ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของสภาวะในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่ได้จากรำข้าว

Effect of extraction conditions on crude rice protein yield

จัดทำโดย

1. น.ส. สุปราณี อุ่ยยะเสถียร รหัสนักศึกษา 44040802
2. น.ส. สุภาวดี ทรัพย์สิริไพบูลย์ รหัสนักศึกษา 44040803
3. น.ส. อภิรดี ปวงแก้ว รหัสนักศึกษา 44040809

สาขาวิชา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 25 / มี.ค. / 2548

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ดร. ยุพร พืชกมุทร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20403

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของสภาวะในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่ได้จากรำข้าว

Effect of extraction conditions on crude rice protein yield

โดย

1. น.ส. สุปราณี อุ่ยยะเสถียร รหัสนักศึกษา 44040802
2. น.ส. สุภาวดี ทรัพย์สิริไพบูลย์ รหัสนักศึกษา 44040803
3. น.ส. อภิรดี ปวงแก้ว รหัสนักศึกษา 44040809

สาขาวิชา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ยุพร พืชกมุทร

คณะกรรมการ

ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ

รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา

รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย

ดร. ศศิวิมล ชื่นยิ้ม

T096861

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง พ.ศ. 2547

ปพ.
ส823ผ
2547

ตขหมู่.....
เลขทะเบียน.....96861
วัน.เดือน.ปี.....- 5 มิ.ย. 2549

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

รำข้าวคือส่วนประกอบของเนื้อเยื่อสีน้ำตาลที่ถัดจากเปลือกหุ้มเมล็ด แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ รำหยาบและรำละเอียด ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากข้าวซึ่งเปี่ยมไปด้วยโปรตีนที่มีคุณภาพ จึงมีการพัฒนาวิธีการสกัดโปรตีนจากรำข้าว เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะต่างๆในการสกัดโปรตีนจากรำข้าวโดยใช้ตัวอย่าง รำข้าวพันธ์หอมมะลิ105 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการส่วนพระองค์ฯสวนจิตรลดา โดยรำหยาบและรำละเอียดมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบคือ 3.532% และ 10.948% ตามลำดับ

ในการทดลองได้แบ่งสภาวะที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้ออกเป็น 3 สภาวะ คือ 1. ชนิดของรำข้าว พบว่ารำละเอียดให้ปริมาณผลผลิตโปรตีนสูงกว่ารำหยาบซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว 2. อัตราส่วนรำข้าวต่อสารละลายด่างที่สกัดพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารละลายด่างจาก 1:5 ไปเป็น 1:9 จะให้ปริมาณผลผลิตโปรตีนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ 3. ค่าพีเอชและเวลา พบว่าเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 7 ไปเป็น 12 จะสามารถให้ปริมาณผลผลิตโปรตีนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเวลาที่เพิ่มจาก 1 ไปเป็น 4 ชั่วโมงไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร. ยุพร พืชกมุทร อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ และตรวจแก้ไขรูปเล่มปัญหาพิเศษ และขอกราขอบพระคุณ ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ รศ.ดร. วุฒิชัย นาดรักษา รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย และ ดร. ศศิวิมล ชื่นยิ้ม ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบสัมภาษณ์ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำทางวิชาการในด้านต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำเนิด ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการเรียนและการดำเนินชีวิตตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณ สุจินดา ภาสดา โครงการส่วนพระองค์ฯสวนจิตรลดาที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ โครงการส่วนพระองค์ฯสวนจิตรลดาที่ได้ให้ความอนุเคราะห์รำข้าวสดซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคนในโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน และให้กำลังใจตลอดมา รวมทั้งผู้มีพระคุณท่านอื่นๆที่มิได้เอ่ยนาม

คณะผู้จัดทำ

กุมภาพันธ์ 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญ

	หน้าที่
สารบาญ	-1-
สารบาญตาราง	-2-
สารบาญภาพ	-4-
1. คำนำ	1
2. วัตถุประสงค์	2
3. ทฤษฎี	3
3.1รำข้าว	3
3.2 กระบวนการขัดสีรำข้าว	5
3.3องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว	8
3.4การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวเนื่องจากเอนไซม์	9
3.5การรักษาความคงตัวให้กับรำข้าว	10
3.6โปรตีนรำข้าว	11
4. อุปกรณ์และวิธีการ	23
4.1. วัตถุดิบ	23
4.2. สารเคมี	23
4.3. อุปกรณ์	23
4.4. ขั้นตอนและวิธีการ	24
5. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	27
5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว	27
5.2 ผลของการศึกษาปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าว 2 ชนิด	27
5.3 ผลการศึกษาของอัตราส่วนรำข้าวต่อสารละลายด่างที่มีต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้	28
5.4 ผลของการศึกษาผลของ พีเอช และ เวลา ในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้	29
6. สรุป	31
7. เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	8
2	การจำแนกชนิดของโปรตีนในธัญชาติ	12
3	ชนิดและปริมาณของโปรตีนในรำข้าวจากข้าวสายพันธุ์ต่างๆ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	13
4	ร้อยละของผลผลิตโปรตีนและองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสด และ รำสกัดไขมัน	14
5	ค่า emulsion astivity และ emulsion stability ของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สกัดจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการด้วยเอนไซม์ Alcalase และ Flavourzyme	19
6	ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนรำข้าวเข้มข้น	22
7	องค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียดและรำหยาบ (กรัม / 100 กรัม)	27
8	ปริมาณของผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้จากรำละเอียดและรำหยาบ (กรัม / 100กรัม)	27
9	ปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้เมื่อใช้อัตราส่วนของรำข้าวต่อสารละลายด่างที่ระดับต่างๆ	28
10	ปริมาณของผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้เมื่อใช้พีเอชและเวลาที่ระดับต่างๆ	29

ตารางผนวกที่	
1 ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสองชนิด(กรัมต่อ100กรัม)	39
2 อัตราส่วนระหว่างรำข้าวกับสารละลายด่าง(กรัมต่อ100 กรัม)	39
3 ปัจจัยของพีเอชและเวลาที่มีผลต่อการสกัดโปรตีน(กรัมต่อ100 กรัม)	39
4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	40
5 Between-Subjects Factors	40
6 Tests of Between-Subjects Effects	40
7 Between-Subjects Factors	41
8 MASS	42
9Tests of Between-Subjects Effects Dependent Variable: MASS	42
10 Between-Subjects Factors	43
11 Descriptive Statistics	43
12 MASS	44
13 MASS	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่	หน้า
14 ANOVA	45
15 MASS	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของเมล็ดข้าวและชั้นต่างๆ	3
2	ภาพตัดขวางของเซลล์แอลิวโรน ; Ag = โปรตีนรูปร่าง , N = นิวเคลียส , C = ผนังเซลล์ , L = เม็ดไขมัน	5
3	ลักษณะการขัดรำแบบขัดสีกับวัตถุ	6
4	เครื่องขัดรำแบบขัดสีกับวัตถุ	6
5	ลักษณะการขัดสีระหว่างเมล็ดข้าวด้วยกัน	7
6	เครื่องขัดสีระหว่างเมล็ดข้าวด้วยกันเอง	7
7	การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันรำข้าวเนื่องจากเอนไซม์ไลเปสและฟอสโฟไลเปส	10
8	การละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้น	11
9	สมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการ	20
10	ขั้นตอนการสกัดไขมันจากรำข้าว	24
11	ขั้นตอนการสกัดโปรตีนจากรำข้าวที่สกัดไขมันออกแล้ว	25

ภาคผนวก

ภาพที่ 1 รำหยาบ 36

ภาพที่ 2 รำละเอียด 36

ภาพที่ 3 ลักษณะของโปรตีนที่สกัดได้ 37

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการกวนผสมด้วยเครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็ก 37

ภาพที่ 5 ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น 38

ภาพที่ 6 เครื่องย่อยโปรตีน 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการผลิตและส่งออกข้าวที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก โดยมีผลผลิตในปี 2546/2547 ถึง 17.58 ล้านตัน ซึ่งเป็นอันดับที่ 6 ของโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) และสามารถส่งข้าวที่ผ่านการขัดสีไปยังต่างประเทศในปี 2547 สูงถึง 8 ล้านตัน (USDA, 2004)

รำข้าว ผลพลอยได้จากการขัดสีข้าวกล้องและมีปริมาณมาก คิดเป็น 1.25 ล้านตัน(ร้อยละ 8 ของข้าวกล้อง) รวมทั้งยังราคาถูกและเป็นแหล่งสะสมของโปรตีนชนิดโกลบูลิน, กลูเตนิน และ โพลา และมีกรดอะมิโนจำเป็น เช่น ลิวซีน, ไลซีน, ฟีนิลอะลานีน และ วาลีน ในปริมาณสูง (Prakash and Ramanatham, 1995c) โปรตีนรำข้าวจึงเป็นโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Lasztity,1995) รำข้าวจึงถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆมากมาย ตัวอย่างเช่น การสกัดน้ำมัน อาหารสัตว์ ปุ๋ย และสามารถแปรรูปเป็นอาหารได้หลายชนิดทั้งอาหารเส้น, อาหารว่าง, อาหารหวาน และ อาหารเสริมคุณค่าทางโภชนาการ (อรอนงค์, 2534)

เนื่องด้วยโปรตันตากรำข้าวมีความซับซ้อน ความสามารถในการละลายต่ำ เพราะโปรตีนมรการรวมตัวอย่างแน่นหนาด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bond) อีกทั้งยังประกอบด้วยไฟเตด (Phytate) ในปริมาณสูง (1.7 เปอร์เซ็นต์) และปริมาณเยื่อใย (Fiber) ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรตนในรำข้าวเรียงตัวอยู่รอบๆไฟเตส (Phytate ion) ทำให้เกิด insolyble protein-hpytate complex ซึ่งองค์ประกอบทั้งไฟเตดและเยื่อใยนั้นสามารถรวมตัวกับโปรตีนได้ดี ทำให้การแยกโปรตีนในรำข้าวออกจากองค์ประกอบอื่นๆ เป็นไปได้ยาก (Wang et al. 1999) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำรำข้าวมาเป็นวัตถุดิบในการสกัดโปรตีนเพื่อนำไปใช้ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร และยังเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าวได้อีกด้วย จึงได้มีการศึกษาวิธีการสกัดโปรตีนโดยใช้สารละลายด่าง เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอาจมีผลกระทบต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของขนาดรำข้าว ที่มีต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดออกมาได้
2. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างรำข้าวกับสารละลายด่างที่ใช้ในการสกัดที่มีต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้
3. เพื่อศึกษาผลของ พีเอช และ เวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตที่สกัดได้

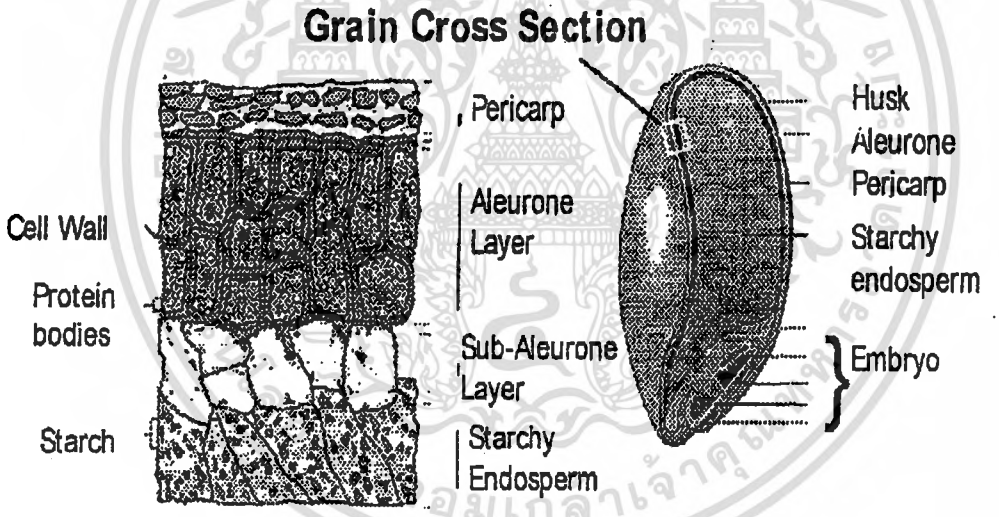
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทฤษฎี

3.1 <u>รำข้าว</u>

รำข้าว หมายถึง ผลพลอยได้หรือส่วนที่ได้หลังจากนำข้าวกล้องมาผ่านการขัดสีชั้นด้านนอกในขั้นตอนของการผลิตข้าวขาว (Houston,1972) ซึ่งรำข้าวประกอบด้วยชั้นต่างๆได้แก่ เยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นแอลิวโรน รวมทั้งบางส่วนของเอนโดสเปิร์มและคัพภะ (Juliano,1985) ภาพโครงสร้างของเมล็ดข้าว และ ชั้นต่างๆดังแสดงในภาพที่ 1

สัดส่วนของโครงสร้างเมล็ดข้าวซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือแกลบและข้าวกล้องเมื่อเปรียบเทียบส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวจากน้ำหนักเมล็ดข้าว (ข้าวเปลือก) 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีแกลบอยู่ร้อยละ 20 และ ข้าวกล้องร้อยละ 80 โดยข้าวกล้อง(100%) ประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล 1.5% เยื่อหุ้มเมล็ด 5% เยื่อเนื้อเมล็ด 90.5% และ คัพภะ 3%(อรอนงค์ นัยวิกุล,2547)



<u>ภาพที่ 1</u> โครงสร้างของเมล็ดข้าวและชั้นต่างๆ

ที่มา : Finfeeds International Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 เยื่อหุ้มผล

แบ่งเป็นชั้นต่างๆ คือ epicarp, mesocarp และ endocarp ซึ่งแต่ละชั้นมีขนาดของเซลล์แตกต่างกัน โดยมีความหนาของเซลล์ประมาณ 6-8 ไมโครเมตร ชั้นเยื่อหุ้มผลมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน (United Nations Industrial Development Organization, 1985)

3.1.2 เยื่อหุ้มเมล็ด

เยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผล ประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถว (เครือวัลย์,2536) เป็นชั้นที่มีความหนาประมาณ 0.8-1.5 ไมโครเมตร (United Nations Industrial Development Organization,1985)

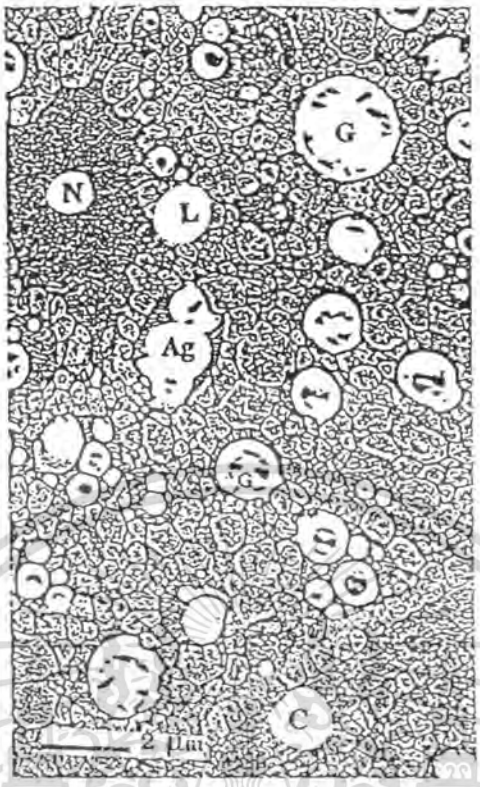
3.1.3 ชั้นแอลิวโรน

ชั้นแอลิวโรนประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมาที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งมีขนาดประมาณ 15-30 ไมโครเมตร ภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์แอลิวโรนมีการสะสมของโปรตีนและเม็ดไขมัน (Juliano,1985) และเป็นขั้นที่มีการสะสมของโปรตีนแอลบูมินและโกลบูลินอยู่สูง (Lasztity,1996) โดยเซลล์ของชั้นแอลิวโรน ดังแสดงในภาพที่ 2

3.1.4 คัพภะ หรือ จมูกข้าว

คัพภะประกอบด้วยส่วนยอด รากอ่อน ซึ่งต่อกับส่วนลำต้น ส่วนที่เป็นยอดจะถูกปกคลุมด้วย Coleoptile มีลักษณะเป็นทรงกระบอก และส่วนที่เรียกว่า scuttellum จะเป็น ส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างคัพภะกับเนื้อเมล็ด ซึ่งมีความสำคัญต่อการเข้าออกของสารอาหารสู่คัพภะ (Houston,1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<u>ภาพที่ 2</u> ภาพตัดขวางของเซลล์แอลิวโรน : Ag = โปรตีนรูปร่าง , N = นิวเคลียส , C = ผนังเซลล์ , L = เม็ดไขมัน

ที่มา : Juliano (1985)

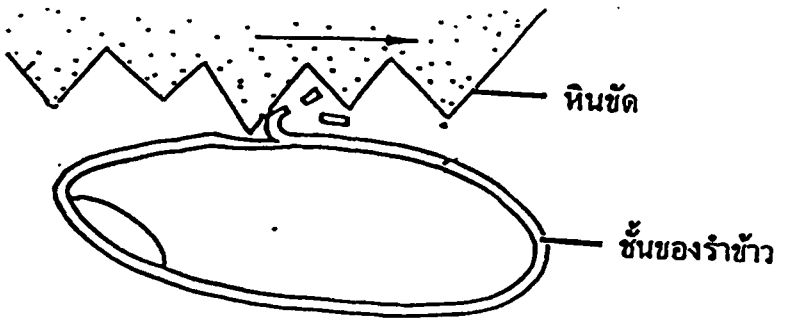
3.2 <u>กระบวนการขัดสีรำข้าว</u>

3.2.1 <u>การขัดสีกับวัตถุ</u>

กระบวนขัดสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวสารจะได้รำหยาบในการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้องและรำละเอียดได้จากการขัดขาวและขัดมันจึงทำให้มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันบ้าง (อรอนงค์ , 2547)

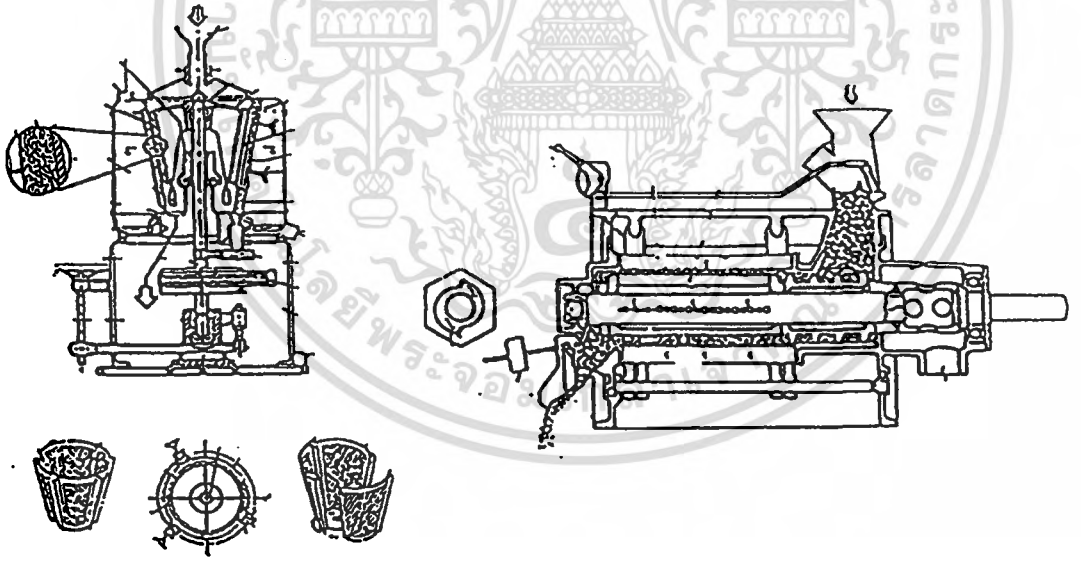
ในการขัดรำแบบขัดสีกับวัตถุ (ภาพที่ 3) เครื่องขัดรำมีทั้งแบบแนวตั้งและแนวนอน (ภาพที่ 4) โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ชั้นคือ ชั้นแรกเป็นลูกโรเหล็กรูปกรวยตัดเคลือบด้วยหินขัด ลูกโรนี้รวมอยู่ในลวดตาข่ายที่ทำเป็นรูปกรวยตัดเช่นเดียวกัน โดยให้มีช่องว่างระหว่างลูกโรกับลวดตาข่ายเล็กน้อย ซึ่งมีการปรับระยะห่างได้ โดยการยกลูกโรให้สูงขึ้นหรือต่ำลง ข้าวกล้องที่ใส่ลงไประหว่างลูกโรและลวดตาข่ายจะถูกขัดด้วยหินขัดที่อยู่บนผิวลูกโรนั้น ในขณะที่ตาข่ายทำหน้าที่ปล่อยให้รำละเอียดหลุดออกไปจากข้าวขาว ตามแนวยาวของลวดตาข่ายมีแผ่นยาง 3 อันจัดเรียงไว้ระยะห่างเท่าๆกัน โดยให้ยางยื่นเข้าไปเกือบชิดกับผิวของหินขัด และสามารถปรับระยะชิดกับลูกโรได้ ทำหน้าที่ควบคุมระดับการขัดสี (ณรงค์ , 2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 ลักษณะการขัดรำแบบขัดสีกับวัตถุ

ที่มา : ดัดแปลงจาก United Nations Industrial Development Organization (1985)



ก) ข)

ภาพที่ 4 เครื่องขัดรำแบบขัดสีกับวัตถุ

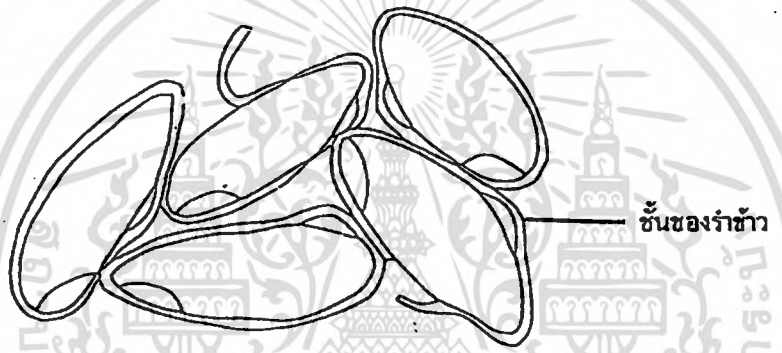
ก) แบบแนวตั้ง ข) แบบแนวนอน

ที่มา : ดัดแปลงจาก United Nations Industrial Development Organization (1985)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

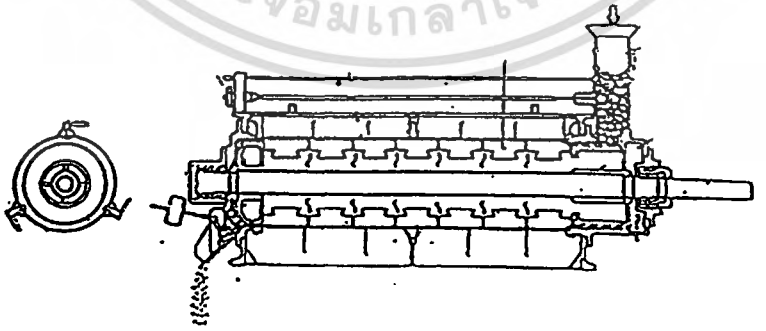
3.2.2 ระบบการขัดสีระหว่างเมล็ดข้าวด้วยกันเอง

