

การเพิ่มมูลค่ากากรำข้าวเพื่อเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุ

Value added de-fatted rice bran waste for mineral nutritional supplements



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AI-M-053-259

การเพิ่มมูลค่ากากรำข้าวเพื่อเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุ

Value added de-fatted rice bran waste for mineral nutritional supplements



ตีปตระกูล วานิชศรี

Subtrakul Vanichsri

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AI-M-053-259

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Value Added De-fatted Rice Bran Waste for Mineral Nutritional
Supplements**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2016

KMITL-2016-AI-M-053-259

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มมูลค่ากากรำข้าวเพื่อเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุ
VALUE ADDED DE-FATTED RICE BRAN WASTE FOR MINERAL
NUTRITIONAL SUPPLEMENTS

ชื่อนักศึกษา นายสืบตระกูล วานิชศรี
รหัสประจำตัว 55680207
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตรการอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง	
รศ.ดร.สนธิสุข ชีระชัยชยติ	
ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ	
รศ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 26 กรกฎาคม 2559 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 29 เดือน ๗๓ พ.ศ. ๒๕๕๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มมูลค่าการนำข้าวเพื่อเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุ
นักศึกษา	นาย สืบตระกูล วานิชศรี
รหัสประจำตัว	55680207
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ประมวล ศรีกาหลง

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว พบว่า การนำรำข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน 4 รูปแบบ ไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุเบื้องต้นด้วยเทคนิค EDS (energy-dispersive x-ray spectroscopy) พบว่ามีแร่ธาตุหลัก 7 ชนิด ประกอบไปด้วย โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), ฟอสฟอรัส (P), แมกนีเซียม (Mg), ซัลเฟอร์ (S), คลอรีน (Cl) และ แร่ธาตุรอง 1 ชนิดคือ เหล็ก (Fe) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่าสภาวะในการเก็บรักษารำข้าวในกลุ่มของ รำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชม. ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB1) มีปริมาณแร่ธาตุมากที่สุด รองลงมาคือ รำข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชม. ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB3), รำข้าวที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB2) และรำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชม. ก่อนนำไปสกัดไขมัน และโปรตีน (RB4) ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่า RB1 มีปริมาณแร่ธาตุรวมสูงสุด จึงเลือก RB1 มาวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธีมาตรฐาน ICP-OES เพื่อยืนยันว่า RB1 มีปริมาณ P, Ca, Fe และ Zn ในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นอาหารเสริมได้ต่อไป โดยผลที่ได้พบว่า RB1 มีปริมาณแร่ธาตุ P, Ca, Fe และ Zn เท่ากับ 6,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 322.391 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 126.876 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 38.199 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นจึงนำตัวอย่าง RB1 ไปกำจัดโปรตีนด้วยวิธีการใช้เอนไซม์ปาเปนเปรียบเทียบกับการใช้เอนไซม์ปาเปน และกรดควมคู่กัน พบว่า มีปริมาณแร่ธาตุคงเหลืออยู่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ จากนั้น บรรจุผงแร่ธาตุลงในแคปซูลเบอร์ 0 ปริมาณ 0.5 กรัม พบว่าสารสกัดแร่ธาตุชนิดผง 1 แคปซูล ประกอบไปด้วยแร่ธาตุสำคัญคือ P, Ca, Fe และ Zn เท่ากับ 48.63 มิลลิกรัม, 2.4 มิลลิกรัม, 0.9 มิลลิกรัม และ 0.2948 กรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Value added de-fatted rice bran waste for mineral nutritional supplements
Student	Mr. Subtrakul Vanichsri
Student ID	55680207
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2016
Thesis advisor	Assist. Prof. Dr. Pramoun Srikalong

Abstract

The factors that affect mineral contents in defatted rice bran were studied. Four rice bran types with different stored conditions were selected to determine the elements by EDS (energy-dispersive x-ray spectroscopy) including seven kinds of major elements : Sodium (Na), Potassium (K), Calcium (Ca), Phosphorus (P), Magnesium (Mg), Sulphur (S), Chlorine (Cl) and the minor element was Iron (Fe). Maximum amount of mineral was found from defatted rice bran at room temperature (30 degree Celsius) within 24 hours (RB1), followed rice bran stored at lower temperatures 5 degree Celsius within 48 hours before fat extraction (RB3), rice bran stored at room temperature within 48 hours before being taken to extract fat (RB2) and rice bran through the fat and protein extraction (RB4), respectively. The selected RB1 was determined the maximum mineral contents by standard methods ICP-OES to prove that the RB1 has Ca, Fe, P and Zn in sufficient quantity to make a mineral supplement product. The result shown that RB1 had : P (6,300 mg/kg), Ca (322.391 mg/kg), Fe (126.876 mg/kg) and Zn (38.199 mg/kg) ,respectively. After that, RB1 was brought to restrain the action of protein decomposing by using papain. Comparing between papain with acid found that the mineral quantity remaining was not different on the statistical at $p > 0.05$. Afterwards containing the mineral powder was contained into the 0.5 grams capsule. For only one capsule of the element powder extraction was composed P (48.63 mg.), Ca (2.4 mg.), Fe (0.9 mg.) and Zn (0.2948 mg.)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตของสาขา วิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ภาควิชา อุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ดร. ประมวล ศรีกาหลง ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการแก้ไขปัญหา และข้อมูลต่างๆ ระหว่างการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณท่านกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์, รศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยดี และ ผศ.ดร. อพิชชา จินดาประเสริฐ ที่ช่วยให้คำแนะนำตรวจสอบและ แก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค และเจ้าหน้าที่ของภาควิชา อุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่คอยดูแล อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือ และสารเคมี ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้

ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำและเป็นกำลังใจให้ ทำงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุก ท่าน หากปราศจากความช่วยเหลืออันดีจากผู้มีพระคุณทั้งหลาย งานวิจัยนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วง ได้ และผู้เขียนขอขอบคุณผู้แต่งและสำนักพิมพ์ของหนังสืออ้างอิงดังกล่าวเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจอ่านทั่วไป และหากมีข้อความใดหรือเนื้อหาตอนหนึ่งตอนใดผิดพลาดไปเนื่องจากการ พิมพ์หรือด้วยเหตุใดก็ตาม ผู้จัดทำยินดีรับการติชมจากผู้อ่านด้วยใจจริง

สืบตระกูล วานิชศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข้าว.....	4
2.2 องค์ประกอบของข้าว.....	4
2.3 ชนิดของข้าว.....	5
2.4 การจำแนกชนิดของข้าวตามประเภทของเนื้อในหรือองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวสาร.....	6
2.5 คุณลักษณะของเมล็ดข้าว.....	7
2.6 ไร่ข้าว.....	8
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในไร่ข้าว.....	10
2.8 การนำไร่ข้าวไปใช้ประโยชน์.....	11
2.9 แร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย.....	12
2.10 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน.....	18
2.11 เอนไซม์จากอาหาร (Food Enzyme).....	22
2.12 เอนไซม์ย่อยอาหาร (Digest Enzyme).....	25
2.13 การละลายของตัวยา (Dissolution).....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อ IV ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง.....	33
3.1 วัสดุคืบ.....	33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	33
3.3 สารเคมี.....	34
3.3 สถานที่ทำการทดลอง.....	34
3.4 วิธีการทดลอง.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	40
4.1 ผลการศึกษาวิธีการเตรียมรำข้าว.....	40
4.2 ผลการศึกษาร้อยประกอบทางเคมีของรำข้าว.....	41
4.3 ผลการศึกษาสภาวะการเก็บรักษารำข้าว และการสกัดโปรตีนที่มีผลต่อปริมาณ แร่ธาตุในกากรำข้าว.....	42
4.4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุในสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวที่ผ่านการ ย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริก.....	45
4.5 ผลการศึกษ ปริมาณแร่ธาตุในผงแร่ธาตุสกัดต่อ 1 แคปซูล.....	46
4.6 ผลการศึกษความสามารถในการแตกตัวของแคปซูล (Disintegration) ที่เตรียม ในรูปอาหารเสริมแร่ธาตุ.....	47
4.7 ผลการศึกษความสามารถในการละลายเลียนแบบทางอาหาร (Solubility test)	47
4.8 ผลการศึกษการละลายเลียนแบบทางยา (Dissolution testing)	48
4.9 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของอาหารเสริมแร่ธาตุ.....	49
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	51
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	59
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS.....	69
ประวัติผู้วิจัย	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อVอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงองค์ประกอบต่างๆ ด้านคุณค่าทางอาหารภายในข้าวกล้อง ข้าวสาร ำข้าว และ กัพะยะ (จมูกข้าว) ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม.....	8
2.2	แสดงค่าปริมาณสารอ้างอิงที่ควรจะได้รับประจำวัน (DRA) ของแร่ธาตุชนิดต่างๆ...	17
2.3	แสดงการย่อยสารอาหารที่ตำแหน่งต่างๆของร่างกาย.....	26
4.1	แสดงปริมาณของส่วนต่างๆของข้าวจากการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน.....	40
4.2	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ผ่านการขัดสี.....	41
4.3	แสดงผลปริมาณแร่ธาตุหลัก และแร่ธาตุรองของกากรำข้าวที่เก็บในสถานะที่ แตกต่างกันและวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS.....	43
4.4	แสดงปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) และวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES.....	44
4.5	แสดงปริมาณแร่ธาตุของสารสกัดที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับสารสกัดแร่ธาตุที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และย่อยด้วยกรด ไฮโดรคลอริก.....	45
4.6	แสดงปริมาณแร่ธาตุสำคัญต่อหนึ่งแคลชูล และ % RDI ของสารสกัดแร่ธาตุชนิดผง	46
4.7	แสดงการแตกตัวของสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวชนิดแคลชูล	47
4.8	แสดงร้อยละการละลายของสารสกัดรำข้าวชนิดผง	47
4.9	แสดงปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างรำข้าวผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) เปรียบเทียบกับข้าวขัดสีและธัญพืช.....	49

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ส่วนประกอบของข้าว..... 5
2.2	แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) 20
2.3	แสดงการทำงานของเอนไซม์ 23
2.4	ขั้นตอนการละลายของยาเตรียมรูปแบบของแข็ง 28
2.5	Diffusion layer model 29
4.1	แสดงการเปรียบเทียบการละลายของสารสกัดแร่ธาตุในสภาวะกรด และด่าง..... 48
ข1	(a) แสดงสเปกตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1), (b) แสดงลักษณะทางกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม.(RB1) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM... 68
ข2	(a) แสดงสเปกตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. (RB2) , (b) แสดงลักษณะทางกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. (RB2) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM 69
4.4	(a) แสดงสเปกตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 °C เป็นเวลา 48 ชม. (RB3) , (b) แสดงลักษณะทางกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 °C เป็นเวลา 48 ชม. (RB3) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM..... 70
4.5	(a) แสดงสเปกตรัมปริมาณแร่ธาตุของปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันและโปรตีนหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB4) , (b) แสดงลักษณะทางกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันและโปรตีนหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB4) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM 71

เอนไซม์ไลเปสในรำข้าวที่จะเริ่มทำงานอย่างรวดเร็วภายหลังกระบวนการสีข้าว อาจมีผลต่อปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในรำข้าว หรือองค์ประกอบของรำข้าว เช่น ปริมาณ โปรตีนในรำข้าว เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษา เพื่อเพิ่มมูลค่ารำข้าวด้วยการผลิตเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุจากธรรมชาติได้ในอนาคต

นิธิยา รัตนานพนธ์ (2545) กล่าวว่าปริมาณเถ้าในอาหารเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุในอาหารนั้นๆ ถ้าอาหารใดมีปริมาณเถ้าสูงแสดงว่ามีแร่ธาตุต่างๆ เป็นองค์ประกอบอยู่มาก การหาปริมาณเถ้าหาได้โดยนำตัวอย่างอาหารจำนวนหนึ่งไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500-550 °C โดยสารประกอบอินทรีย์ต่างๆในอาหารจะสลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจนไดออกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไอน้ำที่จะระเหยกกลายเป็นไอจนหมด คงเหลือแต่เถ้าของโลหะเท่านั้นที่ยังคงตัวไม่ระเหยกกลายเป็นไอ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวอย่างให้เป็นเถ้า จะมีผลต่อการสลายตัวของออกไซด์ที่เกิดขึ้นเช่น ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 600 °C จะมีการสูญเสียโซเดียมคลอไรด์ออกไปจากเถ้าด้วย

ในปัจจุบันอาหารเสริมทั้งหลายที่เน้นกลุ่มวิตามิน และเกลือแร่ มักมาจากสารสังเคราะห์ซึ่งอาจทำให้ผู้บริโภคหลายคนอาจตั้งข้อสงสัยถึงความปลอดภัยในระยะยาวของการบริโภค แต่หากสามารถสกัดแร่ธาตุจากธรรมชาติเหล่านี้ได้ เพื่อใช้เป็นอาหารเสริม ก็จะมีโอกาสได้รับการยอมรับจากผู้ที่รักสุขภาพทั้งหลาย ที่ไม่ต้องการรับประทานวิตามินหรือแร่ธาตุสังเคราะห์ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำงานวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าการรำข้าวด้วยการผลิตเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุจากธรรมชาติ โดยพิจารณาถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ในการสกัดแร่ธาตุจากการรำข้าวที่ถูกสกัดน้ำมันออกแล้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษา ผลของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการสีข้าว รวมถึงศึกษาผลของโปรตีน ที่มีต่อปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในรำข้าวมาทำเป็นอาหารเสริมให้แก่ผู้ที่ขาดแร่ธาตุหรือผู้สูงอายุที่ระบบการย่อยและการดูดซึมอาหารเสื่อมลงเนื่องจากอายุที่มากขึ้นซึ่งในปัจจุบันยังไม่พบว่ามีผู้ทดลองสกัดแร่ธาตุออกจากส่วนที่เป็นกากของรำข้าวได้เลย งานวิจัยที่ทำขึ้นนี้อาจเป็นประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการ หรือผู้สนใจที่จะเพิ่มมูลค่าให้แก่การรำข้าวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว
2. เพื่อศึกษาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเก็บรักษากากรำข้าวก่อนการสกัดไขมันและแยกโปรตีน
3. เพื่อศึกษาการแยกโปรตีนจากกากรำข้าว โดยการย่อยเลียนแบบกระเพาะอาหาร
4. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตอาหารเสริมแร่ธาตุชนิดแคปซูลจากกากรำข้าวที่สกัดไขมันออกแล้ว

1.3 ขอบเขตการศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าว ชื่อวิทยาศาสตร์: *Oryza sativa* เป็นพืชล้มลุกจัดอยู่ในตระกูลหญ้า (Family : Gramineae หรือ Poaceae สกุล ออไรซ่า (Genus : *Oryza*) ที่พบมากในเอเชีย (Moldenhauer and Gibbons, 2003) ข้าวเป็นธัญพืชซึ่งประชากรโลกบริโภคเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2555) ข้าวเป็นธัญพืชซึ่งมีการปลูกมากที่สุดเป็นอันดับสองทั่วโลก รองจากข้าวโพด Smith (1998) กล่าวว่าข้าวเป็นธัญพืชสำคัญที่สุดในด้านโภชนาการและการได้รับแคลอรี ของมนุษย์ เพราะเมื่อเปรียบเทียบถึงจำนวนแคลอรีต่อไร่แล้ว ข้าว นับว่าเป็นพืชที่ให้แคลอรี ต่อไร่สูงสุดในบรรดาธัญพืชทั้งหลาย ยกตัวอย่างเช่น ผลผลิตเฉลี่ยข้าวของโลก 1 ไร่สามารถเลี้ยงประชากรจำนวน 0.91 คนต่อปี ในจำนวนกิโลแคลอรี เฉลี่ยต่อคนต่อวันที่ได้จากอาหารทุกชนิดจากฟาร์มทั้งหมด 2,666 กิโลแคลอรี ของโลก ปรากฏว่า เป็นจำนวนกิโลแคลอรี ที่ได้จากรice 628 กิโลแคลอรี หรือคิดเป็นร้อยละ 23 ของทั้งหมด จากการสำรวจของ Pilavong และคณะ (2012) พบว่าร้อยละ 40 ของประชากรโลกอาศัยข้าวเป็นแหล่งพลังงานหลัก ประชากรโลกจำนวน 1.3 พันล้านคนมีการบริโภคมากกว่าครึ่งหนึ่งของอาหารทั้งหมด และประชากรโลกอีกจำนวน 400 ล้านคน บริโภคข้าวร้อยละ 25-50 ของอาหารทั้งหมดที่ได้รับ ทั้งนี้ข้าวคิดเป็นพลังงานกว่าหนึ่งในห้าที่มนุษย์ทั่วโลกบริโภค

(สำนักวิจัยและพัฒนาข้าวกรมวิชาการเกษตร, 2555) ต้นข้าวสามารถโตได้ถึง 1-1.8 เมตร ขึ้นอยู่กับพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นหลัก มีใบเรียวยาว ยาว 50-100 เซนติเมตร และกว้าง 2-2.5 เซนติเมตร ช่อดอกห้อยยาว 30-50 เซนติเมตร เมล็ดกินได้เป็นผลธัญพืชยาว 5-12 มิลลิเมตร และหนา 2-3 มิลลิเมตร

2.2 องค์ประกอบของข้าว

ข้าวเป็นธัญพืช (cereal grain) ชนิดหนึ่ง เมล็ดข้าว หุ้มด้วยชั้นเปลือก หลายชั้น ชั้นนอกสุดเป็นแกลบ (husk) ซึ่งเป็นเซลลูโลส (cellulose) และ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ดังภาพที่ 2.1 กรมวิชาการเกษตร (2541) พบว่าเมื่อสีเอาชั้นแกลบออกจะได้ข้าวกล้อง ในเมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย จมูกข้าวหรือคัพพะ (germ หรือ embryo) และส่วนเอนโดสเปอร์ม หรือข้าวขาว

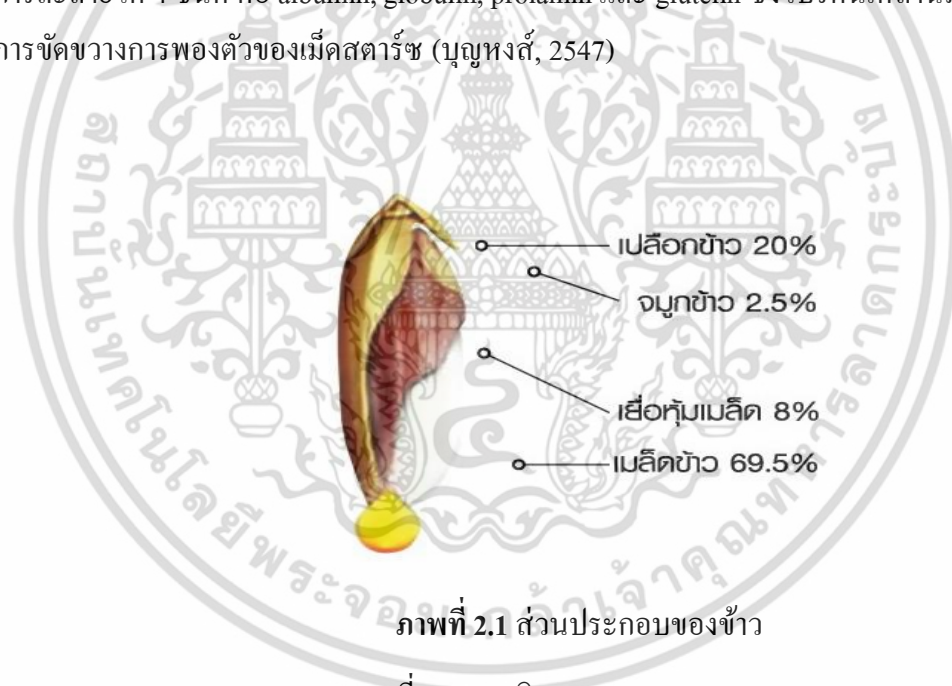
ห่อหุ้มด้วยชั้นรำข้าว (rice bran) ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดหลายชั้น เยื่อออเลอริน (aleurone) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

layer) หรือชั้นรำละเอียด เป็นชั้นในสุดที่ติดกับเอนโดสเปิร์ม มีโปรตีนสูง และไขมันสูง นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย cellulose และ hemicellulose

จมูกข้าว (germ) อยู่ติดกับ endosperm ทางด้าน lemma เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นต่อไป ประกอบด้วย ต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) เชื้อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) เชื้อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) มีโปรตีน และลิพิด (lipid) วิตามิน และแร่ธาตุสูง (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2550)

เอนโดสเปิร์ม (endosperm) คือส่วนเมล็ดข้าวสารที่นำมารับประทาน มีส่วนประกอบส่วนใหญ่ คือคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ที่เป็นสตาร์ช (starch) ซึ่งมี amylose และ amylopectin เป็นส่วนประกอบหลัก อยู่รวมเป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) สูง (พิมพ์เพ็ญ, 2556)

โปรตีนในข้าวที่ขัดสีแล้วมีปริมาณ ร้อยละ 7-8 โดยสามารถจำแนกตามความสามารถในการละลายได้ 4 ชนิด คือ albumin, globulin, prolamin และ glutelin ซึ่งโปรตีนเหล่านี้มีบทบาทในการขัดขวางการงอกตัวของเม็ดสตาร์ช (บุญหงส์, 2547)



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของข้าว

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2541)

2.3 ชนิดของข้าว

พืชตระกูลข้าว ที่มีอยู่บนโลกนี้มีมากถึง 120,000 สายพันธุ์ แต่พันธุ์ที่รู้จัก และนำมาปลูก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ *Oryza sativa* ที่นิยมเพาะปลูกในทวีปเอเชีย และ *Oryza glaberrina* ที่นิยมเพาะปลูก ในทวีปแอฟริกา แต่ข้าวที่ปลูก และซื้อขายกันในตลาดโลกเกือบทั้งหมดจะเป็นข้าวจากทวีปเอเชีย แบ่งเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะ และพื้นที่ปลูกได้ดังนี้ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าวกรมวิชาการเกษตร, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ข้าวอินดิกา (Indica) หรือข้าวเจ้า เป็นข้าวที่มีลักษณะเมล็ดเรียวยาวรี ลำต้นสูง เป็นข้าวที่นิยมเพาะปลูกในทวีปเอเชียเขตร้อน ตั้งแต่ จีน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย ไปจนถึงอินเดีย และศรีลังกา

2.3.2 ข้าวจาปอนิกา (Japonica) เป็นข้าวเหนียวเมล็ดป้อม กลมรี มีแหล่งกำเนิดจากทางภาคเหนือ และแพร่หลาย ในเขตอบอุ่นที่ ญี่ปุ่น เกาหลี รัสเซีย ยุโรป และอเมริกา

2.3.3 ข้าวจาวานิกา (Javanica) เป็นข้าวลักษณะเมล็ดป้อมใหญ่ นิยมเพาะปลูกในอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน หมู่เกาะริวกิว และญี่ปุ่น แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมนักเพราะให้ผลผลิตต่ำ ประเทศต่างๆ ในโลกต่างก็มีการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวใหม่ เพิ่มพื้นที่การเพาะปลูกข้าว และวิธีการปลูกข้าวให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น

2.4 การจำแนกชนิดของข้าวตามประเภทของเนื้อในหรือองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวสาร

2.4.1 การจำแนกชนิดของข้าวเจ้าตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ด (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2550)

2.4.1.1 ข้าวเจ้า สดาร์ช จากข้าวเจ้า ประกอบด้วย อะไมโลส (amylose) ประมาณร้อยละ 9-33 พันธุ์ข้าวเจ้า ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 60, กข7, เหลืองประทิว 123, ขาวตาแห้ง 17, พัทลุง 60, สุพรรณบุรี 1 และ สุรินทร์ 1

2.4.1.2 ข้าวเหนียว สดาร์ชจากข้าวเหนียว ประกอบด้วยอะไมโลเพกทิน (amylopectin) เป็นส่วนใหญ่ และมีอะไมโลส เพียงเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 5-7 เท่านั้น พันธุ์ข้าวเหนียว ได้แก่ สันป่าตอง 1, สกลนคร กข 2, กข 6 และ กข 8

2.4.2 การจำแนกชนิดของข้าวเจ้าตามปริมาณอะไมโลส และเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก โดยพันธุ์ข้าวเจ้าที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งได้ 3 กลุ่ม (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2550) คือ

2.4.2.1 ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำร้อยละ 9-20 ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ 105, กข.15, ปทุมธานี 1 และ กข 21 ลักษณะข้าวสุกจะเหนียว และนุ่ม

