ  
ขวดสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
6. นำขวดที่อบแล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(กรัม)}}$$

#### ก.5 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

##### วิธีการคำนวณ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%db) = 100 - % (โปรตีน+เถ้า+เส้นใย+ไขมัน)

#### ก.6 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

(Total, Soluble, and Insoluble dietary fiber; TDF, SDF, and IDF)

ตามวิธีการของ AOAC (1995) section 32.1.17

##### สารเคมี

1. 95% Ethanol
2. 78% Ethanol
3. Acetone
4. Phosphate buffer 0.08 M pH 6:  
เตรียมโดยละลาย  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  1.4 g และ  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  9.68 g ในน้ำกลั่น 700 ml  
ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น วัด pH
5. เอนไซม์ Termamyl<sup>®</sup>
6. เอนไซม์ Protease<sup>®</sup>
7. เอนไซม์ Amyloglucosidase<sup>®</sup>
8. 0.275 M Sodium hydroxide (NaOH)
9. 0.325 M Hydrochloric acid (HCl)
10. Celite

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Vacuum pump
2. เครื่อง Magnetic stirrer
3. Desiccator
4. Crucible
5. อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน
6. เตาเผา
7. ตู้อบลมร้อน
8. เครื่อง pH meter
9. เครื่อง Water bath shaker

### การเตรียมตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator (ทำ 2 ซ้ำ เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและเถ้า)
2. นำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดและเก็บตัวอย่างที่เตรียมได้ไว้ใน desiccator

### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml เติมสารละลาย Phosphate buffer ปริมาตร 50 ml ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ pH  $6.0 \pm 0.2$  โดยเติม NaOH ความเข้มข้น 0.275 N หรือ HCl ความเข้มข้น 0.325 N
2. ใส่เอนไซม์ Termamyl 0.1 ml ปิดฝาขวดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 95-100°C นาน 15 นาที โดยเขย่าขวดทุกๆ 5 นาที
3. ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ให้สารละลายมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ปรับ pH ของสารละลายให้เท่ากับ  $7.5 \pm 0.2$  ด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.275 N
4. จากนั้นเติมเอนไซม์ Protease (Protease 50 mg ใน Phosphate buffer 1 ml) 0.1 ml ปิดปากขวดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที โดยกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Magnetic stirrer
5. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และปรับ pH ของสารละลายให้เท่ากับ 4.0-4.6 ด้วยสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.325 M

6. เติมเอนไซม์ Amyloglucosidase 0.3 ml ปิดปากขวดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที โดยกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Magnetic stirrer และทำให้เย็น
7. กรองสารละลายผ่าน crucible ที่ซึ่งน้ำหนักแล้ว ที่มี Celite ประมาณ 0.1 mg ลงในขวด suction flask และเก็บส่วนที่กรองได้เพื่อนำไปหาใยอาหารที่ละลายน้ำต่อไป
8. ล้างกากที่ได้ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 ml 2 รอบ (เพื่อแยกส่วนใยอาหารที่ละลายน้ำเก็บไว้) 95% Ethanol ปริมาตร 10 ml 2 รอบ และ Acetone ปริมาตร 10 ml 2 รอบ
9. นำ crucible ที่มีกากอยู่ภายในไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator ซึ่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) คำนวณหาน้ำหนักกากที่ได้ ทำซ้ำ 2 รอบ
10. นำกากที่ได้จากซ้ำที่ 1 ไปหาปริมาณโปรตีนตามวิธีของ AOAC นำกากที่ได้จากซ้ำที่ 2 ไปหาปริมาณเถ้า เพื่อคำนวณหาปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) โดยใช้สูตร

$$\text{IDF (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักกากเฉลี่ย (mg)} - P - A - B}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (mg)}} \times 100$$