การขัดสีรำแบบให้เมล็ดข้าวขัดกันเอง (ภาพที่ 5) ใช้เครื่องจักรที่มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ชิ้น (ภาพที่ 6) คือชิ้นแรกเป็นตะแกรงหกเหลี่ยมยาว และชิ้นที่สองเป็นลูกโรกลวงสอดอยู่ในตะแกรง ลูกโรมีลักษณะเป็นปีกยื่นออกไป 2 ข้างและอยู่ตรงกันข้าม ถ้าตัดตามขวางจะเห็นว่ามีลักษณะเหมือนวงกลมผ่าครึ่งประกบกันอยู่โดยให้เหลื่อมกันเล็กน้อย ที่ผิวของลูกโรมีรูเป็นแนวยาวเจาะทะลุลงไปถึงรูกลวงตรงกลาง ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของลม เมื่อใส่ข้าวกล้องลงในกระบะรับข้าว เครื่องเคลื่อนย้ายแบบเกลียว (screw conveyor) จะพาข้าวกล้องเข้าไปยังช่องว่างระหว่างลูกโรกับตะแกรง ลูกโรจะพาข้าวกล้องให้หมุนไปและเกิดการขัดสีกันเอง (ณรงค์ ,2538)



ภาพที่ 5 ลักษณะการขัดสีระหว่างเมล็ดข้าวด้วยกัน

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก United Nations Industrial Development Organization (1985)



ภาพที่ 6 เครื่องขัดสีระหว่างเมล็ดข้าวด้วยกันเอง

ที่มา : ดัดแปลงจาก United Nations Industrial Development Organization (1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว ได้แก่ พันธุ์ข้าว ความหนาของชั้นต่างๆ รูปร่าง ขนาดและความทนทานต่อการแตกหักของเมล็ดข้าว รวมทั้ง วิธีการ เครื่องมือ และสภาวะในการขัดสี (Barber และ Banedito de Barber,1980) องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ 14% ความชื้น

ส่วนของข้าว	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน(กรัม)	เส้นใย (กรัม)	เถ้า(กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	เส้นใยอาหาร (กรัม)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	64-73	16.4-19.2
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	73-87	2.9-3.9
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	77-89	0.7-2.3
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	34-62	24-29
แกลบ	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-45.9	13.2-21.1	22-34	66-74

ที่มา : ดัดแปลงจาก Juliano(1993)

3.3.1 คาร์โบไฮเดรต

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุด รองลงมาคือ เส้นใย ซึ่งได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และลิกนิน ที่เหลือเป็นน้ำตาลอิสระ ได้แก่ ซูโครส ราฟฟิโนส กลูโคส ฟรุกโทส (อรอนงค์,2532) ในส่วนชั้นที่เป็นรำข้าวไม่พบสตาร์ช แต่หลังจากผ่านกระบวนการขัดสี จะมีการขัดสีส่วนที่เป็นสตาร์ชของเอนโดสเปิร์มออกมาด้วย (Houston,1972)

3.3.2 ไขมันและกรดไขมัน

รำข้าวประกอบด้วยไขมันประมาณร้อยละ 16-32 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว (Juliano,1985) Taira(1989) ได้รายงานชนิดและปริมาณของกรดไขมันในรำข้าว 2 สายพันธุ์คือ Indica

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Japonica พบว่า รำข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีไขมันร้อยละ 20-27 กรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดในรำข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ คือ Oleic acid รองลงมาคือ Linoleic และ Palmitic acid ตามลำดับ นอกจากนี้ Orthoefer (1996) รายงานว่ารำข้าวมีฟอสโฟลิปิดประมาณร้อยละ 4-5

3.3.3 โปรตีนและสารประกอบไนโตรเจน

รำข้าวมีโปรตีนประมาณร้อยละ 12.0-15.6 และโปรตีนหลักในรำข้าว คือ แอลบูมิน และโกลบูลิน ปริมาณไนโตรเจนในรำข้าวจะมีความแตกต่างกันประมาณร้อยละ 1-3 และเมื่อนำปริมาณไนโตรเจนคูณกับ 5.95 จะเป็นปริมาณโปรตีนของรำข้าว สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆได้แก่ กวานีน แซนทีน อะดีนีน กรดนิโคตินิก เป็นต้น (Barber และ Benedito de Barber,1980)

3.3.4 วิตามิน

รำข้าวเป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินบี และ วิตามินอี รวมทั้ง Oryzanol แต่มีปริมาณของวิตามินเอและวิตามินซีต่ำ ปริมาณของวิตามินในรำข้าวนั้นค่อนข้างแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าวและการขัดสี (Barber และ Benedito de Barber ,1980)

3.3.5 แร่ธาตุ

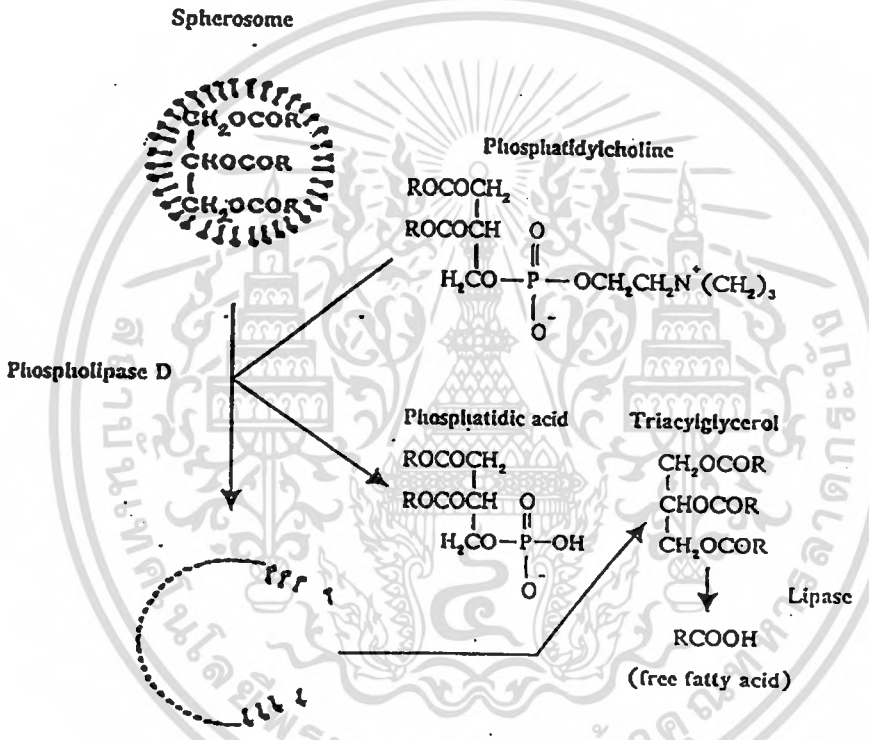
แร่ธาตุที่พบมากในรำข้าวคือ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม และแมกนีเซียม แต่รำข้าวมีแคลเซียม คลอไรด์ เหล็ก และโซเดียมต่ำ โดยฟอสฟอรัสในรำข้าวจะพบมากในรูปของกรดไฟติก กรดนิวคลีอิก ฟอสเฟตและฟอสฟาไทด์ (Barber และ Benedito de Barber,1980)

3.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าวเนื่องจากเอนไซม์

รำข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสและฟอสโฟไลเปส โดย Takano (1993) ได้สรุปขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงไขมันจากรำข้าวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไว้ดังแสดงในภาพที่ 7 เอนไซม์ไลเปสจะพบอยู่ในส่วนของ testa ส่วนไขมันจะพบมากในส่วนของแอลิวโรนและคัพภะ ซึ่งในคัพภะมีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสถึงร้อยละ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสทั้งหมด เมื่อเมล็ดข้าวผ่านกระบวนการขัดสีได้ส่วนที่เป็นรำข้าว เอนไซม์ไลเปสและไขมันจะมาอยู่รวมกัน และเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยเริ่มจากฟอสฟาติดิลโคลีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ spherosome membrane ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสดี ได้กรดฟอสฟาติดิกจึงทำให้ spherosome membrane ถูกทำลาย ดังนั้น ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งอยู่ใน spherosome จึงออกมาและทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ละสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทำให้เกิดกลิ่นหืนซึ่งทำให้คุณภาพของรำข้าวลดลง (Takano,1993)



ภาพที่ 7 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันรำข้าวเนื่องจากเอนไซม์ไลเปสและฟอสโฟไลเปส
ที่มา : ดัดแปลงจาก Takano (1993)

3.5 การรักษาความคงตัวให้กับรำข้าว

ในการรักษาความคงตัวให้กับรำข้าวมีจุดประสงค์เพื่อทำลายเอนไซม์ จุลินทรีย์ หรือ แมลง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพของรำข้าว และเพื่อรักษาองค์ประกอบที่สำคัญในรำข้าวได้แก่ ไขมัน โปรตีน วิตามิน (United Nations Industrial Development Organization,1985) การรักษาความคงตัวให้กับรำข้าวแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 การใช้สารเคมี

การรักษาความคงตัวให้กับรำข้าวด้วยการใช้สารเคมี เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร และยังต้องคำนึงถึงความเป็นพิษเนื่องจากสารเคมี การเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร และต้นทุนการผลิต ซึ่งสารเคมีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ โซเดียมเมตาโบซัลไฟต์ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ จะเกิดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่มีพิษต่อสุขภาพและมีผลต่อสภาพบรรยากาศ (United Nations Industrial Development Organization,1985) นอกจากนี้ ได้มีการรายงานถึงการใช้กรดไฮโดรคลอริกเพื่อลดพีเอชของรำข้าว ซึ่งจะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลง (Prahakar และ Venkatesh,1986)

3.5.2 การใช้วิธีทางกายภาพ

3.5.2.1 การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บรำข้าวที่อุณหภูมิต่ำใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 0-5 องศาเซลเซียส เพื่อลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แต่ไม่ได้หยุดปฏิกิริยาหรือหยุดการทำงานของเอนไซม์ เมื่อนำรำข้าวมาไว้ที่อุณหภูมิห้องก็ทำให้เอนไซม์มีกิจกรรมขึ้นมาอีกครั้ง โดยทั่วไป การทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นจะได้ผลดี แต่เป็นการยากที่จะนำไปปฏิบัติในระดับอุตสาหกรรมที่มีรำข้าวเป็นจำนวนมาก เนื่องจากรำข้าวมีระบบของการถ่ายเทความร้อนต่ำ และถ้าต้องการเก็บรำข้าวระดับอุตสาหกรรม จะต้องเป็นระบบแช่เย็น ซึ่งจะเพิ่มต้นทุนในการเก็บรักษา

3.5.2.2 การเก็บในสภาพปรับบรรยากาศ เช่น การลดปริมาณออกซิเจน เพื่อลดการเจริญของจุลินทรีย์ การเจริญเติบโตของแมลง และลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น แต่ไม่สามารถทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสได้

3.5.2.3 การใช้ความร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการรักษาความคงตัวให้กับรำข้าว ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง และมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่แบ่งได้เป็น 2 วิธีคือการให้ความร้อนแบบชื้นเช่น การใช้ไอน้ำและการใช้วามร้อนแบบแห้ง เช่น การอบด้วยลมร้อน เป็นต้น (United Nations Industrial Development Organization,1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 โปรตีนรำข้าว