2.4.2.2 ข้าวที่มีปริมาณ อะไมโลสปานกลางร้อยละ 20-25 ได้แก่ กข. 23, กข. 7, สุพรรณบุรี 2 และ สุพรรณบุรี 60 ลักษณะข้าวสุกจะค่อนข้างเหนียว และนุ่ม

2.4.2.3 ข้าวที่มีปริมาณ อะไมโลสสูงร้อยละ 25-33 ได้แก่ เหลืองประทิว 123, ชัยนาท 1 และ สุพรรณบุรี 90 ลักษณะข้าวสุกจะร่วน และแข็ง

2.4.3 การจำแนกตามการปลูกของข้าว (ทรงเชาว์, 2531)

2.4.3.1 ข้าวไร่ ข้าวที่ปลูกในที่ดอนหรือในสภาพไร่ บริเวณไหล่เขาหรือพื้นที่ซึ่งไม่มีน้ำขัง ไม่มีการทำคันนาเพื่อกักเก็บน้ำ

2.4.3.2 ข้าวนาที่สูง ข้าวที่ปลูกในนาที่มีน้ำขังบนที่สูงตั้งแต่ 700 เมตรเหนือระดับน้ำ ทะเลขึ้นไป พันธุ์ข้าวนาที่สูงต้องมีความสามารถทนทานอากาศหนาวเย็นได้ดี

2.5 คุณลักษณะของเมล็ดข้าว

คุณภาพของเมล็ด (grain quality) แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ ซึ่งหมายถึง ลักษณะรูปร่าง และขนาดของเมล็ดที่มองเห็นได้ และคุณภาพทางเคมี ซึ่งหมายถึง องค์ประกอบทางเคมีที่รวมกันเป็นเม็ดแป้งของข้าวที่หุงต้มเพื่อบริโภค (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าวกรมวิชาการเกษตร, 2555)

2.5.1 คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ เป็นลักษณะที่เกี่ยวกับ ความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ดข้าวกล้อง ตลอดจนถึงการมีท้องไข่ของข้าวเจ้า นอกจากนี้คุณภาพในการสีเป็นข้าวสารก็ถือว่าเป็นคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดด้วย เมล็ดข้าวที่ตลาดต้องการ และถือว่ามีเมล็ดได้มาตรฐานนั้น เมล็ดข้าวกล้องจะต้องมีความยาวประมาณ 7 - 7.5 มิลลิเมตร ความกว้าง และความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร และมีหน้าตัดของเมล็ดค่อนข้างกลม ถ้าเป็นข้าวเจ้าเมล็ดจะต้องใส ไม่มีท้องไข่ การมีท้องไข่ของเมล็ดข้าวกล้องนั้นทำให้เมล็ดหักง่ายเมื่อเอาไปสีเป็นข้าวสาร ซึ่งทำให้ได้เมล็ดข้าวสารที่หักมาก ดังนั้น พันธุ์ข้าวที่รัฐบาลไทยส่งเสริมให้ชาวนาปลูกจะต้องมีคุณภาพเมล็ดได้มาตรฐาน ซึ่งเรียกว่า ข้าวพันธุ์ดี

2.5.2 คุณภาพเมล็ดทางเคมี เป็นลักษณะขององค์ประกอบของแป้งในเมล็ดข้าวกล้อง ข้าวเหนียว และข้าวเจ้าแตกต่างกันในชนิดของแป้งที่รวมกันเป็นเอ็นโดสเปิร์ม เมล็ดข้าวเหนียวประกอบด้วยแป้งชนิดอะไมโลเพกทินเป็นส่วนใหญ่ และมีแป้งอะไมโลสน้อยมาก คือ ประมาณร้อยละ 5 - 7 เท่านั้น ส่วนเมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วยแป้งชนิดอะไมโลส ประมาณร้อยละ 15 - 30 ของอะไมโลสในเมล็ดข้าวเจ้าของพวกอินดิกา และจาปอนิกาก็แตกต่างกัน ด้วย ข้าวอินดิกามีแป้งอะไมโลส ประมาณร้อยละ 20 - 30 ส่วนข้าวพวกจาปอนิกามีเพียงร้อยละ 15 - 20 ข้าวไทยที่มีร้อยละของแป้งอะไมโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 (ร้อยละ 22) ส่วนข้าวไทยที่มีร้อยละของแป้งอะไมโลสสูง ได้แก่ กข.1 (ร้อยละ 30) ร้อยละของแป้งอะไมโลสในเมล็ดของข้าว มีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค ข้าวเหนียวมีแป้งอะไมโลสน้อยกว่าข้าวเจ้า ข้าวเหนียวจึงหุงสุกเร็วกว่าข้าวเจ้า และข้าวเหนียวที่หุงสุกแล้วจะเหนียวกว่าข้าวเจ้าด้วย ในจำพวกข้าวเจ้าด้วยกัน เมล็ดของพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งอะไมโลสสูง เมื่อหุงสุกแล้ว เมล็ดข้าวสุกจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณแป้งอะไมโลสต่ำ ดังนั้น ผู้บริโภคที่ชอบรับประทานข้าวที่อ่อนนุ่ม จะต้องเลือกพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งอะไมโลส ประมาณร้อยละ 20 - 25 นอกจากชนิดของแป้งอะไมโลเพกทิน และแป้งอะไมโลส ที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเอ็นโดสเปิร์มแล้ว ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวสารก็มีความสำคัญด้วย เพราะโปรตีนเป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการสำหรับการเจริญเติบโต ปกติเมล็ดข้าวจะมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 7 - 10 และปริมาณของโปรตีนนี้จะผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมที่ปลูกข้าว เช่น การใส่ปุ๋ยทำให้มีปริมาณโปรตีนในเมล็ดเพิ่มขึ้น และรวงข้าวที่มีจำนวนเมล็ดต่อรวงน้อยเมล็ดก็มักจะมีปริมาณโปรตีนสูง

2.6 รำข้าว

รำข้าว คือ ส่วนที่ได้จากการขัดสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวสาร ซึ่งประกอบด้วยชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด และคัพภะเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งรำข้าวที่ได้จากกระบวนการสีข้าว (บุญหงส์, 2547) โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ รำหยาบ (bran) ซึ่งได้จากการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้อง และรำละเอียด (polish) ได้จากการขัดขาว และขัดมัน นอกจากนี้รำข้าวยังมีคุณค่าทางอาหารสูง ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร เถ้า วิตามิน และเกลือแร่ต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ด้านคุณค่าทางอาหารภายในข้าวกล้อง ข้าวสาร รำข้าว และคัพภะ (จมูกข้าว) ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

องค์ประกอบ	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	รำข้าว	จมูกข้าว
แป้ง	75.9	79	52.9	47.5
อะไมโลส	30.8	32.7	6.7	
กาก	0.8	0.1	9.7	3.4
ไขมัน	1.8	0.9	15.8	20.6
โปรตีน	7.6	6.5	13.3	22.4
เหล็ก	2.8	0.9	19.4	-
แคลเซียม	16	0	76	-
ไลซีน	4.1	3.8	5.6	-
B1	0.34	0.2	1.2	-
B2	0.07	0.4	0.25	-
ไนอะซิน	5.0	1.6	29.8	-
เถ้า	1.4	0.3	-	5.1

ที่มา : บุญหงส์ (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kennedy และ Nguyyen (2002) กล่าวว่าในกระบวนการสีข้าวกล้องจะได้รำข้าวร้อยละ 6-10 ในอุตสาหกรรมการขัดสีข้าวขาว โดยข้าวเปลือก 100 กิโลกรัมจะได้ข้าวขาวประมาณ 60 กิโลกรัม, เม็ดข้าวที่หัก 10 กิโลกรัม, รำข้าว และจมูกข้าว 10 กิโลกรัม และแกลบ 20 กิโลกรัม

Moongngam และคณะ (2012) ได้มีการทดสอบนำรำข้าวมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, ภายภาพ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่ารำข้าว เป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, เถ้า และแกมมา-โอไรซานอล โดยพบว่าใน รำข้าวมีเถ้าซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุที่มีองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 12.18 ของน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.66 ของน้ำหนักแห้ง

รำข้าวประกอบไปด้วย (บุญหงส์, 2547)

2.6.1. โปรตีน (protein) จะมีอยู่หนาแน่นที่บริเวณผิวนอกของเมล็ดข้าวกล้อง (brown rice) และรำข้าวมากกว่าที่ส่วนอื่นๆของเมล็ด อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ พันธุ์ข้าว และสภาพแวดล้อมที่ปลูกข้าว เช่นสภาพดิน อากาศ และการให้น้ำ เป็นต้น โดยปกติรำข้าวจะมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 13.3 โดยเฉลี่ย สำหรับรำข้าวของข้าวสายพันธุ์ไทยมีโปรตีนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 4

2.6.2. ไขมัน (fat) พบเฉพาะที่ชั้นในสุดของเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) และที่ส่วนของกัพพะ ดังนั้นในการขัดสีข้าว (milled rice) จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียไขมันกับรำข้าวเป็นปริมาณมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งโดยปกติในกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวโดยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน จะได้น้ำมันรำข้าวประมาณร้อยละ 25-30 โดยน้ำหนัก

2.6.3. แร่ธาตุ (mineral) ส่วนใหญ่จะพบอยู่ที่บริเวณผิวนอกของเมล็ด ปริมาณมากน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแร่ธาตุในดินที่มีอยู่ สายพันธุ์ และสภาพแวดล้อมซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวอีกด้วย กลุ่มแร่ธาตุที่มีอยู่ในรำข้าวในปริมาณมากได้แก่ ฟอสฟอรัส(P), แมกนีเซียม(Mg), เหล็ก(Fe) และ โพแทสเซียม(K) สำหรับฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวในส่วนนี้จะอยู่ในรูปที่ร่างกายใช้ประโยชน์ได้ยาก นอกจากกลุ่มแร่ธาตุดังกล่าวแล้วยังมี แร่ธาตุกลุ่มหนึ่งซึ่งมีอยู่ในเมล็ดข้าวในปริมาณน้อย ได้แก่ แคลเซียม (Ca), คลอรีน (Cl), ซิลิคอน (Si), เหล็ก (Fe), อะลูมิเนียม (Al), แมงกานีส (Mn), โซเดียม (Na) และสังกะสี (Zn) สำหรับธาตุเหล็ก และแคลเซียมนั้นจะมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย

2.6.4. วิตามิน (vitamin) ส่วนใหญ่จะพบที่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นในสุด และที่กัพพะ จึงเป็นสาเหตุให้ข้าวขาวมีวิตามินเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่มีวิตามินอยู่ในปริมาณที่สูงกว่ามาก วิตามินที่มีอยู่ค่อนข้างสูงได้แก่ กรดนิโคตินิก (nicotinic acid) หรือไนอะซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(niacin) วิตามินที่มีอยู่ในปริมาณน้อยได้แก่ ไทอะมีน (thiamine) หรือวิตามินบี 1 (B1) และไรโบฟลาเวิน (riboflavin) หรือวิตามินบี 2 (B2) ส่วนวิตามินที่มีอยู่ในปริมาณน้อยได้แก่ วิตามินซี (ascorbic acid) วิตามินดี และวิตามินบี 12 (B12) วิตามินในเมล็ดข้าวอาจสูญเสียได้ง่ายเมื่อเก็บข้าวไว้ในรูปของข้าวสารในโรงเก็บที่มีอุณหภูมิสูง

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าว

Parengam และคณะ (2010) ทำการทดลองเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุของข้าวที่มีแหล่งที่มาแตกต่างกัน พบว่าแร่ธาตุสำคัญที่มีมากในข้าวเปลือกคือ แคลเซียม (Ca), โพแทสเซียม (K), แมกนีเซียม (Mg), เหล็ก (Fe) และอะลูมิเนียม (Al) ซึ่งล้วนเป็นแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และยังพบว่าปริมาณแร่ธาตุที่มีในข้าวเปลือกมีมากกว่าในข้าวขัดสีจึงเป็นไปได้ว่าแร่ธาตุส่วนมากอยู่ในส่วนที่ถูกขัดสีออกมาเช่น รำข้าว จมูกข้าว เป็นต้นและยังพบอีกว่าข้าวต่างสายพันธุ์มีปริมาณแร่ธาตุที่ต่างกัน ซึ่งทดสอบด้วยวิธี Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS)

Anjum และคณะ (2007) ทำการศึกษาความแตกต่างของสายพันธุ์ และส่วนต่างๆของข้าวต่อปริมาณแร่ธาตุ พบว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณธาตุที่แตกต่างกัน ส่วนของรำข้าวมีปริมาณของธาตุมากที่สุด และส่วนของรำข้าวที่ผ่านการขัดสีพบปริมาณ เหล็ก, สังกะสี, แมงกานีส และคอปเปอร์สูงสุด

Wang และคณะ (2011) ทำการศึกษาระยะการกระจายตัวของไฟเตตและองค์ประกอบแร่ธาตุของข้าวอินดิคา 3 สายพันธุ์ พบว่า ไฟเตต ซึ่งเป็นสารที่เล็ดหมายถึง สารอินทรีย์ซึ่งสามารถจับกับแร่ธาตุประจุบวก ได้แก่ เหล็ก สังกะสี ทองแดงโคบอลต์ แมงกานีส โดยสารที่เล็ดจะล้อมแคตไอออนหรือประจุบวกของธาตุที่เป็นโลหะไว้ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโลหะถูกจับอยู่ในโมเลกุลไม่เปิดโอกาสให้ประจุบวกจากที่อื่นเข้าทำปฏิกิริยาได้ ปฏิกิริยาการรวมกันนี้ เรียกว่าคีเลชัน (chelation) หากมีมากจะพบแร่ธาตุมาก แต่ถ้าข้าวผ่านกระบวนการขัดสีมาก ปริมาณแร่ธาตุที่ตรวจพบจะน้อยลง เนื่องจากไฟเตตถูกทำลายจากกระบวนการขัดสี โดยปริมาณแร่ธาตุ แคลเซียม, เหล็ก, แมกนีเซียม, แคลเซียม, แมงกานีส และสังกะสี จะลดลงตามระดับการขัดสี (degree of milling, DOM) และสายพันธุ์ของข้าวมีผลน้อยต่อ DOM แต่ DOM จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่สีข้าว กระบวนการขัดสีที่เหมาะสมจะสามารถลดการสูญเสียแร่ธาตุได้ และยังพบอีกว่า พืชแต่ละชนิดหรือชนิดเดียวกันจะมีปริมาณแร่ธาตุที่ต่างกัน ไปขึ้นกับ สายพันธุ์, ดิน, ปุ๋ย, สารเคมี และการจัดการ ในกรณีของข้าวมักจะพบว่า จะมีธาตุ แมกนีเซียม (Mg) > แคลเซียม (Ca) > สังกะสี (Zn) > แมงกานีส (Mn) > เหล็ก (Fe) > ซีลีเนียม (Se) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hansen และคณะ (2012) ทำการศึกษาการสูญเสียแร่ธาตุที่จำเป็นจากกระบวนการขัดสีของข้าวที่มีความแตกต่างของเมล็ด ความแข็ง และการกระจายตัวของแร่ธาตุ พบว่าข้าวกล้องยิ่งผ่านการขัดสีนานหรือใช้วิธีการขัดสีที่ทำลายองค์ประกอบทางกายภาพของข้าวมากก็จะยิ่งส่งผลให้ปริมาณแร่ธาตุที่มีในข้าวลดลงซึ่งมีความสัมพันธ์กับ ความแข็งของข้าว, สายพันธุ์ข้าว, ความแตกต่างของเมล็ดข้าว และการกระจายตัวของแร่ธาตุ ซึ่งการขัดสีด้วยระบบสายพานจะสูญเสียแร่ธาตุน้อยกว่าการขัดสีด้วยระบบลูกกลิ้ง

Kennedy และ Nguyyen (2002) ทำการศึกษา การจัดการทางการเกษตรมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบสารอาหารในเมล็ดข้าว พบว่าปริมาณธาตุ ไนโตรเจน และคุณภาพของดิน มีผลต่อต่อปริมาณ ธาตุเหล็ก สังกะสี รวมถึงดินที่ได้รับธาตุไนโตรเจน และแสงมากจะส่งผลให้ข้าวมีปริมาณโปรตีนมากขึ้นด้วย กระบวนการเก็บรักษา, การแปรรูป, การล้าง, การให้ความร้อน ล้วนแล้วแต่มีอิทธิพลต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าว โดยร้อยละ 10-37 ของผลผลิตข้าวเสียหายจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว การขัดสีข้าวจะทำลายโปรตีนประมาณร้อยละ 10-15 และฟอสฟอรัสถูกทำลายมากถึงร้อยละ 40 การล้าง และการให้ความร้อนจะสูญเสียโปรตีนร้อยละ 2-7, โปแทสเซียมสูญเสียร้อยละ 20-41 โดยสามารถสรุปได้ว่าผลกระทบหลักต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าวมาจากกระบวนการยืดอายุ และการทำให้อาหารปลอดภัยนั่นเอง

2.8 การนำข้าวไปใช้ประโยชน์

รำข้าวทั้งชนิดรำหยาบ และรำละเอียดสามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลาย (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าวกรมวิชาการเกษตร, 2555) เช่น

2.8.1 น้ำมันรำข้าว เป็นน้ำมันสำหรับบริโภคที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีคอเลสเตอรอลต่ำ จึงจัดเป็นน้ำมันบริโภคที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจำนวนมากถึงร้อยละ 77 โดยในจำนวนนี้เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายร้อยละ 31.7 และยังมีสาร โอโรซานอล มีสมบัติเป็นสารกันหืน และมีประโยชน์ในการช่วยเร่งการเจริญเติบโตรวมทั้งช่วยให้ระบบการหมุนเวียนของเลือดดีขึ้น น้ำมันรำข้าวเมื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการเคมีฟิสิกส์ สามารถผลิตเป็นกะทิแปลงไขมัน ผลิตภัณฑ์ และเนยขาวเอนกประสงค์

2.8.2 ใยข้าว สามารถใช้เป็นสารเคลือบในอาหาร เช่น เคลือบช็อกโกแลต และผลไม้มีการตรวจพบไข (wax) ในน้ำมันรำข้าวที่ยังไม่ผ่านการกำจัดไขร้อยละ 3.5

2.8.3 อาหารเสริม แกมมาโอโรซานอล, เลซิทิน, วิตามินอี ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

2.8.4 ส่วนผสมในอาหารเด็กอ่อน โดยใช้รำละเอียดมาผสมในอาหารเด็กอ่อนเพื่อช่วยเพิ่ม

คุณค่าทางโภชนาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 เลซิติน สารเหนียว (gum) หรือ เลซิตินดิบ (crude lecitin) ที่แยกจากน้ำมันรำข้าวคืบ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นฟอสโฟลิพิด มีศักยภาพที่จะนำไปผลิตเป็นอิมัลชันไฟล์เออร์ในอุตสาหกรรมอาหาร และในน้ำมันรำข้าวมีประมาณร้อยละ 0.51 และมีคุณสมบัติเทียบได้กับเลซิตินจากถั่วเหลืองทั้งนี้ปริมาณเลซิตินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการสกัด และพันธุ์ข้าวด้วย

2.8.6 อาหารสัตว์ รำข้าวทั้งชนิดรำหยาบ และรำละเอียดสามารถนำมาผสมในอาหารสัตว์ได้ ซึ่งปัจจุบันในโรงงานสกัดน้ำมันรำข้าวในประเทศไทยเมื่อสกัดน้ำมันจากรำเสร็จก็มักจะส่งส่วนของกากรำที่สกัดน้ำมันแล้วไปขายให้แก่ฟาร์มปศุสัตว์เกือบทั้งหมด

2.8.7 ส่วนผสมในเครื่องสำอาง และครีมบำรุงผิว โดยนำน้ำมันรำข้าวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง และครีมบำรุงผิว หรือ โลชั่นต่างๆ เนื่องจากในน้ำมันรำข้าวมีสารแกมมาโอโรซานอล และวิตามินอี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยบำรุงผิวพรรณ ให้ความชุ่มชื้น และชะลอความเหี่ยวย่น

2.9 แร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย

แร่ธาตุ หรือเกลือแร่หมายถึง แร่หรือสารประกอบอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร ส่วนที่เหลือเป็นเถ้าหลังจากการเผาสารอินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืช และสัตว์ ร่างกายคนเราต้องการแร่ธาตุแต่ละชนิดแตกต่างกัน แร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายหมายถึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม (กฤษณี, 2548) ดังนี้

- กลุ่มที่ต้องการปริมาณค่อนข้างมาก (macro elements)

ร่างกายต้องการประมาณวันละ 0.3 - 1 กรัม ได้แก่ แคลเซียม(Ca), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), โซเดียม (Na), แมกนีเซียม (Mg), กำมะถัน (S) และคลอไรด์ (Cl)

- กลุ่มที่ต้องการปริมาณเพียงเล็กน้อย (trace element)

ร่างกายต้องการประมาณวันละ 0.1 - 15 มิลลิกรัม ได้แก่ เหล็ก ทองแดง (Cu), ไอโอดีน (I), สังกะสี (Zn), ซีลีเนียม(Se), ฟลูออรีน (F), โครเมียม (Cr), โมลิบดีนัม (Mo) และแมงกานีส (Mn)

โดยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่

2.9.1. ธาตุเหล็ก (Fe) เป็นเกลือแร่ที่มีส่วนสำคัญในการสร้างฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่ในการนำออกซิเจน และสารอาหารต่างๆ ไปเลี้ยงเซลล์รวมถึงการนำของเสียออกจากเซลล์ ธาตุเหล็กยังเป็นส่วนประกอบหนึ่งของฮีโมโกลบิน ตามชั้นกล้ามเนื้อสามารถเก็บออกซิเจน

ไว้ใช้ในยามฉุกเฉินได้ดี และสามารถป้องกันการอ่อนล้าของกล้ามเนื้อได้ (Senadhira et. al.,1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณที่ควรบริโภคต่อวันสำหรับผู้หญิง 18 มิลลิกรัมต่อวัน ผู้ชาย 8 มิลลิกรัมต่อวัน กรณีที่ผู้หญิงตั้งครรภ์ควรได้รับปริมาณเหล็กที่มากขึ้นถึง 27 มิลลิกรัมต่อวันผลข้างเคียงจากการได้รับธาตุเหล็กในร่างกายมากเกินไป หรือจากการเสริมธาตุเหล็กในปริมาณสูงต่อเนื่องมีอันตรายสูงถึงเสียชีวิตได้ โดยผลข้างเคียงที่พบได้บ่อย เช่น ก่อการระคายเคืองต่อเยื่อต่างๆ โดยเฉพาะเยื่อทางเดินอาหาร เป็นสาเหตุให้มีเลือดออกในทางเดินอาหารได้ ทั้งจากกระเพาะอาหารและจากลำไส้ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดท้อง ปวดศีรษะ หายใจลำบาก อ่อนเพลีย วิงเวียน น้ำหนักลด ผอมลง ผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีเทา มีผลต่อการกักเก็บน้ำของร่างกาย และอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงให้เกิดโรคคอโธอิม-มูเนโรคภูมิต้านตนเอง หรือโรคมะเร็ง ได้กำหนดค่าปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวัน (DRI) ของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นการกำหนดปริมาณสูงสุดของธาตุเหล็กที่รับได้ในแต่ละวัน (Tolerable Upper Intake Level' UL) ซึ่งเป็นปริมาณที่บริโภคได้โดยไม่มีอันตรายต่อร่างกายสำหรับประชาชนทั่วไป โดยกำหนดไว้ที่ 40 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับทารก และเด็กจนถึงอายุ 13 ปี และ 45 มิลลิกรัมต่อวันสำหรับเด็กอายุ 14 ปีขึ้นไป (Institute of Medicine (US) Food and Nutrition Board ,1998)

2.9.2. สังกะสี (Zn) ปริมาณสังกะสีที่มีในร่างกายคือ 2-4 กรัมสังกะสีมีลักษณะเหมือนกับแร่ธาตุ และวิตามิน อื่นๆ คือ เป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงาน แต่ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวควบคุมการทำงานของร่างกาย มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก และโปรตีน อาจกล่าวได้ว่า เอนไซม์ที่เป็นสารสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาภายในร่างกายเกือบทุกชนิดต้องการสังกะสี เป็นส่วนประกอบจึงจะทำหน้าที่ได้ดี ดังนั้นสังกะสี จึงมีความสำคัญต่อการทำงานของทุกอวัยวะในร่างกายเรา ร่างกายต้องการสังกะสี 15 มิลลิกรัมต่อวันการรับประทานสังกะสีในปริมาณมาก อาจทำให้เกิดภาวะการขาดทองแดงได้ ปริมาณสูงสุดของสังกะสีที่รับได้ในแต่ละวันโดยไม่พบอาการเป็นพิษ สำหรับผู้ใหญ่ทั้งชาย และหญิง กำหนดไว้ที่ 40 มิลลิกรัม (Senadhira et. al.,1998)