$$\text{โดยกำหนดให้ } P = \text{น้ำหนักโปรตีน (mg)}$$

$$A = \text{น้ำหนักเถ้า (mg)}$$

$$B = \text{blank (mg)} \quad (B = \text{น้ำหนักกากเฉลี่ย (mg)} - P_B - A_B)$$

$$P_B = \text{น้ำหนักโปรตีนของ blank (mg)}$$

$$A_B = \text{น้ำหนักเถ้าของ blank (mg)}$$

11. กรณีใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) สามารถวิเคราะห์ได้โดย นำส่วนที่กรองได้ (ข้อ 7) และส่วนที่ได้จากการล้างกากด้วยน้ำกลั่น (ข้อ 8) มารวมกัน แล้วปรับน้ำหนักให้ได้ 100 g ด้วยน้ำกลั่น
12. เติม 95% Ethanol ปริมาตร 400 ml (4 เท่าของน้ำหนักที่ได้) และทำให้ร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 60°C
13. ทิ้งสารละลายที่ได้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง นานประมาณ 60 นาที แล้วกรองสารละลายผ่าน crucible ที่ซึ่งน้ำหนักแล้ว ที่มี celite ประมาณ 0.1 mg
14. ล้างส่วนที่ตกตะกอนด้วย 78% Ethanol ปริมาตร 20 ml 3 รอบ 95% Ethanol ปริมาตร 10 ml 2 รอบ และ Acetone ปริมาตร 10 ml 2 รอบ

15. นำ crucible ที่มีส่วนที่ตกตะกอนอยู่ภายในไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) คำนวณหาน้ำหนักกากที่ได้ ทำซ้ำ 2 รอบ

16. นำกากที่ได้จากซ้ำที่ 1 ไปหาปริมาณโปรตีนตามวิธีของ AOAC นำกากที่ได้จากซ้ำที่ 2 ไปหาปริมาณเถ้า เพื่อคำนวณหาปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) โดยใช้สูตร

$$\text{SDF (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักกากเฉลี่ย (mg)} - P - A - B}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (mg)}} \times 100$$

สำหรับปริมาณใยอาหารทั้งหมด (%TDF) หาได้จาก %IDF + %SDF

#### ก.7 การทดสอบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส

ดัดแปลงวิธีของ Pearson (1970)

##### สารเคมี

1. 1% Guaiacol (in 50% Ethanol)
2. 0.08% Hydrogen peroxide

##### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง

##### การเตรียมตัวอย่าง

1. นำเนื้อพุทรา กับ deionised water มาผสมเข้าด้วยกัน ในอัตราส่วนเนื้อพุทราต่อน้ำ เท่ากับ 2:1 ด้วยเครื่องปั่น แล้วกรองแยกกากออก นำส่วนใสมาทดสอบปฏิกิริยาเอนไซม์

##### วิธีทดสอบ

1. เตรียม blank โดยใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ 0.5 ml ลงในหลอดทดลองที่มี deionised water 2 ml เขย่าให้เข้ากัน ใช้เป็นหลอดเปรียบเทียบสี
2. ใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ 0.5 ml ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม 1% Guaiacol (in 50% Ethanol) จำนวน 1 ml ลงไป โดยไม่ต้องเขย่าและผสม
3. เติมสารละลาย 0.08% Hydrogen peroxide จำนวน 1 ml ตามลงไป โดยไม่ต้องเขย่าและผสม

4. ผสมสารละลายในหลอดทดลองโดยจับหลอดทดลองคว่ำไปมา และสังเกตสีที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบกับหลอดที่เป็น blank ถ้าไม่มีสีเกิดขึ้นภายใน 3.5 นาที แสดงว่าไม่มีแอกทิวิตีของ เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส และถ้าเกิดสีหลังจาก 3.5 นาที แสดงว่าไม่มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดสเช่นเดียวกัน

#### ก.8 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity)

ดัดแปลงจากวิธีของ Chau และ Cheung (1998)

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง Centrifuge
2. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. เครื่อง Magnetic stirrer

##### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม ละลายตัวอย่างในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร
2. กวนผสมด้วย magnetic stirrer นาน 15 นาที
3. เหยียงแยกสารละลายผสมด้วยความเร็ว 10000xg นาน 30 นาที
4. เทส่วนใสทิ้ง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเปียก
5. คำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำโดยใช้สูตร

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

(กรัมน้ำ/ กรัมตัวอย่างแห้ง)