3.6.1 การจำแนกชนิดโปรตีนในรำข้าว

การจำแนกชนิดโปรตีนในธัญชาติ สามารถแบ่งได้ตามตำแหน่ง หน้าที่ทางชีววิทยา สมบัติการละลาย และองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจำแนกชนิดของโปรตีนในธัญชาติ

การจำแนกชนิดของโปรตีนในธัญชาติ

ตำแหน่ง	หน้าที่ทางชีววิทยา	สมบัติการละลาย	องค์ประกอบทางเคมี
1. โปรตีนในเอนโดสเปิร์ม	โปรตีนที่มีหน้าที่เกี่ยวกับเมตาบอลิซึม	1. แอลบูมิน	1. โปรตีนธรรมดา
2. โปรตีนในชั้นแอลิวโรน	2. เอมไซม์	2.โกลบูลิน	2. โปรตีนเชิงประกอบ
3. โปรตีนในคัพภะ	3. โปรตีนสะสม	3. โปรลามิน	ไลโปโปรตีน
	ชนิดมวลโมเลกุลต่ำ	4. กลูเตลิน	ไกลโคโปรตีน
	ชนิดมวลโมเลกุลสูง	5. โปรตีนส่วนที่เหลือ	นิวคลีโอโปรตีน เมทัลโลโปรตีน โครโมโปรตีน ฟอสโฟโปรตีน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Lasztity (1996)

Hamada (1997) ได้ทำการสกัดแยกโปรตีนชนิดต่างๆ จากรำข้าวสายพันธุ์ Bengall,Cypress,Della,Mars,Maybelle และ Toro-2 ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า รำข้าวจากข้าวต่างสายพันธุ์จะมีปริมาณโปรตีนแต่ละชนิดแตกต่างกัน และพบว่า สามารถสกัดโปรตีนจากรำข้าวพันธุ์ Mars ได้มากที่สุด (ร้อยละ 73.7) และสกัดโปรตีนจากรำข้าวพันธุ์ Toro-2 ได้น้อยที่สุด (ร้อยละ 56.1) โดยแอลบูมินและโกลบูลินเป็นโปรตีนที่มีมากในรำข้าว และมีโปรตีนส่วนที่เหลือ (residue protein) ที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้โดย Hamada (1997) ได้อธิบายว่า เป็นโปรตีนกลูเตลินที่ไม่ละลายซึ่งมีการเกิดพันธะข้ามและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะไดซัลไฟด์ของสารโพลีเปปไทด์มากและแข็งแรง จำเป็นต้องมีการเติมสารประเภท disulfide breaking reagent และจะต้องใช้สภาวะที่มีความเป็นด่างสูง จึงจะสามารถสกัดโปรตีนส่วนที่เหลือออกมาได้

ตารางที่ 3 ชนิดและปริมาณของโปรตีนในรำข้าวจากข้าวสายพันธุ์ต่างๆ(ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

พันธุ์ข้าว	แอลบูมิน	โกลบูลิน	โปรลามิน	กลูเตนิน	ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ทั้งหมด	โปรตีนส่วนที่เหลือ	
						ละลายในด่าง	ไม่ละลายในด่าง
Bengal	34.7b	17.4a	6.7ab	11.9bc	69.9cd	29.4a	0.1a
Cypress	33.0b	13.7a	7.8b	9.7ab	64.9b	30.4a	5.5c
Della	32.2b	13.5a	5.7a	10.4b	61.2ab	35.7b	2.6b
Mars	39.5c	17.0a	5.3a	12.1bc	73.7d	24.2a	2.6b
Maybelle	33.4b	12.8a	5.9a	14.7c	66.2bc	28.9a	4.5c
Toro-2	30.2a	14.3a	5.3a	6.6a	56.1a	42.2c	1.7b

ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ที่มา : ดัดแปลงจาก Hamada (1997)

3.6.2 การสกัดโปรตีนจากรำข้าวและองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนรำข้าวเข้มข้น

3.6.2.1 การสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยสารละลายด่าง เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสกัดโปรตีนในเชิงพาณิชย์ โดยอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีนซึ่งโปรตีนสามารถละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง Chen และ Houston (1970) ศึกษาการสกัดโปรตีนจากรำข้าวสายพันธุ์ California Pearl ที่ผ่านการสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสกัด ได้แก่ ระยะเวลาในการสกัด (0.25-4.0 ชั่วโมง) อัตราส่วนระหว่างน้ำกลั่นต่อรำสกัด (5:1 – 15:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก) ค่าพีเอชที่ใช้ในการสกัด (7.0 – 12.0) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ระยะเวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างน้ำกลั่นต่อรำสกัดเป็น 7.5:1 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) สกัดที่พีเอช 11.0 โดยสามารถสกัดโปรตีนได้ประมาณร้อยละ 50

Connor และคณะ (1976) ได้เปรียบเทียบ %protein recovery และองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าว 2 ชนิดคือ รำข้าวสด และรำสกัดไขมันด้วยวิธี X-M process โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สภาวะในการสกัดดังนี้ อัตราส่วนระหว่างรำสด และรำสกัดไขมันต่อน้ำกลั่นเป็น 1:5 และ 1:4ตามลำดับ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่พีเอช 9.0 ใช้เวลาในการสกัด 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากสกัด นำมาแยกกากรำด้วยเครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก นำสารละลายโปรตีนรำข้าวมาตกตะกอน โดยแบ่งเป็น 2 วิธี คือ ตกตะกอนด้วยการให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส พีเอช 6.0 และอีกวิธีคือการตกตะกอนด้วยสภาวะที่เป็นกรด โดยทำการปรับพีเอชเป็น 4.0 เหวี่ยงแยกและนำตะกอนโปรตีนรำข้าวมาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดมีความเข้มข้นโปรตีนน้อยกว่าโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำสกัดไขมัน แต่มีความเข้มข้นของไขมันสูงกว่า และการตกตะกอนโปรตีนรำข้าวด้วยการใช้ความร้อนทำให้ได้ %protein recovery สูงกว่าการตกตะกอนด้วยสภาวะกรดเล็กน้อย Betschart และคณะ(1977) รายงานว่าสามารถสกัดโปรตีนจากรำข้าว U.S. และ Protex และ Spanish ได้เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชในการสกัดมากกว่า 7 และสูงสุดที่พีเอช 8-10 ซึ่งสามารถสกัดโปรตีนได้ร้อยละ 63-66 และพบว่าสามารถสกัดโปรตีนจากรำข้าว Spanish ที่ผ่านการรักษาความคงตัวด้วยความร้อนที่ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ตั้งแต่พีเอช 2-9 ได้เพียงร้อยละ 20-22

ตารางที่ 4 ร้อยละของผลผลิตโปรตีนและองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสด และ รำสกัดไขมัน

โปรตีนรำข้าวเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	%protein recovery	องค์ประกอบทางเคมี					
		โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	สตาร์ช	
รำข้าวสด							
ตกตะกอนด้วยความร้อน		17.5	24.7	36.4	1.1	13.5	17.0
ตกตะกอนด้วยกรด		16.8	28.2	41.7	1.0	5.2	20.4
รำสกัดไขมัน							
ตกตะกอนด้วยความร้อน		20.5	33.7	8.2	1.6	17.0	25.5
ตกตะกอนด้วยกรด		16.8	43.0	12.2	1.6	5.7	29.7

ที่มา : ดัดแปลงจาก Connor และคณะ(1976)

3.6.2.2 การสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยเอนไซม์ เป็นวิธีการสกัดโปรตีนจากรำข้าวโดยใช้เอนไซม์ชนิดต่างๆ โดย Ansharullah และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาการสกัดโปรตีนจากรำข้าวสดโดยใช้เอนไซม์ทางการค้ากลุ่ม Carbohydrase 2 ชนิดคือ Viscozyme L (activity 120 FBG unit/ml สกัดจากเชื้อรา *Aspergillus sp.*) และ Celluclast 1.5 L (activity 1800 Novo cellulase unit/ml สกัดจากเชื้อ Trichoderms reesei) ที่พีเอช 3.8 ระยะเวลาในการสกัด 5 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส การใช้เอนไซม์ Celluclast สามารถสกัดโปรตีนจากรำข้าวได้ร้อยละ 28.6 และ 25.9 ตามลำดับ แต่การสกัดโปรตีนด้วยเอนไซม์ Viscozyme สามารถสกัดโปรตีนสูงกว่า ซึ่งสามารถสกัดโปรตีนได้ร้อยละ 51.0 และ 57.9 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก Celluclast เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์ β-glucan ซึ่งรำข้าวมี β-glucan อยู่น้อย ในทางกลับกันเอนไซม์ Viscozyme เป็นเอนไซม์ผสมของ arabanase,cellulase,hemicellulase และ xylanase ซึ่งจะมีผลในการตัดพันธะของสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ได้หลายชนิด ดังนั้น จึงทำให้สกัดโปรตีนจากรำข้าวได้มากกว่า

Wang และคณะ (1999) ได้ทำการสกัดโปรตีนจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการด้วยเอนไซม์ 2 ชนิดคือ Phytase (Finase S 40 สกัดจาก *Aspergillus niger* มี activity 40,000 phytase units/ml) และ xylanase (สกัดจาก Trichoderms longibrachiatum มี activity 4,000 Genencor xylanase units/ml) โดยมีขั้นตอนการสกัดดังนี้ ใช้รำสกัด 10 กรัม ผสมกับน้ำปราศจาก อิออน 75 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 5.0 จากนั้นเติมเอนไซม์ phytase และหรือ xylanase บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยปรับพีเอชเป็น 10.0 เหวี่ยงแยกกากรำนำสารสกัดมาปรับพีเอชเป็น 4.0 เพื่อตกตะกอนโปรตีน เหวี่ยงแยกนำตะกอนโปรตีนมาปรับสภาวะของโปรตีนรำข้าวให้เป็นกลาง และนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า การสกดัโปรตีนจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการด้วยเอนไซม์ phytase ร่วมกับ xylanase มี %protein recovery รำข้าวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 34.2 (ไม่มีการเติมเอนไซม์) เป็นร้อยละ 74.6 และโปรตีนรำข้าวเข้มข้นมีความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 72.5 (ไม่มีการเติมเอนไซม์) เป็นร้อยละ 92.0

3.6.3 <u>สมบัติของโปรตีนรำข้าว</u>

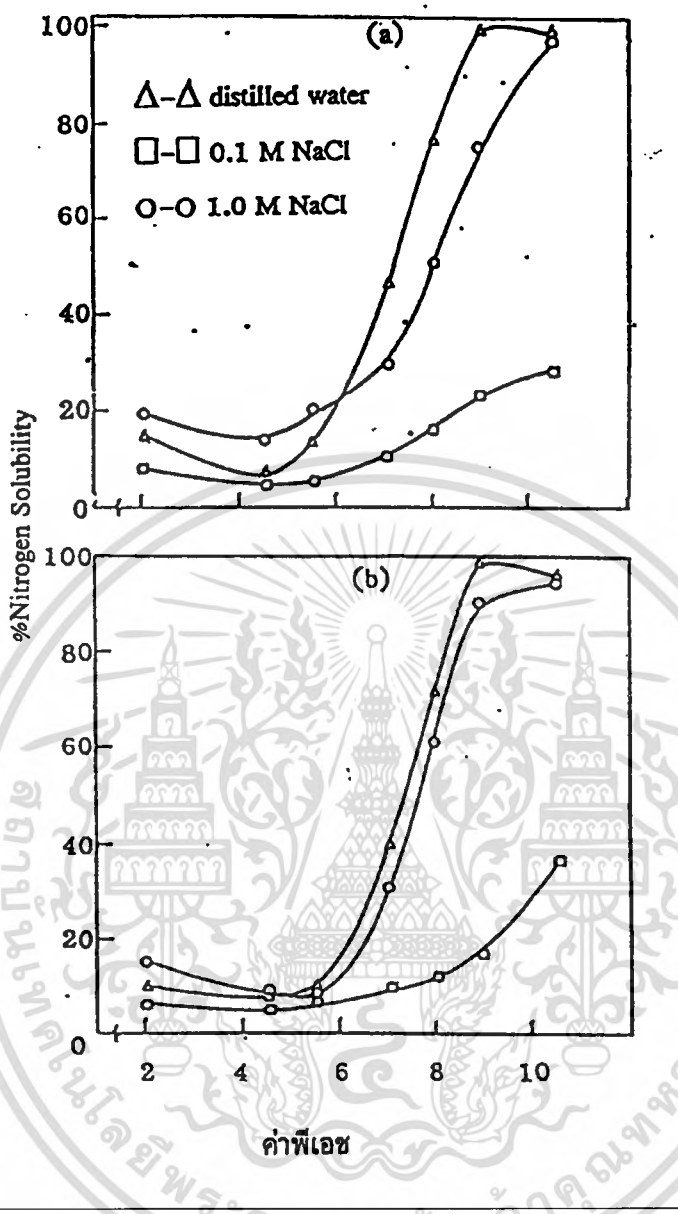
3.6.3.1 สมบัติเชิงหน้าที่ เป็นสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนที่มีผลต่อระบบของอาหารในระหว่างการเตรียม กระบวนการผลิต การเก็บรักษา การบริโภค คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการ (Kinsella, 1976)

3.6.3.1.1 การละลาย การละลายของโปรตีนเป็นความสมดุลทาง อุณหพลศาสตร์ระหว่างโปรตีนกับโปรตีนและโปรตีนกับตัวทำละลาย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสัมพันธ์ของส่วนที่เป็น hydrophobic และ hydrophilic ของโปรตีนกับตัวทำละลาย (Damodaran,1996a) Connor และคณะ(1976) ได้เปรียบเทียบการละลายของโปรตีนที่ผลิตจากรำข้าวซึ่งผ่านการตกตะกอน 2 วิธีคือ การตกตะกอนโดยการให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส พีเอช 6.0 และการตกตะกอนสภาวะที่เป็นกรดโดยการปรับพีเอชเป็น 4.0 พบว่าช่วงพีเอช 1.5-6.0 การละลายของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนแตกต่างกันไม่มาก แต่ที่พีเอช 7.5 โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผ่านการตกตะกอนด้วยความร้อนนั้น สามารถละลายได้ร้อยละ 20 แต่โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ตกตะกอนด้วยสภาวะกรดนั้น สามารถละลายได้ร้อยละ 70 จะเห็นได้ว่าวิธีการตกตะกอนก็จะมีผลต่อสมบัติการละลายของโปรตีนรำข้าว Bera และ Mukherjee (1989) ศึกษาการละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดและรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการที่ค่าพีเอชต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่า ทั้งโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดและรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการมีการละลายต่ำสุดที่พีเอช 4.5 และสามารถละลายได้สูงสุดที่พีเอช 9-10.5 โดยในช่วงพีเอชที่เป็นกรด การละลายของโปรตีนจะสูงขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์จะมีผลต่อการละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้น โดยที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 1.0 โมลาร์การละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นทั้ง 2 ลดลงอย่างมาก ซึ่งเกิดจากผลของ salting out แต่ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ การละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นทั้ง 2 มีการละลายสูงขึ้น เนื่องจากผลของ Salting in และพบว่า การละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นทั้ง 2 เพิ่มขึ้นเมื่อค่า ionic strength อยู่ในช่วง 0.2-0.8 แต่การละลายจะลดลงเมื่อค่า ionic strenght เป็น 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 การละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้น

a) โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสด b) โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิต

b) จากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการ

ที่มา : Bera และ Mukgerjse(1989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96861

Prakash และ Ramanatham(1995b) รายงานถึงผลของสภาวะในการทำแห้งที่มีต่อสมบัติการละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าโปรตีนรำข้าวเข้มข้นมีการละลายได้น้อยที่พีเอช 3.0-6.0 และพบว่า สภาวะในการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทำให้โปรตีนรำข้าวเข้มข้นมีการละลายต่ำกว่าโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผ่านสภาวะการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบถาด Gnanasambandam และ Hettiarachchy(1995) รายงานสมบัติการละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นรำข้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการรักษาความคงตัวด้วยความร้อน พบว่า โปรตีนรำข้าวเข้มข้นละลายได้น้อยที่สุดที่พีเอช 4.0 และละลายสูงสุดตั้งแต่พีเอช 8.0 และพบว่า ตั้งแต่พีเอช 6.0 โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ผ่านการรักษาความคงตัวด้วยความร้อนนั้นมีการละลายต่ำกว่าโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สกัดจากรำข้าวที่ไม่ผ่านการรักษาความคงตัว ทั้งนี้เนื่องจาก โปรตีนบางส่วนเกิดการสูญเสียโครงสร้างทางธรรมชาติเนื่องจากความร้อน โปรตีนเกิดการคลายตัวและเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์กับโปรตีนด้วยกันเองหรือกับสารประกอบอื่น จึงทำให้โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ผ่านการรักษาความคงตัวด้วยความร้อนนั้นมีการละลายต่ำกว่า

3.6.3.1.2 การเกิดอิมัลชัน อิมัลชันหมายถึง ระบบของเหลว 2 ชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยมีของเหลวชนิดหนึ่งเกิดเป็นเม็ดหยดกลมกระจายอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ระบบของอิมัลชันจะแบ่งตามลักษณะของการกระจายตัว ถ้าระบบเป็นหยดน้ำมันกระจายอยู่ในน้ำ เรียกว่า อิมัลชันระบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water;O/W) เช่น มายองเนส นม และถ้าระบบเป็นหยดน้ำกระจายอยู่ในน้ำมัน เรียกว่า อิมัลชันระบบน้ำในน้ำมัน (water-in-oil;W/O) เช่น มาการีน ถ้าโปรตีนทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ จะจัดอยู่ในกลุ่มของ biopolymer ซึ่งมีการจัดเรียงส่วน hydrophobic ของโมเลกุลโปรตีนที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับน้ำมัน (McClement,1999)

Bera และ Mukherjee (1989) รายงานว่า โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดมีค่า emulsion capacity สูงกว่าโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีค่าเป็น 150.10 และ 72.95 มิลลิลิตรน้ำมันที่เกิดอิมัลชัน/กรัมโปรตีน อาจเนื่องจากโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดนั้นมีปริมาณไขมันมากกว่า ซึ่งจะมีผลทำให้ค่า HLB (hydrophilic-lipophilic balance) มีความเหมาะสมต่อการเกิดอิมัลชันของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สกัดจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการด้วยเอนไซม์ Alcalase และ Flavourzyme โดยรายงานเป็นค่า emulsion activity และ emulsion stability เปรียบเทียบกับ bovine serum albumin และ casein ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ค่า emulsion astivity และ emulsion stability ของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สกัดจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการด้วยเอนไซม์ Alcalase และ Flavourzyme

โปรตีนรำข้าวเข้มข้น [1/]	ค่า emulsion activity [2/]			ค่า emulsion stability [3/]		
	พีเอช 5	พีเอช 7	พีเอช 9	พีเอช 5	พีเอช 7	พีเอช 9
สกัดด้วย Alcalase	0.10a	0.22a	0.48a	0.025b	0.046c	0.093d
สกัดด้วย Flavourzyme	0.20b	0.43b	0.51a	0.016a	0.041b	0.069c
Casein	0.28c	0.38b	0.97b	0.015a	0.041b	0.054b
Bovine serum albumin	0.37d	0.45b	0.55a	0.043c	0.029a	0.042a

[1/] ตัวอักษรที่เหมือนกันแนวตั้งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

[2/] วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร ที่เวลา t=0 นาที

[3/] วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร หลังจากเกิดอิมัลชัน 20 นาที

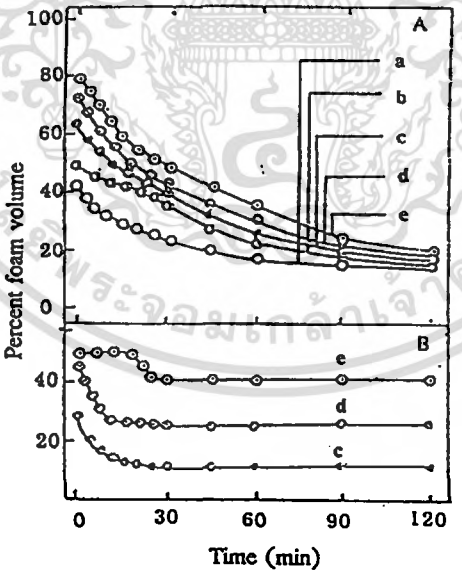
ที่มา : ดัดแปลงจาก Hamada (2000a)

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อพีเอชสูงขึ้น จะทำให้ค่า emulsion activity และ emulsion stability สูงขึ้น โดยพบว่า ที่พีเอช 9.0 สามารถเห็นความแตกต่างของค่า emulsion activity ได้อย่างชัดเจน โดยโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สกัดจากทั้ง Alcalase และ Flavourzyme และ bovine serum albumin มีค่า emulsion activity แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่า emulsion activity น้อยกว่า casein ส่วนค่า emulsion stability สูงกว่าทั้งโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สกัดจาก Flavourzyme , casein และ bovine serum albumin อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Hamada (2000b) ได้รายงานว่า emulsion activity ของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สกัดจากรำข้าวพันธุ์ Cypress และ Toro-2 โดยใช้เอนไซม์ Alcalase ที่ระดับการไฮโดรไลซิสร้อยละ 2 และ 4 ซึ่งพบว่า เมื่อระดับการไฮโดรไลซิสเพิ่มขึ้น ค่า emulsion activity จะเพิ่มขึ้นทั้งที่พีเอช 5 และ 7 และพบว่า สมบัติการเกิดอิมัลชันของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการละลาย

3.6.3.1.3 สมบัติการเกิดโฟม สมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนหมายถึง ความสามารถของโปรตีนที่ทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับของเหลว และรักษาความคงตัวให้กับฟิล์มไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงกระทำจากภายนอก (Damodaran,1996b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bera และ Mukherjee (1989) รายงานว่า โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดมีค่า foaming capacity สูงสุดร้อยละ 30.54 ปริมาตรของโฟม/ปริมาตรทั้งหมด ส่วนโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการมีค่า foaming capacity เป็นร้อยละ 60 ปริมาตรของโฟม/ปริมาตรทั้งหมด การที่โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดมีค่า foaming capacity ต่ำกว่าโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการนั้น เนื่องจากโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดมีปริมาณไขมันสูงกว่า ซึ่งทำให้สมบัติของการเกิดโฟมลดลง เพราะไขมันมีค่า surface active มากกว่าโปรตีน ซึ่งจะถูกดูดซับที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับของเหลงได้ดีกว่าโปรตีน (Damodaran,1996a) และพบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลไรด์ 0.1 โมลาร์ ทำให้โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดและรำสกัดไขมันในห้องปฏิบัติการนั้น มีค่า foaming capacity เพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ กลับทำให้ค่า foaming capacity ลดลง ทั้งโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวสดและรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการ Prakash และ Ramanatham(1995b) เปรียบเทียบสมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผ่านสภาวะในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่ค่าพีเอชต่างๆ (ภาพที่ 9) พบว่า เมื่อพีเอชสูงขึ้น ค่า foaming stability ของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นสูงขึ้นและสภาวะในการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทำให้โปรตีนรำข้าวมีค่า foaming stability ต่ำกว่าโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผ่านสภาวะในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง



ภาพที่ 9 สมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำสกัดไขมันในระดับห้องปฏิบัติการ A) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง B) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

a = พีเอช 4.0 , b = พีเอช 6.0, c = พีเอช 8.0, d = พีเอช 10.0, e = พีเอช 12.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Prakash และ Ramanathan(1995b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3.2 คุณค่าทางโภชนาการ โปรตีนเป็นสารอาหารที่สำคัญและจำเป็นต่อสิ่งชีวิตหน้าที่พื้นฐานของโปรตีนในด้านคุณค่าทางโภชนาการคือ เป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่จำเป็น โดยขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณของกรดอะมิโน physiological availability และการที่ร่างกายนำกรดอะมิโนไปใช้หลังจากการย่อย ดูดซึม และผ่านเมตาบอลิซึมต่างๆ ซึ่งการดูดซึมและการนำกรดอะมิโนไปใช้ประโยชน์ ขึ้นอยู่กับแหล่งของโปรตีน กระบวนการผลิต ปฏิกิริยาสัมพันธ์กับองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหาร รวมทั้งอายุ และสุขภาพของผู้บริโภค (Damodaran,1996a)

3.6.3.2.1 การประเมิณในสัตว์ทดลอง เป็นวิธีการชั่งน้ำหนักของสัตว์ทดลองที่เพิ่มขึ้นหรือปริมาณของไนโตรเจนที่คงไว้ในสัตว์ทดลองเมื่อให้อาหารที่ผสมโปรตีนที่ต้องการทดสอบ โดยมีอาหารที่ไม่มีการผสมโปรตีนเป็นกลุ่มควบคุม โดยทั่วไป นิยมทดลองในหนู ในช่วงเวลาทดลองของแต่ละวัน จะต้องมีตารางการให้อาหารกับสัตว์ทดลองและมีการเก็บอุจจาระและปัสสาวะเพื่อนำไปหาปริมาณไนโตรเจน ในการวิเคราะห์คุณภาพของโปรตีนด้วยวิธีนี้ สามารถรายงานเป็นค่าต่างๆ เช่น Protein Efficiency Ratio (PER), Net Protein Ratio (NPR), True Digestibility (TD) เป็นต้น (Damodaran,1996a)

3.6.3.2.2 การประเมินด้วยวิธีทางเคมี ในการประเมินคุณภาพของโปรตีนในสัตว์ทดลองโดยทั่วไปจะมีค่าใช้จ่ายสูงและค่อนข้างใช้เวลา วิธีการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีน หาได้จากการหาปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนและนำมาเปรียบเทียบกับกรดอะมิโนที่จำเป็นของโปรตีนอ้างอิง ซึ่งรายงานเป็นค่า Chemical Score (Damodaran,1996a) โดย

$$\text{Chemical Score} = \frac{\text{(ม.ก. ของกรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนที่ทดสอบ / กรัมโปรตีนที่ทดสอบ)}}{\text{(ม.ก. ของกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดเดียวกันในโปรตีนอ้างอิง / กรัมของโปรตีนอ้างอิง)}}$$

กรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดใดที่มีค่า Chemical score ต่ำที่สุดจะถือว่าเป็นกรดอะมิโนจำกัด (limitting amino acid) (Damodaran,1996a)

3.6.3.2.3 การประเมิณโดยใช้เอนไซม์และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การใช้เอนไซม์ โดยการนำโปรตีนมาทำการย่อยด้วยเอนไซม์โปรตีเอส เช่น เปปซิน ทริปซิน โคโมทริปซิน เป็นต้น ภายใต้สภาวะที่กำหนด สำหรับการวัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นิยมวัดการเจริญของเชื้อ *Streptococus Zymogenes, Leuconostoc mesenteroides* และ *Tetrahymena pyriformis* (Damodara,1996a)

Prakash และ Ramanathan(1995c) ได้ทำการวิเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ผ่านการรักษาความคงตัวด้วยความร้อน และการใช้กรดไฮโดรคลอริก (ตารางที่ 6) พบว่า กรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่มีมาก คือ ไลซีน และมีไทโรซีน ฟีนิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อะลานีน และทริปโตเฟน ในปริมาณปานกลาง ซึ่งสอดคล้องกับ Gnanasambandam และ Hettiarachchy (1995)ที่รายงานว่าโปรตีนรำข้าวเข้มข้นมีกรดอะมิโนไลซีนอยู่สูง นอกจากนี้ Prakash และ Ramanathan (1995c) รายงานว่า โปรตีนรำข้าวมีกรดอะมิโนจำกัดคือ ทรีโอนีน (มีค่า Chemical score เป็น 61.5) และ ไอโซลิวซีน (มีค่า Chemical score เป็น 66.0) และพบว่า กรดอะมิโนที่มีความไวและเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนจากการรักษาความคงตัวกับรำข้าว ได้แก่ ไลซีน และฟีนิลอะลานีน นอกจากนี้ Prakash และ Ramanathan (1995c) ได้รายงานว่า การทำแห้งโปรตีนรำข้าวเข้มข้นด้วยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งนั้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลของโปรตีนอย่างเหมาะสม จึงทำให้ได้ค่า %in-vitro digestibility ค่อนข้างสูง (ร้อยละ 96) แต่การรักษาความคงตัวให้กับรำข้าวด้วยวิธีการใช้ความร้อนและการนึ่งข้าวด้วยไอน้ำนั้น อาจเป็นสภาวะการให้ความร้อนที่สูงมาก จนทำให้โปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติอย่างมาก จึงทำให้เอนไซม์ pancreatin และ pepsin ทำการย่อยโปรตีนได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงมีค่า %in-vitro digestibility ค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 57.3-61.2) นอกจากนี้ พบว่า ค่า PER ของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการรักษาความคงตัวด้วยกรด และผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้งนั้นมีค่าเป็น 2.02 และ 2.19 และมีค่าNPR เป็น 3.11 และ 2.79 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในโปรตีนรำข้าวเข้มข้น

กรดอะมิโนที่จำเป็น (มิลลิกรัม/กรัมโปรตีน)	โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ไม่ผ่านการรักษาความคงตัว	โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ผ่านการรักษาความคงตัว	
		กรดไฮโดรคลอริก	
ความร้อน			
ฮิสติดีน	32.7	33.5	37.7
ไอโซลิวซีน	42.9	44.2	44.8
ลิวซีน	86.1	83.7	68.6
ไลซีน	55.5	51.4	17.4
เมทไธโอนีน	18.5	18.7	17.4
ฟีนิลอะลานีน	55.2	55.3	44.7
ทรีโอนีน	30.8	32.1	33.4
ทริปโตเฟน	13.0	10.9	11.9
วาลีน	53.7	54.6	55.1

ที่มา : ดัดแปลงจาก Prakash และ Ramanathan(1995c)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์และวิธีการ

4.1. วัตถุดิบ

รำข้าว

- รำละเอียด
- รำหยาบ

รำข้าวพันธ์ข้าวหอมมะลิ 105 ได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

4.2. สารเคมี

- Potassium dihydrogen Phosphate (KH_2PO_4)	Carloerba Reagenti
- Disodium hydrogen Phosphate anhydrous ($NaHPO_4$)	Carloerba Reagenti
- Sodiumbicarbonate ($NaHCO_3$)	Merck
- Sodiumcarbonate (Na_2CO_3)	Carloerba Reagenti
- Disodiumtetraborate($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)	Merck

4.3. อุปกรณ์

- เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็ก (variomag electronicruhrer mono)
- Bar
- เครื่องเหวี่ยงแยกแบบควบคุมอุณหภูมิ (Centrikon F-42k)
- หลอดสำหรับใช้ในการเหวี่ยงแยกพร้อมฝา
- เทอร์โมมิเตอร์ -40 องศาเซลเซียส
- เครื่องวัดพีเอช (schott cg 842)
- เครื่องชั่ง (sartorius bp 3100s และ hr-200)
- Aluminum can
- Hot air oven (WTB binbor E 53)
- ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ประกอบด้วยเครื่องย่อยตัวอย่างและเครื่องกลั่นไนโตรเจน
- ชุดวิเคราะห์ไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. ขั้นตอนและวิธีการ

4.4.1 ขั้นตอนการสกัดโปรตีนจากรำข้าว

ขั้นตอนการสกัดโปรตีนจากรำข้าวประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ ขั้นตอนการสกัดไขมัน ดังภาพที่ 10 ขั้นตอนที่สอง คือ การสกัดโปรตีน ด้วย สารละลายด่าง ดังภาพที่ 11 โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ Ravin G&N.S. Hettiarachchy (1995) และ Jamuna Prakash (1996)

ภาพที่ 10 ขั้นตอนการสกัดไขมันจากรำข้าว

ที่มา : Ravin G&N.S. Hettiarachchy (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ภาพที่ 11</u> ขั้นตอนการสกัดโปรตีนจากรำข้าวที่สกัดไขมันออกแล้ว

ที่มา : Jamuna Prakash (1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2. การศึกษาผลของขนาดรำข้าวที่มีต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้

ทำการศึกษาผลของขนาดของรำข้าวโดยใช้รำข้าว 2 ขนาด คือ รำหยาบ และ รำละเอียด มาสกัดโปรตีนตามวิธีการในข้อที่ 4.1 แล้วนำไปเปรียบเทียบน้ำหนักของผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้แล้ววิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Multiple Duncan Ranking โปรแกรม SPSS V.11

4.4.3. การศึกษาผลของอัตราส่วนรำข้าวต่อสารละลายด่างที่มีต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้

นำรำข้าวชนิดที่ให้ปริมาณโปรตีนมากที่สุดจากการทดลองในข้อ 4.2 มาทำการสกัดโปรตีนโดยศึกษาอัตราส่วนของรำข้าวต่อสารละลายด่าง 3 ระดับ คือที่ 1:5, 1:7 และ 1:9 นำมาเปรียบเทียบน้ำหนักของผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Multiple Duncan Ranking โปรแกรม SPSS V.11 เพื่อเลือกใช้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาต่อไป

4.4.4. การศึกษาผลของ พีเอช และ เวลา ในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้

ทำการศึกษาผลของ พีเอช และเวลาในการสกัด โดยการวางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 3×3 โดยปัจจัยแรกคือ พีเอชที่ 7, 9 และ 12 และ ปัจจัยที่สอง คือ เวลาในการสกัดที่ 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ทำการสกัดโปรตีนตามวิธีการดังข้อที่ 4.1 โดยใช้สภาวะที่เลือกมาจากข้อที่ 4.2 และ 4.3 มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Multiple Duncan Ranking โปรแกรม SPSS V.11

4.4.5. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของ Crude Protein

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว และ Crude Protein ที่สกัดได้ ได้แก่ โปรตีน (%N × 5.95) ไขมัน และปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

ตารางที่ 7 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียดและรำหยาบ พบว่าปริมาณโปรตีนในรำละเอียดสูงกว่าปริมาณโปรตีนในรำหยาบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ้าพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีสามารถคาดการณ์ได้ว่ารำหยาบน่าจะมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมาจากส่วนของเปลือกอยู่สูง

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียดและรำหยาบ (กรัม / 100 กรัม)

ชนิดของรำข้าว	ความชื้น	ไขมัน	โปรตีน
รำหยาบ	8.114[a]	1.816[a]	3.532[a]
รำละเอียด	8.435[b]	23.301[b]	10.948[b]

a,b ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.2 ผลของการศึกษาปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าว 2 ชนิด

รำข้าว 2 ขนาดคือ รำหยาบ มีขนาด 42 mesh ซึ่งได้จากการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้องและ รำละเอียดมีขนาด 80 mesh ได้จากขั้นตอนการขัดขาว และขัดมัน โดยจากข้อมูลของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาพบว่ามีปริมาณของรำหยาบร้อยละ 3.4 (กรัมต่อ 100 กรัมของข้าวกล้อง) และปริมาณของรำละเอียดร้อยละ 6 (กรัมต่อ 100 กรัมของข้าวกล้อง)รำทั้งสองชนิดถูกนำมาสกัดโปรตีนอาศัยหลักการความสามารถในการละลายในสารละลายบัฟเฟอร์โดยในการทดลองขั้นแรกเลือกใช้สารละลายบัฟเฟอร์ ของ บอแรกซ์ บัฟเฟอร์ ที่พีเอช 9 เวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง ผลของปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้เมื่อใช้รำข้าวทั้งสองแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณของผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้จากรำละเอียดและรำหยาบ (กรัม / 100กรัม)

ชนิด	ปริมาณผลผลิตโปรตีน (กรัม/100กรัม)
รำหยาบ	0.29255[a]
รำละเอียด	3.5632[b]

a,b ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่าปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้จากการใช้รำละเอียดมีค่าสูงกว่าปริมาณผลผลิตโปรตีนที่ได้จากรำหยาบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองสอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 7 ปริมาณผลผลิตโปรตีนในรำละเอียดมีค่ามากกว่าทำให้การสกัดสามารถสกัดปริมาณผลผลิตโปรตีนได้มากกว่า นอกจากนี้ในระหว่างการสกัดโปรตีนโดยใช้สารละลายด่างจากรำหยาบ ค่าความหนืดของสารละลายสูงมาก ทำให้การกวนผสมทำได้ยาก ดังนั้น ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้รำละเอียดเพราะนอกจากให้ปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สูงแล้วขั้นตอนในการสกัดก็ทำได้ง่ายกว่า

5.3 ผลการศึกษาของอัตราส่วนรำข้าวต่อสารละลายด่างที่มีต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้

ผลของอัตราส่วนของรำข้าวต่อสารละลายด่างที่ พีเอช 9 ต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้เมื่อใช้อัตราส่วนของรำข้าวต่อสารละลายด่างที่ระดับต่างๆ

อัตราส่วนของรำข้าวต่อสารละลายด่าง	ปริมาณผลผลิตโปรตีน (กรัม/100กรัม)
1:5	2.4526[a]
1:7	3.2524[b]
1:9	3.5304[c]

a,b,c ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

พบว่าเมื่ออัตราส่วนของรำข้าวต่อสารละลายด่าง เพิ่มขึ้นจาก 1:5 ไปเป็น 1:9 ทำให้ปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่อัตราส่วนของรำข้าวต่อสารละลายด่างสูงขึ้นทำให้การกวนผสมในระหว่างการสกัดด้วยเครื่องกวนผสมแบบแท่งแม่เหล็ก ทำได้ง่ายขึ้นเนื่องจากความหนืดของสารละลายลดลงเป็นเหตุให้โปรตีนสามารถละลายออกมาในสารละลายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลของการศึกษาผลของ พีเอช และ เวลา ในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้

ผลของ พีเอชและเวลาในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณของผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้เมื่อใช้พีเอชและเวลาที่ระดับต่างๆ

pH	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณผลผลิตโปรตีน(กรัม/100 กรัม)
7	1	1.608a
	2	1.503a
	4	1.592a
9	1	3.235b
	2	3.530b
	4	4.177b
12	1	6.181c
	2	5.705c
	4	6.040c

a,b,c ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ในการทดลองเมื่อพีเอชเปลี่ยนจาก 7 ไปเป็น 9 และ 12 เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง ไปเป็น 4 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์สถิติ (ภาคผนวกที่ 2.3) เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมของพีเอชและเวลาในการสกัดต่อปริมาณโปรตีนผลผลิตที่สกัดได้พบว่า ทั้งสองปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกันกับปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพีเอชของสารละลายด่างที่สกัดเพิ่มขึ้นจาก 7 ไปเป็น 12 ทำให้ปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ ศิริวัฒน์ (2545) การที่พีเอชของสารละลายด่างสูงขึ้นอาจทำให้โปรตีนกลูเตลินละลายออกมาได้มากขึ้น นอกจากนี้สภาวะที่เป็นด่างสูงๆอาจไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์ที่อยู่ในโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีนทำให้โมเลกุลคลายตัวสามารถละลายออกมาได้มากขึ้น(Hamada,1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 องค์ประกอบทางเคมีของปริมาณผลผลิตของโปรตีนที่สกัดได้

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนที่สกัดได้ด้วยวิธี AOAC (1999) พบว่าค่าความชื้น ไขมัน โปรตีน มีค่าเท่ากับ 0.061 , 16.587 และ 53.26 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลผลิตโปรตีนแสดงว่ายังมีคาร์โบไฮเดรตหลงเหลืออยู่มากๆ โดยคาร์โบไฮเดรตที่หลงเหลืออยู่อาจเชื่อมต่อกับโปรตีนในรำข้าวทำให้การสกัดโดยใช้หลักการละลายของโปรตีนไม่สามารถเอาคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้ออกมาได้ Ansharultah และคณะ (1997) ได้ทดลองสกัดโปรตีนรำข้าวโดยใช้เอนไซม์ทางการค้าในกลุ่ม Carbohydrase พบว่าสามารถช่วยสกัดโปรตีนออกจากรำข้าวได้

นอกจากนี้ปริมาณไขมันที่หลงเหลืออยู่ในผลผลิตโปรตีนสูงถึง 16.6 % ในขั้นตอนการสกัดไขมันออกอาจต้องเพิ่มระยะเวลาหรือเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุปผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาของขนาดรำข้าวที่มีต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้พบว่ารำละเอียดจะให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่ารำหยาบ

2. ผลการศึกษาของอัตราส่วนระหว่างรำข้าวกับสารละลายด่างที่ใช้ในการสกัดที่มีต่อปริมาณผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้พบว่าอัตราส่วนที่ 1:12 จะให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด

3. ผลการศึกษาของพีเอชและเวลาในการสกัดที่มีต่อปริมาณผลผลิตของโปรตีนที่สกัดได้ พบว่า ถ้าพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 7 ไปเป็น 12 ทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามการเพิ่มเวลาในการสกัดจาก 1 ชั่วโมง ไปเป็น 4 ชั่วโมงไม่ทำให้ปริมาณผลผลิตมีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เอกสารอ้างอิง

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. องค์ประกอบ และการเปลี่ยนแปลงเคมีกายภาพของอาหาร. ฟอร์แมทพริ้นติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ. 237น.

ศิริวัฒน์ มงคลกาญจนศิริ. 2545. การผลิตโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าว. วิทยานิพนธ์ (วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร)), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. เคมีทางธัญญาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 148 น.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2534. ผลิตภัณฑ์จากข้าวและคุณค่าทางโภชนาการ. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร 2 (2), 109.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 44 น.

Ansharullah, J.A. Hourigan and C.F. Chesterman. 1997. Application of carbohydrases in extracting protein from rice bran. J.Sci. Food Agric. 74:141-146.

Barber,S. and C. Benedito de Barber. 1980. Rice bran : Chemistry and technology, pp 791-862. *In B,S,* Luh(ed.). Rice : Production and Utilization. AVI Publ.Co.,Inc,Westport.

Bera, M.B. and R.K. Mukherjee. 1989. Solubility, emulsifying, and foarming properties of rice bran protein concentrates. J.Food Sci. 54:142-145.

Betschart, A.A., R.Y. Fong and R.M. Saunders. 1977. Rice by-products : Comparative extraction and precipitation of nitrogen from U.S. and Spanish bran and germ. J. Food Sci. 42 : 1088-1094.

Beuchart, L.R., J.P. Cherry and M.R. Quinn. 1975. Physicochemical properties of peanut flour as affected by proteolysis. J. Agric. Food Chem. 23 : 616-618.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chen, L. and D.F. Houston. 1970. Solubilization and recovery of protein from defatled rice bran. Cereal Chem. 47 : 72-79

Connor, M.A., R.M. Saunders and G.O. Kohler. 1976. Rice bran protein concentrates obtained by wet alkaline extraction. Cereal Chem. 53 : 488-496.

Damodaran, S. 1996a. Amino acid, peptides, and proteins, pp. 321-430. *In* O.R. Fenema(ed.). Food Chemistry. Marcel Dekker, Inc., New York.

Damodaran, S. 1996b. Functional properties, pp. 167-224. *In* S. Nakai and H.W. Modler(eds.). Food Protein Properties and Characterization. VHC Publishers, Inc., New York

Finfeeds International Ltd. "Prozyme: Application in Corn-Based Diets for Young and Grower/Fisher Pigs and for Lactation Sows."[COMPACT DISC]. (N.C.)

Giese, J. 1994. Protein as ingredients : Types, functions, application. Food Technol.68(10) : 50-60.

Hamada, J.S. 1997. Characterization of protein fraction of rice bran to devise effective methods of protein solubilization. Cereal Chem. 74(5) : 662-668.

Hamada, J.S. 1999. Use of protease to enhance solubilization of rice bran protein. J, Food Biochem. 23 : 307-321.

Hamada, J.S. 2000a. Ultrafiltration of partially hydrolyzed rice bran protein to recovery value-added products. J. Amer. Oil Chem. Soc. 77 : 779-784.

Hamada, J.S. 2000b. Characterization and functional properties of rice bran protein modified by commercial exoproteases and endoproteases. J. Food Sci. 65 :305-310.

Houston, D.F. 1972. Rice : Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Pual, Minnesota. 517 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jamuna Prakash. 1996. Rice Bran Proteins : Properties and Food Uses. Department of Studies in Food Science and Nutrition, University of Mysore,India . pp. 537-552.

Juliano, B.O. 1985. Rice : Chemistry and Techology. 2 nd(ed.,) American Association of Cereal Chemists, St. Pual, Minesota. 774 p.

Kinsella, J.E. 1976. Functional properties of food proteins : A review. CRC Crit. Rev. Food Sci.Nutr. 7 :219-280.

Kohler, G.O. and C.K. Lyon. 1977. Plant Protein Sources,pp. 516-541. *In* J.R. Whitaker and S.R. Tannenbaum (eds.). Food Protein. AVI Publ. Co.Inc., Westport, Connecticut.

Lasztity,R. 1996. The Chemistry of Cereal Proteins. 2nd(ed.). CRC Press, Inc, Boca Raton, Floride. 328 p.

Lawhon, J.T., L.J. Manak, K.C. Rhec, K.S, Rhec and E.W. Lusas. 1981. Combining aqueous extraction and membrane isolation techniques to recovery protein and oil from soybeans, J, Food Sci. 46 : 912-919.

McClement, D.J. 1999. Food Emulsions : Principles, Practice and Techniques. CRC Press, New York. 378 p.

Orthoefer, F.T. 1996, Rice bran oil : Healthy lipid source. Food Technol. 50(12) : 62-64.

Paredes-Lopez, O. and C. Ordorica-Falomir. 1986. Production of safflower protein isolates : Composition, yield and protein quality. J.Sci. Food Agric. 37 : 1097-1103.

Prahakar, J.V, and K.V.L. Venkatesh. 1986. Simple Chemical method for stabilization of rice bran. J. Amer.Oil Chem. Soc. 63(5) :644 – 646.

Ravin G. and N.S. Hettiarachchy . 1995. Protein Concentrates from Unstabilized and Stabilised Rice Bran : Preparation and Properties. Journal of Food Science. Volumn 60,No. 5. p.1066.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summer, A.K.,M.A. Nielsen and C.G. Youngs. 1981. Production and evaluation of pea protein isolate. J. Food Sci. 46 : 364-367.

Taira, H. 1989. Fatty acid composition of Indica and Japonica-types of rice bran and milled rice.J. Amer. Oil Chem Sci. 66(9) : 1326-1329.

Takano, K. 1993. Mechanism of lipid hydrolysis in rice bran. Cereal Foods World. 38(9) :695-698.

United Nations Industrial Development Organization. 1985. Rice Bran an Under-Utilized Raw Material. United Nations, New York. 251 p.

Vose, J.R. 1980. Production and functionality of starches and protein isolates from legume seeds (field pea and horse bean). Cereal Chem. 57(6) : 406-410.

Wang, M., N.S. Hettiarachchy, M. Qi, W. Burks and T. Siebenmorgen. 1999. Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. J. Agric. Food Chem. 47(2) :411-416.

Wang, J.C. and J.E. Kinsella. 1976. Functional properties of novel proteins : Alfalfa leaf protein. J. Food Sci. 41 : 286 – 292.

Wolf, W.J. 1977. Legumes : Seed composition and structure, processing into protein products and protein properties, pp. 291-314. *In* J.R. Whitaker and S.R. Tannenbaum (eds.). Food Protein. AVI Publ. Co. Inc, Westport, Connecticut.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

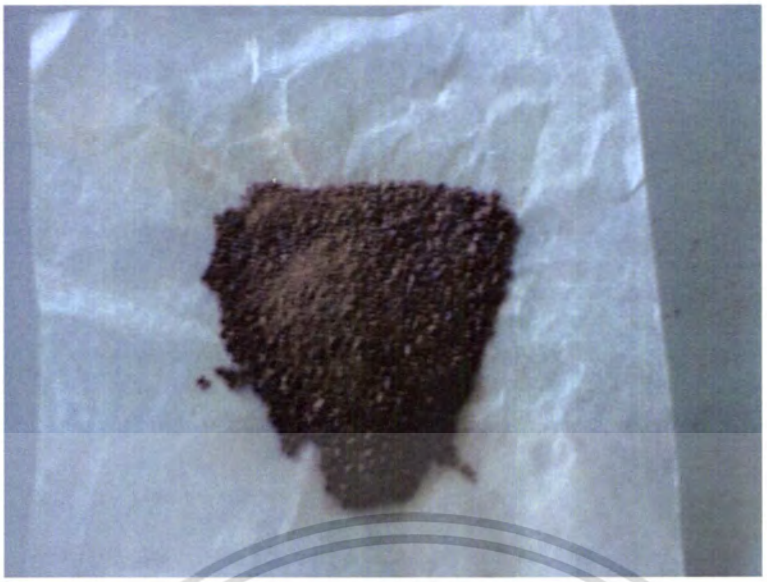
ภาคผนวก

ภาพอุปกรณ์และวิธีการในการศึกษาการสกัดโปรตีนจากรำข้าว

ภาพผนวกที่ 1 รำหยาบ

ภาพผนวกที่ 2 รำละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

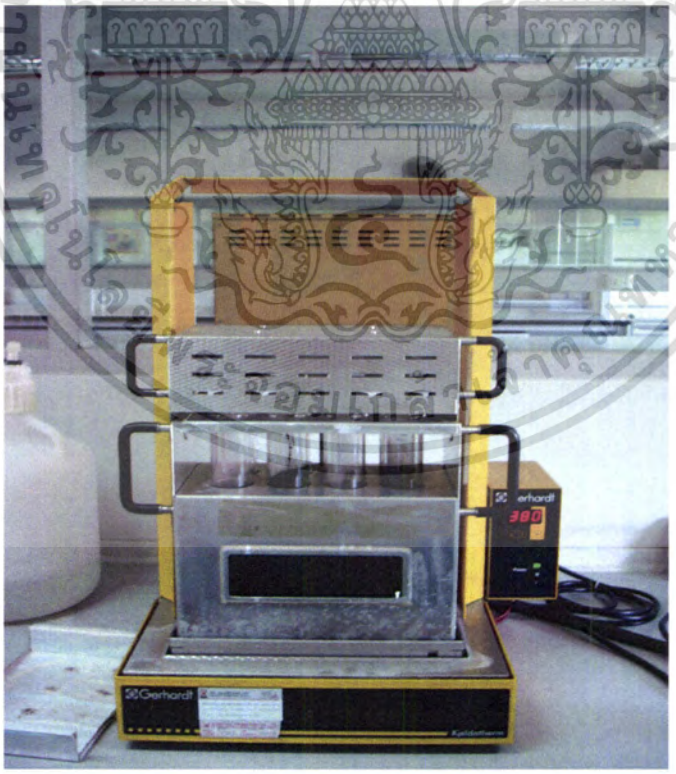


ภาพผนวกที่ 3 ลักษณะของโปรตีนที่สกัดได้

ภาพผนวกที่ 4 ขั้นตอนการกวนผสมด้วยเครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 5 ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น



ภาพผนวกที่ 6 เครื่องย่อยโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสองชนิด(กรัมต่อ100กรัม)

ชนิดรำข้าว	ครั้งที่1	ครั้งที่2	เฉลี่ย
รำละเอียด	3.5644	3.562	3.5632
รำหยาบ	0.3686	0.2165	0.29255

ตารางผนวกที่ 2 อัตราส่วนระหว่างรำข้าวกับสารละลายด่าง(กรัมต่อ100 กรัม)

อัตราส่วน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:5	2.4612	2.4438	2.4526
1:7	3.2846	3.2202	3.2524
1:9	3.5346	3.5272	3.5304

ตารางผนวกที่ 3 ปัจจัยของพีเอชและเวลาที่มีผลต่อการสกัดโปรตีน(กรัมต่อ100 กรัม)

พีเอช	เวลา	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
7	1	1.4796	1.7364	1.608
	2	1.4400	1.5654	1.5028
	4	1.6192	1.5988	1.5926
9	1	3.2784	3.1508	3.2346
	2	3.5346	3.5262	3.5304
	4	3.6594	4.695	4.1772
12	1	6.0616	6.2994	6.1806
	2	5.722	5.6864	5.705
	4	5.8052	6.2756	6.0404

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ชนิดของรำข้าว	ความชื้น	ไขมัน	โปรตีน
รำหยาบ	8.114	1.816	3.532
รำละเอียด	8.435	23.301	10.948
ผลผลิตโปรตีน	0.061	16.587	53.26

2.ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Multiple Duncan Ranking Test โปรแกรม SPSS V.11

2.1 ผลการวิเคราะห์ ชนิดของรำข้าวกับเวลา

ตารางผนวกที่ 5 Between-Subjects Factors

		N
Type	rough	2
	smooth	2

ตารางผนวกที่ 6 Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MASS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.297	1	5.297	323.479	.003
Intercept	7.303	1	7.303	445.952	.002
Type	5.297	1	5.297	323.479	.003
Error	3.275E-02	2	1.638E-02		
Total	12.633	4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Total	5.330	3			

a R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .991)

2.2 ผลการวิเคราะห์ อัตราส่วนของสารละลายด่างกับปริมาณรำข้าว

ตารางผนวกที่ 7 Between-Subjects Factors

		N
RATIO	1.5	2
	1.7	2
	1.9	2
TRT	1.00	1
	2.00	1
	3.00	1
	4.00	1
	5.00	1
	6.00	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 8 MASS

Duncan

	N	Subset		
RATIO		1	2	3
1.5	2	1.226250		
1.7	2		1.626200	
1.9	2			1.765450
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 1.877E-04.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b Alpha = .05.

ตารางผนวกที่ 9Tests of Between-Subjects Effects Dependent Variable: MASS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.313	2	.157	834.805	.000
Intercept	14.217	1	14.217	75740.088	.000
Type	.313	1	.157	834.805	.000
Error	5.631E-04	3	1.877E-04		
Total	14.531	6			
Corrected Total	.314	5			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ผลการวิเคราะห์ของพีเอชกับเวลา

ตารางผนวกที่ 10 Between-Subjects Factors

		Value Label	N
TIME	1	1hr	6
	2	2hr	6
	3	4hr	6
PH	1	7	6
	2	9	6
	3	12	6

ตารางผนวกที่ 11 Descriptive Statistics

Dependent Variable: MASS

TIME	PH	Mean	Std. Deviation	N
1hr	7	1.608000	.1815850	2
	9	3.214600	.0902268	2
	12	6.180500	.1681500	2
	Total	3.667700	2.0781262	6
2hr	7	1.502700	.0886712	2
	9	3.530400	.0059397	2
	12	5.704200	.0251730	2
	Total	3.579100	1.8798005	6
4hr	7	1.609000	.0144250	2
	9	4.177200	.7322798	2
	12	6.040400	.3326230	2
	Total	3.942200	2.0223778	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME	PH	Mean	Std. Deviation	N
Total	7	1.573233	.1058014	6
	9	3.640733	.5490954	6
	12	5.975033	.2754002	6
	Total	3.729667	1.8808858	18

ตารางผนวกที่ 12 MASS

Duncan

	N	Subset
TIME		1
2hr	6	3.579100
1hr	6	3.667700
4hr	6	3.942200
Sig.		.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 8.056E-02.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b Alpha = .05.

ตารางผนวกที่ 13 MASS

Duncan

	N	Subset		
PH		1	2	3
7	6	1.573233		
9	6		3.640733	
12	6			5.975033
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 8.056E-02.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b Alpha = .05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 14 ANOVA

MASS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	59.416	8	7.427	92.198	.000
Within Groups	.725	9	.081		
Total	60.141	17			

ตารางผนวกที่ 15 MASS

Duncan

	N	Subset for alpha = .05			
TRT		1	2	3	4
2.00	2	1.502700			
1.00	2	1.608000			
3.00	2	1.609000			
4.00	2		3.214600		
5.00	2		3.530400		
6.00	2			4.177200	
8.00	2				5.704200
9.00	2				6.040400
7.00	2				6.180500
Sig.		.728	.295	1.000	.143

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ด่าง

3.1 พีเอช 7

Phosphate buffer solution (0.0249 M) เติมโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 3.387 g และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 3.533 g ลงในน้ำกลั่นประมาณ 500-600 มิลลิลิตร คนให้สารละลายจนหมด จากนั้นปรับปริมาณด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 1 ลิตรวัดค่าพีเอชด้วยพีเอชมิเตอร์ หากพีเอชยังไม่เป็นที่ต้องการให้ปรับด้วย กรดซัลฟูริก(H_2SO_4)หรือ ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 N

3.2 พีเอช 9

Borax BufferSolution (0.00996 M) ผสมไดโซเดียมเตตระบอเรต($Na_2B_4O_7 \cdot H_2O$) 3.8 gลงในน้ำกลั่นประมาณ 500-600 มิลลิลิตร คนให้สารละลายจนหมด จากนั้นปรับปริมาณด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 1 ลิตร วัดค่าพีเอชด้วยพีเอชมิเตอร์ หากพีเอชยังต่ำกว่า 9 ให้ปรับค่าด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 N จนค่าพีเอชเป็น 9

3.3 พีเอช 12

Sodium Bicarbonate-carbonate Buffer Solution (0.0249M)ผสมโซเดียมคาร์บอเนต($NaHCO_3$) 2.092 g และ โซเดียมไบคาร์บอเนต(Na_2CO_3) 2.640 g ลงในน้ำกลั่นประมาณ 500-600 มิลลิลิตร คนให้สารละลายจนหมด จากนั้นปรับปริมาณด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 1 ลิตร วัดค่าพีเอชด้วยพีเอชมิเตอร์ หากพีเอชยังต่ำกว่า 12 ให้ปรับค่าด้วยด่างด้วยโซเดียมไดออกไซด์(NaOH) 1Nจนค่าพีเอชเป็น 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้