2.9.3. แคลเซียม (Ca) แคลเซียมในร่างกายเกือบทั้งหมดจะสะสมในกระดูก และฟัน ในร่างกายคนปกติมีอยู่ประมาณ 1,200 ถึง 1,500 กรัมซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการช่วยทำให้เกิดความแข็งแรง อีกทั้งจะมีปริมาณแคลเซียม จำนวนน้อยๆ ที่อยู่ในกระแสเลือดที่จะมีส่วนช่วยในการสร้างฮอร์โมน และเอนไซม์ต่างๆ เพื่อให้ร่างกายทำงานเป็นปกติ เช่น เป็นตัวนำสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาทให้สื่อสารกันได้เป็นปกติ, ช่วยให้กล้ามเนื้อหดตัวได้เป็นปกติ ที่สำคัญคือกล้ามเนื้อหัวใจ, ช่วยในขบวนการทำให้เลือดแข็งตัว, ช่วยในกระบวนการสร้างภูมิคุ้มกันโรค ร่างกายต้องการแคลเซียมประมาณ 800 ถึง 1500 มิลลิกรัมต่อวัน การได้รับแคลเซียมมากเกินไปมักเป็นผลมาจากการใช้ยาเม็ดเสริมแคลเซียม ซึ่งในระยะยาวอาจทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน และเกิดนิ่วในไตได้ DRI ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดค่าสูงสุดของแคลเซียมที่รับได้ในแต่ละวันไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 2,500 มิลลิกรัมในทุกเพศวัยรวมทั้งหญิงตั้งครรภ์ และหญิงให้นมลูกยกเว้นทารก (Noonan and Savage,1999)

2.9.4. แมกนีเซียม (Mg) ในร่างกายประกอบด้วยแมกนีเซียมประมาณ 10-40 มิลลิกรัม มีมากในไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ของอวัยวะต่างๆ เช่น กล้ามเนื้อหัวใจ ไต ตับ และตับอ่อน เป็นต้น หน้าที่สังเคราะห์โปรตีนในร่างกาย และเป็น โคเอนไซม์ที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งในร่างกายที่จะทำงานร่วมกับแคลเซียมซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงานในระบบต่างๆของร่างกาย แมกนีเซียมยังช่วยให้การสร้างฮอร์โมนต่างๆให้เป็นปกติ มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ และเซลล์ต่างๆ มีผลต่อการทำงานของระบบประสาท ระบบย่อยอาหาร ระบบสืบพันธุ์ ระบบเลือด และระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย แร่ธาตุตามธรรมชาติแคลเซียมและแมกนีเซียมต้องทำหน้าที่ร่วมกันโดยจะแยกออกจากกันไม่ได้ แมกนีเซียมช่วยร่างกายในการดูดซึมแคลเซียม และแคลเซียมก็มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อร่างกายในการย่อยสลายแมกนีเซียม แคลเซียมนั้นไม่เพียงแต่ทำหน้าที่สร้างเสริมกระดูกให้แข็งแรงเท่านั้น แต่ยังช่วยป้องกันภาวะกระดูกเปราะ กระดูกพรุน และยังช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตบำรุง ระบบประสาท ระบบสืบพันธุ์ ป้องกันการหดตัวของกล้ามเนื้อ และกระบวนการการทำงานของอวัยวะที่สำคัญอื่นๆของร่างกาย ในขณะที่แมกนีเซียมจะช่วยแคลเซียมสร้างเสริมความแข็งแรงให้กับกระดูก ควบคุมการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อให้อยู่ในระดับปกติ ป้องกันการเป็นตะคริว กระตุ้นระบบประสาท ควบคุมการใช้น้ำตาลของร่างกาย รวมถึงช่วยให้ร่างกายผลิตโปรตีนอันเป็นปัจจัยสำคัญในการบำรุงกล้ามเนื้อ และเซลล์ต่างๆ นอกจากนั้นยังควบคุมระบบการหดตัวของหลอดเลือดไม่ให้ทำงานผิดปกติทำให้เลือดไหลเวียนได้สะดวก และหากสาเหตุของการเป็นตะคริวเกิดจากภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำ หรือสตรีมีครรภ์ที่มีระดับของแคลเซียมในเลือดต่ำ ควรจะบริโภคแคลเซียมเสริมก็ควรบริโภคแมกนีเซียมเสริมด้วยเนื่องจากแคลเซียม และแมกนีเซียมจำเป็นต้องทำงานร่วมกันปกติแล้วคนส่วนน้อยเท่านั้นที่จะได้รับแมกนีเซียมอย่างเพียงพอต่อวันจากอาหารที่รับประทานเข้าไป เนื่องจากอาหารที่ปรุงสุกส่วนใหญ่จะมีแร่ธาตุนี้อยู่ น้อย การรับประทานชนิดที่ส่งผลให้เกิดอาการขาดแร่ธาตุแมกนีเซียมอีกทั้งโรคบางชนิดเช่น เบาหวาน โรคไตเดื้อ ก็ส่งผลให้เกิดการขาดแร่ธาตุแมกนีเซียมได้เช่นกัน ดังนั้นการรับประทานในรูปแบบอาหารเสริมก็จะช่วยให้มั่นใจได้ว่าร่างกายได้รับแมกนีเซียมอย่างเพียงพอโดยร่างกายต้องแมกนีเซียม 300 มิลลิกรัมต่อวัน (Noonan and Savage,1999)

2.9.5. ซีลีเนียม (Se) ช่วยกระตุ้นการทำงานของเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยปกป้องร่างกายไม่ให้เกิดเซลล์มะเร็ง ซีลีเนียม เป็นเกลือแร่ส่วนน้อยที่สำคัญต่อร่างกาย ถึงแม้จะพบในร่างกายเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ซีลีเนียมมีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติหน้าที่ของวิตามินเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อี คนที่ขาดซีลีเนียมจะมีภูมิคุ้มกันต่ำ มีภาวะต่อมไทรอยด์ และกล้ามเนื้อหัวใจทำงานผิดปกติ เนื่องจากซีลีเนียมเป็นแร่ธาตุที่มีอยู่ในดิน ในอดีตแหล่งอาหารที่มีซีลีเนียมก็คือพืช ในปัจจุบันซีลีเนียมได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เนื่องจากหมู และวัวที่เลี้ยงด้วยซีลีเนียมจะไม่เจ็บป่วยง่าย และสภาพของเนื้อจะแดงสด และสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ทำให้ในปัจจุบัน เนื้อหมู และวัวจากโรงงานจึงเป็นอาหารที่มีซีลีเนียมสูง หากรับประทานในปริมาณที่สูงมากอาจจะทำให้เกิดอันตรายได้ เช่น โรคของระบบทางเดินอาหาร ลมหายใจเหม็นคล้ายกลิ่นกระเทียม เล็บเปราะ ฐูสึกขมในปาก สีผิวเหลือง ปริมาณที่แนะนำไม่ควรรับประทานเกิน 400 ไมโครกรัมต่อวัน ปริมาณที่ควรบริโภคต่อวัน สำหรับผู้หญิง 5 ไมโครกรัมต่อวัน ผู้ชาย 70 ไมโครกรัมต่อวัน

2.9.6. ไลโคปีน (lycopene) มีคุณสมบัติกำจัดสารอนุมูลอิสระตัวที่เป็นอันตรายให้ออกไปจากร่างกาย โดยปกติสารไลโคปีน มักจะเชื่อมการทำงานร่วมกับวิตามิน E และสามารถชะลออัตราการเป็นเนื้องอกได้ถึงร้อยละ 73 ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพต่อการรักษาอย่างมาก นอกจากนี้จะช่วยป้องกันโรคมะเร็ง และยังช่วยให้ร่างกายเสื่อมช้าลงด้วย (Bravo, 1994)

2.9.7. แมงกานีส (Mn) ร่างกายจะขาดไม่ได้จะพบมากที่สุดคนในโครงกระดูก ดับ ดับอ่อน หัวใจ และต่อมพิทูอิทารี มีคุณสมบัติเป็นต่าง แมงกานีสส่วนใหญ่จะสูญเสียไประหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร และส่วนเกินจะถูกขับออกผ่านทางน้ำดี และทางอุจจาระ หน้าที่ของแมงกานีสจะควบคุมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด, ช่วยในการสังเคราะห์กรดไขมัน และคอเลสเตอรอล, ช่วยในการสร้างเม็ดเลือดแดง และกระดูกพร้อมทั้งรักษาให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์, ช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ให้ทำงานตามปกติ และช่วยขับฮอร์โมนเพศ, ควบคุมสุขภาพ และการทำงานของสมองระบบประสาท และระบบกล้ามเนื้อให้มีประสิทธิภาพการทำงาน และมีความสัมพันธ์กัน, ช่วยการทำงานของอินซูลิน, เป็นตัวสำคัญที่ช่วยในการสังเคราะห์ทางเคมีของต่อมไทรอยด์ขับไทรอกซิน, กระตุ้นให้ตับเก็บน้ำตาลในรูปของไกลโคเจน, ช่วยในการใช้โคลิ้น, มีความสำคัญในการผลิตน้ำนม และการสร้างยูเรียซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัสสาวะการขาดแมงกานีสจะมีผลเกี่ยวกับการต้านทานกลูโคส (Glucose tolerance) คือร่างกายไม่สามารถที่จะนำเอาน้ำตาลที่มากเกินไปออกจากเลือดโดยการ ออกซิเดชัน หรือนำไปเก็บที่อื่นได้ การที่กล้ามเนื้อทำงานไม่พร้อมกัน (staxia) จะเกี่ยวข้องกับการที่บริโภคแมงกานีส ไม่เพียงพอ นอกจากนี้การขาด แมงกานีสจะนำไปสู่อัมพาต ตาบอด หูหนวก และชักในทารก สำหรับผู้ใหญ่ที่เกิดอาการเวียนศีรษะ และไม่สามารถได้ยินเสียง ทำให้เกิดอาการดังนี้ร่างกายต้องการแมงกานีสประมาณ 3-4 มิลลิกรัมต่อวัน การบริโภคแคลเซียม และฟอสฟอรัสสูงจะไปเพิ่มความต้องการแมงกานีส การได้รับ แมงกานีส ในปริมาณที่มากจะมีผลทำให้ปริมาณของเหล็กที่ถูกเก็บไว้ และการใช้เหล็กลดลงด้วย (Noonan and Savage, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.8. ฟอสฟอรัส (P) มีมากในรำข้าว โดยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีอยู่ในร่างกายประมาณ 700 กรัม โดยร้อยละ 80 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดนั้นจะเป็นส่วนประกอบของกระดูก และฟันส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 20 จะพบในเลือดกับเนื้อเยื่อ ความสมดุลของฟอสฟอรัสและแคลเซียมในร่างกายทำให้เกลือแร่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ฟอสฟอรัสจะพบในอาหารเกือบทุกชนิดอาหารที่มีโปรตีน และแคลเซียมสูงมักจะมีฟอสฟอรัสสูงด้วย หน้าที่ของฟอสฟอรัสต่อร่างกายเป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของกระดูก และฟันให้เป็นไปอย่างปกติควบคุมการทำงานของไต, ช่วยให้วิตามิน บี ต่างๆ ทำหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ, เป็นปัจจัยสำคัญในการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน, เป็นส่วนที่จำเป็นของนิวคลีโอโปรตีน (nucleoprotein), เป็นส่วนประกอบของฟอสโฟลิพิด, มีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโต การซ่อมแซมเนื้อเยื่อ การเก็บ และการให้พลังงานออกมา, ช่วยในการส่งสัญญาณของตัวกระตุ้นประสาท และช่วยรักษาสุขภาพระบบประสาทให้ทำหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ, ช่วยควบคุมความสมดุลของกรด และด่างในเลือด, ช่วยการดูดซึมของอาหารจากลำไส้เข้าสู่ร่างกาย และส่งเสริมการขับฮอร์โมนออกจากต่อม, กระตุ้นการคลายตัวของกล้ามเนื้อ รวมถึงกล้ามเนื้อของหัวใจด้วย, วิตามิน บีสอง และบีสาม จะย่อยไม่ได้ถ้าปราศจากฟอสฟอรัส ร่างกายต้องการ 700-1000 มิลลิกรัมต่อวัน การบริโภคฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของร่างกาย ในขณะที่ปริมาณแคลเซียมอยู่ในเกณฑ์ปกติหรือต่ำกว่าปกติจะทำให้เกิดภาวะhyperparathyroidism ทำให้มีการสูญเสียแคลเซียมไปจากกระดูก ภาวะเช่นนี้อาจพบได้ในเด็กวัยรุ่น และหนุ่มสาวในประเทศทางตะวันตก ซึ่งขึ้นอยู่กับนิสัยผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริโภคเครื่องดื่ม soft drinks ชนิดต่าง ๆ ที่มีกรดฟอสฟอริก เช่น โคคาโคล่า แทนการดื่มนม ทำให้มีระดับแคลเซียมต่ำและฟอสฟอรัสสูง แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในอาหารที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือ มาจากสารปรุงแต่งอาหาร (food additive) ที่ใช้ในขบวนการผลิตอาหารการบริโภคอาหารที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงและแคลเซียมต่ำเป็นเวลานาน ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนที่ควบคุมของแคลเซียม ซึ่งทำให้มีการสูญเสียแคลเซียมจากกระดูก และเป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคกระดูกพรุน (osteoporosis) ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการกำหนดปริมาณสูงสุดของฟอสฟอรัสที่รับได้ในแต่ละวันไว้เท่ากับ 3-4 กรัมต่อวัน (Noonan and Savage,1999)

2.9.9. สารไอโอดีน (I) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งในการผลิตไทรอยด์ฮอร์โมน thyroxine (T4) และ triiodotyronine (T3) ประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนนี้จะเก็บอยู่ในต่อมไทรอยด์ ส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ตามกล้ามเนื้อ ผิวหนัง ขุมขน ต่อมไทรอยด์ ระบบทางเดินอาหาร และกระดูก ในเลือดจะมีไอโอดีนอยู่น้อยมากหน้าที่สำคัญของไอโอดีนต่อร่างกายช่วยในการทำงานและเจริญเติบโตของต่อมไทรอยด์, ช่วยให้ร่างกายผลิตพลังงานได้ตามปกติ, ช่วยส่งเสริมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโต และกระตุ้นอัตราการเผาผลาญ อากาศขาดไอโอดีนซึ่งซึม เหนืออย่าง ความดันต่ำ ผิวหนัง และ ผมแห้ง อ้วนพี ความจำไม่ดี ร่างกายเติบโตช้า เริ่มมีอาการปัญหาอ่อน ไม่สนใจทาง เพศร่างกายต้องการไอโอดีนประมาณ 100-150 ไมโครกรัมต่อวัน ในช่วงตั้งครรภ์ต้องการเพิ่มขึ้น เป็นอย่างน้อย 200 ไมโครกรัม เนื่องจากมีการขับออกทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น และให้ลูกใช้ในการ สร้างไทรอยด์ฮอร์โมนในประเทศอังกฤษได้กำหนดปริมาณไอโอดีนสูงสุดที่ปลอดภัย คือ 17 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน หรือไม่เกิน 1,000 ไมโครกรัมต่อวัน (Bravo, 1994)

โดยแร่ธาตุต่าง ๆ นั้น มีค่าปริมาณสารอ้างอิงที่ควรจะได้รับประจำวัน หรือค่า DRA โดย อ้างอิงจากชายที่มีน้ำหนัก 165 ปอนด์ (75 กิโลกรัม) และหญิงที่มีน้ำหนัก 145 ปอนด์ (65 กิโลกรัม) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าปริมาณสารอ้างอิงที่ควรจะได้รับประจำวัน (DRA) ของแร่ธาตุชนิดต่างๆ

ชนิดแร่ธาตุ	ชื่อทางเคมี	DRA (มิลลิกรัม/วัน)	แหล่งที่พบ
โพแทสเซียม	K	4,500-4,700	ผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว, ปลา, ถั่ว, ผักใบเขียว
ฟอสฟอรัส	p	700-1,250	ปลา, สัตว์ปีก, เนื้อ, ธัญพืช
ซิลิคอน	Si	-	ธัญพืช, ข้าวกล้อง, กระจ่าง,
แมกนีเซียม	Mg	240-420	ถั่ว, ผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว, ผักใบเขียว
เหล็ก	Fe	8-18	หอยแมลงภู่, เนื้อแดง, ไข่ และ เมล็ดพืช
แคลเซียม	Ca	1000-1300	นมและผลิตภัณฑ์นม, ถั่วเหลือง, ถั่ว และ ผักใบเขียว
โซเดียม	Na	1200-1500	สัตว์มีกระดูก, ปลา และเนื้อรมควัน
สังกะสี	Zn	8-11	เนื้อสัตว์ทุกชนิด, ข้าวสาลี และ ไข่

หมายเหตุ* DRA = Dietary Reference Allowance. Amounts in microgram per day, based on average healthy adults of respectively 165 lbs (male) and 140 lbs (female)

Recommendation from the The American food and Nutrition Board, Institute of Medicine

ที่มา: Institute of Medicine (US) Food and Nutrition Board (1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

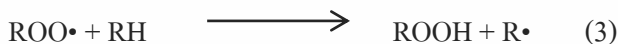
2.10 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน

ระหว่างการเก็บรักษาข้าว และรำข้าว ในที่ที่มีแสงแดด หรือมีความร้อนสูง อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยเฉพาะ องค์ประกอบที่เป็นไขมัน หรือกรดไขมันจำเป็นของข้าว ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพ ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ และการทำลายกรดไขมันที่จำเป็น ทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง และเกิดสารประกอบที่เป็นพิษ อัตราการออกซิเดชันของไขมันจะเพิ่มขึ้นตาม อุณหภูมิ ระยะเวลาที่สัมผัสกับแสง ออกซิเจน หรือการสัมผัสกับวัตถุที่เป็นโปรออกซิเดนท์เช่น โลหะ (Wheaton and Lawson, 1985)

โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีกลไกการเกิดดังนี้

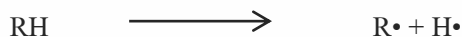
2.10.1 การเกิดออกซิเดชัน (auto oxidation)

ออกซิเดชันเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลออกซิเจนกับไขมันไม่อิ่มตัวเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ (free radical) (Shahidi and Wanasundara, 1992) โดยมี O_2 โลหะไอออนแสงหรือความร้อนเป็นอินิทิเอเตอร์ (initiator) การเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกนี้ α -methylene hydrogen ในโมเลกุลของไขมันไม่อิ่มตัวจะถูกดึงออกทำให้ไขมันไม่อิ่มตัวถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลอิสระของลิพิด (lipid free radicals) อนุมูลอิสระนี้มีความว่องไวมากสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปโดยการรวมตัวกับโมเลกุลออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ (สมการ 2) อนุมูลอิสระนี้จะเป็นตัวการที่ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดอย่างต่อเนื่องโดยไปดึงอนุมูลอิสระไฮโดรเจนจากไขมันไม่อิ่มตัวในโมเลกุลอื่นๆทำให้เกิดอนุมูลอิสระของลิพิดตัวใหม่ และเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้หมุนเวียนกันไป (สมการ 2 และ 3) ผลลัพธ์ที่ได้จากขบวนการนี้คือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide)



ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสลายตัว และเปลี่ยนแปลงให้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ คีโตน แอลดีไฮด์ไฮโดรคาร์บอนหรือผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่งผลให้ลักษณะสีกลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเปลี่ยนแปลงไป (Shahidi and Wanasundara, 1992) นอกจากนี้อนุมูลอิสระของลิพิด (lipid free radicals) ที่เกิดขึ้นยังอาจทำให้โมเลกุลอื่นๆที่อยู่ในอาหาร เช่น รงควัตถุสารให้กลิ่น ในวิตามินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมี 3 ขั้นตอนคือ

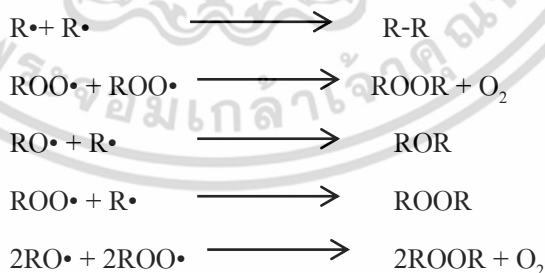
2.10.1.1 **ขั้นเริ่มต้น (Initiation)** ขั้นตอนการเริ่มเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ซึ่งไม่แข็งแรง ไวต่อปฏิกิริยา โดยเริ่มต้นที่ คาร์บอนที่ตำแหน่งพันธะคู่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอม ซึ่งเกิดจากการ กระตุ้นด้วยแสง รังสี โลหะ ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮโดรคาร์บอน ($R \bullet$) ซึ่งจะต่ออนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ที่เป็น unpair electron ซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยา



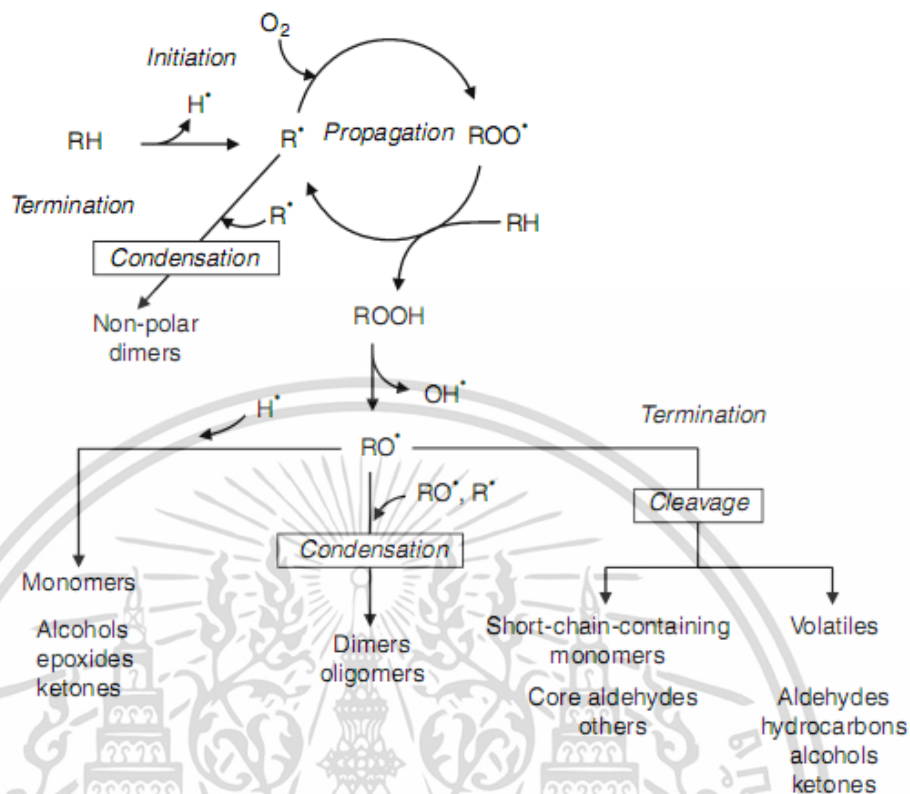
2.10.1.2 **ขั้นเกิดปฏิกิริยาแบบทวีคูณ (propagation)** เกิดจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่เกิดเป็น peroxy radical ($ROO \bullet$) ซึ่งขั้นตอนนี้ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากมาย โดย peroxy radical ทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวใหม่ ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ($ROOH$) เพอร์ออกไซด์หรือไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ที่เกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้นที่ไม่มีกลิ่นหรือรสชาติ แต่จะแตกตัวต่อไปได้แอลดีไฮด์, คีโตน, กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์หลากหลายชนิดผสมผสานกันทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์แก่อาหาร



2.10.1.3 **ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา (termination)** อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมารวมตัวกันเองเกิดเป็นสารใหม่ (secondary product) เช่น อัลดีไฮด์, คีโตน, แอลกอฮอล์, อัลเคน และ กรด เป็นต้นซึ่งทำให้เกิดสี กลิ่น และ รส ที่ผิดปกติของน้ำมัน และไขมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

ที่มา : Velasco และ คณะ (2009)

การออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเองสามารถสลายโมเลกุลสารตั้งต้น และสามารถเกิดเป็นโมเลกุลใหม่ได้ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และกายภาพของสารตั้งต้นที่ถูกออกซิไดซ์ การแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการรวมถึงเกิดการหืนของไขมันไม่อิ่มตัว โดยไขมันที่สัมผัสกับแสง โลหะ ออกซิเจน และสารที่มีความไว เช่น คลอโรฟิลล์ ซีโมโปรตีน และโรโบฟลาวิน รวมถึงการออกซิเดชันโดยมีแสงเป็นตัวเร่ง หรือมีเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเป็นตัวเร่งก็จะเกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้เช่นกัน (Wanasundara and Shahidi, 2005) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น ทำให้สารต้านออกซิเดชันเข้ามามีบทบาทสำคัญในการยับยั้ง ชะลอ หรือป้องกันการออกซิเดชันของไขมัน แต่สารต้านออกซิเดชันไม่สามารถที่จะปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกซิไดซ์หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงไปแล้วได้ (Hudson and Pratt, 1990) จึงต้องใช้เติมในกระบวนการผลิตไขมัน เพื่อป้องกันการปฏิกิริยาดังกล่าวในปริมาณตามข้อกำหนดของ USFDA (Dziezak, 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 การออกซิเดชันของเอนไซม์

พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา (2546) กล่าวว่า เอนไซม์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ เป็นสารประกอบพวกโปรตีน สามารถลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา เอนไซม์จะเร่งเฉพาะ ชนิดของปฏิกิริยา และชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา

2.10.2.1 การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์

E เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (เอนไซม์)

S เป็นสารตั้งต้นเรียกว่า สับสเตรต และ P เป็นสารผลิตภัณฑ์



สารเชิงซ้อน

2.10.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

- ชนิดของสารที่เอนไซม์ไปควบคุมปฏิกิริยา
- ความเข้มข้นของสับสเตรตเปลี่ยนตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์
- ความเข้มข้นของเอนไซม์เปลี่ยนตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์
- ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ส่วนมากเอนไซม์จะทำงานได้ดีในช่วง pH เป็นเบสเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นเร็วในช่วง pH ใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสับสเตรตนั้นๆ
- อุณหภูมิ อุณหภูมิที่ 37°C เป็นอุณหภูมิที่เอนไซม์ส่วนใหญ่ทำงานได้ดี อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้การทำงานของเอนไซม์เสื่อมไป เพราะเอนไซม์เป็นโปรตีนเมื่ออุณหภูมิสูงเอนไซม์ถูกทำลายธรรมชาติไป
 - สารยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ สารบางชนิดเมื่อรวมตัวเอนไซม์จะทำให้เอนไซม์ทำงานช้าลงหรือหยุดทำงานได้
 - สารกระตุ้น เอนไซม์บางชนิดต้องการไอออนพวกอนินทรีย์เป็นตัวกระตุ้น จึงเกิดการเร่งปฏิกิริยาและเกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยา
 - ไร้ข้าวเป็นผลพลอยได้จากการศึกษาที่มีมากในประเทศไทย และเป็นแหล่งของเอนไซม์ไลเปส (lipase) เป็นเอนไซม์ (enzyme) ที่เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ได้เป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) พบในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์และสัตว์ ผลิตได้จากแบคทีเรีย (bacteria) รา (mold)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 เอนไซม์จากอาหาร (Food enzyme)

เอนไซม์ คือ กลุ่มของโปรตีนที่มีหน้าที่พิเศษแตกต่างจากโปรตีนทั่วไป คือ มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง เพื่อใช้ในการสังเคราะห์องค์ประกอบภายในเซลล์ ระบบการย่อยอาหาร ฯลฯ เอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารที่ทำปฏิกิริยาที่เรียกว่า “สับสเตรต” (Substrate) และสามารถเร่งปฏิกิริยาโดยไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อื่น ตลอดทั้งเอนไซม์จะเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาโดยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาได้ (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา , 2546)

2.11.1 หน้าที่ของเอนไซม์

องค์ประกอบที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของเราได้แก่ น้ำ อากาศ และอาหาร อาหารจะถูกส่งเข้าไปเลี้ยงในร่างกายได้จะต้องอาศัยเอนไซม์ในการกระบวนการย่อยอาหาร และจะต้องอาศัยวิตามิน แร่ธาตุ กรดอะมิโน สารไฟเตต ที่จะเป็นตัวประกอบสำคัญในการเสริมประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ ร่างกายของประกอบไปด้วยเซลล์ขนาดเล็กหลายล้านเซลล์ สารอาหารจะต้องถูกย่อยโดยการทำงานของเอนไซม์จนมีขนาดเล็กในระดับอออน จึงจะสามารถผ่านผนังของเซลล์ขนาดเล็กแต่ละเซลล์ได้ ร่างกายจึงจะดำรงชีวิตอยู่ได้ ในทางกลับกันถ้าสารอาหารไม่สามารถส่งไปถึงเซลล์ได้ การซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอก็ไม่สามารถทำได้ จึงทำให้ร่างกายเกิดภาวะเสื่อม ส่งผลทำให้ภูมิคุ้มกันทำหน้าที่ไม่ได้มีประสิทธิภาพ ทำให้เป็นโรค

2.11.2 การทำงานของเอนไซม์

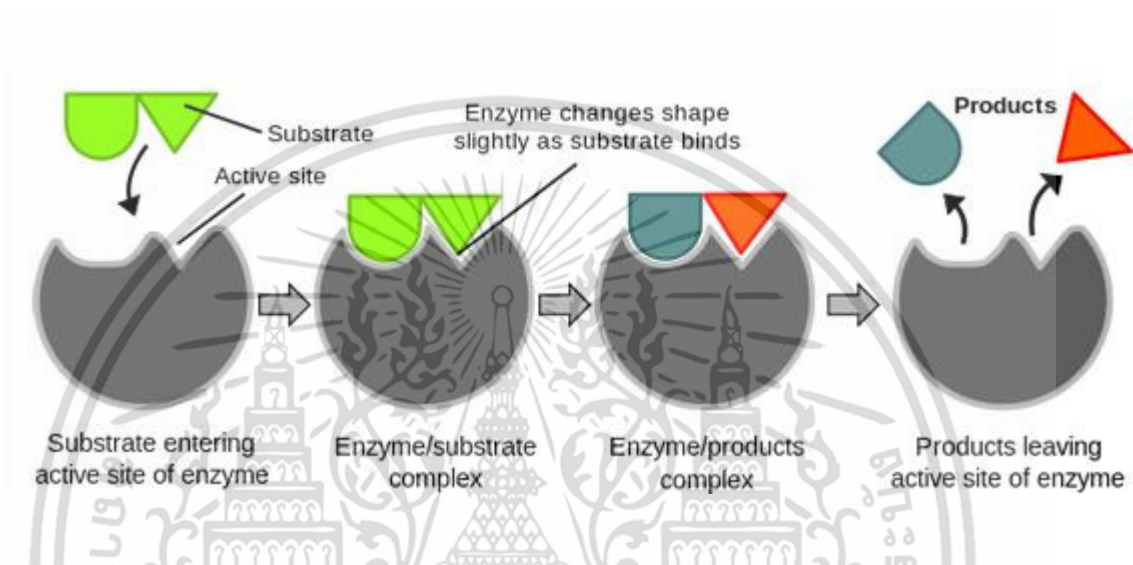
Mukataka และคณะ (1985) กล่าวว่าการทำงานของเอนไซม์ โครงสร้างของเอนไซม์ทั้งก่อน และหลังการเกิดปฏิกิริยาจะยังคงเหมือนเดิม กล่าวคือเอนไซม์ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสับสเตรต แต่ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาเอนไซม์จะจับตัวกับสับสเตรต ทำให้สับสเตรตแปรสภาพไป โดยมีการสลายหรือสร้างพันธะของสับสเตรตขึ้นใหม่เกิดผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเคมี จากการรวมตัวระหว่างเอนไซม์กับสับสเตรต จนกลายเป็นเอนไซม์-สับสเตรตคอมเพล็กซ์ (enzyme-substrate complex) ดังภาพที่ 2.2 มีสมมติฐานที่อธิบายกลไกไว้ดังนี้

- สมมติฐานแม่กุญแจกับลูกกุญแจ

เอนไซม์จะเปรียบเสมือนเป็นลูกกุญแจ ส่วนสับสเตรต คือแม่กุญแจ ซึ่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อไขด้วยลูกกุญแจ โดยแม่กุญแจจะต้องมีรูปร่างที่พอเหมาะเท่านั้น ถึงจะรวมกับเอนไซม์ และเกิดปฏิกิริยากลายเป็นผลิตภัณฑ์ได้

- สมมติฐานการเหนี่ยวนำ

แอกทีฟไซต์จะสามารถยืดหยุ่น และเปลี่ยนสภาพได้เมื่อสับสเตรตเข้าใกล้บริเวณแอกทีฟไซต์ของเอนไซม์ สับสเตรตจะเหนี่ยวนำให้เอนไซม์เปลี่ยนโครงสร้างบริเวณแอกทีฟไซต์ให้มีรูปร่าง และขนาดพอเหมาะที่จะรวมกับสับสเตรตได้



ภาพที่ 2.3 แสดงการทำงานของเอนไซม์
ที่มา: Bugg (1997)

2.11.3 การยับยั้งเอนไซม์

ปฏิกิริยาเคมีอาจหยุดชะงักได้ด้วยสารประเภทหนึ่งที่เราเรียกว่า “ตัวยับยั้งเอนไซม์” ซึ่งจะมีอยู่ 3 แบบ คือ

2.11.3.1 การยับยั้งแบบถาวร เป็นสารที่จับกับเอนไซม์อย่างถาวรด้วยพันธะโควาเลนต์ จนกลายเป็นสารประกอบที่เสถียร ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้อีก

2.11.3.2 การยับยั้งแบบชั่วคราว เป็นตัวยับยั้งที่เกาะอยู่บนโมเลกุลของเอนไซม์อย่างชั่วคราวด้วยพันธะอื่นๆ (ที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์) จึงมีโอกาสหลุดจากเอนไซม์

2.11.3.3 การยับยั้งแบบย้อนกลับ เป็นการยับยั้งที่เกิดจากปฏิกิริยาที่มีปริมาณมากจนเกินพอ จะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาขึ้นแรกในเมทาบอลิซึมได้ ซึ่งการยับยั้งรูปแบบนี้จะพบได้ในกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมัน คอเลสเตอรอล กรดอะมิโน นิโคตีโอไทด์ และในเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.4 ชนิดของเอนไซม์

เอนไซม์สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.11.4.1 เอนไซม์จากอาหาร (food enzyme) คือ เอนไซม์ที่พบได้ในอาหารสด อาหารดิบทุกชนิด ถ้ามานจากพืชเราจะเรียกว่า เอนไซม์จากพืช (plant enzyme) แต่ถ้ามานจากสัตว์ เราจะเรียกว่า เอนไซม์จากสัตว์ (animal enzyme) อาหารที่ผ่านความร้อนจะทำลายเอนไซม์ในอาหาร ได้โดยง่าย ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้จะช่วยในการย่อยอาหารที่เรารับประทานเข้าไป

2.11.4.2 เอนไซม์ย่อยอาหาร (digestive enzyme) คือ เอนไซม์ที่ผลิตขึ้นโดยร่างกาย ส่วนใหญ่จะผลิตมาจากตับอ่อน เพื่อใช้ในการย่อยอาหารและดูดซึมสารอาหารที่เรา รับประทานเข้าไป ทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่มีคุณค่า

2.11.4.3 เอนไซม์ในการเผาผลาญพลังงาน (metabolic enzyme) คือ เอนไซม์ที่ ผลิตในเลือด เซลล์เนื้อเยื่อ และอวัยวะภายในต่าง ๆ ของร่างกาย มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมีเพื่อช่วย ในการเผาผลาญสารอาหาร สร้างพลังงาน สร้างภูมิคุ้มกัน การเจริญเติบโตให้กับร่างกาย รวมไปถึง การช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของอวัยวะภายใน และช่วยบำบัดรักษาโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ ของร่างกาย

2.11.5 ความสำคัญของเอนไซม์ไลเปสในอาหาร

เอนไซม์ไลเปสมีบทบาทสำคัญในอาหารทั้งในแง่โภชนา และการนำมาใช้ ประโยชน์ ดังนี้

- ในอาหาร ประเภทน้ำมัน และไขมันหรืออาหารที่มีปริมาณไขมันสูง ได้แก่ อาหารทอด เช่น บะหมี่สำเร็จรูป เมื่อโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ไลเปสจะได้กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง คือ ลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) ทำให้อาหารเกิดกลิ่น ผิดปกติ (off-flavor) ที่เรียกว่า กลิ่นหืน (rancidity)
- ใช้เพื่อเร่งปฏิกิริยาอินเตอเอสเทอริฟิเคชัน (interesterification) ในการปรับ โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ เพื่อให้ได้โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ ชนิดใหม่

2.11.6 ระบบย่อยอาหาร (digestion)

ระบบย่อยอาหาร หมายถึง การทำให้สารอาหารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่กลายเป็นสารอาหารที่มีโมเลกุลเล็กจนกระทั่งแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ การย่อยอาหารในร่างกายมี 2 วิธี

1. การย่อยเชิงกล คือการบดเคี้ยวอาหาร โดยฟัน เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดโมเลกุลทำให้สารอาหารมีขนาดเล็กลง

2. การย่อยเชิงเคมี คือการเปลี่ยนแปลงขนาดโมเลกุลของสารอาหารโดยใช้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องทำให้โมเลกุลของสารอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง

2.11.7 อวัยวะที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร

- ดับ สร้างน้ำดีส่งไปเก็บที่ถุงน้ำดี
- ดับอ่อน สร้างเอนไซม์ส่งไปย่อยอาหารที่ลำไส้เล็ก
- ลำไส้เล็ก สร้างเอนไซม์มอลเทส, ซูเครส และแล็กเทสย่อยอาหารที่ลำไส้เล็ก

2.12 เอนไซม์ย่อยอาหาร (Digest Enzyme)

เป็นสารประกอบประเภทโปรตีนที่ร่างกายสร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่เร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในร่างกาย เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสารอาหารเรียกว่า “น้ำย่อย” เอนไซม์มีสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- เป็นสารประเภทโปรตีนที่สร้างขึ้นจากเซลล์ของสิ่งมีชีวิต
- ช่วยเร่งปฏิกิริยาในการย่อยอาหารให้เร็วขึ้น และเมื่อเร่งปฏิกิริยาแล้วยังคงมีสภาพเดิมสามารถใช้เร่งปฏิกิริยาโมเลกุลอื่นได้อีก
- มีความจำเพาะต่อสารที่เกิดปฏิกิริยาชนิดหนึ่ง
- เอนไซม์จะทำงานได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

2.12.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ได้แก่

2.12.1.1 อุณหภูมิ เอนไซม์แต่ละชนิดทำงานได้ดีที่อุณหภูมิแตกต่างกัน แต่เอนไซม์ในร่างกายทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 37 °C

2.12.1.2 ความเป็นกรด – ด่าง เอนไซม์บางชนิดทำงานได้ดีเมื่อมีสภาพที่เป็นกรด เช่น เอนไซม์เพปซินในกระเพาะอาหาร เอนไซม์บางอย่างทำงานได้ดีในสภาพที่เป็นเบส เช่น เอนไซม์ในลำไส้เล็ก เป็นต้น

2.12.1.3 ความเข้มข้นของเอนไซม์ เอนไซม์ที่มีความเข้มข้นมากจะทำงานได้

ดีกว่าเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 การทำงานของเอนไซม์ ได้แก่

2.12.2.1 เอนไซม์ในน้ำลาย ทำงานได้ดีในสภาวะเป็นเบสเล็กน้อย เป็นกลาง หรือกรดเล็กน้อยจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาล และที่อุณหภูมิปกติของร่างกายประมาณ 37 °C

2.12.2.2 เอนไซม์ในกระเพาะอาหาร ทำงานได้ดีในสภาวะเป็นกรด และที่อุณหภูมิปกติของร่างกาย

2.12.2.3 เอนไซม์ในลำไส้เล็ก ทำงานได้ดีในสภาวะเป็นเบส และอุณหภูมิปกติของร่างกาย

สารอาหารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะถูกย่อยให้มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด ดังนี้

คาร์โบไฮเดรต → กลูโคส
 โปรตีน → กรดอะมิโน
 ไขมัน → กรดไขมัน และกลีเซอรอล

2.12.3 การย่อยในระบบทางเดินอาหาร

อวัยวะส่วนต่างๆของร่างกายนั้นมีความสามารถในการย่อยสารอาหารต่างๆ ได้แตกต่างกันตามชนิดของน้ำย่อยที่อยู่ในแต่ละอวัยวะของร่างกาย ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงการย่อยสารอาหารที่ตำแหน่งต่างๆของร่างกาย

ตำแหน่ง	สารที่ย่อย	น้ำย่อย	สารที่ได้	
ปาก	แป้ง	ไทลาลิน (อะไมเลส)	เดกซ์ทริน	
กระเพาะ	โปรตีน	เปปซิน	กรดอะมิโน	
ลำไส้เล็ก	แป้ง	amylase	สร้างจากตับอ่อน	มอลโทส กรดไขมัน+กลีเซอรอล เปปไทด์,กรดอะมิโน เปปไทด์,กรดอะมิโน กรดอะมิโน
	ไขมัน	lipase		
	โปรตีน	trypsin		
	พอลิเปปไทด์	chymotrypsin		
	เปปไทด์	carboxypeptidase		
	แป้ง	amylase		
ลำไส้เล็ก	น้ำตาลโมเลกุลคู่	disaccharase	สร้างจากผนังลำไส้เล็ก	มอลโทส น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน
	เปปไทด์	peptidase		

ที่มา: Halliwell (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรับประทานอาหารอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับทางเดินอาหาร เพื่อเกิดการย่อยตามลำดับคือ ปาก , คอหอย, หลอดอาหาร, กระเพาะ, ลำไส้เล็ก, ลำไส้ใหญ่ และ ทวารหนัก โดยแต่ละอวัยวะของร่างกายมีหน้าที่ที่แตกต่างกันไปดังนี้

1. ปาก (mouth) มีการย่อยเชิงกล โดยการบดเคี้ยวของฟัน และมีการย่อยทางเคมีโดยเอนไซม์อะไมเลสหรือไทลาลิน ซึ่งทำงานได้ดีในสภาพที่เป็นเบส

2. คอหอย (pharynx) เป็นทางผ่านของอาหาร ซึ่งไม่มีการย่อยใดๆ ทั้งสิ้น

3. หลอดอาหาร (esophagus) มีลักษณะเป็นกล้ามเนื้อเรียบมีการย่อยเชิงกลโดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อ

4. ทางเดินอาหารมีการเคลื่อนตัวเป็นช่วงๆ เรียกว่า “เพอริสตัลซิส (peristalsis)” เพื่อให้อาหารเคลื่อนที่ลงสู่กระเพาะอาหาร

5. กระเพาะอาหาร (stomach) มีการย่อยเชิงกลโดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อทางเดินอาหารและมีการย่อยทางเคมีโดยเอนไซม์เพปซิน (pepsin) ซึ่งจะทำงานได้ดีในสภาพที่เป็นกรด โดยชั้นในสุดของกระเพาะจะมีต่อมสร้างน้ำย่อยซึ่งมีเอนไซม์เพปซิน และกรดไฮโดรคลอริก เป็นส่วนประกอบ เอนไซม์เพปซินจะย่อยโปรตีนให้เป็นเปปไทด์ (peptide) ในกระเพาะอาหารนี้ยังมีเอนไซม์อยู่อีกชนิดหนึ่งชื่อว่า “เรนนิน” ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนในน้ำนม

6. ลำไส้เล็ก (small intestine) เป็นบริเวณที่มีการย่อย และการดูดซึมมากที่สุด อาหารเมื่อถูกย่อยเป็น โมเลกุลเล็กที่สุดแล้ว จะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก โดยเอนไซม์ในลำไส้เล็กจะทำงานได้ดีในสภาพที่เป็นเบส ซึ่งเอนไซม์ที่ลำไส้เล็กสร้างขึ้น ได้แก่

- มอลเทส (maltase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยน้ำตาลมอลโทสให้เป็นกลูโคส
- ซูเครส (sucrase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยน้ำตาลทรายหรือน้ำตาลซูโครส (sucrose) ให้เป็นกลูโคสกับฟรุกโทส (fructose)

- แล็กเทส (lactase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยน้ำตาลแล็กโทส (lactose) ให้เป็นกลูโคสกับกาแล็กโทส (galactose)

การย่อยอาหารที่ลำไส้เล็กโดยใช้เอนไซม์จากตับอ่อน (pancreas) มาช่วยย่อย เช่น

- ทริปซิน (trypsin) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนหรือเปปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโน
- อะไมเลส (amylase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลมอลโทส
- ไลเปส (lipase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมัน และกลีเซอรอล

7. น้ำดี (bile) เป็นสารที่ผลิตมาจากตับ (liver) แล้วไปเก็บไว้ที่ถุงน้ำดี (gall bladder) น้ำดีไม่ใช่เอนไซม์เพราะไม่ใช่สารประกอบประเภทโปรตีน น้ำดีจะทำหน้าที่

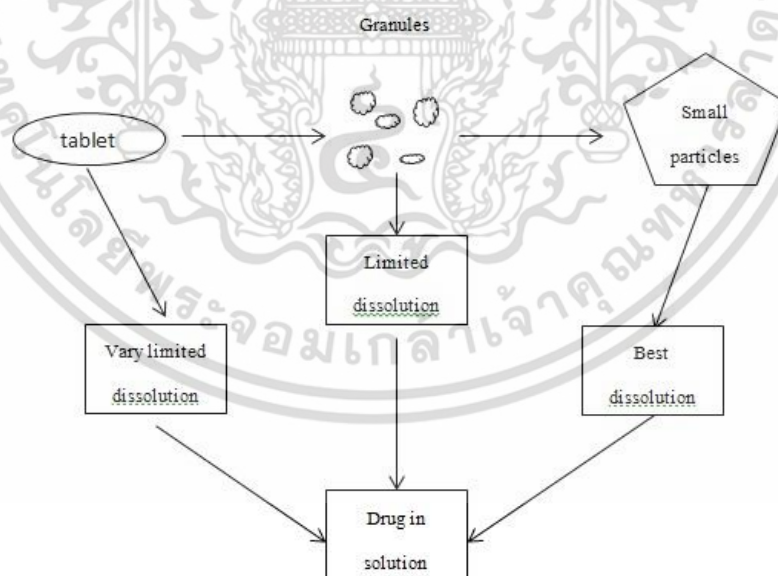
ย่อยโมเลกุลของโปรตีนให้เล็กลงแล้วน้ำย่อยจากตับอ่อนจะย่อยต่อทำให้ได้อนุภาคที่เล็กที่สุดที่สามารถแพร่เข้าสู่เซลล์

8. ลำไส้ใหญ่ (large intestine) ที่ลำไส้ใหญ่ไม่มีการย่อย แต่ทำหน้าที่เก็บกากอาหาร และดูดซึมน้ำออกจากกาก

2.13 การละลายของตัวยา (Dissolution)

การเตรียมยาเกือบทุกรูปแบบ ยกเว้นยาน้ำใส ตัวยาสำคัญต้องละลายอยู่ในตัวทำละลายที่อยู่ในบริเวณที่ขาคเกิดการดูดซึม เช่น น้ำลาย หรือของเหลวในกระเพาะและลำไส้ จึงจะสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ได้ เพราะฉะนั้นการละลายของตัวยา (dissolution) โดยเฉพาะตัวยาที่อยู่ในสถานะของแข็ง และกึ่งของแข็ง จึงมีผลต่อการดูดซึม และการออกฤทธิ์ของยา

เมื่อยาเม็ดอยู่ในทางเดินอาหาร เม็ดยาจะแตกตัว (disintegration) เป็นกลุ่มอนุภาคที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กๆ จับกลุ่มกันอยู่ (granule) จากนั้นกลุ่มอนุภาคจะแยกตัว (deaggregation) กลายเป็นอนุภาคเดี่ยว (fine particle) ซึ่งอนุภาคเดี่ยวจะเกิดการละลายในของเหลวที่มีอยู่ในทางเดินอาหารจนอยู่ในรูปสารละลาย (solution) แล้วถูกดูดซึมจากทางเดินอาหารเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.4



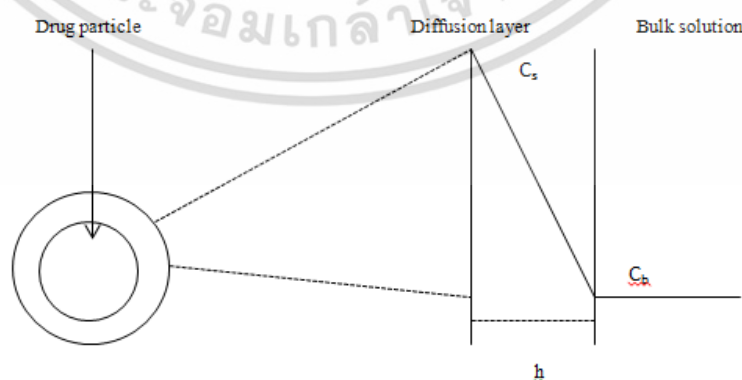
ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการละลายของยาเตรียมรูปแบบของแข็ง
ที่มา: วารี ลิมปวีกรานต์ (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.1 การละลายของอนุภาคของแข็ง

การละลายของของแข็งในของเหลวจะเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทสารจากรูปของแข็งไปเป็นรูปของเหลว วิธีการในการถ่ายเทสารแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ปฏิกริยาระหว่างผิว (interfacial reaction) ซึ่งเป็นการปล่อยโมเลกุล ตัวถูกละลายหลุดออกจากสารในสถานะของแข็งจนได้เป็นโมเลกุลของตัวถูกละลายอิมัลชันในตัวทำละลาย จากนั้น โมเลกุลของ ตัวถูกละลายเหล่านั้นจะถูกส่งไปยังตัวกลางทำละลายโดยอาจจะส่งด้วยวิธีการแพร่ (diffusion) หรือการพา (convection) ก็ได้ ซึ่งจะเกิดการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายมากไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อย

เมื่อนำผงยาไปกระจายตัวในตัวทำละลาย สามารถอธิบายได้ด้วย diffusion layer method ดังแสดงในภาพที่ 2.5 คือแต่ละอนุภาคของผงยาจะต้องถูกล้อมรอบด้วยตัวทำละลายเป็นชั้นบางๆ เรียกว่า stagnant layer หรือ diffusion layer ชั้นนี้จะยึดติดกับอนุภาคตลอดไม่ว่าอนุภาคจะเกิดการเคลื่อนที่ไปที่ใดก็ตาม จะมีความหนาเท่ากับ h ความเข้มข้นของสารในตำแหน่งที่ติดกับผิวของอนุภาค (C_2) คือความเข้มข้นอิมัลชันของสารในตัวทำละลายชนิดนั้นๆ และในตำแหน่งที่ห่างจากผิวของอนุภาคชั้น ความเข้มข้นของสารในชั้นของเหลวจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงผิวนอกของ diffusion layer จะเป็นชั้นของตัวทำละลายกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน ความเข้มข้นของสารจะคงที่และเท่ากันทุกส่วน ซึ่งจะเท่ากับความเข้มข้นของสารในตัวทำละลายทั้งหมด ณ เวลานั้นๆ (C_1) ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของทั้งสองตำแหน่ง จะมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วในการละลาย คือ ยิ่งความเข้มข้นต่างกันมาก อัตราเร็วในการละลายก็จะสูงตามไปด้วย นอกจากนี้การคนมีผลต่อความหนาของชั้น diffusion layer โดยเมื่อคนสารละลายด้วยความเร็วสูงๆ ความหนาของชั้นจะบางลงแต่หากคนเบาๆ ชั้นก็จะหนา



ภาพที่ 2.5 Diffusion layer model

ที่มา: ศุภกัญญา และ ปิลันธนา (2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการละลายของยา (ลักษณะ และ นิธิยา, 2544)

2.13.2.1 คุณสมบัติของยา

- การแตกตัวของยา ด้วยยาที่มีคุณสมบัติเป็นเกลือที่แตกตัวในน้ำได้ดี จะเกิดการละลายได้เร็ว อย่างไรก็ตามการละลายของสารประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ counter-ion หรือ ionic strength ของตัวทำละลายด้วย ถ้าตัวทำละลายมีค่า ionic strength สูง อัตราเร็วในการละลายก็จะลดลง นอกจากนี้การละลายยังขึ้นกับค่า pH ด้วยเช่น ในกระเพาะอาหาร มี pH 1.5-3.0 ส่วนในลำไส้เล็กตอนต้นมี pH 5.0-7.0 ด้วยยาที่เป็นด่างอ่อนจะละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารเนื่องจากยาจะแตกตัวเป็น ไอออนได้ดี จะตรงข้ามกับยาที่เป็นกรดอ่อน ซึ่งจะละลายได้ดีที่ลำไส้เล็ก แต่หลักการสำคัญอย่างหนึ่งคือยาจะละลายได้ดีเมื่อเกิดการแตกตัว แต่ร่างกายจะดูดซึมยาที่อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวได้ดีกว่า ด้วยเหตุนี้ยาที่เป็นด่างอ่อนจะละลายได้ดีที่กระเพาะอาหาร แต่จะไปถูกดูดซึมได้ดีที่ลำไส้เล็ก

- ขนาด และพื้นที่ผิวของอนุภาคยา จากสมการของ Noyes-Whitney จะแสดงให้เห็นว่าอัตราการละลายจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของอนุภาคยา ถ้าอนุภาคยามีขนาดเล็กจะทำให้พื้นที่ผิว (effective surface area) เพิ่มขึ้น ซึ่งก็จะทำให้อัตราเร็วในการละลายเพิ่มขึ้น กรณีของยาที่ละลายน้ำได้น้อยการลดขนาดอนุภาคจะเพิ่มอัตราความเร็วในการละลายได้อย่างมีนัยสำคัญ และทำให้ค่าชีวประสิทธิผลมากขึ้นตามไปด้วย

- รูพรุนของอนุภาค (porosity of solid particles) อัตราเร็วของการละลายจากพื้นที่ผิวภายในรูพรุนจะต่ำกว่าอัตราเร็วจากพื้นที่ผิวภายนอก เพราะระยะทางสำหรับการแพร่จะไกลกว่า และนานกว่า แต่ถ้ารูพรุนมีขนาดเล็กกว่าขนาดของโมเลกุลของตัวทำละลาย รูพรุนจะไม่มีผลต่ออัตราเร็วในการละลาย เนื่องจากตัวทำละลายจะไม่สามารถผ่านเข้าไปในรูพรุนนั้นได้

- สารพหุสัณฐาน (polymorphism) สารบางชนิดมีหลายสัณฐาน ซึ่งจะมีรูปผลึกแตกต่างกันไป ส่งผลให้เกิดความแตกต่างต่ออัตราการละลาย ถ้าเลือกรูปผลึกที่ละลายน้ำได้ดีมาเตรียมตำรับก็จะได้ตำรับที่ละลายเร็ว และดูดซึมได้ดี พงยาที่เป็นแบบ crystalline จะละลายได้ช้ากว่าแบบ amorphous เพราะจะต้องใช้พลังงานสูงกว่าเพื่อทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งพงยาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธี freeze dried จะเป็นแบบ amorphous และมีลักษณะที่ฟูเบาจึงสามารถละลายน้ำได้เร็วมาก

2.13.2.2 คุณสมบัติของตัวทำละลาย

- ความหนืดของตัวทำละลาย ถ้าตัวทำละลายมีความหนืดสูง จะทำให้อัตราเร็วในการแพร่ของตัวถูกละลายช้าลง และยังทำให้อัตราการละลายลดลงตามไปด้วย
- สารลดแรงตึงผิว สารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบ จะมีผลช่วยเพิ่มอัตราการละลายอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณียาผงที่เปียกน้ำยาก เนื่องจากสารลดแรงตึงระหว่างผิว (interfacial tension) ของอนุภาคผงยา และผิวของตัวทำละลาย จะทำให้ตัวทำละลายสามารถเกาะติดหรือทำให้ผิวของอนุภาคแห้งเปียกได้ดีขึ้น และตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าสู่ผิวอนุภาคผงยาได้ง่ายขึ้น อัตราการละลายก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.13.2.3 สภาพของร่างกาย

- gastric emptying and intestinal transit time อาหารที่รับประทานเข้าไปจะใช้เวลาในการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารนาน 15 นาที จนถึง 2 ชม. ขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งที่รับประทาน และขึ้นกับปริมาณอาหารที่มีอยู่ภายในกระเพาะ ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวจะมีผลต่อการละลายของยาที่มีลักษณะเป็นของแข็ง เช่น กรณีของตัวยาละลายได้ดีในสภาวะกรด ถ้าอยู่ในกระเพาะอาหารเป็นเวลานานก็จะละลายได้เร็วขึ้น นอกจากนี้อาหารที่อยู่ในกระเพาะจะมีผลต่อความหนืด ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการละลายได้ ยาส่วนมากจะถูกดูดซึมได้ดีที่ลำไส้เล็กส่วน duodenum และ jejunum เพราะฉะนั้นระยะเวลาที่ยาอยู่ในลำไส้เล็กส่วนนี้ก็จะส่งผลต่อการละลายและปริมาณยาที่จะถูกดูดซึมด้วย โดยปกติแล้วระยะเวลาที่อาหารจะเคลื่อนที่ผ่านลำไส้เล็กส่วนนี้จะใช้เวลาประมาณ 1-4 ชม.
- ความเป็นกรดต่างในทางเดินอาหาร ในทางเดินอาหารแต่ละตำแหน่งจะมีค่า pH ที่แตกต่างกันไป ซึ่งจะมีผลต่อการละลายของยาที่เป็นกรดอ่อนหรือด่างอ่อนในกระเพาะอาหารช่วงที่ไม่มีอาหารมีค่า pH ประมาณ 1.2 แต่เมื่อรับประทานอาหารเข้าไปจะเพิ่มเป็น 3.5 หรือสูงกว่านั้นขึ้นกับชนิดและปริมาณของอาหาร ยาที่เป็นกรดอ่อนจะละลายไม่ดีในสภาวะกรด แต่ยาที่เป็นด่างอ่อนจะแตกตัว และละลายได้ดีในสภาวะกรด

2.13.2.4 ความเข้มข้นของตัวยานในสารละลาย หากความเข้มข้นของตัวถูกละลายมีปริมาณต่ำ อัตราเร็วการละลายจะสูง แต่ถ้าความเข้มข้นตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้อัตราเร็วของการละลายลดต่ำลง

2.13.3 ความสำคัญของการทดสอบการละลาย

2.13.3.1 การควบคุมคุณภาพ ในเกสซ์ตำรับต่างๆจะกำหนดให้ทำการทดสอบการละลายเป็นส่วนหนึ่งในการควบคุมคุณภาพของเกสซ์ภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเตรียมยาที่เป็นของแข็ง โดยใน monograph ของยาแต่ละชนิดจะมีการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เป็นการเรียนการสอนโดยไม่หวังผลใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบการละลายของยาชนิดนั้นเอาไว้ ได้แก่ ชนิดของเครื่องมือ, ชนิดและปริมาณของ dissolution medium, อัตราเร็วในการหมุนของ basket หรือ paddle และวิธีการวิเคราะห์ยาที่สามารถละลายได้

2.13.3.2 การละลาย และการดูดซึม และชีวประสิทธิผล เมื่อยาเตรียมเข้าไปถึงบริเวณที่เกิดการดูดซึม ยาจะต้องปลดปล่อยตัวยาสำคัญออกมา จากนั้นร่างกายจึงจะดูดซึมยาเข้าสู่ร่างกายได้ ในกรณีของยาเตรียมชนิดรับประทาน เช่น ยาเม็ด ขั้นตอนแรกยาเม็ดที่เป็นของแข็งจะละลายจนอยู่ในรูปสารละลายก่อน หลังจากนั้นยาที่อยู่ในรูปสารละลายจะถูกดูดซึมจากทางเดินอาหารเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิต เพราะฉะนั้นความเร็วที่ยาจะเข้าสู่กระแสเลือดจะถูกกำหนดโดยขั้นตอนที่ช้ากว่าขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่กล่าวมา เรียกว่า rate-limiting step

สำหรับยาที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) เช่น ยาที่เป็นเกลือที่ละลายได้ดีในน้ำ การละลายน้ำของยาประเภทนี้จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เพราะฉะนั้นขั้นตอนการดูดซึม บางกรณีสารละลายของตัวยาที่ยังไม่ถูกดูดซึมอาจจะถูกกำจัดออกไปจากบริเวณที่ถูกดูดซึมก่อนที่ยาจะถูกดูดซึมได้ เพราะการดูดซึมที่เกิดขึ้นได้ช้า ในส่วนของยาที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ขั้นตอนการละลายจะเป็น rate-limiting step เพราะฉะนั้นค่าชีวประสิทธิผล (bioavailability) หรือปริมาณยาที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของยาประเภทนี้จะถูกกำหนดโดยอัตราเร็วในการละลาย ซึ่งการปรับปรุงอัตราเร็วในการละลายของยาสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติตัวยาหรือส่วนประกอบในตำรับยา เพื่อให้ได้ตำรับที่ได้มีค่าชีวประสิทธิผลสูงสุด

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์

รำข้าวที่ผ่านการขัดสีในสภาวะแวดล้อมควบคุม โดยใช้ข้าวสายพันธุ์พิษณุโลก 2 จากจังหวัดสุพรรณบุรี ช่วงเดือน มิถุนายน พ.ศ.2557

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน	Soxhlet (SOX 406), China
3.2.2 ตู้ดูดอากาศ	Toplab, Thailand
3.2.3 เตาเผา	Nabertherm (B170), Germany
3.2.4 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)	Memmert, Germany
3.2.5 เตาไฟฟ้า (Hotplate)	Clifton (Cerastir), England
3.2.6 เครื่องเขย่า	Gerhart, Germany
3.2.7 เครื่องเหวี่ยง (Centrifuge)	Sorval(legend mach 1.6 R),Germany
3.2.8 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	Binder (ED115), Germany
3.2.9 เครื่องบดละเอียด (Pin mill)	Retsh (DR 1000), Germany
3.2.10 เครื่อง EDS	Link (ISIS300), USA
3.2.11 เครื่อง ICP-OES	Perkin Elmer (4300DV), USA
3.2.12 เครื่อง ICP-MS	Agilent (7500C), USA
3.2.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (SEM)	JEOL (JSM5410LV), USA
3.2.14 เครื่องคนชนิดใช้สนามแม่เหล็ก	EDS, Thailand
3.2.15 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง	Ohuau (ARC 120), USA
3.2.16 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	Denver (SI-324), Germany
3.2.17 เครื่องสีข้าว	NW 1000 TURBO, Thailand
3.2.18 เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง	Suntex (SP-7), Germany
3.2.19 เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary evaporator)	Yamato (RE301), USA

3.2.20 เครื่องหีบแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.21 โถดูดความชื้น (Desiccator)	Bohlender, Germany
3.2.22 กระดาษกรอง เบอร์ 1	Whatman, England
3.2.23 เครื่องแก้ว	Schott, Germany
3.3.24 เครื่องตอกแคลป์ซูลเบอร์ 0	
3.2.24 ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ	Favorit (P811613), Italy
3.2.25 ขวดเก็บสาร(สีชา)	Schott, Germany
3.2.26 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ	

3.3 สารเคมี

3.3.1 เฮกเซน	MERCK, Germany
3.3.2 กรดไฮโดรคลอริก	MERCK, Germany
3.3.3 เอมีนัมป้าเปิน	Fluka, Germany
3.3.4 โซเดียมไบคาร์บอเนต	MERCK, Germany
3.3.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์	MERCK, Germany
3.3.6 โซเดียมคลอไรด์	MERCK, Germany
3.3.7 โปแทสเซียมคลอไรด์	MERCK, Germany
3.3.8 โปแทสเซียมฟอสเฟต	SIGMA, Germany

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การศึกษาวิธีการเตรียมรำข้าว

สายพันธุ์ข้าวที่นำมาใช้ในการทดลองคือ ข้าวสายพันธุ์พิษณุโลก 2 เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่มีการปลูกมากที่สุดในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบปริมาณรำข้าวจากข้าวที่ผ่านการอบร้อนเป็นเวลา 2 ชม. ที่อุณหภูมิ 60 ± 2 °C (Kennedy and Nguuyen, 2002) และข้าวที่ไม่ผ่านการอบ จากนั้นนำส่วนของข้าวที่เตรียมไว้ไปขัดสีด้วยเครื่องขัดสีรุ่น NW1000 Turbo แล้วนำไปร่อนเพื่อแยกส่วน เปรียบเทียบปริมาณของ จมูกข้าว รำข้าว ข้าวขาว และแกลบของทั้ง 2 วิธี โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 600 μm (Guohua et. al, 2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี T-Test ทำการทดลอง 3 ซ้ำนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยมีตัวแปรอิสระคือ วิธีการเตรียมรำข้าวที่แตกต่างกัน และตัวแปรตามคือปริมาณของ จมูกข้าว รำข้าว ข้าวขาว และแกลบหลังการขัดสี

3.5.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

นำข้าวสายพันธุ์พิษณุโลก 2 มาขัดสีโดยวิธีที่ให้ปริมาณของรำข้าวหลังการขัดสีมากที่สุด จากข้อ 3.5.1 โดยนำส่วนของข้าวที่เตรียมไว้ไปขัดสีด้วยเครื่องขัดสีรุ่น NW1000 Turbo ภายหลังการสีข้าวจะได้ ส่วนของรำข้าว และจมูกข้าวปะปนกัน นำไปร่อนเพื่อแยกส่วนของจมูกข้าวออกจากรำข้าว โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 600 μm (Guohua et. al., 2009) นำตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการขัดสี ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆดังนี้

- ความชื้น (ดัดแปลงจาก A.O.A.C, 2003)
- เถ้า (A.O.A.C., 2000)
- เส้นใย (A.O.A.C., 2000)
- คาร์โบไฮเดรต (A.O.A.C., 2000)
- โปรตีน (A.O.A.C., 2005)
- ไขมัน (A.O.A.C., 2005)

3.5.3 การศึกษาสภาวะการเก็บรักษารำข้าวที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในกักรำข้าว

นำรำข้าวที่ผ่านขั้นตอนการขัดสีเช่นเดียวกันข้อ 3.5.2 เก็บรักษาในสภาวะที่แตกต่างกันโดยแบ่งเป็น 4 สภาวะดังนี้ ก่อนผ่านกระบวนการกำจัดไขมัน

1. RB1 คือ รำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม.ก่อนนำมากำจัดไขมัน
2. RB2 คือ รำข้าวที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม.ก่อนนำมากำจัดไขมัน
3. RB3 คือ รำข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 °C เป็นเวลา 48 ชม. ก่อนนำมากำจัดไขมัน
4. RB4 คือ รำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม.ก่อนนำมากำจัดไขมัน และโปรตีน

นำรำข้าว RB1, RB2, RB3 และ RB4 ไปกำจัดไขมันโดยแช่ในเฮกเซน อัตราส่วน รำข้าว 1 ส่วน ต่อ เฮกเซน 3 ส่วน แล้วนำไปเขย่าที่ 190-200 rpm เป็นเวลา 1 ชม.

จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เพื่อแยกส่วนของของเหลว และของแข็ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจากกัน นำส่วนของของแข็งไปผ่านกระบวนการเดิมซ้ำอีก 3 ครั้งเพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่เหลือส่วนของไขมันปะปนอยู่ จากนั้นนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 ± 2 °C นาน 5-6 ชม. นำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุด้วยเครื่อง EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)

และนำตัวอย่าง RB4 มาแยกส่วนของโปรตีนโดยนำตัวอย่าง 50 กรัมผสมกับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็ว 190-200 rpm เป็นเวลา 12 ชม. (Fabian et al., 2010) จากนั้นนำไปกรองแยกของเหลว และของแข็งออกจากกัน นำส่วนของของเหลวซึ่งประกอบด้วยโปรตีนไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโปรตีนด้วยวิธีเจลดาล์ (Kjeldahl, 1883) และนำส่วนของแข็งที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 ± 2 °C นาน 5-6 ชม. จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยมีตัวแปรอิสระคือ สภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน และตัวแปรตามคือปริมาณแร่ธาตุที่วิเคราะห์ได้

หลังจากทราบวิธีการเก็บรักษารำข้าวที่มีปริมาณแร่ธาตุมากที่สุด จึงนำกรำข้าวที่เก็บรักษาด้วยวิธีดังกล่าวนำไปบดด้วยเครื่อง pin mill ให้มีขนาดอนุภาค ≤ 250 μm จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยวิธี ICP-OES (Inductively coupled plasma optical emission spectrometer) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน (A.O.A.C., 2005) เพื่อยืนยันว่าในตัวอย่างนั้นมีปริมาณแคลเซียม, เหล็ก, ฟอสฟอรัส และสังกะสีในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นอาหารเสริมให้แก่ผู้ที่ขาดแคลนแร่ธาตุที่สำคัญ

3.5.4 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุในสารสกัดแร่ธาตุจากกรำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริก

เตรียมกรำข้าวที่มีปริมาณแร่ธาตุในกรำข้าวมากที่สุด จากวิธีในข้อ 3.5.3 มาผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เพียงอย่างเดียว และ การย่อยด้วยเอนไซม์ และกรดแก่ (โดยเป็นการย่อยเลียนแบบขั้นตอนการย่อยในกระเพาะ และลำไส้บางส่วน) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุด้วยวิธี ICP-OES

3.5.4.1 การย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน

เตรียมกรำข้าว 1 กิโลกรัม ใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำ 2.5 ลิตร ผสมเอนไซม์ปาเปน 10 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 300 unit) นำไปปรับค่าความเป็นกรดด่างที่ pH 6.5 ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ใด ๆ ไม่ควรฉ้อโกง ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 N NaOH จากนั้นบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 4 ชม. คัดแปลงจาก Glahn และ Van Campen (1997) แล้วนำไปหีบแยกของเหลวออกจากของแข็งด้วยเครื่องหีบแยกกาก ทำ 2 ซ้ำ โดยนำส่วนของของแข็งไปอบแห้งเพื่อหา Crude fiber และส่วนของของเหลวจะนำไปปรับปริมาตรให้ได้ 3 ลิตรแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเครื่อง ICP-OES

3.5.4.2 ย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริก

เตรียมการข้าว 1 กิโลกรัม ใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำ 2.5 ลิตร ผสมเอนไซม์ปาเปน 10 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 300 unit) นำไปปรับค่าความเป็นกรดต่างที่ pH 6.5 ด้วย 1 N NaOH จากนั้นบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 4 ชม. นำไปปรับค่าความเป็นกรดที่ pH 2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 5.0 M บ่มต่อในตู้บ่มอุณหภูมิ 65 °C นาน 2 ชม. จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดต่าง pH เป็น 7 ด้วย 1 N NaOH (Glahn and Van Campen, 1997) แล้วนำไปหีบแยกของเหลวออกจากของแข็งด้วยเครื่องหีบแยกกาก ทำ 2 ซ้ำ โดยส่วนของของแข็งนำไปอบแห้งเพื่อหา crude fiber และส่วนของของเหลวจะนำไปปรับปริมาตรให้ได้ 3 ลิตร จึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยวิธี ICP-OES

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี T-Test ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$

3.5.5 การศึกษาปริมาณแร่ธาตุในผงแร่ธาตุสกัดต่อ 1 แคลปซูล

เตรียมสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวด้วยกรรมวิธีที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 3.5.4 ไประเหยน้ำออกด้วยเครื่อง evaporator เมื่อระเหยจนได้สารสกัดเข้มข้นแล้ว นำไปอบแห้งต่อด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 12 ชม. จนกว่าจะมีความชื้นเหลืออยู่ในผงแร่ธาตุที่อบแห้งไม่เกินร้อยละ 7 จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (Pin mill) ขนาดอนุภาค ≤ 250 ไมโครเมตร บรรจุผงแร่ธาตุที่ได้ลงในแคลปซูลเบอร์ 0 ด้วยเครื่องตอกแคลปซูล โดยในแต่ละแคลปซูลจะบรรจุผงแร่ธาตุสกัดประมาณ 0.5 กรัม วิเคราะห์ปริมาณธาตุ เหล็ก, ฟอสฟอรัส, สังกะสี และแคลเซียม ต่อ 1 แคลปซูล ด้วยวิธี ICP-OES

3.5.6 การศึกษาความสามารถในการแตกตัวของแคลปซูล (Disintegration) ที่เตรียมในรูปแบบอาหารเสริมแร่ธาตุ

ศึกษาความสามารถในการแตกตัวของแคลปซูล โดยประยุกต์จากวิธีการทดสอบการแตกตัวของเม็ดยาตามเกสซ์ดำรับ (วาตี ลิมปวีกรานต์, 2014) โดยนำน้ำกลั่น บรรจุลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอด หลอดละ 40 มิลลิลิตร จำนวน 6 หลอด ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 ± 2 °C ด้วยอ่างน้ำร้อน เมื่อได้ อุณหภูมิตามที่กำหนด ใส่สารสกัดแร่ธาตุชนิดผงที่บรรจุในแคปซูลเบอร์ 0 ลงในแต่ละหลอดๆละ 1 เม็ด จับเวลาที่ 15, 30 และ 60 นาที เมื่อครบเวลาสังเกตว่าแคปซูลทั้ง 6 เม็ดแตกตัวสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าแตกตัวทั้งหมด ถือว่าสารสกัดแร่ธาตุนั้นผ่านการทดสอบตามมาตรฐานเภสัชตำรับ โดยสร้างกราฟการแตกตัว (disintegration) เปรียบเทียบกันในแต่ละช่วงเวลาในการละลาย

3.5.7 การศึกษาความสามารถในการละลายเลียนแบบทางอาหาร (Solubility test)

ประยุกต์จากวิธีการละลายนมผง (ลักษณะ และ นิธิยา, 2544) ทำโดยชั่งสารสกัดแร่ธาตุชนิดผงตัวอย่างละ 4 กรัม บรรจุลงในหลอดทดลอง เขย่าด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาตร 32 มิลลิลิตร นาน 10 วินาที แล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 5 นาที และเขย่า 1 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่ซังน้ำหนักไว้แล้ว นำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 5-6 ชม. ซังน้ำหนักของสารสกัดแร่ธาตุที่เหลือ จะได้ ร้อยละการละลาย (โดยการละลายจะผันแปร ตามวิธีที่ใช้ในการเตรียมสารสกัดแร่ธาตุ อุณหภูมิ ความเป็นกรด และวิธีที่ใช้ทดสอบการละลาย)

3.5.8 การศึกษาความสามารถในการละลายเลียนแบบทางยา (Dissolution testing)

ประยุกต์จากวิธีทดสอบที่เป็นไปตามข้อกำหนดของเภสัชตำรับ (Food and Drug Administration, 1997) โดยนำสารสกัดแร่ธาตุชนิดผง 30 มิลลิกรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายทดสอบเปรียบเทียบ ที่ 2 สถานะ คือ ที่บัฟเฟอร์ pH 1.2 และ pH 6.8 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นำไปคนด้วย magnetic stirrer ความเร็วรอบ 100 rpm ที่อุณหภูมิ 37 ± 2 °C สุ่มตัวอย่างที่เวลา 30, 60 และ 120 นาที ไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 3 ชม. ซังน้ำหนักของสารสกัดแร่ธาตุที่เหลือจากการละลาย คำนวณเป็นร้อยละการละลาย โดยนำร้อยละการละลายของตัวอย่างที่เวลา 30, 60 และ 120 นาทีไปสร้างกราฟแสดงการละลาย (dissolution profile) เปรียบเทียบกันในแต่ละช่วง pH

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial) ขนาด 2 x 3 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncans' New Multiple Range Test ทำการทดลอง 3 ซ้ำนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเปรียบเทียบข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยมีตัวแปรอิสระคือ pH และเวลาในการละลาย ที่แตกต่างกัน และตัวแปรตามคือร้อยละการละลาย

3.5.9 ตรวจวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของอาหารเสริมแร่ธาตุ

นำตัวอย่างอาหารเสริมแร่ธาตุที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่อาจปนเปื้อน ได้แก่ ตะกั่ว (Pb), แคดเมียม (Cd), สารหนู (As) และปรอท (Hg) ด้วยวิธี ICP-MS (Inductively coupled plasma-mass spectrometry) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน (A.O.A.C., 2012) ซึ่งใช้หลักการของอะตอมมิกสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ธาตุ ทำให้วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ธาตุได้พร้อมกันหลายชนิดในเวลาเดียวกัน และมีความไวในการวิเคราะห์สูง สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ถึงขีดจำกัดการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นพิโคกรัมต่อมิลลิลิตร (pg/ml) ถึง เฟมโตกรัมต่อมิลลิลิตร (fg/ml) (Soliman et.al., 2005)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาวิธีการเตรียมรำข้าว

ผลการเปรียบเทียบปริมาณรำข้าว ข้าวขาว และแกลบที่ได้จากเตรียมรำข้าวที่ไม่ผ่านการอบก่อนขัดสี และการเตรียมรำข้าวที่ผ่านการอบก่อนการขัดสี แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของส่วนต่างๆของข้าวจากการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน

ส่วนของข้าว (ร้อยละ)	ตัวอย่างข้าวที่	
	ไม่ผ่านการอบ	ผ่านการอบ
รำข้าว	3.30 ± 0.20 ^b	6.10 ± 0.14 ^a
จมูกข้าว	2.03 ± 0.07 ^b	4.01 ± 0.09 ^a
ข้าวขาว	54.80 ± 3.30 ^a	49.30 ± 3.42 ^a
แกลบ	40.35 ± 2.25 ^a	40.40 ± 2.36 ^a

หมายเหตุ : ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และ ตัวอักษร (a b c) ที่กำกับต่างกัน ในแนวนอนหมายถึงตัวอย่างข้าวที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวที่ผ่านการอบลมร้อนเป็นเวลา 2 ชม. ที่อุณหภูมิ 60 ± 2 °C เมื่อนำข้าวไปผ่านกระบวนการขัดสีจะได้ปริมาณรำข้าวมากกว่าข้าวเปลือกที่ไม่ได้ผ่านขั้นตอนการอบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kennedy และ Nguyen (2002) ที่พบว่าข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 14 จะได้ข้าวที่ขัดสีแล้วมีคุณภาพดีที่สุด โดยพบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบ มีปริมาณรำข้าวมากที่สุดคือร้อยละ 6.10 โดยส่วนของข้าวขาว และแกลบพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$

4.2 ผลการการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ผ่านการขัดสีด้วยวิธีกล โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และเถ้า แสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ผ่านการขัดสี

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
เส้นใย	69.06±0.45
ความชื้น	10.31±0.12
คาร์โบไฮเดรต	9.54±0.00
ไขมัน	7.62±0.03
เถ้า	3.17±0.04
โปรตีน	0.30±0.03

หมายเหตุ: ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.2 พบว่ารำข้าวมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10.31-10.50 โดยองค์ประกอบหลักของรำข้าวจะประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 0.30-0.33 ,ไขมันร้อยละ 7.62-7.65 ที่ประกอบด้วยกรดโอเลอิก และกรดลิโอเลอิกเป็นส่วนประกอบหลัก และแกรมมา-โอริซานอล เป็นส่วนน้อย , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 9.54 เถ้าร้อยละ 3.17-3.21 และเส้นใยร้อยละ 69.06-71.02 ซึ่งองค์ประกอบหลักคือ Hemicellulose เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการรายงานของ (Guohua et al., 2009) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว พบว่ามีความชื้นร้อยละ 10.98 โปรตีนร้อยละ 8.35 ไขมันร้อยละ 2.88 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 10.85 และเถ้าร้อยละ 4.21 ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของรำข้าวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสายพันธุ์ ดิน, ปุ๋ย, สารเคมี และการจัดการ (Wang et al., 2011) สอดคล้องกับรายงานของ (Anjum et al., 2007) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน

4.3 ผลการศึกษาสถานะการเก็บรักษารำข้าวที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าว

เมื่อนำรำข้าวทั้ง 4 สภาวะมาวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุด้วยวิธี EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) โดย

RB1 คือ รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม.

RB2 คือ รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม.

RB3 คือ รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5°C เป็นเวลา 48 ชม.

RB4 คือ รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. และนำไปแยกโปรตีน

จะได้ผลเป็นสเปกตรัมของรูปแบบการเก็บรักษาก่อนนำไปสกัดไขมัน และการสกัดโปรตีนต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าว ดังภาพที่ภาคผนวก ข1, ข2, ข3 และ ข4 ตามลำดับ และผลของปริมาณแร่ธาตุหลัก และแร่ธาตุรองของรำข้าว RB1, RB2, RB3 และ RB4 แสดงดังตารางที่ 4.3 พบแร่ธาตุหลัก 7 ชนิดคือ โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), ฟอสฟอรัส (P), แมกนีเซียม (Mg), ซัลเฟอร์ (S), คลอไรด์ (Cl) และ แร่ธาตุรอง 1 ชนิดคือ เหล็ก (Fe) ผลจากการวิเคราะห์พบว่ารำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) มีแร่ธาตุโดยรวมสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาปริมาณแร่ธาตุที่ตรวจวัดได้ของการเก็บรักษารำข้าวที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 48 ชม. (RB3) มีปริมาณแร่ธาตุโดยรวมสูงกว่า การเก็บรักษารำข้าวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. ดังตารางที่ 4.3 จึงสามารถสรุปได้ว่าเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในรำข้าว ในระหว่างการเก็บรักษา มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าว โดยการนำรำข้าวไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ไลเปสได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sulaiman และคณะ (2004) ที่พบว่าในน้ำมันพืชจะมีเอนไซม์ไลเปสในปริมาณมากซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรำข้าว และรำข้าวที่ผ่านการสกัดโปรตีน (RB4) จะมีปริมาณแร่ธาตุโดยรวมน้อยที่สุดเนื่องจากแร่ธาตุบางส่วนติดไปกับโครงสร้างของโปรตีน

ตารางที่ 4.3 แสดงผลปริมาณแร่ธาตุหลัก และแร่ธาตุรองของกากรำข้าวที่เก็บในสภาวะที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS

องค์ประกอบของแร่ธาตุ	RB1 (ร้อยละ)	RB2 (ร้อยละ)	RB3 (ร้อยละ)	RB4 (ร้อยละ)
คาร์บอน (C)	37.05±0.85 ^c	43.06±0.72 ^a	40.25±0.98 ^b	38.2±0.88 ^c
ออกซิเจน (O)	57.06±0.28 ^b	52.1±0.34 ^d	54.41±0.39 ^c	59.48±0.53 ^a
โซเดียม (Na)	-	-	-	0.12±0.01 ^a
แมกนีเซียม (Mg)	0.49±0.02 ^a	0.39±0.01 ^b	0.49±0.01 ^a	0.17±0.03 ^c
อลูมิเนียม (Al)	0.09±0.01 ^b	0.42±0.02 ^a	0.08±0.01 ^b	-
ซิลิคอน (Si)	1.38±0.05 ^a	1.30±0.02 ^b	1.44±0.05 ^a	0.88±0.02 ^c
ฟอสฟอรัส (P)	1.51±0.04 ^a	1.19±0.03 ^c	1.38±0.02 ^b	0.36±0.01 ^b
ซัลเฟอร์ (S)	0.35±0.02 ^a	0.26±0.03 ^b	0.27±0.02 ^b	0.25±0.02 ^b
คลอไรด์ (Cl)	0.06±0.01 ^a	-	-	-
โพแทสเซียม (K)	1.76±0.05 ^a	1.21±0.04 ^c	1.45±0.03 ^b	0.49±0.01 ^d
แคลเซียม (Ca)	0.08±0.03 ^a	0.07±0.01 ^a	0.09±0.00 ^a	0.06±0.01 ^a
เหล็ก (Fe)	0.13±0.00 ^a	-	0.12±0.00 ^b	-
สังกะสี (Zn)	0.12±0.02 ^a	-	-	-

หมายเหตุ * 1.ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และตัวอักษร (a b c d) ที่กำกับต่างกันในแนวนอนหมายถึงสภาวะในการเก็บรักษารำข้าวทำให้ปริมาณแร่ธาตุที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย ข้อจำกัดของเทคนิค EDS คือในพื้นที่ 1 ไมครอนต้องมีแร่ธาตุที่ต้องการตรวจวัดมากกว่า 0.1 %weight จึงจะสามารถตรวจวัดได้

2. RB1 คือ รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันภายใน 24 ชั่วโมง, RB2 คือ รำข้าวที่นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. ก่อนการสกัดไขมัน, RB3 คือ รำข้าวที่นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 48 ชม. ก่อนการสกัดไขมัน และ RB4 คือรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน และโปรตีน

ผลจากการศึกษาพบว่า RB1 มีปริมาณของแร่ธาตุรวมสูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เอนไซม์ไลเปสในรำข้าว และความชื้น ไปเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic rancidity) และเกิดออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) ด้วยเอนไซม์ลิพอกซีจีเนสที่พบมากในจมูกข้าว และรำข้าว โดยเอนไซม์ไลเปสที่เกิดขึ้นเองจากรำข้าว นั้นจะไปย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ และ โครงสร้างปฐมภูมิของลิพิด (primary lipids) ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษารำข้าวมีผลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปส โดยที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ไลเปส และลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ (Fatemeh et al., 2000) จึงทำให้ตัวอย่าง RB3 ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C นั้นมีปริมาณแร่ธาตุใกล้เคียง RB1 ที่สุด และ RB2 ที่มีปริมาณแร่ธาตุน้อยลงจาก RB1 และ RB3 เนื่องจากการเก็บรักษารำข้าวที่อุณหภูมิห้องมากกว่า 24 ชั่วโมงนั้นจะทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นทำให้ถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ไลเปสได้ง่ายขึ้น

ผลที่ได้นั้นสอดคล้องกับกระบวนการผลิตน้ำมันจากรำข้าวที่จะต้องควบคุมระยะเวลาภายหลังการสีข้าวไม่ให้เกิน 24 ชั่วโมง ก่อนนำรำข้าวไปสกัดน้ำมัน (Sulaiman et al., 2004) ดังนั้นการนำรำข้าวเข้าสู่กระบวนการผลิตอย่างรวดเร็ว ภายหลังการสีข้าว หรือการชะลอการทำงานของเอนไซม์ไลเปสด้วยการใช้อุณหภูมิต่ำในช่วงระหว่างการเก็บรักษารำข้าว จะสามารถทำให้แร่ธาตุที่ผลิตได้ มีคุณภาพตามที่ต้องการ ส่วน RB4 พบว่ามีจำนวนชนิดของแร่ธาตุน้อยที่สุด แสดงว่า การสกัดโปรตีนออกจากกรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว มีผลให้มีจำนวนชนิดของแร่ธาตุลดลงไป ทั้งนี้เนื่องมาจากแร่ธาตุสูญเสียไปกับโครงสร้างของโปรตีน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ารำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) มีปริมาณแร่ธาตุสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ หรือ สามารถเก็บรักษาแร่ธาตุในรำข้าวได้ดีที่สุด จึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุอีกครั้งด้วยวิธีมาตรฐาน (ICP-OES) เพื่อยืนยันว่ารำข้าว RB1 มี แคลเซียม, เหล็ก, ฟอสฟอรัส และสังกะสีในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุซึ่งผลวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) และวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES

แร่ธาตุ	ปริมาณแร่ธาตุ มล.กรัม/กิโลกรัม	LOQ	RDI มล.กรัม/วัน(ชาย)	RDI มล.กรัม/วัน(หญิง)
แคลเซียม (Ca)	322.39	-	1000	1300
เหล็ก (Fe)	126.88	-	8	18
ฟอสฟอรัส (P)	6,300	-	700	700
สังกะสี (Zn)	38.19	0.020	11	8

หมายเหตุ *1. ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ 2. LOQ = Limit of Quantitation for zinc(Zn) = 0.050 mg/kg , RDI = Recommended Daily intake

จากการวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธีมาตรฐาน (A.O.A.C., 2005) พบว่ารำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) มีปริมาณ ฟอสฟอรัสสูงสุดคือ 6,300 มิลลิกรัม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อกิโกรัม รองลงมาคือ แคลเซียม 322.391 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม , เหล็ก 126.876 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม และต่ำสุดคือ สังกะสี 38.199 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang และคณะ (2011) ที่ได้ศึกษาปริมาณของไฟเตต และองค์ประกอบแร่ธาตุของข้าวอินดิซ่า 3 สายพันธุ์ โดยพบว่าในข้าวอินดิซ่านั้นมีแร่ธาตุสำคัญในปริมาณมากเช่นเดียวกัน รวมถึงปริมาณของไฟเตต ซึ่งเป็นสารคีเลตที่มีหน้าที่ในการดักจับแร่ธาตุมีผลต่อปริมาณแร่ธาตุที่ตรวจพบ ถ้าไฟเตตมีปริมาณมากจะพบแร่ธาตุในปริมาณมาก แต่หากข้าวเปลือกผ่านกระบวนการขัดสีที่ทำลายโครงสร้างของข้าวสูงจะพบ ปริมาณของไฟเตตลดลง ทำให้ความสามารถในการดักจับแร่ธาตุลดลง และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2012) ที่พบว่ากระบวนการขัดสีมีผลต่อปริมาณแร่ธาตุ โดยข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีด้วยสายพานขัดสีจะทำลายแร่ธาตุมากกว่ากระบวนการขัดสีด้วยลูกกลิ้ง ซึ่งเครื่องสีข้าวที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องขัดสีชนิดลูกกลิ้ง

4.4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุในสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริก

ศึกษาการย่อยเลียนแบบการย่อยในลำไส้ และกระเพาะอาหาร เพื่อการทำสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว จากการศึกษาแสดงผลดังตารางที่ 4.3 พบว่ารำข้าว RB4 ที่ผ่านการกำจัดไขมัน และการแยกโปรตีน จะทำให้มีปริมาณแร่ธาตุคงเหลืออยู่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับรำข้าวที่ผ่านการกำจัดไขมันแต่ไม่ผ่านการแยกโปรตีน จึงเป็นไปได้ว่าแร่ธาตุที่ลดลงอย่างมากนั้นอาจจะติดอยู่กับโครงสร้างของโปรตีน โดยทำการศึกษาวิธีการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปน เปรียบเทียบกับการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริกเลียนแบบลำไส้ และกระเพาะอาหารของมนุษย์ ซึ่ง Mark และคณะ (2000) พบว่าหากย่อยด้วยกรด และด่างจะยังคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ เมื่อใช้รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) มาย่อยด้วยกระบวนการทั้ง 2 วิธีดังกล่าวข้างต้น ผลจากการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณแร่ธาตุที่วิเคราะห์ได้จากสารสกัดแร่ธาตุที่ย่อยด้วยเอนไซม์ และเอนไซม์กับกรดแก่นนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ > 0.05 จึงเลือกใช้วิธีการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนเพียงอย่างเดียวในการสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวเพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณแร่ธาตุของสารสกัดที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับสารสกัดแร่ธาตุที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ชนิดแร่ธาตุ	ปริมาณแร่ธาตุ(กรัม/100 กรัม)	
	รำข้าวที่ย่อยด้วยเอนไซม์	รำข้าวที่ย่อยด้วยเอนไซม์และกรดไฮโดรคลอริก
แคลเซียม (Ca)	14.65 ± 0.35 ^a	13.72 ± 0.43 ^a
เหล็ก (Fe)	4.86 ± 0.21 ^a	6.65 ± 0.31 ^a
สังกะสี (Zn)	3.42 ± 0.08 ^a	2.49 ± 0.10 ^a
ฟอสฟอรัส (P)	0.07 ± 0.00 ^a	0.06 ± 0.00 ^a

หมายเหตุ: ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และ ตัวอักษร (a b c) ที่กำกับต่างกัน ในแนวนอนหมายถึงตัวอย่างข้าวที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5 ผลการศึกษาปริมาณแร่ธาตุในผงแร่ธาตุสกัด 1 แคปซูล

จากการทดลองพบว่าสารสกัดแร่ธาตุชนิดผง 1 แคปซูลที่บรรจุผงแร่ธาตุ 0.5 กรัม ประกอบไปด้วยแร่ธาตุสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อยโดยพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัส (P) มากสุดคือ 48.63 มิลลิกรัม , แคลเซียม (Ca) 2.4 มิลลิกรัม, เหล็ก (Fe) 0.9 มิลลิกรัม และสังกะสี (Zn) 0.2948 มิลลิกรัม ตามลำดับ โดยปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน (%RDI) ต่อ 1 แคปซูล พบว่า ฟอสฟอรัส (P), แคลเซียม (Ca), เหล็ก(Fe) และ สังกะสี (Zn) มีค่า %RDI ต่อแคปซูล ดังนี้ 6.08 , 0.30, 6.00 และ 1.96 ตามลำดับ สำหรับรูปแบบการบรรจุแร่ธาตุชนิดผงแบบแคปซูล จะมีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณแร่ธาตุที่ใส่ได้ต่อแคปซูลคือสูงสุดเพียง 0.5 กรัม กล่าวคือการบรรจุแบบแคปซูลอาจจะยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควรเนื่องจากอาจต้องบริโภคหลายเม็ด ดังนั้นการตอกเม็ดเป็นแบบเม็ดแข็งที่สามารถทำให้มีน้ำหนักได้ถึงเม็ดละ 2 กรัมอาจจะเป็นการตอบโจทย์ทางการค้าได้มากกว่า

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณแร่ธาตุสำคัญต่อหนึ่งแคปซูล และ %RDI ของสารสกัดแร่ธาตุชนิดผง

ชนิดแร่ธาตุ	ปริมาณแร่ธาตุ/แคปซูล (มก.)	%RDI/แคปซูล
P	48.63	6.08
Ca	2.40	0.30
Fe	0.90	6.00
Zn	0.29	1.96

หมายเหตุ: ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และ %RDI = Thai Recommended Daily Intakes
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการศึกษาความสามารถในการแตกตัวของแคปซูล (disintegration) ที่เตรียมในรูปแบบอาหารเสริมแร่ธาตุ

จากการศึกษาความสามารถในการแตกตัวของแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว โดยประยุกต์จากวิธีการทดสอบการแตกตัวของเม็ดยาตามเกสซ์ดำรับ (วาลี, 2014) แสดงผลดังตารางที่ 4.7 พบว่าที่เวลา 15 นาที แคปซูล ทั้ง 6 แคปซูลไม่มีการแตกตัว ต่อมาที่เวลา 30 นาทีแคปซูลเริ่มแตกตัว 2 ใน 6 และที่เวลา 60 นาที แคปซูลทั้งหมดแตกตัวสมบูรณ์ จึงสรุปได้ว่าแคปซูลจะแตกตัวสมบูรณ์หลังรับประทานเป็นเวลา 60 นาที ซึ่งการแตกตัวของแคปซูลนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ได้หลายปัจจัยเช่น ขนาดของแคปซูล ชนิด และ ความหนา เป็นต้น

ตารางที่ 4.7 แสดงการแตกตัวของสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวชนิดแคปซูล

ตัวอย่างแคปซูล	15 นาที	30 นาที	60 นาที
1	ไม่แตกตัว	ไม่แตกตัว	แตกตัว
2	ไม่แตกตัว	แตกตัว	แตกตัว
3	ไม่แตกตัว	ไม่แตกตัว	แตกตัว
4	ไม่แตกตัว	แตกตัว	แตกตัว
5	ไม่แตกตัว	ไม่แตกตัว	แตกตัว
6	ไม่แตกตัว	ไม่แตกตัว	แตกตัว

4.7 ผลการศึกษาความสามารถในการละลายเลียนแบบทางอาหาร (solubility test)

การทดสอบการละลาย โดยประยุกต์จากวิธีการละลายนมผง จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดรำข้าวชนิดผงนั้นมีร้อยละการละลายเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 67.68 แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงร้อยละการละลายของสารสกัดรำข้าวชนิดผง

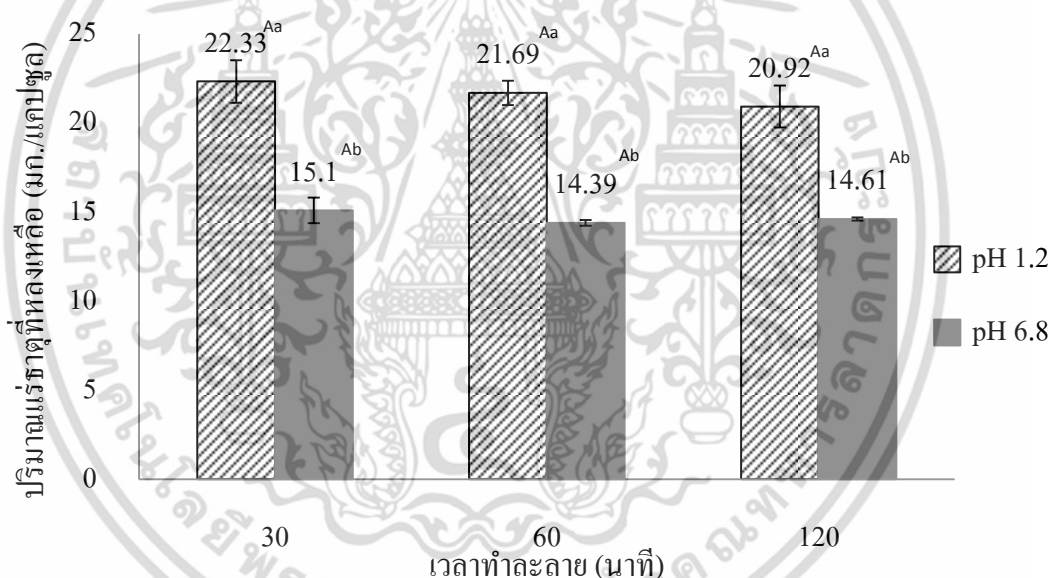
สารสกัดรำข้าวชนิดผง	ผงแร่ธาตุที่หลงเหลือ (กรัม)	ร้อยละการละลาย
1	1.34	66.57
2	1.23	69.27
3	1.31	67.19
ค่าเฉลี่ย	1.29	67.68

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าร้อยละการละลายนั้น ไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากการให้ความ

ร้อนในระหว่างกระบวนการเตรียมตัวอย่างทำให้คุณสมบัติ soluble solid สูญเสียไปบางส่วน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการวิจัยเท่านั้น มิใช่เอกสารที่เผยแพร่เชิงการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการศึกษาการละลายเลียนแบบทางยา (dissolution testing)

ผลการศึกษาการละลายของตัวอย่างแคลซูลซารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวที่เวลา 30, 60 และ 120 นาที และนำไปสร้างกราฟแสดงการละลาย (dissolution profile) เปรียบเทียบที่ค่าความเป็นกรดที่ pH 1.2 และ pH 6.8 ดังภาพที่ 4.1 พบว่าการละลายแคลซูลซารสกัดแร่ธาตุที่มีค่าความเป็นกรดที่ pH 6.8 นั้นมีค่าร้อยละการละลายมากกว่าที่ pH 1.2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ แสดงว่าสารสกัดรำข้าวมีสถานะเป็นกรดอ่อน เมื่อนำไปวัดค่า pH ได้เท่ากับ 4.24 ซึ่งสอดคล้องกับศุภกัญญา และ ปิลันธนา (2008) ที่กล่าวว่ายาที่เป็นกรดอ่อนจะละลายไม่ดีในสภาวะกรด แต่ยาที่เป็นด่างอ่อนจะแตกตัวละลายได้ดีในสภาวะกรด แต่ระยะเวลาการทำละลายที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้ร้อยละการละลายมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$



ภาพที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบการละลายของสารสกัดแร่ธาตุในสภาวะกรดและด่าง

หมายเหตุ * ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

1. ตัวอักษรที่ต่างกัน (A B C) หมายถึงเวลาทำละลายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
2. ตัวอักษรที่ต่างกัน (a b) หมายถึงการละลายในค่าความเป็นกรดที่ต่างกันความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.9 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของอาหารเสริมแร่ธาตุ

การวิเคราะห์หาปริมาณการปนเปื้อนของ โลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb) , แคดเมียม (Cd),ปรอท (Hg) และอาร์เซนิก (As) ของตัวอย่างแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว เปรียบเทียบกับผลการทดสอบข้าวขัดสี Montira และคณะ (2010) และรัฐพีชของ Laiyan และคณะ(1991) แสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่า แคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว มีปริมาณสารหนู 1.325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, แคดเมียม 0.064 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, สารตะกั่ว 0.610 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ไม่พบสารปรอท และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักกับข้าวขัดสี Montira และคณะ (2010) และรัฐพีชของ Laiyan และคณะ(1991) พบว่าตัวอย่างแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว มีปริมาณ สารหนู มากกว่าข้าวขัดสี และรัฐพีช แต่มีปริมาณของแคดเมียม ปรอท และตะกั่ว น้อยกว่าในข้าว และรัฐพีช

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณ โลหะหนักในตัวอย่างรำข้าวผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) เปรียบเทียบกับข้าวขัดสีและรัฐพีช

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม)			
	สารหนู (As)	แคดเมียม(Cd)	ปรอท (Hg)	ตะกั่ว (Pb)
แคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว	1.325	0.064	ND	0.61
ข้าวขัดสี ¹	0.01-0.18	0.09-0.15	5.0-9.0	0.06-0.15
รัฐพีช ²	0.08-0.14	0.06-0.11	6.0-9.0	0.70-0.18
Ministry of Public Health ³ /WHO ⁴	2	0.4-0.5 (mg/week)	0.5	1

หมายเหตุ: ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และ LOQ (Limit of Quantitation) for Arsenic (As) = 0.060 mg/kg, Cadmium(Cd) = 0.020 mg/kg, Lead (Pb) = 0.080 mg/kg
ที่มา: 1. Parengam และคณะ (2010) 2. Laiyan และคณะ (1991) 3.ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (2529) 4. WHO (2007)

อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว ไม่เกินเกณฑ์คุณภาพตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ที่ได้กำหนดปริมาณ โลหะหนักมากที่สุดที่สามารถตรวจพบได้ในอาหาร ประกอบด้วย ตะกั่วไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ,สารหนู ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่ออาหาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 กิโลกรัม, ปรอทไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และองค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ว่าคนปกติไม่ควรได้รับแคดเมียมเกินสัปดาห์ละ 0.40-0.50 มิลลิกรัม จึงถือว่า สารสกัดรำข้าวปลอดภัยต่อผู้ที่ต้องการรับประทานสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว ซึ่งปริมาณโลหะหนักนั้นจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ และการปลูก เช่นดิน, ปุ๋ย และสารเคมีที่ใช้ในการจัดการทางการเกษตร (ยากำจัดวัชพืช, ยาฆ่าเชื้อรา และยาฆ่าแมลง) (Rao et. al., 1960) โดยกระบวนการในการทดสอบ ควบคุมคุณภาพทั้งหมดนั้นก็เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีประสิทธิภาพ และเพื่อนำไปสู่กระบวนการขอขึ้นทะเบียนตำรับยา และได้รับการอนุมัติทะเบียนจากสำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยา เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภคว่าอาหารเสริมนั้นมีคุณภาพ และเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของเกสซ์ตำรับ ก่อนจะนำไปจำหน่ายออกสู่ท้องตลาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการเปรียบเทียบวิธีการเตรียมรำข้าว พบว่าการอบข้าวก่อนการขัดสีทำให้ร้อยละของรำข้าวที่ได้นั้นเท่ากับ 6.10 ± 0.14 ซึ่งมากกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการอบถึงร้อยละ 45 และเมื่อนำรำข้าวที่ผ่านการอบมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวพบว่า รำข้าวมีปริมาณของเส้นใยมากที่สุด คือร้อยละ 69.06 ± 0.45 รองลงมาคือ ความชื้นร้อยละ 10.31 ± 0.12 , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 9.54 ± 0.00 , ไขมันร้อยละ 7.62 ± 0.03 , เถ้าร้อยละ 3.17 ± 0.04 และมีโปรตีนอยู่ร้อยละ 0.30 ± 0.03

เมื่อศึกษาปริมาณแร่ธาตุที่หลงเหลืออยู่ในรำข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะที่แตกต่างกัน ด้วยวิธี EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) พบว่ารำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. ก่อนนำมากำจัดไขมัน (RB1) มีปริมาณของแร่ธาตุรวมสูงที่สุด เมื่อนำรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) ไปตรวจวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค ICP-OES พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดคือ 6,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ แคลเซียม 322.391 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, เหล็ก 126.876 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุดคือ สังกะสี 38.199 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากนั้นศึกษาผลของการย่อยโปรตีน และกรดแลคติกแบบลำไส้กับกระเพาะอาหารต่อปริมาณแร่ธาตุ โดยนำตัวอย่าง RB1 มาย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปน เปรียบเทียบกับการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริก พบว่าปริมาณแร่ธาตุที่วิเคราะห์ได้จากสารสกัดแร่ธาตุที่ย่อยด้วยเอนไซม์เพียงอย่างเดียว และเอนไซม์ร่วมกับกรดไฮโดรคลอริกนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$

หลังจากพบวิธีการสกัด สารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวด้วยการเก็บรักษารำข้าวเป็นเวลา 24 ชม. ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาสกัดไขมัน และย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปน จึงนำสารสกัดนั้นมาทำให้แห้ง จนกว่าจะมีความชื้นเหลืออยู่ในผงแร่ธาตุที่อบแห้งไม่เกินร้อยละ 7 จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (pin mill) ขนาดอนุภาค < 250 ไมโครเมตร บรรจุผงแร่ธาตุที่ได้ลงในแคปซูลเบอร์ 0 ปริมาณ 0.5 กรัม พบว่าสารสกัดแร่ธาตุชนิดผง 1 แคปซูล ประกอบไปด้วยแร่ธาตุที่สำคัญโดยพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัส (P) มากที่สุดคือ 48.63 มิลลิกรัม, แคลเซียม (Ca) 2.4 มิลลิกรัม, เหล็ก (Fe) 0.9 มิลลิกรัม และสังกะสี (Zn) 0.2948 กรัม ตามลำดับ และพบว่า การแตกตัวของแคปซูลนั้นสามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์หลังรับประทานไปเป็นเวลา 60 นาที มีร้อยละการละลายของผงสกัดแร่ธาตุเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 67.68 และจากการศึกษาการละลายของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวที่เวลา 30, 60 และ 120 นาที เปรียบเทียบการละลายที่ pH 1.2 และ pH 6.8 พบว่าที่ pH 6.8 สารสกัดรำข้าวละลายได้ดีกว่าที่ pH 1.2 ในทุกช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ แสดงว่าสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวมีสถานะเป็นกรดอ่อน เมื่อนำไปวัดค่า pH พบว่าเท่ากับ 4.24

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างแคปซูลสารสกัดจากรำข้าว พบว่า มีปริมาณสารหนู 1.325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, แคดเมียม 0.064 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ตะกั่ว 0.610 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ไม่พบปรอท โดยตัวอย่างแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว มีปริมาณ สารหนูมากกว่าข้าวขัดสี และธัญพืช แต่มีปริมาณของแคดเมียม ปรอท และตะกั่ว น้อยกว่าในข้าว และธัญพืช ทั้งนี้ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว ไม่เกินเกณฑ์คุณภาพตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน มิลลิกรัม จึงถือว่าสารสกัดรำข้าวปลอดภัยต่อผู้ที่ต้องการรับประทานสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวที่ผ่านกระบวนการในการทดสอบ และควบคุมคุณภาพเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีประสิทธิภาพ และมั่นใจในความปลอดภัยก่อนจะนำไปจำหน่ายออกสู่ท้องตลาด

ข้อเสนอแนะการศึกษาเพิ่มเติม

ควรมีการศึกษากระบวนการดูดซึมแร่ธาตุในร่างกายของมนุษย์ว่าสามารถดูดซึมสารสกัดแร่ธาตุชนิดผงได้ร้อยละเท่าใด รวมถึงการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุชนิดอื่นเช่น โพแทสเซียม(K) ว่าเพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุหรือไม่ โดยสารสกัดรำข้าวชนิดผงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตในเชิงพาณิชย์แต่ต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบทางการค้ากับผู้ผลิตรายอื่นว่าราคามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยคำนวณจากต้นทุนวัตถุดิบ เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาจำนวนเท่าไร และในอนาคตควรมีการคำนวณจำนวนแคปซูลที่แนะนำในการบริโภคต่อวันให้แก่ผู้ที่ต้องการอาหารเสริมแร่ธาตุ และส่วนของเส้นใยที่เหลือจากกระบวนการสกัดแร่ธาตุนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเช่น การผสมในขนมปัง เป็นต้น

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2541. ส่วนประกอบของข้าว [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://narapimon.com/> ส่วนประกอบของต้นข้าว. 31 มีนาคม 2540.
- กลุ่มงานคุ้มครองผู้บริโภค กระทรวงสาธารณสุข. 2529. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98/2529 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา: http://iodinethailand.fda.moph.go.th/food/data/announ_moph/P98.pdf. 17 กุมภาพันธ์ 2529.
- กฤษฎี โปธิทัต. 2548. โภชนาการอาหารสุขภาพเพิ่มแร่ธาตุ [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.suvarnachad.co.th/article_33.php?pdid=93. 26 เมษายน 2548.
- ทรงเชาว์ อินสมพันธ์. 2531. พืชไร่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เล่ม 1. เชียงใหม่ : ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ
- บุญหงส์ จงคิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ลักขณา รุจนไกรกานต์ และนิธิยา รัตนานนท์. 2544. หลักการวิเคราะห์อาหาร.พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2546. ชนิดของเอนไซม์อะไมเลส.[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1174/amylase>. 5 กรกฎาคม 2546.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2550. ข้าว [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1657/rice>. 1 ธันวาคม 2550.
- วารีย์ ลิ้มปวีกรานต์. 2550. ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.การละลายและการแตกตัวของยาเม็ด เหมือนหรือต่างกัน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/thai/knowledgeinfo.php?id=138>. 14 เมษายน 2550.
- ศุภกัญญา ดันตระบัณฑิตย์ และ ปิรันธนา เลิศสถิตชนกร. 2555. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. การละลาย (Dissolution). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.slideshare.net/adriamycin/dissolution2555>. 23 มกราคม 2555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. 2555. องค์ความรู้เรื่องข้าว. [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา: <http://www.beed.in.th/rkb2/product/index.php-file=content.php&id=3.htm>. 2 มีนาคม 2555.
- Anjum, F. M., Pasaha, I., Bugti, A. and Butt, M. S. 2007. Mineral composition of different rice varieties and their milling fractions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 44(2):332-336.
- AOAC International. 2000. Official methods of analysis of AOAC International. 17th edition. Gaithersburg, MD, USA, Association of Analytical Communities.
- AOAC International. 2003. Official methods of analysis of AOAC International. 17th edition. 1st revision. Gaithersburg, MD, USA, Association of Analytical Communities.
- AOAC International. 2005. Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. 2nd revision. Gaithersburg, MD, USA, Association of Analytical Communities.
- AOAC International. 2012. Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. 1st revision. Gaithersburg, MD, USA, Association of Analytical Communities.
- Bravo, L. 1994. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*. 56:317-333.
- Bugg, T. 1997. An introduction to enzyme and coenzyme chemistry. *Journal of Chemical Education*. 76(8): 1070.
- Dziedzic, J. 1986. Sweeteners and product development. *Food Technology*. 40(1): 112-130.
- Fabian, C. B., Huynh, L. H. and Ju, Y. H. 2010. Precipitation of rice bran protein using carrageenan and alginate. *Food Science and Technology*. 43: 375-379.
- Faccin, L. G., Vieira, L. N., Miotto, L. A., Barreto, P. M. and Amante, E. R. 2009. Chemical sensorial and rheological properties of a new organic rice bran beverage. *Rice Science*. 16(3): 226-234.
- Fatemeh, M. R., Rao, M., Prinyawiwakul, W., Marshall, W.E., Windhuner M. and Ahmedna M. 2000. Lipase and lipoxygenase activity, functionality, and nutrient losses in rice bran during storage. *University Agricultural Center*. 39p.
- Food and Drug Administration. 1997. Guidance for Industry: Dissolution testing of Immediate Release Solid Oral Dosage Forms. U.S. Department of Health and Human services

- Glahn, R. P. and Van Campen, D.R. 1997. Cysteine and Reduced Cysteinyl-Glycine Enhance Iron Uptake By Caco-2 Cell Monolayers. *Journal of Nutrition*. 127: 642-647.
- Guohua, H. H., Shaohua, C. S. and Zhengzhi, M. 2009. Effect of enrichment with hemicelluloses from rice bran on chemical and functional properties of bread. *Food Chemistry*. 115: 839-842.
- Halliwell, B. 2002. Food-derived antioxidants: how to evaluate their importance in food and in vivo. *In: Cadenas, E. and Packer, L. 2002. Handbook of Antioxidants*. Second edition. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York. 1-2.
- Hansen, T. H., Lombi, E., Fitzgerald, M., Laursen, H. K., Frydenvang, J., Husted, S., Boualaphanh, C., Resurreccion, A., Howard, L. D., Jonge, M. D. D., Paterson, D, and Schjoerring, J. K. 2012. Losses of essential mineral nutrients by polishing of rice differ among genotypes due to contrasting grain hardness and mineral distribution. *Journal of Cereal Science*. 56(2):307-315.
- Hudson, J. F. and Pratt, E. D. 1990. Natural Antioxidants Not Exploited Commercially. *Food Antioxidant*.10:171-191.
- Institute of Medicine (US) Food and Nutrition Board. 1998. *Dietary Reference Intakes: A Risk Assessment Model for Establishing Upper Intake Levels for Nutrients*. Washington, DC. p.28.
- Kennedy, G., B. and Nguyen, N. 2002. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. *Agriculture and Consumer Protection*. 51:33-41.
- Kjeldahl, J. 1883. New method for the determination of nitrogen in organic substances. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 22: 366-382.
- Laiyan, S., Fengying, L., Rongwei, S. and Houxi, Z., 1991. Determination and evaluation of some trace elements in Chinese. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 151 (2):277-285.
- Mark, P. E., Michael, J. B. and Jianwei, W.H. 2000. Plants as natural source of concentrated mineral nutritional supplements, *Food Chemistry* .77: 181-188.
- Montira, P., Kunchit, J., Songsak, S., Sitima, J., Sirinart L. and Arporn B. 2010. Study of nutrients and toxic minerals in rice and legumes by instrumental neutron activation

- analysis and graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. *Journal of Food Composition and Analysis*. 23(4):340-345.
- Moongngam, A., Daomukda, N. and Khumpika, S., 2012. Chemical compositions, phytochemicals and antioxidant capacity of rice bran, rice bran layer and rice germ. *APCBEE Procedia*. 3rd International Conference on Biotechnology and Food Science. 2:73-79.
- Moldenhauer, K. A. K. and Gibbons, J. H. 2003. Rice Morphology and Development. In: Smith, C.W. and Dilday, R.H. *Rice: Origin, History, Technology and Production*. First edition. JohnWiley & Sons, Inc. Canada. p 103-125.
- Mukataka, S., Tetsuo, K. and Joji, T. 1985. Kinetics of enzymatic hydrolysis of lipids in biphasic organic-aqueous systems. *Journal of Fermentation Technology*. 63(5):461-466.
- Noonan, S. and Savage, G. 1999. Oxalate content of food and its effect on humans. *Asia Pacific Journal for Clinical Nutrition*. 8:64-74.
- Parengam, M., Judprasong, K., Srianujata, S., Jittinandana, S., Laoharajanaphand, S. and Busamongko, A. 2010. Study of nutrients and toxic minerals in rice and legumes by instrumental neutron activation analysis and graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. *Journal of Food Composition and Analysis*. 23:340-345.
- Pilavong, T., Lekprichakul, N., Puyakul, O., Trakolsap, T., and Ammarapala, V. 2012. Thai rice exporting situation towards the emergence of asean economic cooperation. 1st Mae Fah Luang University International Conference. P.1-17.
- Rao, G., Desikachar, H. and Subrahmanyam, V. 1960. The effect of the degree of polishing of rice on nitrogen and mineral metabolism in human subjects. *Cereal Chemistry*. 37: 71-77.
- Senadhira, D., Gregorio, G. and Graham, R. 1998. Breeding iron and zinc-dense content of rice. Paper presented at the International Workshop on Micronutrient Enhancement of Rice for Developing Countries, 3 September. Stuttgart, AK. Rice Research and Extension Center.
- Shahidi, F. and Wanasundara, P.D. 1992. Phenolic antioxidants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 32:67-103.
- Smith, B. D. 1998. The Emergence of Agriculture. *Scientific American Library*. 51(4):496-497.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Soliman, K. and Zikovsky, L., 1999. Determination of Br, Ca, Cl, Co, Cu, I, K, Mg, Mn, Na, Rb, S, Ti and V in cereals, oils, sweeteners and vegetables sold in Canada by Neutron Activation Analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*. 12: 85–89.
- Sulaiman, A.Z., Ramachandran, K. B. and Hasan, M. 2004. High enzyme concentration model for the kinetics of hydrolysis of oils by lipase. *Journal of Chemical Engineering*. 102: 7-11.
- Velasco, J., Marmesat, S. and Dobarganes, M. 2009. *Advances in Deep-Fat Frying of Foods*. Taylor & Francis, New York .p54.
- Wanasundara, P. D. and Shahidi, F. 2005. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. John Wiley and Sons. New York. USA. P.1-72.
- Wang, K .M., Wu, J. G., Li, G., Zhang, D.P., Yang, Z.W. and Shi, C.H. 2011. Distribution of phytic acid and mineral elements in three Indica Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars. *Journal of Cereal Science*. 54: 116-121.
- Wheaton, F.W. and Lawson, T.B. (1985). *Processing of aquatic food products*. John Wiley and Sons. New York. USA. P.1-72.
- WHO .2007. *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution*. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก1. วิเคราะห์แร่ธาตุรวมด้วยเครื่อง EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)

1.1 อุปกรณ์

- 1.1.1 เครื่องแก้ว
- 1.1.2 เครื่อง SEM JEOL รุ่น JSM5410LV
- 1.1.3 เครื่อง EDS Link ISIS300

1.2 วิธีการวิเคราะห์

- 1.2.1 ชั่งตัวอย่างผงแร่ธาตุ 1 กรัม โรยบนสตรัทที่อยู่บนคาร์บอนเทป
- 1.2.2 นำบเคลือบตัวอย่างด้วยพาราเดียม
- 1.2.3 ตั้งค่าเครื่อง SEM JEOL ซึ่งจะคู่มือลักษณะทางกายภาพ และตั้งคตำแหน่งแร่ธาตุที่จะวิเคราะห์
- 1.2.4 run mode high vacuum โดยตั้งค่า ACC voltage ที่ 20 กิโลโวลต์ (Kv)
- 1.2.5 ตั้งค่าความดัน 9.6×10^{-5} ปาสคาล (Pa)
- 1.2.6 เปิดเครื่อง EDS ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแร่ธาตุในพื้นที่ที่สนใจ
- 1.2.7 รายงานผลเป็นกราฟ
- 1.2.8 กำหนดค่าปริมาณแร่ธาตุที่ตรวจพบออกมาเป็น %element และ %atomic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. วิธีวิเคราะห์แร่ธาตุ Calcium, Iron, Zinc ,phosphorus

2.1 สารเคมี

- 2.1.1 Nitric acid 70 %
- 2.1.2 Hydrogenperoxide 30%

2.2 อุปกรณ์

- 2.2.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2.2.2 Microwave digestion ยี่ห้อ milestone รุ่น Ethos control
- 2.2.3 ขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร

2.3 วิธีการวิเคราะห์

- 2.3.1 ชั่งตัวอย่าง 0.50 ใสลงใน vessel (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน)
- 2.3.2 เติม nitric acid (HNO_3) 7 มิลลิลิตร และ hydrogenperoxide (H_2O_2) 1 มิลลิลิตร
- 2.3.3 ประกอบ vessel เข้ากับเครื่อง microwave digestion และทำการย่อยตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรมการทำงานดังนี้
 - Step 1 time 20 min temperature 200 °C
 - Step 2 time 20 min temperature 200 °C
- 2.3.4 เมื่อเครื่องทำงานเสร็จ นำ vessel ออกจาก microwave digestion แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 2.3.5 ถ่ายสารละลายตัวอย่างลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร ให้ครบ 25 มิลลิลิตร ด้วย น้ำกลั่น
- 2.3.6 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP สำหรับ calcium และ phosphorus วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES (ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 4300DV) , สำหรับ iron และ zinc วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS (ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7500C)
- 2.3.7 ผลที่ได้ออกมาเป็นกราฟแสดงปริมาณแร่ธาตุ

ก3. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 2003)

3.1 อุปกรณ์

- 3.1.1 ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
- 3.1.2 ตู้อบไฟฟ้า (hot air oven)
- 3.1.3 โถดูดความชื้น (desiccator)
- 3.1.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.2 วิธีการวิเคราะห์

- 3.2.1 อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 2-3 ชม. หลังจากนั้นนำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก
- 3.2.2 ทำซ้ำแบบข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งติดต่อกัน 2 ครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
- 3.2.3 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 1-2 มิลลิกรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
- 3.2.4 นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 6 ชม.
- 3.2.5 นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก
- 3.2.6 อบซ้ำอีกครั้ง โดยอบครั้งละประมาณ 30 นาที จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งติดต่อกัน 2 ครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
- 3.2.7 คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก = $100 \times \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$

ก4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 2000)

4.1 อุปกรณ์

- 4.1.1 Crucible
- 4.1.2 Muffle furnace (เตาเผา)
- 4.1.3 Hot plate
- 4.1.4 โถดูดความชื้น
- 4.1.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.2 วิธีการวิเคราะห์

- 4.2.1 เเผาด้วยกระบือียงเคลือบในเตาเผาที่ อุณหภูมิ 550 °C นาน 3 ชม. นำ ออกจากเตาเผาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องชั่ง น้ำหนัก บันทึกผล
- 4.2.2 ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม) หาค่าเฉลี่ย และบันทึกผล (W_1)
- 4.2.3 ชั่งตัวอย่าง อย่างละเอียดประมาณ 2 กรัม (S) ลงในถ้วยกระบือียงเคลือบ เเผาบนเตาไฟฟ้า จนหมดควัน
- 4.2.4 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C จนกระทั่งได้เถ้าสีเทาอ่อน หรือสีขาว สม่่าเสมอ นำออกจากเตาเผา เก็บในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องชั่งน้ำหนัก บันทึกผลที่ได้
- 4.2.5 ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 4 จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม) หาค่าเฉลี่ยบันทึกผล (W_2)
- 4.2.6 กำหนดหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ร้อยละของปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{S}$$

S

ก5. การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารโดยวิธีการสกัดด้วยกรด - ต่าง (A.O.A.C., 2000)

5.1 อุปกรณ์

- 5.1.1 อุปกรณ์ชุดหาปริมาณใยอาหาร
- 5.1.2 กระดาษกรองเบอร์ 41
- 5.1.3 suction funnel
- 5.1.4 กรวยกรอง
- 5.1.5 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
- 5.1.6 ตู้อบลมร้อน
- 5.1.7 เตาอบ
- 5.1.8 โถดูดความชื้น
- 5.1.9 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

5.2 สารเคมี

- 5.2.1 กรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 1.25
- 5.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25
- 5.2.3 เอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95

5.3 วิธีการวิเคราะห์

- 5.3.1 นำกระดาษกรองอบในตู้อบ 105 °C นาน 1 ชม. แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก
- 5.3.2 ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้วใส่ลงในบีกเกอร์สำหรับวิเคราะห์ใยอาหาร
- 5.3.3 เติมกรดซัลฟูริก ปริมาตร 200 มิลลิลิตร
- 5.3.4 วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบแน่นและเปิดน้ำหล่อเครื่อง ควบแน่น เปิด สวิตซ์ไฟฟ้า ต้มให้เดือด 30 นาที
- 5.3.5 กรองตัวอย่างขณะร้อนผ่านกระดาษกรองล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำล้างหมดความเป็นกรด
- 5.3.6 ถ่ายกากที่ได้ในบีกเกอร์ใบเดิมเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 200 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5.3.7 วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบแน่นและเปิดน้ำหล่อเครื่องควบแน่น เปิดสวิทซ์ไฟฟ้าต้มให้เดือด 30 นาที
- 5.3.8 กรองตัวอย่างขณะร้อนผ่านกระดาษกรองล่างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำล้างหมดความ เป็นต่าง
- 5.3.9 ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ปริมาณ 10 มิลลิลิตร
- 5.3.10 นำกระดาษกรองพร้อมภาสใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบและอบในตู้อบ 105 องศา เซลเซียส นาน 3 ชม. แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็น
- 5.3.11 ชั่งน้ำหนักซ้ำจนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณหาปริมาณใยอาหารตามสูตร

$$\text{ปริมาณใยอาหาร (ร้อยละ)} = \frac{M \times 100}{S}$$

เมื่อ M คือผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ

S คือน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

ก6. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2005)

6.1 อุปกรณ์

- 6.1.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 6.1.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- 6.1.3 ตู้อบความร้อน
- 6.1.4 โถดูดความชื้น
- 6.1.5 กรวยแยก
- 6.1.6 ขวดก้นกลม เบน

6.2 สารเคมี

- 6.2.1 ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)
- 6.2.2 ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether)
- 6.2.3 เอทานอล (EtOH)
- 6.2.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

6.3 วิธีการวิเคราะห์

- 6.3.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม(ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่บีกเกอร์ ขนาด100 มิลลิลิตร
- 6.3.2 เติม EtOH 2 มิลลิลิตร และ HCl (25+11) 10 มิลลิลิตร
- 6.3.3 ให้ความร้อนบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ $75 \pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 30 นาที คนสารเป็นระยะ
- 6.3.4 ตั้งทิ้งไว้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ถ่ายสารละลายลงในกรวยแยก 100 มิลลิลิตร Rinse บีกเกอร์ด้วย EtOH 10 มิลลิลิตร
- 6.3.5 Rinse บีกเกอร์ด้วย diethyl ether 25 มิลลิลิตร เทผสมลงในกรวยแยก
- 6.3.6 เขย่า 1 นาที พร้อมทั้งลดความดันในกรวย
- 6.3.7 เติม Petroleum ether 25 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรง 1 นาที
- 6.3.8 ตั้งให้แยกชั้น ไซสารละลายชั้นล่างลงในบีกเกอร์ใบแรกให้หมด
- 6.3.9 เทชั้นของสารผสม ether (ชั้นบน) ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ลงในขวดก้นกลมเบนขนาด 250 มิลลิลิตร

กลมเบนขนาด 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.10 สกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยใช้ diethyl ether, petroleum ether อย่างละ 15 มิลลิลิตร ในการสกัดแต่ละครั้งตามลำดับ

6.3.11 นำชั้นของสารผสม ether ไประเหย และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 2 °C นาน 90 นาที และอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่(ผลต่างครั้งแรกและครั้งที่สอง < 0.0050 กรัม)

6.3.12 เมื่ออบเสร็จแล้ว นำมาล้างไขมันออกด้วย petroleum ether

6.3.13 ขวดก้นกลมแบนที่ล้างไขมันออกแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 2 °C นาน 90 นาที จนน้ำหนักคงที่

6.3.14 นำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก7. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 2005)

7.1 อุปกรณ์

- 7.1.1 เครื่องย่อยโปรตีน
- 7.1.2 เครื่องกลั่น โปรตีน
- 7.1.3 บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร

7.2 สารเคมี

- 7.2.1 Conc. H_2SO_4
- 7.2.2 NaOH (AR grade)
- 7.2.3 Conc. HCl
- 7.2.4 H_3BO_3 (AR grade)
- 7.2.5 Catalyst Kjeltabs

7.3 วิธีการวิเคราะห์

- 7.3.1 ชั่งตัวอย่าง 0.5 - 1 กรัม ใส่ลงใน Digestion tube
- 7.3.2 ใส่ catalyst Kjeltabs 2 เม็ด
- 7.3.3 เติม conc. H_2SO_4 20 มิลลิลิตร
- 7.3.4 นำไปย่อยใน digestion unit ที่อุณหภูมิ 420 ± 10 °C 90 นาที หรือจนกระทั่งได้สารละลายใส
- 7.3.5 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำไปกลั่น โดยเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร 40 % NaOH 80 มิลลิลิตร
- 7.3.6 เติม 4% Boric acid solution 50 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer flask จะเปลี่ยนจากสีชมพู เป็นสีเขียว
- 7.3.7 นำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานกรด HCl 0.1 N จนถึงจุดยุติ สังเกตจากสี จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู

ก8. การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการคำนวณ (A.O.A.C., 2000)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ

$$100 - (\text{ปริมาณความชื้น} + \text{ปริมาณไขมัน} + \text{ปริมาณโปรตีน} + \text{ปริมาณเส้นใย} + \text{ปริมาณเถ้า})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก9. การวิเคราะห์โลหะหนัก Lead, Cadmium, Arsenic, Mercury (A.O.A.C., 2012)

9.1 อุปกรณ์

- 9.1.1 เครื่อง Microwave digestion ยี่ห้อ Milestone รุ่น Ethos control
- 9.1.2 เครื่อง ICP-MS ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7500C
- 9.1.3 เครื่องแก้ว

9.2 สารเคมี

- 9.2.1 HNO₃ กรดไนตริก
- 9.2.2 H₂O₂

9.3 วิธีการวิเคราะห์

- 9.3.1 ชั่งตัวอย่าง 0.5xx g
- 9.3.2 เติม HNO₃ ความเข้มข้น 70% 7 ml
- 9.3.3 เติม H₂O₂ ความเข้มข้น 30% 1 ml
- 9.3.4 นำไปย่อยด้วย microwave digestion ตาม โปรแกรม ดังนี้

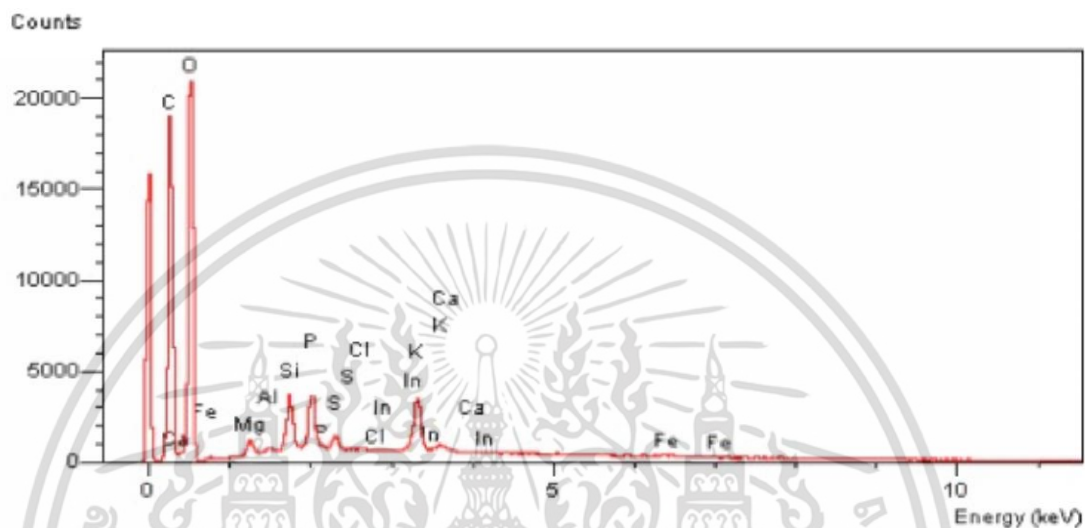
Step	Time	Temperature	Microwave Power
1	10 minutes	200 °C	Up to 1000 watt
2	20 minutes	200 °C	Up to 1000 watt

- 9.3.5 ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 9.3.6 ถ่ายสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 ml ปรับปริมาตรด้วย DI water
- 9.3.7 ตรวจวัดด้วยเครื่อง ICP-MS

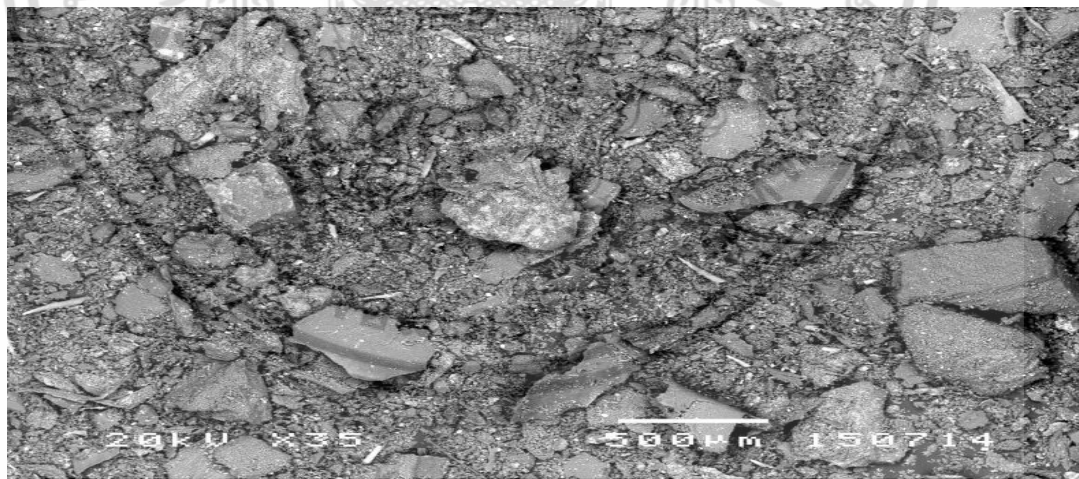
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)



(a)

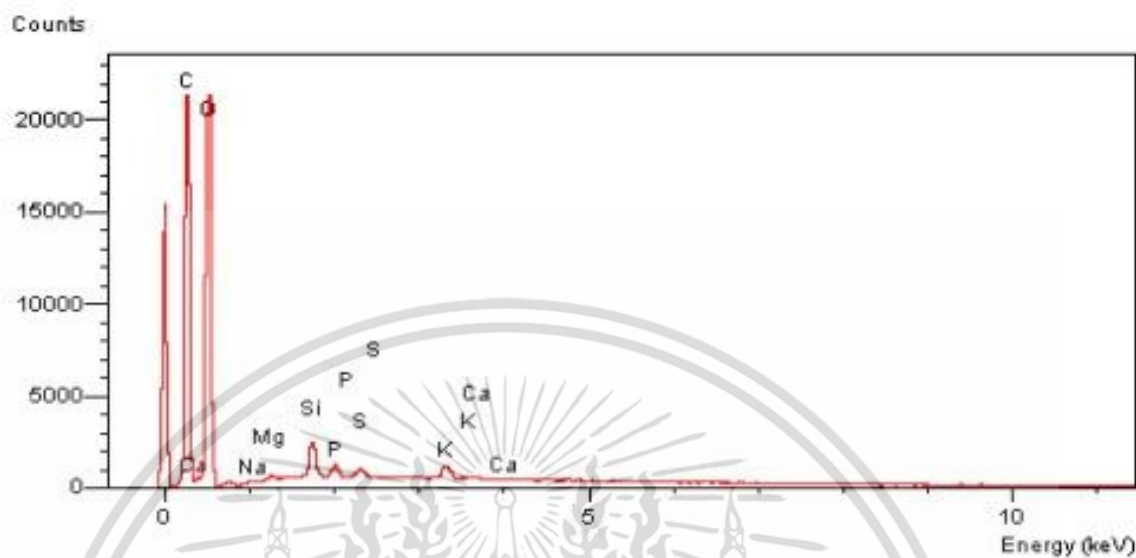


(b)

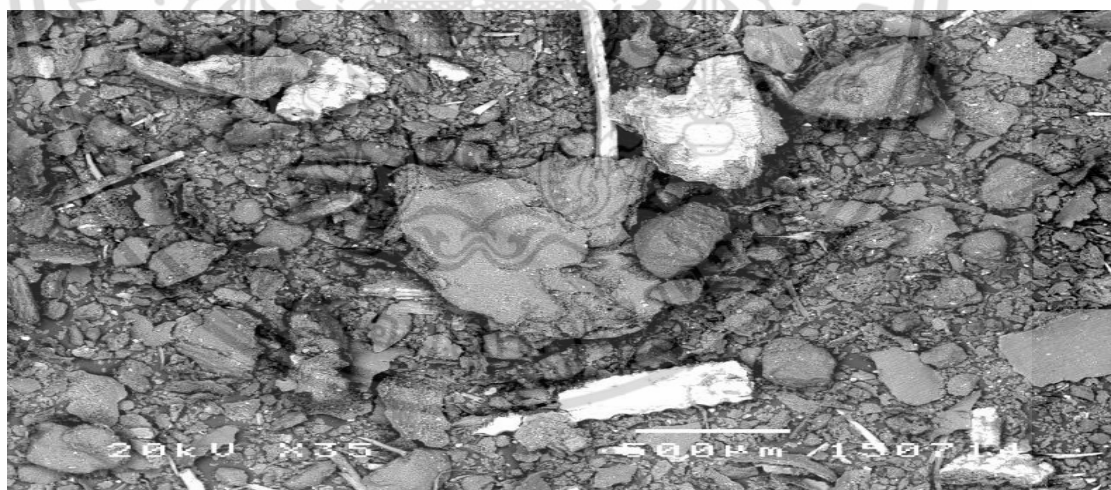
ภาพที่ ข1 (a) แสดงสเปกตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม.(RB1), (b) แสดงลักษณะกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บ

รักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) ด้วยเครื่อง SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



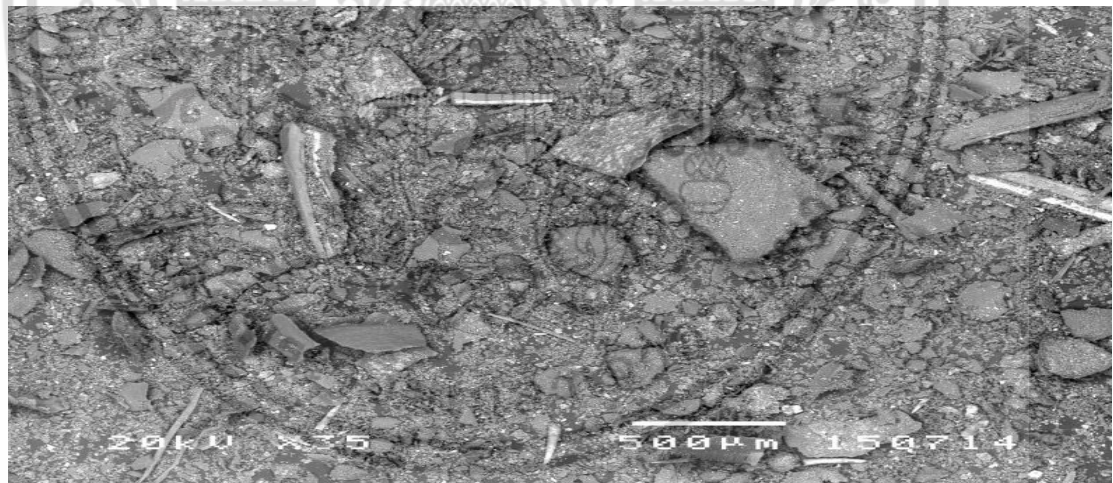
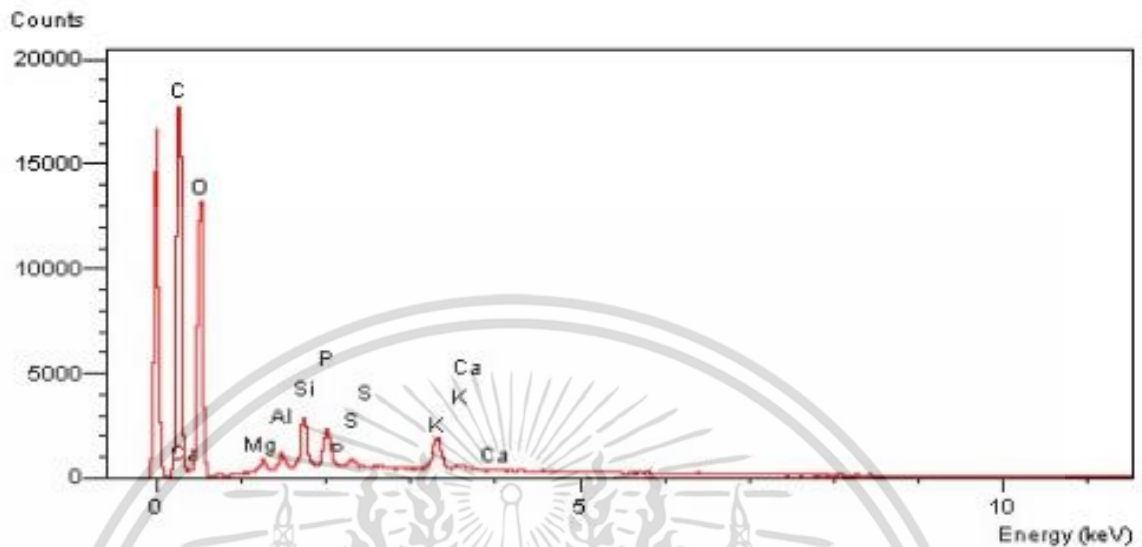
(a)



(b)

ภาพที่ ข2 (a) แสดงสเปกตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. (RB2) , (b) แสดงลักษณะกายภาพของของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. (RB2) ด้วยเครื่อง SEM

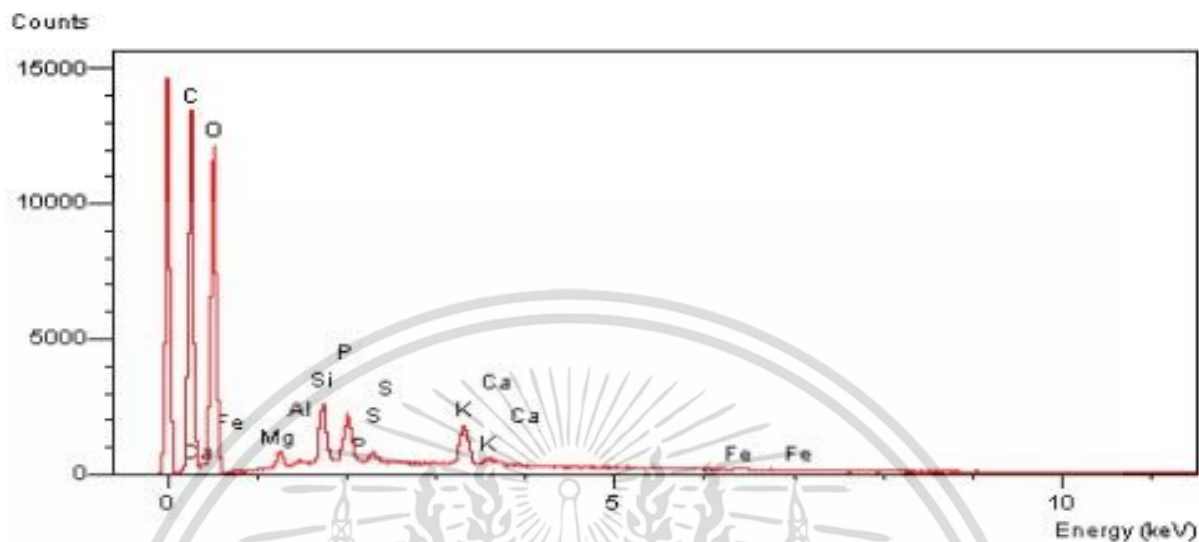
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



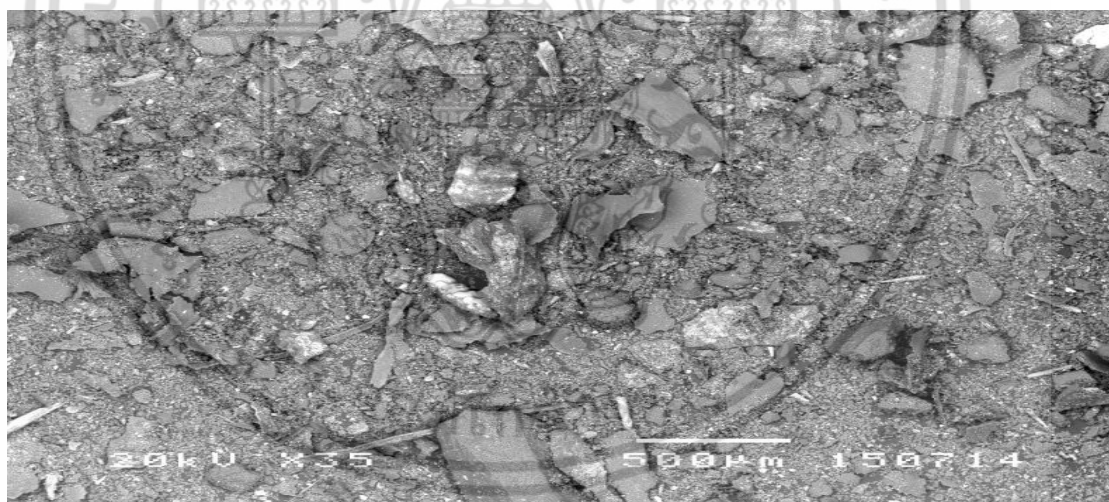
(b)

ภาพที่ ข3 (a) แสดงสเปกตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 °C เป็นเวลา 48 ชม. (RB3) , (b) แสดงลักษณะกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 °C เป็นเวลา 48 ชม. ด้วยเครื่อง SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

ภาพที่ ๗ (a) แสดงสเปกตรัมปริมาณแร่ธาตุของปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันและโปรตีนหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB4) , (b) แสดงลักษณะกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันและโปรตีนหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายสืบตระกูล วานิชศรี

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 ศึกษาต่อปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะ
อุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพัฒนาการเกษตร คณะ
เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2558 ตำแหน่งกรรมการบริษัท ฟิน ฟู้ด เทรคดิง จำกัด

การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน

Factors affecting mineral content of defatted rice bran

ตีพิมพ์ใน วารสารเกษตรพระจอมเกล้า