#### ก.9 การวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำมัน (Oil Absorption)

ดัดแปลงจากวิธีของ Raghavendra และคณะ (2007)

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง Centrifuge
2. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. เครื่อง Vortex mixer



วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดสำหรับเหวี่ยงแยกที่มีน้ำหนักแน่นอน
2. เติมน้ำมันพืช 10 มิลลิลิตร
3. ผสมด้วย vortex mixer นาน 1 นาที
4. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที
5. เหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 10000xg นาน 30 นาที
6. รินส่วนใสทิ้ง คว่ำหลอดทิ้งไว้ 1 นาที
7. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ดูคน้ำมันไว้
8. คำนวณค่าการดูดซับน้ำมันโดยใช้สูตร

$$\text{ค่าการดูดซับน้ำมัน (กรัมไขมัน/ กรัมตัวอย่างแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ดูคน้ำมันไว้} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

**ก.10 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Emulsion Capacity)**

ดัดแปลงจากวิธีของ Obatolu และคณะ (2006)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Centrifuge
2. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. เครื่อง Homogenizer

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 1.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำมันพืช 50 มิลลิลิตร
3. ผสมด้วยเครื่อง homogenizer นาน 1 นาที
4. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที
5. เหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 4100xg นาน 5 นาที
6. วัดความสูงของชั้นอิมัลชันเทียบกับความสูงของชั้นของเหลวทั้งหมด
7. คำนวณความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันโดยใช้สูตร

$$\text{ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (\%)} = \frac{\text{ความสูงของชั้นอิมัลชัน} \times 100}{\text{ความสูงของชั้นของเหลวทั้งหมด}}$$

### ก.11 การศึกษาพฤติกรรมการไหล (Rheological behavior)

โดยดัดแปลงจากภาวะของ Medina-Torres และคณะ (2000)

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Rheometer

#### A. การเตรียมตัวอย่างสำหรับศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้น

1. เตรียมสารละลายมิวซิเลจเข้มข้น 5%, 7% และ 9% โดยละลายมิวซิเลจผงในน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
2. เตรียมสารละลายกั้วร์กัมความเข้มข้น 0.5%, 1% และ 2% โดยละลายกั้วร์กัมในน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
3. เตรียมสารละลายแซนแทนกัมความเข้มข้น 0.5%, 1% และ 2% โดยละลายแซนแทนกัมในน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

#### ภาวะที่ใช้วิเคราะห์สำหรับศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้น

1. ใช้หัววัด cone and plate geometry sensor (40 mm diameter, 4° cone angle)
2. ตั้งค่า gap distance เท่ากับ 150 μm
3. กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 25°C
4. ตั้งค่าอัตราเฉือนในช่วง 0.1-250 s<sup>-1</sup> ภายในเวลา 180 s

#### B. การเตรียมตัวอย่างสำหรับศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรดต่าง

1. เตรียมสารละลายมิวซิเลจเข้มข้น 7% โดยละลายมิวซิเลจผงในน้ำกลั่นเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
2. เตรียมสารละลายกั้วร์กัมความเข้มข้น 0.5% โดยละลายกั้วร์กัมในน้ำกลั่นเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
3. เตรียมสารละลายแซนแทนกัมความเข้มข้น 0.5% โดยละลายแซนแทนกัมในน้ำกลั่นเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

4. ปรับสารละลายมิวซีเลจ สารละลายกั้วร์กัม และสารละลายแซนแทนกัมให้มีความเป็นกรดด้วย 0.1 M และ 1 M acetic acid และปรับสารละลายให้มีความเป็นด่างด้วย 0.1 M และ 1 M NaOH)

ภาวะที่ใช้วิเคราะห์สำหรับศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรดต่าง

1. ใช้หัววัด cone and plate geometry sensor (40 mm diameter, 4° cone angle)
2. ตั้งค่า gap distance เท่ากับ 150  $\mu\text{m}$
3. กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 25°C
4. ตั้งค่าอัตราเฉือนในช่วง 0.1-250  $\text{s}^{-1}$  ภายในเวลา 180 s

C. การเตรียมตัวอย่างสำหรับศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ

1. เตรียมสารละลายมิวซีเลจเข้มข้น 7% โดยละลายมิวซีเลจผงในน้ำกลั่นเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
2. เตรียมสารละลายกั้วร์กัมความเข้มข้น 0.5% โดยละลายกั้วร์กัมในน้ำกลั่นเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
3. เตรียมสารละลายแซนแทนกัมความเข้มข้น 0.5% โดยละลายแซนแทนกัมในน้ำกลั่นเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ภาวะที่ใช้วิเคราะห์สำหรับศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ

1. ใช้หัววัด cone and plate geometry sensor (40 mm diameter, 4° cone angle)
2. ตั้งค่า gap distance เท่ากับ 150  $\mu\text{m}$
3. กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, 65°C และ 75°C
4. ตั้งค่าอัตราเฉือนในช่วง 0.1-250  $\text{s}^{-1}$  ภายในเวลา 180 s

## ก.12 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ตามวิธีของ Nelson (1944)

### สารเคมี

1. Ammonium molybdate  $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O})$
2. Anhydrous sodium dihydrogen phosphate  $(\text{NaH}_2\text{PO}_4)$
3. Anhydrous sodium sulphate  $(\text{Na}_2\text{SO}_4)$
4. Copper sulphate pentahydrate  $(\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O})$
5. Potassium sodium tartrate  $(\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6)$
6. Sodium hydroxide  $(\text{NaOH})$
7. Sulfuric acid  $(\text{H}_2\text{SO}_4)$
8. Sodium arsenate  $(\text{Na}_2\text{HASO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O})$
9. D-(+)-glucose

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

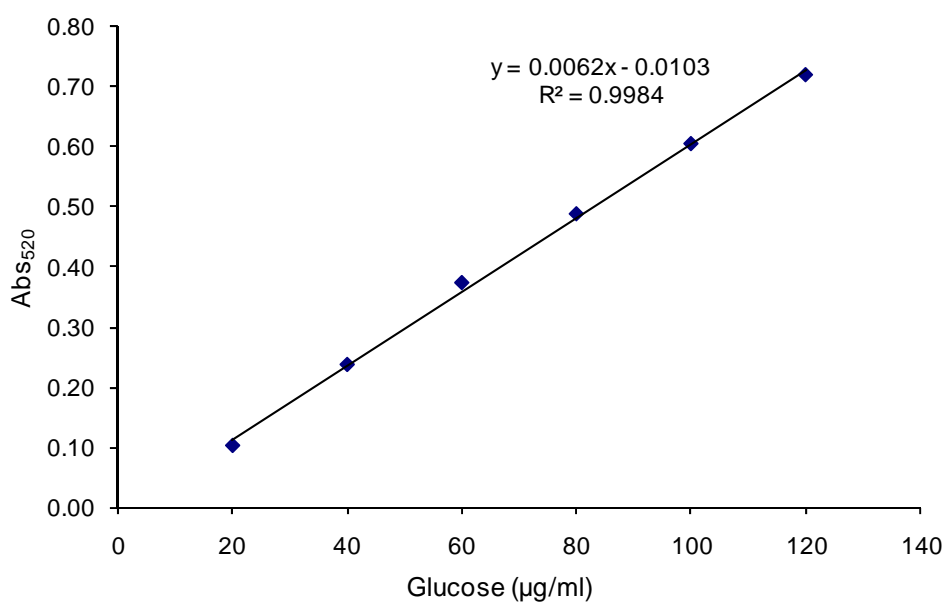
1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่อง Spectrophotometer

### วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลาย Alkaline copper reagent โดยละลาย  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  14 g และ  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$  20 g ในน้ำกลั่น 350 ml เติม  $\text{NaOH}$  ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 50 ml เติม 10%  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ปริมาตร 20 ml และเติม Anhydrous  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  50 g ผสมให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรสุดท้ายเป็น 500 ml ทิ้งไว้ 1-2 วันในขวดสีชา
2. เตรียมสารละลาย Asenomolydate reagent โดยละลาย  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  25 g ในน้ำกลั่น 400 ml เติม Conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  21 ml และสารละลาย  $\text{Na}_2\text{HASO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (ได้จาก  $\text{Na}_2\text{HASO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  3 g ในน้ำกลั่น 12.5 ml) ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1-2 วันในขวดสีชา
3. เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสเข้มข้น 20-120  $\mu\text{g}/\text{ml}$  ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 1 ml จากนั้นเติมสารละลาย Alkaline copper reagent ปริมาตร 1 ml นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ทำให้เย็น เติม Asenomolydate reagent ที่เจือจางด้วยสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ความเข้มข้น 1.5 N ในอัตราส่วน 1:2 ปริมาตร 1 ml และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 3 ml จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm

4. ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank โดยผ่านขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 3
5. นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน
6. การวิเคราะห์ตัวอย่างให้ทำการเจือจางจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นนำไป

วิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3



รูปที่ ก.11 กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส

### ก.13 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก

ตามวิธีของ AOAC (1995)

#### สารเคมี

1. 0.1 N Sodium hydroxide (NaOH)
2. Potassium hydrogen phthalate ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ )
3. Phenolphthalein indicator

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักตนิยม 4 ตำแหน่ง

### วิธีวิเคราะห์

1. คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน NaOH โดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  โดยใช้ phenolphthalein เป็น indicator

$$N \text{ NaOH} = \frac{\text{น้ำหนักของ } \text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 \text{ (g)} \times 1000}{\text{ปริมาตรของ NaOH (ml)} \times 204.22}$$

2. ชั่งตัวอย่าง 5 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) เติมน้ำกลั่นเล็กน้อย ต้มให้เดือดเป็นเวลา 2-3 นาที
3. นำตัวอย่างที่ผ่านการต้มทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายใส่ขวดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วกรองกากออก
4. ปิเปตส่วนที่กรองได้ 10 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 ml
5. เติมสารละลาย Phenolphthalein indicator 2 หยด
6. ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน NaOH ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติซึ่งมีสีชมพูอ่อน คำนวณปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกจากสูตร

ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมด (%)

$$= \frac{N \text{ NaOH} \times \text{ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไตเตรต (ml)} \times 0.07 \times 100 \times 50}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)} \times 10}$$

โดยที่มีลลิคควิวาเลนซ์ของกรดซิตริก (Milliequivalent of citric acid monohydrate) = 0.07

## ภาคผนวก ข

### แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบที่ใช้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยอาหารผงจากพุทรา

ผู้ทดสอบ.....วันที่.....รหัสตัวอย่าง.....

**คำแนะนำ** กรุณาพิจารณาลักษณะต่างๆของโยอาหารผงจากพุทราแล้วลงผลการทดสอบที่ตรงตามความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยเขียนกากบาท (x) ตรงตำแหน่งที่ท่านตัดสินใจลงในแบบทดสอบ

#### 1. สีของโยอาหารผงจากพุทรา

1	2	3	4	5
สีน้ำตาลเข้ม ของพุทรา แก่จัดสุกงอม	สีน้ำตาลอ่อนหรือ สีส้มอมเหลือง เล็กน้อย	สีส้มอมเหลือง ปานกลาง	สีส้มอมเหลือง ชัดเจน	สีส้มอมเหลืองตาม ธรรมชาติของ พุทราแก่จัดแต่ ไม่สุกงอม

#### 2. กลิ่นของโยอาหารผงจากพุทรา

1	2	3	4	5
กลิ่นไม่หอม และมีกลิ่น แปลกปลอมชัดเจน	กลิ่นหอมค่อนข้างน้อย และมีกลิ่น แปลกปลอมบ้าง	กลิ่นหอมปานกลาง มีกลิ่นแปลกปลอม เล็กน้อย	กลิ่นหอม ค่อนข้างชัดเจน ไม่มีกลิ่น แปลกปลอม	กลิ่นหอมชัดเจน ตามธรรมชาติ ของเนื้อพุทราสุก และไม่มีการ แปลกปลอมเลย

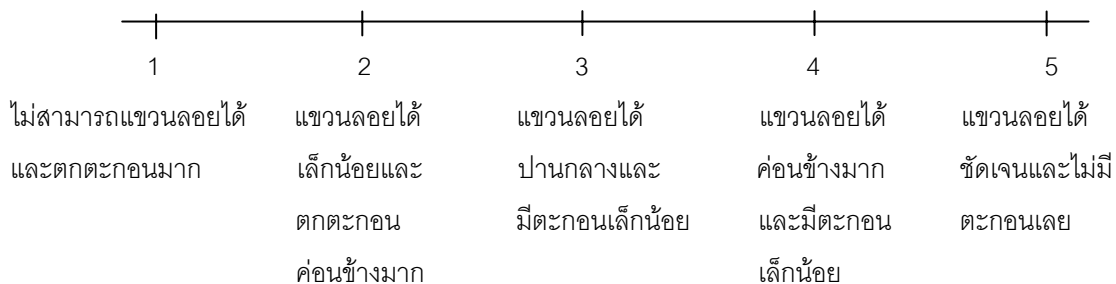
#### 3. ความละเอียดของโยอาหารผงจากพุทรา (จากการสัมผัสด้วยปลายนิ้วมือ)

1	2	3	4	5
หยาบมาก	หยาบเล็กน้อย	หยาบปานกลาง	ค่อนข้างละเอียด	ละเอียดมาก

4. ลักษณะการฟุ้งกระจาย (จากการใช้ช้อนตัก)



5. ลักษณะการแขวนลอยในน้ำ (จากการผสมในน้ำอัตราส่วน น้ำ : โยอาหาร เท่ากับ 10 : 0.5)



ข้อเสนอแนะ

---



---



---



---



## ภาคผนวก ค

### รายละเอียดของเอนไซม์

#### เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า Pectinex® Ultra SP-L

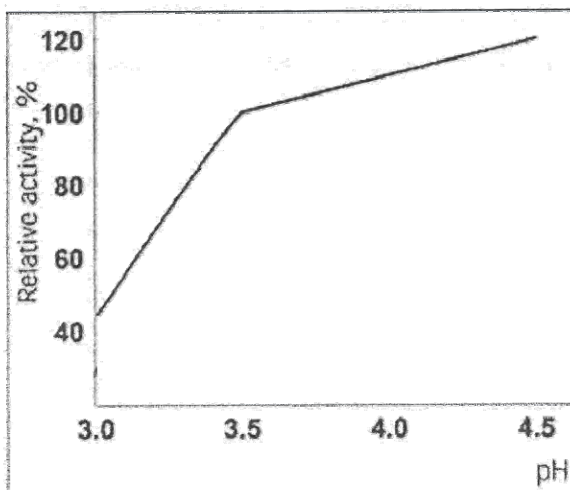
Pectinex® Ultra SP-L เป็นเอนไซม์ที่มีแอกทิวิตีของเพกทิเนสสูง ผลิตจากเชื้อกลุ่ม *Aspergillus aculeatus* สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว ประกอบด้วยเอนไซม์พอลิกลาแลกทูโรเนส เพกทินไลเอส เพกทินเอสเทอเรส เป็นหลัก โดยมีเอนไซม์เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรติเอส และ อะไมเลส ช่วยเสริมการย่อยสลายโมเลกุลต่างๆที่บริเวณผนังเซลล์ของพืช

ลักษณะปรากฏ: เป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหมักเล็กน้อย มี pH ประมาณ 4.5 สามารถละลายน้ำได้ดีที่ทุกความเข้มข้น

แอกทิวิตีของเอนไซม์โดยทั่วไป: 26,000 PGU/ml (pH 3.5) ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ พิจารณาโดยวัดความหนืดของสารละลายกรดเพกติกที่ลดลง ที่อุณหภูมิ 20°C pH 3.5

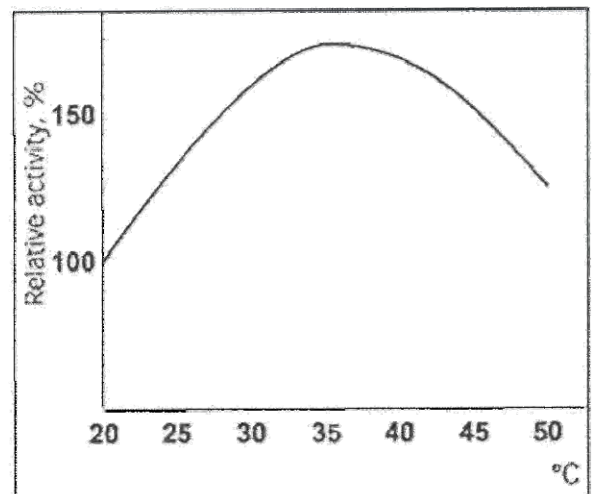
ข้อกำหนด: สามารถใช้ในอาหารได้ รับรองโดย FAO/WHO, JECFA และ FCC

การเก็บรักษา: เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 20°C แอกทิวิตีของเอนไซม์สามารถคงอยู่ได้เป็นเวลา 3 เดือน และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 0-10°C แอกทิวิตีของเอนไซม์สามารถคงอยู่ได้อย่างน้อย 1 ปี



รูปที่ ค.1 แอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ pH ต่างๆ

Polygalacturonase activity at 20°C



รูปที่ ค.2 แอกทิวิตีของเอนไซม์ที่อุณหภูมิต่างๆ

Polygalacturonase activity at pH 3.5

(ดัดแปลงจาก Novozymes, Enzyme Information)

### รายละเอียดของกั้วร้กั้ม

Moisture	:	12% max.
pH (1% solution)	:	5.5-6.5
Protein (Nx6.25)	:	4.5% max.
Ash	:	1.0% max.
Fat	:	0.5% max.
Carbohydrate	:	82.0% min (By difference)
A.I.R.	:	4.0% max.
Viscosity (1% soln)	:	5000 cps min. after 2hrs.
Mesh size	:	95% thru 100 mesh min. 15% thru 200 mesh max.
Microbiological	:	Total Plate Count/g : 5000 cfu/gram max Mold/g : 400 cfu/gram max Yeast/g : 400 cfu/gram max E.coli (cfu/g) : NIL Coliform (cfu/g) : NIL Salmonella : NIL in 25 g
Total Heavy Metals	:	< 40 ppm
Arsenic (As)	:	< 3 ppm
Lead (Pb)	:	< 10 ppm
Mercury	:	Not detected
Legal Status	:	Material meets with FAO/WHO and EEC E-No.412 GRAS in the USA (FDA) HS Code – 1302 900
Shelf life	:	The product can be stored for 24 months without change of quality when kept cool and dry place.

### รายละเอียดของแซนแทนกัม

#### Specifications

<u>Property</u>	<u>Requirement</u>	<u>Test Method</u>
Particle Size	Tyler Standard Screen Scale, Ro-Tap	KTM146
- 80 mesh (180 µm)	Not less than 100% through	
- 200 mesh (78 µm)	Not less than 92% through	
Loss on Drying	6-14%	KTM003
Power Color	Not less than 82	KTM006
Viscosity		KTM017
- 1% gum in 1% KCL (60rpm)	1200-1600 mPa's (cP)	
Solution pH		KTM005
- 1% gum in DI water	For information only	
- 0.25% gum in Synthetic Tap Water	For information only	
Heavy Metals	Not more than 20.0 mg/kg (ppm)	KTM514
Lead	Not more than 2.0 mg/kg (ppm)	KTM514
Arsenic	Not more than 3.0 mg/kg (ppm)	KTM514
Bacteria	Not more than 2,000 cfu/g	KTM800
Yeast	Not more than 100 cfu/g	KTM803
Mold	Not more than 100 cfu/g	KTM803
Coliform	Negative by Most Probable Number (MPN)	KTM801
<i>Escherichia coli</i>	Absent in 25 g	KTM802
<i>Salmonella</i> spp.	Absent in 25 g	KTM804
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absent in 1.0 g	KTM806
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Absent in 1.0 g	KTM807
Total viable mesophilic aerobic count. 48 hr. incubation		

## ภาคผนวก ง

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากพุทราสุก 3 ระดับ

Source of variance	df	MS
Ripening levels	2	44.142*
Error	6	0.046

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากการสกัดที่ภาวะต่างๆ

Source of variance	df	MS
Extraction Ratio (A)	3	40.757*
Temperature (B)	3	0.603*
AXB	9	0.309*
Error	32	0.290

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณมิวซีเลจที่ได้จากการตกตะกอนที่ภาวะต่างๆ

Source of variance	df	MS
Precipitation Ratio	3	1.861*
Error	8	0.010

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.4** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความสว่าง (L\*) ค่าสีแดง (+a\*)  
ค่าสีเหลือง (+b\*)

Source of variance	df	MS		
		L*	a*	b*
Sample	2	33.233*	0.676*	5.795*
Error	6	0.009	0.005	0.017

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.5** การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของ  
มิวซีเลจผง แชนแทนกัม และกั๋วร็กัม

Source of variance	df	MS
Sample	2	18.367*
Error	6	0.002

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.6** การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันของ  
มิวซีเลจผง แชนแทนกัม และกั๋วร็กัม

Source of variance	df	MS
Sample	2	1980.633*
Error	6	0.154

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.7** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (RS) ของกากพืชรากที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

Source of variance	df	MS
Enzyme concentration (A)	6	1221.953*
Hydrolysis time (B)	8	661.596*
AxB	48	23.419*
Error	126	0.185

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.8** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (RS) ของกากพืชรากที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

Source of variance	df	MS
Hydrolysis time (B)	8	161.991*
Error	18	0.032

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.9** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหารละลายน้ำในกากพืชรากจากภาวะการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ

Source of variance	df	MS	
		Soluble dietary fiber	Insoluble dietary fiber
Hydrolysis time	4	29.262*	30.298*
Error	10	0.013	0.029

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.10** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหารละลายน้ำในกากพืชรากจาก  
ภาวะการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ที่ระยะเวลาต่างๆ  
หลังการเพิ่มเอนไซม์ความเข้มข้น 2.0% (v/w) ลงไป

Source of variance	df	MS	
		Soluble dietary fiber	Insoluble dietary fiber
Hydrolysis time	2	64.451*	71.332*
Error	6	0.008	0.006

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.11** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความสว่าง (L\*) ค่าสีแดง (+a\*)  
ค่าสีเหลือง (+b\*) ของใยอาหารผง

Source of variance	df	MS		
		L*	a*	b*
Hydrolysis time	2	28.841*	0.570*	8.573*
Error	6	0.096	0.005	0.049

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.12** การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC), ความสามารถ  
ในการอุ้มน้ำมัน (OHC) และความสามารถในการทำให้เกิดอิมีลชัน (EC)  
ของใยอาหารผง

Source of variance	df	MS		
		WHC	OHC	EC
Hydrolysis time	2	6.279*	1.770*	175.858*
Error	6	0.320	0.015	1.318

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.13** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ  
ของโยอาหารผง

Source of variance	df	MS				
		Color	Odor	Fine powder	Spread	Suspension
Hydrolysis time	9	0.298	0.100*	0.251*	0.078*	0.033*
Panelist	2	0.059	23.821	6.320	15.411	11.389
Error	18	0.042	0.075	0.035	0.031	0.029

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.14** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเติมเอนไซม์ความเข้มข้น 2%(v/w)  
เพิ่มที่ 4 ชั่วโมง

Source of variance	df	MS
Hydrolysis time	8	194.842*
Error	18	0.39

\* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ง.15** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเติมเอนไซม์ความเข้มข้น 2%(v/w)  
เพิ่มที่ 6 ชั่วโมง

Source of variance	df	MS
Hydrolysis time	7	229.410
Error	16	0.034



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชมัพร แรงกลาง เกิดวันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2549

รายการสิ่งตีพิมพ์และเผยแพร่

ชมัพร แรงกลาง และ ปราณีย์ อ่านเปรื่อง. 2551. การสกัดมิวซิเลจและสมบัติเชิงหน้าที่ของมิวซิเลจผงจากพุทราพันธุ์สามรส *Ziziphus mauritiana* Lam. ใน การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 2 (ภาคบรรยาย). วันที่ 21 สิงหาคม 2551 ณ โรงแรม เดอะทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร.