รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่ากากรำข้าวด้วยการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเสริมแร่ธาตุผงในแคปซูลเข้มข้นจากธรรมชาติ

Value added de-fatted rice bran waste as a natural source of mineral nutrition capsule supplements

ผศ.ดร. ประมวล ศรีกาหลง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่ากากรำข้าวด้วยการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเสริมแร่ธาตุผงในแคปซูลเข้มข้นจากธรรมชาติ

Value added de-fatted rice bran waste as a natural source of mineral nutrition capsule supplements

ผศ.ดร. ประมวล ศรีกาหลง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ การเพิ่มมูลค่ากากรำข้าวเพื่อเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุ

แหล่งเงินทุน เงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงิน 70,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ เดือน ตุลาคม 2556 ถึง เดือน กันยายน 2557

หัวหน้าโครงการ และหน่วยงานต้นสังกัด

ผศ.ดร. ประมวล ศรีกาหลง สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว พบว่า การนำรำข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน 4 รูปแบบ ไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุเบื้องต้นด้วยเทคนิค EDS (energy-dispersive x-ray spectroscopy) พบว่ามีแร่ธาตุหลัก 7 ชนิด ประกอบไปด้วย โซเดียม (Na), โพแทสซียม (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 และกรดควบคู่กัน 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

คำสำคัญ : รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน, ปริมาณแร่ธาตุ, สังกะสี

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

Researcher : Assist. Prof. Dr. Pramoun Srikalong

Faculty : Agro-Industry **Department :** Food process engineering

Abstract

The factors that affect mineral contents in defatted rice bran were studies. 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.)

Keywords : Defatted rice bran, Mineral content, Zinc

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัย ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัย จากแหล่งทุน เงินรายได้ประจำปี 2557 และ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่อำนวยความสะดวกในการบริการสถานที่ ที่ทำงานวิจัยทำงานได้สะดวกยิ่งขึ้น

ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง

ผู้วิจัย

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..... 2

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 รำข้าว..... 8

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าว..... 10

2.8 การนำรำข้าวไปใช้ประโยชน์..... 11

2.9 แร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย..... 12

2.10 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน..... 17

2.11 เอนไซม์จากอาหาร (Food Enzyme)..... 21

2.12 เอนไซม์ย่อยอาหาร (Digest Enzyme)..... 24

2.13 การละลายของตัวยา (Dissolution)..... 27

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง..... 33

3.1 วัตถุดิบ..... 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 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว..... 40

4.3 ผลการศึกษาสภาวะการเก็บรักษารำข้าว และการสกัดโปรตีนที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในกากรำข้าว..... 41

4.4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุในสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริก..... 44

4.5 ผลการศึกษาปริมาณแร่ธาตุในผงแร่ธาตุสกัดต่อ 1 แคปซูล..... 45

4.6 ผลการศึกษาความสามารถในการแตกตัวของแคปซูล (Disintegration) ที่เตรียมในรูปอาหารเสริมแร่ธาตุ..... 46

4.7 ผลการศึกษาความสามารถในการละลายเลียนแบบทางอาหาร (Solubility test) 47

4.8 ผลการศึกษาการละลายเลียนแบบทางยา (Dissolution testing) 47

4.9 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของอาหารเสริมแร่ธาตุ..... 48

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 50

บรรณานุกรม..... 52

ภาคผนวก..... 58

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ 58

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS..... 67

ภาคผนวก ค สรุปค่าใช้จ่ายโครงการวิจัย..... 72

ประวัติผู้วิจัย 74

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงองค์ประกอบต่างๆ ด้านคุณค่าทางอาหารภายในข้าวกล้อง ข้าวสาร รำข้าว และคัพภะ (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 และแร่ธาตุรองของกากรำข้าวที่เก็บในสภาวะที่แตกต่างกันและวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS.....	42
4.4	แสดงปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) และวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES.....	44
4.5	แสดงปริมาณแร่ธาตุของสารสกัดที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนเพียงอย่างเดียวเปรียบเทียบกับสารสกัดแร่ธาตุที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	45
4.6	แสดงปริมาณแร่ธาตุสำคัญต่อหนึ่งแคปซูล และ % RDI ของสารสกัดแร่ธาตุชนิดผง	46
4.7	แสดงการแตกตัวของสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวชนิดแคปซูล	46
4.8	แสดงร้อยละการละลายของสารสกัดรำข้าวชนิดผง	47
4.9	แสดงปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างรำข้าวผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) เปรียบเทียบกับข้าวขัดสีและธัญพืช.....	49

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของข้าว.....	5
2.2	แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)	19
2.3	แสดงการทำงานของเอนไซม์	22
2.4	ขั้นตอนการละลายของยาเตรียมรูปแบบของแข็ง	28
2.5	Diffusion layer model	29
4.1	แสดงการเปรียบเทียบการละลายของสารสกัดแร่ธาตุในสภาวะกรด และด่าง.....	48
ข1	(a) แสดงสเปคตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1), (b) แสดงลักษณะทางกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม.(RB1) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM...	68
ข2	(a) แสดงสเปคตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. (RB2) , (b) แสดงลักษณะทางกายภาพของของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. (RB2) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	69
4.4	(a) แสดงสเปคตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 °C เป็นเวลา 48 ชม. (RB3) , (b) แสดงลักษณะทางกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 °C เป็นเวลา 48 ชม. (RB3) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM.....	70
4.5	(a) แสดงสเปคตรัมปริมาณแร่ธาตุของปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันและโปรตีนหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB4) , (b) แสดงลักษณะทางกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันและโปรตีนหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB4) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยในปี ค.ศ. 1990 ในประเทศจีน, อินเดีย และอินโดนีเซีย ได้มีรำข้าวที่เหลือทิ้งจากกระบวนการขัดสีข้าวออกมามากกว่า 50 ล้านตัน สำหรับประเทศไทยมีรำข้าวเหลือทิ้งเป็นอันดับ 5 ของโลก และในปี ค.ศ. 2009 ทั่วโลกมีรำข้าวเหลือทิ้งออกมามากถึง 60 ล้านตัน โดยทั่วไปในการสีข้าวจะได้รำข้าวร้อยละ 8-12 ขึ้นกับระดับคุณภาพการขัดสี รำข้าวมีการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างต่อเนื่อง คือใช้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืช หรือใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ส่วนใหญ่โรงงานผลิตน้ำมันรำข้าวจะแยกเฉพาะส่วนที่ต้องการไว้ โดยใช้กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายหลังจากนั้นจึงจำหน่ายให้กับโรงงานอาหารสัตว์ (Faccin et al., 2009) รำข้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวขาวนั้น แท้จริงแล้วผลผลิตดังกล่าวยังมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์อีกมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ธาตุต่างๆ ที่พบในรำข้าว ถ้าสามารถแยกออกมาได้จะสามารถเพิ่มมูลค่าได้อีกมาก เช่น การนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสำหรับมนุษย์ มีประชากรมากกว่า 3 ล้านคนทั่วโลกยังคงประสบปัญหาการขาดแคลนสารอาหารอย่างรุนแรง ซึ่งนำไปสู่อาการป่วยเช่น เป็นโรคโลหิตจาง และมีอัตราการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มแร่ธาตุที่ขาดแคลนมากที่สุดคือ เหล็ก (Fe) และสังกะสี (Zn) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหมู่ สตรี และเด็กในประเทศที่กำลังพัฒนา (Wang et al., 2011) ไม่นานมานี้ได้มีการศึกษาปริมาณเถ้า และแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสีข้าว พบว่าในรำข้าวมีปริมาณแร่ธาตุมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นของข้าว และยังพบแร่ธาตุที่สำคัญในปริมาณมาก เช่น เหล็ก (Fe), สังกะสี (Zn), แมงกานีส (Mn) และทองแดง (Cu) (Anjum et al., 2007)

Kennedy และ Nguyyen (2002) กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุของรำข้าว ได้แก่ การเก็บเกี่ยว, การเก็บรักษา, การแปรรูป, การล้าง และการให้ความร้อน ซึ่งกระบวนการเหล่านี้อาจทำให้คุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณของสารอาหารในรำข้าวลดลงได้ เช่น การสีข้าวจะทำให้ปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โพแทสเซียม, เหล็ก, แมกนีเซียม, แคลเซียม, แมงกานีส และสังกะสี ซึ่งปริมาณจะลดลงตามระดับคุณภาพการสีข้าวที่ใช้ในกระบวนการสี โดยพบว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีมาก ปริมาณของไฟเตต ซึ่งเป็นสารคีเลต จะลดน้อยลงด้วย ทำให้ปริมาณแร่ธาตุที่ตรวจพบจะน้อยลงตามไปด้วย (Wang et al., 2011) นอกจากนี้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวที่จะเริ่มทำงานอย่างรวดเร็วภายหลังกระบวนการสีข้าว อาจมีผลต่อปริมาณแร่ธาตุที่

มีอยู่ในรำข้าว หรือองค์ประกอบของรำข้าว เช่น ปริมาณโปรตีนในรำข้าว เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษา เพื่อเพิ่มมูลค่ารำข้าวด้วยการผลิตเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุจากธรรมชาติได้ในอนาคต

นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545) กล่าวว่าปริมาณเถ้าในอาหารเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุในอาหารนั้นๆ ถ้าอาหารใดมีปริมาณเถ้าสูงแสดงว่ามีแร่ธาตุต่างๆ เป็นองค์ประกอบอยู่มาก การหาปริมาณเถ้าหาได้โดยนำตัวอย่างอาหารจำนวนหนึ่งไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500-550 °C โดยสารประกอบอินทรีย์ต่างๆในอาหารจะสลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์,ไนโตรเจนไดออกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไอน้ำที่จะระเหยกลายเป็นไอจนหมด คงเหลือแต่ออกไซด์ของโลหะเท่านั้นที่ยังคงตัวไม่ระเหยกลายเป็นไอ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวอย่างให้เป็นเถ้า จะมีผลต่อการสลายตัวของออกไซด์ที่เกิดขึ้นเช่น ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 600 °C จะมีการสูญเสียโซเดียมคลอไรด์ออกไปจากเถ้าด้วย

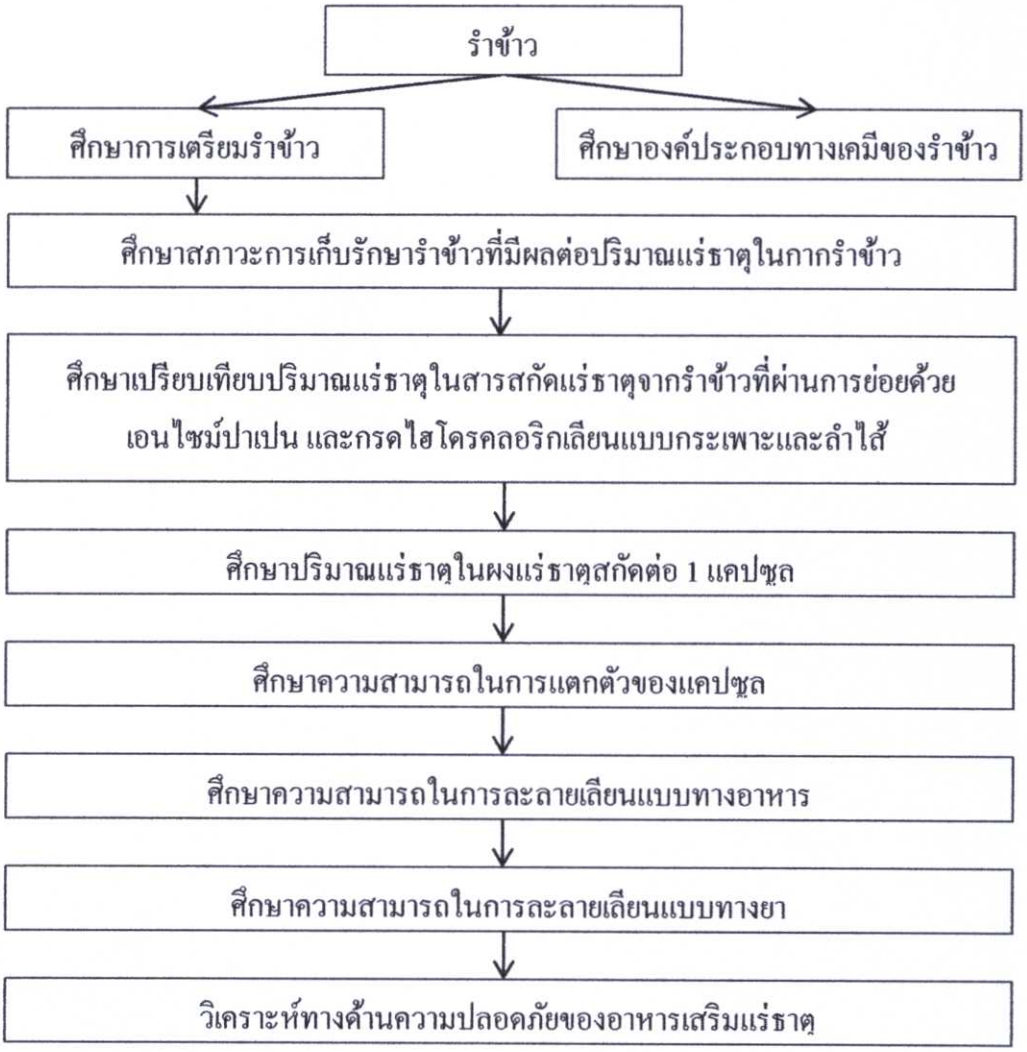
ในปัจจุบันอาหารเสริมทั้งหลายที่เน้นกลุ่มวิตามิน และเกลือแร่ มักมาจากสารสังเคราะห์ซึ่งอาจทำให้ผู้บริโภคหลายคนอาจตั้งข้อสงสัยถึงความปลอดภัยในระยะยาวของการบริโภค แต่หากสามารถสกัดแร่ธาตุจากธรรมชาติเหล่านี้ได้ เพื่อใช้เป็นอาหารเสริม ก็จะมีโอกาสได้รับการยอมรับจากผู้ที่รักสุขภาพทั้งหลาย ที่ไม่ต้องการรับประทานวิตามินหรือแร่ธาตุสังเคราะห์ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำงานวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่ากากรำข้าวด้วยการผลิตเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุจากธรรมชาติ โดยพิจารณาถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ในการสกัดแร่ธาตุจากกากรำข้าวที่ถูกสกัดน้ำมันออกแล้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษา ผลของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการสีข้าว รวมถึงศึกษาผลของโปรตีน ที่มีต่อปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในรำข้าวมาทำเป็นอาหารเสริมให้แก่ผู้ที่ขาดแร่ธาตุหรือผู้สูงอายุที่ระบบการย่อยและการดูดซึมอาหารเสื่อมลงเนื่องจากอายุที่มากขึ้นซึ่งในปัจจุบันยังไม่พบว่ามีผู้ทดลองสกัดแร่ธาตุออกจากส่วนที่เป็นกากของรำข้าวไว้เลย งานวิจัยที่ทำขึ้นนี้อาจเป็นประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการ หรือผู้สนใจที่จะเพิ่มมูลค่าให้แก่กากรำข้าวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว
2. เพื่อศึกษาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเก็บรักษากากรำข้าวก่อนการสกัดไขมันและแยกโปรตีน
3. เพื่อศึกษาการแยกโปรตีนจากกากรำข้าว โดยการย่อยเลียนแบบกระเพาะอาหาร

4. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตอาหารเสริมแร่ธาตุชนิดแคปซูลจากกากรำข้าวที่สกัดไขมันออกแล้ว

1.3 ขอบเขตการศึกษา



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) กล่าวว่าข้าวเป็นธัญพืชสำคัญที่สุดในด้านโภชนาการและการได้รับแคลอรี่ ของมนุษย์ เพราะเมื่อเปรียบเทียบถึงจำนวนแคลอรี่ต่อไร่แล้ว ข้าวนับว่าเป็นพืชที่ให้แคลอรี่ ต่อไร่สูงสุดในบรรดาธัญพืชทั้งหลาย ยกตัวอย่างเช่น ผลผลิตเฉลี่ยข้าวของโลก 1 ไร่ สามารถเลี้ยงประชากรจำนวน 0.91 คนต่อปี ในจำนวนกิโลแคลอรี่ เฉลี่ยต่อคนต่อวันที่ได้จากอาหารทุกชนิดจากฟาร์มทั้งหมด 2,666 กิโลแคลอรี่ ของโลก ปรากฏว่า เป็นจำนวนกิโลแคลอรี่ ที่ได้จากข้าว 628 กิโลแคลอรี่ 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 มีใบเรียว 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 จมูกข้าวหรือคัพภะ (germ หรือ embryo) และส่วนเอนโดสเปอร์ม หรือข้าวขาว ห่อหุ้มด้วยชั้นรำข้าว (rice bran) ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดหลายชั้น เยื่ออาลูโรน (aleurone

layer) หรือชั้นรำละเอียด เป็นชั้นในสุดที่ติดกับเอนโดสเปอร์ม มีโปรตีนสูง และไขมันสูง นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย cellulose และ hemicellulose

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

เอนโดสเปอร์ม (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 ซึ่งโปรตีนเหล่านี้มีบทบาทในการขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (บุญหงส์, 2547)

ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของข้าว

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2541)

2.3 ชนิดของข้าว

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

2.3.1 ข้าวอินดิกา (Indica) หรือข้าวเจ้า เป็นข้าวที่มีลักษณะเม็ดเรียวยาวรี ลำต้นสูง เป็นข้าวที่นิยมเพาะปลูกในทวีปเอเชียเขตมรสุม 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 ประเทศต่างๆในโลกต่างก็มีการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวใหม่ เพิ่มพื้นที่การเพาะปลูกข้าว และวิธีการปลูกข้าวให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น

2.4 การจำแนกชนิดของข้าวตามประเภทของเนื้อในหรือองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวสาร

2.4.1 การจำแนกชนิดของข้าวเจ้าตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ด (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2550)

2.4.1.1 ข้าวเจ้า สตาร์ช 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 สตาร์ชจากข้าวเหนียว 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 การมีท้องไข่ของเมล็ดข้าวกล้องนั้นทำให้เมล็ดหักง่ายเมื่อเอาไปสีเป็นข้าว สาร ซึ่งทำให้ได้เมล็ดข้าวสารที่หักมาก ดังนั้น พันธุ์ข้าวที่รัฐบาลไทยส่งเสริมให้ชาวนาปลูกจะต้องมีคุณภาพเมล็ดได้มาตรฐาน ซึ่งเรียกว่า ข้าวพันธุ์ดี

2.5.2 คุณภาพเมล็ดทางเคมี เป็นลักษณะขององค์ประกอบของแป้งในเมล็ดข้าวกล้อง ข้าวเหนียว และข้าวเจ้าแตกต่างกันในชนิดของแป้งที่รวมกันเป็นเอ็นโดสเปิร์ม เมล็ดข้าวเหนียวประกอบด้วยแป้งชนิดอะไมโลเพกทินเป็นส่วนใหญ่ และมีแป้งอะไมโลสน้อยมาก คือ ประมาณร้อยละ 5 – 7 เท่านั้น ส่วนเมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วยแป้งชนิดอะไมโลส ประมาณร้อยละ 15 - 30 ของอะไมโลสในเมล็ดข้าวเจ้าของพวกอินดิคา และจาปอนิคาก็แตกต่างกัน ด้วย ข้าวอินดิคามีแป้งอะไมโลส ประมาณร้อยละ 20 – 30 ส่วนข้าวพวกจาปอนิคามีเพียงร้อยละ 15 – 20 ข้าวไทยที่มีร้อยละของแป้งอะไมโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 (ร้อยละ 22) ส่วนข้าวไทยที่มีร้อยละ ของแป้งอะไมโลสสูง ได้แก่ กข.1 (ร้อยละ 30) ร้อยละของแป้งอะไมโลสในเมล็ดของข้าว มีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค ข้าวเหนียวมีแป้งอะไมโลสน้อยกว่าข้าวเจ้า ข้าวเหนียวจึงหุงสุกเร็วกว่าข้าวเจ้า และข้าวเหนียวที่หุงสุกแล้วจะเหนียวกว่าข้าวเจ้าด้วย ในจำพวกข้าวเจ้าด้วยกัน เมล็ดของพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งอะไมโลสสูง เมื่อหุงสุกแล้ว เมล็ดข้าวสุกจะแข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณแป้งอะไมโลสต่ำ ดังนั้น ผู้บริโภคที่ชอบรับประทานข้าวที่อ่อนนิ่ม จะต้องเลือกพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งอะไมโลส ประมาณร้อยละ 20 - 25 นอกจากชนิดของแป้งอะไมโลเพ

กทิน 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	-
ไนอะซีน	5.0	1.6	29.8	-
เถ้า	1.4	0.3	-	5.1

ที่มา : บุญหงส์ (2547)

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

Moongngram และคณะ (2012) ได้มีการทดสอบนำรำข้าวมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, กายภาพ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่ารำข้าว เป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, เถ้า และแกมม่า-โอไรซานอล โดยพบว่าใน รำข้าวมีเถ้าซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุที่มีองค์ประกอบมากถึงร้อยละ12.18 ของน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.66 ของน้ำหนักแห้ง

รำข้าวประกอบไปด้วย (บุญหงส์, 2547)

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

2.6.2. ไขมัน (fat) พบเฉพาะที่ชั้นในสุดของเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) และที่ส่วนของคัพภะ 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) สำหรับฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวนั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ร่างกายใช้ประโยชน์ได้ยาก 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) ส่วนใหญ่จะพบที่บริเวณเยื้อหุ้มเมล็ดชั้นในสุด และที่คัพภะ จึงเป็นสาเหตุให้ข้าวขาวมีวิตามินเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่มีวิตามินอยู่ในปริมาณที่สูงกว่ามาก วิตามินที่มีอยู่ค่อนข้างสูงได้แก่ กรดนิโคตินิก (nicotinic acid) หรือไนอะซิน (niacin) วิตามินที่มีอยู่ในปริมาณน้อยได้แก่ ไทอะมีน (thiamine) หรือวิตามินบี 1 (B1) และไรโบฟ

ลาวิน (riboflavin) หรือวิตามินบี2 (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 พบว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณเถ้าที่แตกต่างกัน ส่วนของรำข้าวมีปริมาณของเถ้ามากที่สุด และส่วนของรำข้าวที่ผ่านการขัดสีพบปริมาณ เหล็ก, สังกะสี, แมงกานีส และคอปเปอร์สูงสุด

Wang และคณะ (2011) ทำการศึกษาการกระจายตัวของไฟเตตและองค์ประกอบแร่ธาตุของข้าวอินดิก้า 3 สายพันธุ์ พบว่า ไฟเตต ซึ่งเป็นสารคีเลตหมายถึง สารอินทรีย์ซึ่งสามารถจับกับแร่ธาตุประจุบวก ได้แก่ เหล็ก สังกะสี ทองแดงโคบอลต์ แมงกานีส โดยสารคีเลตจะล้อมแคตไอออนหรือประจุบวกของธาตุที่เป็นโลหะไว้ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโลหะถูกจับอยู่ในโมเลกุลไม่เปิดโอกาสให้ประจุลบจากที่อื่นเข้าทำปฏิกิริยาได้ ปฏิกิริยาการรวมกันนี้ เรียกว่า คีเลชั่น (chelation) หากมีมากจะพบแร่ธาตุมาก แต่ถ้าข้าวผ่านกระบวนการขัดสีมาก ปริมาณแร่ธาตุที่ตรวจพบจะน้อยลง เนื่องจากไฟเตตถูกทำลายจากกระบวนการขัดสี โดยปริมาณแร่ธาตุแคลเซียม, เหล็ก, แมกนีเซียม, แคลเซียม, แมงกานีส และสังกะสี จะลดลงตามระดับการขัดสี (degree of milling, DOM) และสายพันธุ์ของข้าวมีผลน้อยต่อ DOM แต่ DOM จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่สีข้าว กระบวนการขัดสีที่เหมาะสมจะสามารถลดการสูญเสียแร่ธาตุได้ และยังพบอีกว่า พืชแต่ละชนิดหรือชนิดเดียวก็จะมีปริมาณแร่ธาตุที่แตกต่างกันไปขึ้นกับ สายพันธุ์, ดิน, ปุ๋ย, สารเคมี และการจัดการ ในกรณีของข้าวมักจะพบว่า จะมีธาตุ แมกนีเซียม (Mg) > แคลเซียม (Ca) > สังกะสี (Zn) > แมงกานีส (Mn) > เหล็ก (Fe) > ซิลิกอน (Se) ตามลำดับ

Hansen และคณะ (2012) ทำการศึกษาการสูญเสียแร่ธาตุที่จำเป็นจากกระบวนการขัดสีของข้าวที่มีความแตกต่างของเมล็ด ความแข็ง และการกระจายตัวของแร่ธาตุ พบว่าข้าวกล้องยิ่งผ่านการขัดสีนานหรือใช้วิธีการขัดสีที่ทำลายองค์ประกอบทางกายภาพของข้าวมากก็จะยิ่งส่งผล

ให้ปริมาณแร่ธาตุที่มีในข้าวลดลงซึ่งมีความสัมพันธ์กับ ความแข็งของข้าว, สายพันธุ์ข้าว, ความแตกต่างของเมล็ดข้าว และการกระจายตัวของแร่ธาตุ ซึ่งการขัดสีด้วยระบบสายพานจะสูญเสียแร่ธาตุน้อยกว่าการขัดสีด้วยระบบลูกกลิ้ง

Kennedy และ Nguyyen (2002) ทำการศึกษา การจัดการทางการเกษตรมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบสารอาหารในเมล็ดข้าว พบว่าปริมาณธาตุ ไนโตรเจน และคุณภาพของดิน มีผลต่อต่อปริมาณ ธาตุเหล็ก สังกะสี รวมถึงดินที่ได้รับธาตุไนโตรเจน และแสงมากจะส่งผลให้ข้าวมีปริมาณโปรตีนมากขึ้นด้วย กระบวนเก็บรักษา, การแปรรูป, การล้าง, การให้ความร้อน ล้วนแล้วแต่มีอิทธิพลต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าว โดยร้อยละ 10-37 ของผลผลิตข้าวเสียหายจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว การขัดสีข้าวจะทำลายโปรตีนประมาณร้อยละ 10-15 และฟอสฟอรัสถูกทำลายมากถึงร้อยละ 40 การล้าง และการให้ความร้อนจะสูญเสียโปรตีนร้อยละ2-7, โพแทสเซียมสูญเสียร้อยละ 20-41 โดยสามารถสรุปได้ว่าผลกระทบหลักต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าวมาจากกระบวนการยืดอายุ และการทำให้อาหารปลอดเชื้อนั่นเอง

2.8 การนำรำข้าวไปใช้ประโยชน์

รำข้าวทั้งชนิดรำหยาบ และรำละเอียดสามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลาย (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าวกรมวิชาการเกษตร, 2555) เช่น

2.8.1 น้ำมันรำข้าว เป็นน้ำมันสำหรับบริโภคที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีคอเลสเตอรอล ต่ำ จึงจัดเป็นน้ำมันบริโภคที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจำนวนมากถึงร้อยละ 77 โดยในจำนวนนี้เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายร้อยละ 31.7 และยังมีสารโอไรซานอล มีสมบัติเป็นสารกันหืน และมีประโยชน์ในการช่วยเร่งการเจริญเติบโตรวมทั้งช่วยให้ระบบการหมุนเวียนของเลือดดีขึ้น น้ำมันรำข้าวเมื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการเคมีฟิสิกส์ สามารถผลิตเป็นกะทิแปลงไขมัน ผลิตสบู่ และเนยขาวเอนกประสงค์

2.8.2 ไขข้าว สามารถใช้เป็นสารเคลือบในอาหาร เช่น เคลือบช็อคโกแลต และผลไม้มีการตรวจพบไข (wax) ในน้ำมันรำข้าวที่ยังไม่ผ่านการกำจัดไขร้อยละ 3.5

2.8.3 อาหารเสริม แกมม่าโอไรซานอล, เลซิติน วิตามินอี ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

2.8.4 ส่วนผสมในอาหารเด็กอ่อน โดยใช้รำละเอียดมาผสมในอาหารเด็กอ่อนเพื่อช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

2.8.5 เลซิติน สารเหนียว (gum) หรือ เลซิตินดิบ (crude lecitin) ที่แยกจากน้ำมันรำข้าวดิบ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นฟอสโฟลิพิด มีศักยภาพที่จะนำไปผลิตเป็นอีมัลซิไฟล์เออร์ในอุตสาหกรรมอาหาร และในน้ำมันรำข้าวมีประมาณร้อยละ 0.51 และมีคุณสมบัติเทียบได้กับเลซิตินจากถั่วเหลืองทั้งนี้ปริมาณเลซิตินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการสกัด และพันธุ์ข้าวด้วย

2.8.6. อาหารสัตว์ รำข้าวทั้งชนิดรำหยาบ และรำละเอียดสามารถนำมาผสมในอาหารสัตว์ได้ ซึ่งปัจจุบันในโรงงานสกัดน้ำมันรำข้าวในประเทศไทยเมื่อสกัดน้ำมันจากรำเสร็จก็มักจะส่งส่วนของกากรำที่สกัดน้ำมันแล้วไปขายให้แก่ฟาร์มปศุสัตว์เกือบทั้งหมด

2.8.7. ส่วนผสมในเครื่องสำอาง และครีมบำรุงผิว โดยนำน้ำมันรำข้าวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง และครีมบำรุงผิว หรือโลชั่นต่างๆ เนื่องจากในน้ำมันรำข้าวมีสารแกมม่าออไรซานอล และวิตามินอี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยบำรุงผิวพรรณ ให้ความชุ่มชื้น และชะลอความเหี่ยวย่น

2.9 แร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย

แร่ธาตุ หรือเกลือแร่หมายถึง แร่หรือสารประกอบอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของอาหารส่วนที่เหลือเป็นเถ้าหลังจากการเผาสารอินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืช และสัตว์ ร่างกายคนเราต้องการแร่ธาตุแต่ละชนิดแตกต่างกัน แร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายหมายถึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม (กฤษฎี, 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), โมลิบดินัม (Mo) และแมงกานีส (Mn)

โดยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่

2.9.1. ธาตุเหล็ก (Fe) เป็นเกลือแร่ที่มีส่วนสำคัญในการสร้างฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่ในการนำออกซิเจน และสารอาหารต่างๆไปเลี้ยงเซลล์รวมถึงการนำของเสียออกจากเซลล์ ธาตุเหล็กยังเป็นส่วนประกอบหนึ่งของฮีโมโกลบิน ตามชั้นกล้ามเนื้อสามารถเก็บออกซิเจนไว้ใช้ในยามฉุกเฉินได้ดี และสามารถป้องกันการอ่อนล้าของกล้ามเนื้อได้ (Senadhira et. al.,1998) ปริมาณที่ควรบริโภคต่อวันสำหรับผู้หญิง 18 มิลลิกรัมต่อวัน ผู้ชาย 8 มิลลิกรัมต่อวัน กรณีที่ผู้หญิงตั้งครรภ์ควรได้รับปริมาณเหล็กที่มากขึ้นถึง 27 มิลลิกรัมต่อวันผลข้างเคียงจากการได้รับธาตุเหล็กในร่างกายมากเกินไป หรือจากการเสริมธาตุเหล็กในปริมาณสูงต่อเนื่องมีอันตรายสูงถึงเสียชีวิตได้ โดยผลข้างเคียงที่พบได้บ่อย เช่น ก่อการระคายเคืองต่อเยื่อบุต่างๆ โดยเฉพาะเยื่อบุทางเดินอาหาร เป็นสาเหตุให้มีเลือดออกในทางเดินอาหารได้ ทั้งจากกระเพาะอาหารและจาก

ลำไส้ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดท้อง ปวดศีรษะ หายใจลำบาก อ่อนเพลีย วิงเวียน น้ำหนักลด ผอมลง ผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีเทา มีผลต่อการกดภูมิคุ้มกันของร่างกาย และอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงให้เกิดโรคออโตอิม-มูนโรคภูมิต้านตนเอง หรือโรคมะเร็ง ได้กำหนดค่าปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวัน (DRI) ของประเทศสหรัฐอเมริกามีการกำหนดปริมาณสูงสุดของธาตุเหล็กที่รับได้ในแต่ละวัน (Tolerable Upper lntake 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 มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลิอิก และโปรตีน อาจกล่าวได้ว่าเอนไซม์ที่เป็นสารสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาภายในร่างกายเกือบทุกชนิดต้องการสังกะสี 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 ได้กำหนดค่าสูงสุดของแคลเซียมที่รับได้ในแต่ละวันไว้ที่ 2,500 มิลลิกรัมในทุกเพศวัยรวมทั้งหญิงตั้งครรภ์ และหญิงให้นมลูกยกเว้นทารก (Noonan and Savage,1999)

2.9.4. แมกนีเซียม (Mg) ในร่างกายประกอบด้วยแมกนีเซียมประมาณ 10-40 มิลลิกรัม มีมากในไมโตคอนเดรีย (mitochondria) ของอวัยวะต่างๆ เช่น กล้ามเนื้อหัวใจ ไต ตับ และตับอ่อน เป็นต้น หน้าที่สังเคราะห์โปรตีนให้ร่างกาย และเป็นโคเอนไซม์ที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งในร่างกายที่จะทำงานร่วมกับแคลเซียมซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงานในระบบต่างๆของร่างกาย

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 นอกจากนั้นยังควบคุมระบบการหดตัวของหลอดเลือดไม่ให้ทำงานผิดปกติทำให้เลือดในหลอดเลือดไหลได้สะดวก และหากสาเหตุของการเป็นตะคริวเกิดจากภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำ หรือสตรีมีครรภ์ที่มีระดับของแคลเซียมในเลือดต่ำ ควรจะบริโภคแคลเซียมเสริมก็ควรจะบริโภคแมกนีเซียมเสริมด้วยเนื่องจากแคลเซียม และแมกนีเซียมจำเป็นต้องทำงานร่วมกันปกติแล้วคนส่วนน้อยเท่านั้นที่จะได้รับแมกนีเซียมอย่างเพียงพอต่อวันจากอาหารที่รับประทานเข้าไป เนื่องจากอาหารที่ปรุงส่วนใหญ่จะมีแร่ธาตุนี้อยู่น้อย การรับยาบางชนิดก็ส่งผลให้เกิดอาการขาดแร่ธาตุแมกนีเซียมอีกทั้งโรคบางชนิดเช่น เบาหวาน โรคติดเหล้า ก็ส่งผลให้เกิดการขาดแร่ธาตุแมกนีเซียมได้เช่นกัน ดังนั้นการรับประทานในรูปแบบอาหารเสริมก็จะช่วยให้มั่นใจได้ว่าร่างกายได้รับแมกนีเซียมอย่างเพียงพอ โดยร่างกายต้องแมกนีเซียม 300 มิลลิกรัมต่อวัน (Noonan and Savage,1999)

2.9.5. ซิลิเนียม (Se) ช่วยกระตุ้นการทำงานของเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยปกป้องร่างกายไม่ให้เกิดเซลล์มะเร็ง ซีลีเลียม เป็นเกลือแร่ส่วนน้อยที่สำคัญต่อร่างกาย ถึงแม้จะพบในร่างกายเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ซีลีเนียมมีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติหน้าที่ของวิตามินอี คนที่ขาดซีลีเนียมจะมีภูมิต้านทานต่ำ มีภาวะต่อมไทรอยด์ และกล้ามเนื้อหัวใจทำงานผิดปกติ เนื่องจากซีลีเนียมเป็นแร่ธาตุที่มีอยู่ในดิน ในอดีตแหล่งอาหารที่มีซีลีเนียมก็คือพืช ในปัจจุบันซีลีเนียมได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เนื่องจากหมู และวัวที่เลี้ยงด้วยซีลีเนียมจะไม่เจ็บป่วยง่าย และสภาพของเนื้อจะแดงสด และสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ทำให้ในปัจจุบัน เนื้อหมู และวัวจากโรงงานจึงเป็นอาหารที่มีซีลีเนียมสูง หากรับประทานในปริมาณที่สูงมากอาจจะทำให้เกิดอันตรายได้ เช่น โรคของระบบทางเดินอาหาร ลมหายใจเหม็นคล้ายกลิ่นกระเทียม เล็บ

เปราะ รู้สึกขมในปาก สีผิวเหลือง ปริมาณที่แนะนำไม่ควรรับประทานเกิน 400 ไมโครกรัมต่อวัน ปริมาณที่ควรบริโภคต่อวัน สำหรับผู้หญิง 5ไมโครกรัมต่อวัน ผู้ชาย 70 ไมโครกรัมต่อวัน

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

2.9.7. แมงกานีส (Mn) ร่างกายจะขาดไม่ได้จะพบมากที่สุดในโครงกระดูก ตับ ตับอ่อน หัวใจ และต่อมพิทูอิทารี่ มีคุณสมบัติเป็นด่าง แมงกานีสส่วนใหญ่จะสูญเสียไประหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร และส่วนเกินจะถูกขับออกผ่านทางน้ำดี และทางอุจจาระ หน้าที่ของแมงกานีสจะควบคุมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด, ช่วยในการสังเคราะห์กรดไขมัน และคอเลสเตอรอล, ช่วยในการสร้างเม็ดเลือดแดง และกระดูกพร้อมทั้งรักษาให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ,ช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ให้ทำงานตามปกติ และช่วยขับฮอร์โมนเพศ, ควบคุมสุขภาพ และการทำงานของสมองระบบประสาท และระบบกล้ามเนื้อให้มีประสิทธิการสั่งงานและมีความสัมพันธ์กัน, ช่วยการทำงานของอินซูลิน, เป็นตัวสำคัญที่ช่วยในการสังเคราะห์ทางเคมีของต่อมไทรอยด์ขับไทรอกซิน,กระตุ้นให้ตับเก็บน้ำตาลในรูปของไกลโคเจน, ช่วยในการใช้โคลีน,มีความสำคัญในการผลิตน้ำนม และการสร้างยูเรียซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัสสาวะการขาดแมงกานีสจะมีผลเกี่ยวกับการต้านทานกลูโคส (Glucose tolerance) คือร่างกายไม่สามารถที่จะนำเอาน้ำตาลที่มากเกินไปออกจากเลือดโดยการ ออกซิเดชัน หรือนำไปเก็บที่อื่นได้ การที่กล้ามเนื้อทำงานไม่พร้อมกัน (staxia) จะเกี่ยวพันกับการที่บริโภคแมงกานีส ไม่เพียงพอ นอกจากนี้การขาด แมงกานีสจะนำไปสู่อัมพาต ตาบอด หูหนวก และชักในทารก สำหรับผู้ใหญ่ที่เกิดอาการเวียนศีรษะ และไม่สามารถได้ยินเสียง ทำให้เกิดอาการดังนี้ร่างกายต้องการแมงกานีสประมาณ 3-4 มิลลิกรัมต่อวัน การบริโภคแคลเซียม และฟอสฟอรัสสูงจะไปเพิ่มความต้องการแมงกานีส การได้รับ แมงกานีส ในปริมาณที่มากจะมีผลทำให้ปริมาณของเหล็กที่ถูกเก็บไว้ และการใช้เหล็กลดลงด้วย (Noonan and Savage,1999)

2.9.8. ฟอสฟอรัส (P) มีมากในรำข้าว โดยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีอยู่ในร่างกายประมาณ 700 กรัม โดยร้อยละ 80 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดนั้นจะเป็นส่วนประกอบของกระดูก และฟันส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 20 จะพบในเลือดกับเนื้อเยื่อ ความสมดุลของฟอสฟอรัสและแคลเซียมในร่างกายทำให้เกลือแร่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ฟอสฟอรัสจะพบในอาหารเกือบทุกชนิดอาหารที่มีโปรตีน และแคลเซียมสูงมักจะมีฟอสฟอรัสสูงด้วย หน้าที่ของฟอสฟอรัสต่อร่างกายเป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของกระดูก และฟันให้เป็นไปอย่างปกติควบคุมการทำงานของไต, ช่วยให้วิตามิน บี ต่างๆ ทำหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ, เป็นปัจจัยสำคัญในการเผา

ผลาญคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน, เป็นส่วนที่จำเป็นของนิวคลีโอโปรตีน (nucleoprotein), เป็นส่วนประกอบของฟอสโฟลิพิด, มีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโต การซ่อมแซมเนื้อเยื่อ การเก็บ และการให้พลังงานออกมา, ช่วยในการส่งสัญญาณของตัวกระตุ้นประสาท และช่วยรักษาสุขภาพระบบประสาทให้ทำหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ, ช่วยควบคุมความสมดุลของกรด และด่างในเลือด, ช่วยการดูดซึมของอาหารจากลำไส้เข้าสู่ร่างกาย และส่งเสริมการขับฮอร์โมนออกจากต่อม, กระตุ้นการคลายตัวของกล้ามเนื้อ รวมถึงกล้ามเนื้อของหัวใจด้วย, วิตามิน บีสอง และบีสาม จะย่อยไม่ได้ถ้าปราศจากฟอสฟอรัส ร่างกายต้องการ 700-1000 มิลลิกรัมต่อวัน การบริโภคฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากเกินความต้องการของร่างกาย ในขณะที่ปริมาณแคลเซียมอยู่ในเกณฑ์ปกติหรือต่ำกว่าปกติจะทำให้เกิดภาวะhyperparathyroidism ทำให้มีการสูญเสียแคลเซียมไปจากกระดูก ภาวะเช่นนี้อาจพบได้ในเด็กวัยรุ่น และหนุ่มสาวในประเทศทางตะวันตก ซึ่งขึ้นอยู่กับนิสัยผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริโภคเครื่องดื่ม soft drinks ชนิดต่าง ๆ ที่มีกรดฟอสฟอริค 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 triodotyronine (T3) ประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนนี้จะเก็บอยู่ในต่อมไทรอยด์ ส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ตามกล้ามเนื้อ ผิวหนัง ขุมขน ต่อมน้ำลาย ระบบทางเดินอาหาร และกระดูก ในเลือดจะมีไอโอดีนอยู่น้อยมากหน้าที่สำคัญของไอโอดีนต่อร่างกายช่วยในการทำงานและเจริญเติบโตของต่อมไทรอยด์, ช่วยให้ร่างกายผลิตพลังงานได้ตามปกติ, ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และกระตุ้นอัตราการเผาผลาญ อาการขาดไอโอดีนเซื่องซึม เหนื่อยง่าย ความดันต่ำ ผิวหนัง และ ผมแห้ง อ้วนพี ความจำไม่ดี ร่างกายเติบโตช้า เริ่มมีอาการปัญญาอ่อน ไม่สนใจทางเพศร่างกายต้องการไอโอดีนประมาณ 100-150 ไมโครกรัมต่อวัน ในช่วงตั้งครรภ์ต้องการเพิ่มขึ้นเป็นอย่างน้อย 200 ไมโครกรัม เนื่องจากมีการขับออกทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น และให้ถูกใช้ในการสร้างไทรอยด์ฮอร์โมนในประเทศอังกฤษได้กำหนดปริมาณไอโอดีนสูงสุดที่ปลอดภัย คือ 17 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน หรือไม่เกิน 1,000 ไมโครกรัมต่อวัน (Bravo, 1994)

โดยแร่ธาตุต่างๆนั้น มีค่าปริมาณสารอ้างอิงที่ควรจะได้รับประจำวัน หรือค่า DRA โดยอ้างอิงจากชายที่มีน้ำหนัก 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, กระเทียม,
แมกนีเซียม	Mg	240-420	ถั่ว, ผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว, ผักใบเขียว
เหล็ก	Fe	8-18	หอยแมลงภู่, เนื้อแดง, ไข่ และ เมล็ดพืช
แคลเซียม	Ca	1000-1300	นมและผลิตภัณฑ์นม, ถั่วเหลือง, ถั่ว และผักใบเขียว
โซเดียม	Na	1200-1500	สัตว์มีกระดอง , 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) Recommmendation from the The American food and Nutrition Board,Institute of Medicin

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

2.10 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน

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

โดยปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน มีกลไกการเกิดดังนี้

2.10.1 การเกิดออโตออกซิเดชัน (auto oxidation)

ออโตออกซิเดชันเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลออกซิเจนกับไขมันไม่อิ่มตัวเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ (free radical) (Shahidi and Wanasundara, 1992) โดยมี O_2 โลหะ ไอออนแสงหรือความร้อนเป็นอินนิทิเอเตอร์ (initiator) การเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกนี้ α-methylenic hydrogen ในโมเลกุลของไขมันไม่อิ่มตัวจะถูกดึงออกทำให้ไขมันไม่อิ่มตัวถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลอิสระของลิพิด (lipid free radicals) อนุมูลอิสระนี้มีความว่องไวมากสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปโดยการรวมตัวกับโมเลกุลออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ (สมการ 2) อนุมูลอิสระนี้จะเป็นตัวการที่ทำให้ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันเกิดอย่างต่อเนื่องโดยไปดึงอนุมูลอิสระไฮโดรเจนจากไขมันไม่อิ่มตัวในโมเลกุลอื่นๆทำให้เกิดอนุมูลอิสระของลิพิดตัวใหม่ และเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้หมุนเวียนกันไป (สมการ2 และ 3) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขบวนการนี้คือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide)

$$RH \longrightarrow R\bullet + H\bullet \quad (1)$$

$$R\bullet + O_2 \longrightarrow ROO\bullet \quad (2)$$

$$ROO\bullet + RH \longrightarrow ROOH + R\bullet \quad (3)$$

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 ●) ซึ่งอะตอมอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ที่เป็น unpair electron ซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยา

$$RH \longrightarrow R\bullet + H\bullet$$

2.10.1.2 ขั้นเกิดปฏิกิริยาแบบทวีคูณ (propagation) เกิดจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่เกิดเป็น peroxy radical (ROO ●) ซึ่งขั้นตอนนี้ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากมาย โดย peroxy radical ทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับกรด

ไขมันไม่อิ่มตัวใหม่ ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) เพอร์ออกไซด์หรือไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ที่เกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้นที่ไม่มีกลิ่นหรือรสชาติ แต่จะแตกตัวต่อไปได้แอลดีไฮด์, คีโตน, กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์หลากหลายชนิดผสมผสานกันทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์แก่อาหาร

$$R\bullet + O_2 \longrightarrow ROO\bullet$$

$$RH + ROO\bullet \longrightarrow ROOH + R\bullet$$

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

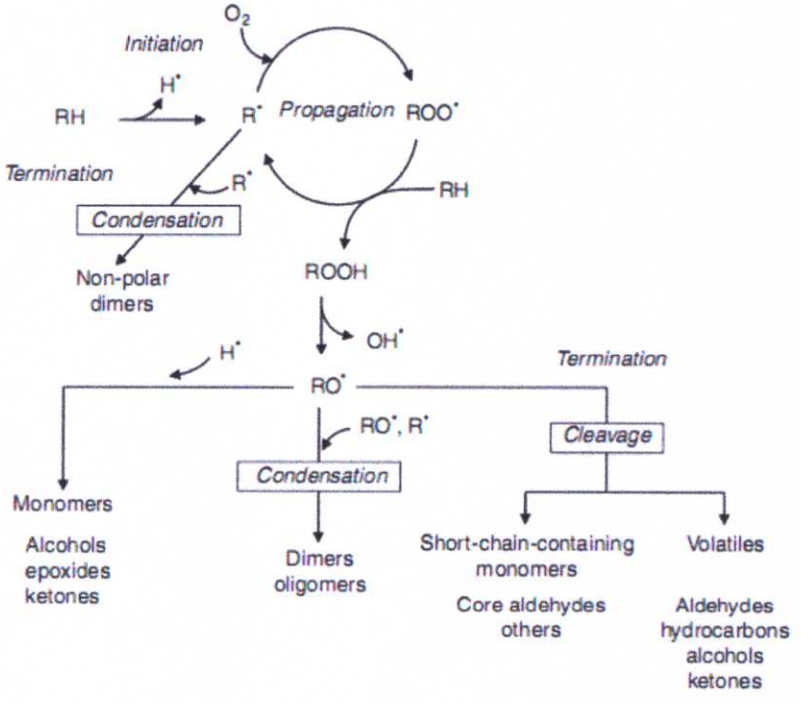
$$R\bullet + R\bullet \longrightarrow R\text{-}R$$

$$ROO\bullet + ROO\bullet \longrightarrow ROOR + O_2$$

$$RO\bullet + R\bullet \longrightarrow ROR$$

$$ROO\bullet + R\bullet \longrightarrow ROOR$$

$$2RO\bullet + 2ROO\bullet \longrightarrow 2ROOR + O_2$$



ภาพที่ 2.2 แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

ที่มา : Velasco และ คณะ (2009)

การออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเองสามารถสลายโมเลกุลสารตั้งต้น และสามารถเกิดเป็นโมเลกุลใหม่ได้ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และกายภาพของสารตั้งต้นที่ถูกออกซิไดซ์ การแตกตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการรวมถึงการเกิดการหืนของไขมันไม่อิ่มตัว โดยไขมันที่สัมผัสกับแสง โลหะ ออกซิเจน และสารที่มีความไว เช่น คลอโรฟิลล์ ฮีโมโปรตีน และไรโบฟลาวิน รวมถึงการออกซิเดชันโดยมีแสงเป็นตัวเร่ง หรือมีเอนไซม์ไลพอกซีจิเนสเป็นตัวเร่งก็จะเกิดไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ได้เช่นกัน (Wanasundara and Shahidi, 2005) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น ทำให้สารต้านออกซิเดชันเข้ามามีบทบาทสำคัญในการยับยั้ง ชะลอ หรือป้องกันการออกซิเดชันของไขมัน แต่สารต้านออกซิเดชันไม่สามารถที่จะปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกซิไดซ์หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงไปแล้วได้ (Hudson and Pratt, 1990) จึงต้องใช้เติมในกระบวนการผลิตไขมัน เพื่อป้องกันปฏิกิริยาดังกล่าวในปริมาณตามข้อกำหนดของ USFDA (Dziezak, 1986)

2.10.2 การออกซิเดชันของเอนไซม์

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

2.10.2.1 การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์

E เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (เอนไซม์)

S เป็นสารตั้งต้นเรียกว่า สับสเตรต และ P เป็นสารผลิตภัณฑ์

E + S ----------> ES ----------> E + P

สารเชิงซ้อน

2.10.2.2ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

- ชนิดของสารที่เอนไซม์ไปควบคุมปฏิกิริยา
- ความเข้มข้นของสับสเตรตเปลี่ยนตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์
- ความเข้มข้นของเอนไซม์เปลี่ยนตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์
- ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ส่วนมากเอนไซม์จะทำงานได้ดีในช่วง pH เป็นเบสเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วในช่วง pH ใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสับสเตรตนั้นๆ

- อุณหภูมิ อุณหภูมิที่ 37°C เป็นอุณหภูมิที่เอนไซม์ส่วนใหญ่ทำงานได้ดี อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้การทำงานของเอนไซม์เสื่อมไป เพราะเอนไซม์เป็นโปรตีนเมื่ออุณหภูมิสูงเอนไซม์ถูกทำลายธรรมชาติไป

- สารยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ สารบางชนิดเมื่อรวมตัวเอนไซม์จะทำให้เอนไซม์ทำงานช้าลงหรือหยุดทำงานได้

- สารกระตุ้น เอนไซม์บางชนิดต้องการไอออนพวกอนินทรีย์เป็นตัวกระตุ้น จึงจะเกิดการทำงานและเกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยา

- รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวที่มีมากในประเทศไทย และเป็นแหล่งของเอนไซม์ไลเปส (lipase) เป็นเอนไซม์ (enzyme) ที่เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ได้เป็นกรดไขมันอิสระ(free fatty acid) พบในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์และสัตว์ ผลิตได้จากแบคทีเรีย (bacteria) รา (mold)

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 สารอาหารจะต้องถูกย่อยโดยการทำงานของเอนไซม์จนมีขนาดเล็กในระดับอิออน จึงจะสามารถผ่านผนังของเซลล์ขนาดเล็กแต่ละเซลล์ได้ ร่างกายจึงจะดำรงชีวิตอยู่ได้ ในทางกลับกันถ้าสารอาหารไม่สามารถส่งไปถึงเซลล์ได้ การซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอก็ไม่สามารถทำได้ จึงทำให้ร่างกายเกิดภาวะเสื่อม ส่งผลทำให้ภูมิคุ้มกันทำหน้าที่ไม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เป็นโรค

2.11.2 การทำงานของเอนไซม์

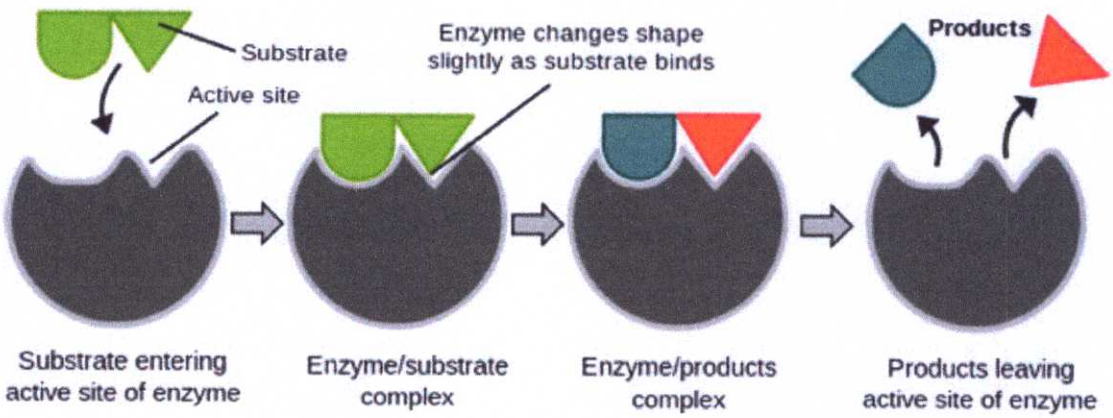
Mukataka และคณะ (1985) กล่าวว่าการทำงานของเอนไซม์ โครงสร้างของเอนไซม์ทั้งก่อน และหลังการเกิดปฏิกิริยาจะยังคงเหมือนเดิม กล่าวคือเอนไซม์ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสับสเตรต แต่ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาเอนไซม์จะจับตัวกับสับสเตรต ทำให้สับสเตรตแปรสภาพไป โดยมีการสลายหรือสร้างพันธะของสับสเตรตขึ้นใหม่เกิดผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเคมี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

- สมมติฐานแม่กุญแจกับลูกกุญแจ

เอนไซม์จะเปรียบเสมือนเป็นลูกกุญแจ ส่วนสับสเตรต คือแม่กุญแจ ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อไขด้วยลูกกุญแจ โดยแม่กุญแจจะต้องมีรูปร่างที่พอเหมาะเท่านั้น ถึงจะรวมกับเอนไซม์ และเกิดปฏิกิริยากลายเป็นผลิตภัณฑ์ได้

- สมมติฐานการเหนี่ยวนำ

แอคทีฟไซต์จะสามารถยืดหยุ่น และเปลี่ยนสภาพได้เมื่อสับสเตรตเข้าใกล้บริเวณแอคทีฟไซต์ของเอนไซม์ สับสเตรตจะเหนี่ยวนำให้เอนไซม์เปลี่ยนโครงรูปบริเวณแอคทีฟไซต์ให้มีรูปร่าง และขนาดพอเหมาะที่จะรวมกับสับสเตรตได้



ภาพที่ 2.3 แสดงการทำงานของเอนไซม์

ที่มา: Bugg (1997)

2.11.3 การยับยั้งเอนไซม์

ปฏิกิริยาเคมีอาจหยุดชะงัดได้ด้วยสารประเภทหนึ่งที่เราเรียกว่า "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 จะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาขั้นแรกในเมทาบอลิซึมได้ ซึ่งการยับยั้งรูปแบบนี้จะพบได้ในกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมัน คอเลสเตอรอล กรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์ และในเมตาบอลิซึ่มของคาร์โบไฮเดรต

2.11.4 ชนิดของเอนไซม์

เอนไซม์สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.11.4.1 เอนไซม์จากอาหาร (food enzyme) คือ เอนไซม์ที่พบได้ในอาหารสด อาหารดิบทุกชนิด ถ้ามาจากพืชเราจะเรียกว่า เอนไซม์จากพืช (plant enzyme) แต่ถ้ามาจากสัตว์ เราจะเรียกว่า เอนไซม์จากสัตว์ (animal enzyme) อาหารที่ผ่านความร้อนจะทำลายเอนไซม์ในอาหารได้โดยง่าย ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้จะช่วยในการย่อยอาหารที่เรารับประทานเข้าไป

2.11.4.2 เอนไซม์ย่อยอาหาร (digestive enzyme) คือ เอนไซม์ที่ผลิตขึ้นโดยร่างกาย ส่วนใหญ่จะผลิตมาจากตับอ่อน เพื่อใช้ในการย่อยอาหารและดูดซึมสารอาหารที่เรารับประทานเข้าไป ทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่มีคุณค่า

2.11.4.3 เอนไซม์ในการเผาผลาญพลังงาน (metabolic enzyme) คือ เอนไซม์ที่ผลิตในเลือด เซลล์เนื้อเยื่อ และอวัยวะภายในต่าง ๆ ของร่างกาย มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมีเพื่อช่วยในการเผาผลาญสารอาหาร สร้างพลังงาน สร้างภูมิต้านทาน การเจริญเติบโตให้กับร่างกาย รวมไปถึงการช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของอวัยวะภายใน และช่วยบำบัดรักษาโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ ของร่างกาย

2.11.5 ความสำคัญของเอนไซม์ไลเปสในอาหาร

เอนไซม์ไลเปสมีบทบาทสำคัญในอาหารทั้งในแง่โทษ และการนำมาใช้ประโยชน์ ดังนี้

- ในอาหาร ประเภทน้ำมัน และไขมันหรืออาหารที่มีปริมาณไขมันสูง ได้แก่ อาหารทอด เช่น บะหมี่สำเร็จรูป เมื่อโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ไลเปสจะได้กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง คือ ลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) ทำให้อาหารเกิดกลิ่นผิดปกติ (off-flavor) ที่เรียกว่า กลิ่นหืน (rancidity)

- ใช้เพื่อเร่งปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชัน (interesterification) ในการปรับโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ เพื่อให้ได้โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ ชนิดใหม่

2.11.6 ระบบย่อยอาหาร (digestion)

ระบบย่อยอาหาร หมายถึง การทำให้สารอาหารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่กลายเป็นสารอาหารที่มีโมเลกุลเล็กลงจนกระทั่งแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ การย่อยอาหารในร่างกายมี 2 วิธี

1. การย่อยเชิงกล คือการบดเคี้ยวอาหารโดยฟัน เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดโมเลกุลทำให้สารอาหารมีขนาดเล็กลง

2. การย่อยเชิงเคมี คือการเปลี่ยนแปลงขนาดโมเลกุลของสารอาหารโดยใช้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องทำให้โมเลกุลของสารอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง

2.11.7 อวัยวะที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร

- ตับ สร้างน้ำดีส่งไปเก็บที่ถุงน้ำดี
- ตับอ่อน สร้างเอนไซม์ส่งไปย่อยอาหารที่ลำไส้เล็ก
- ลำไส้เล็ก สร้างเอนไซม์มอลเทส, ซูเครส และแล็คเทสย่อยอาหารที่ลำไส้เล็ก

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 เอนไซม์ที่มีความเข้มข้นมากจะทำงานได้ดีกว่าเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นน้อย

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 และอุณหภูมิปกติร่างกาย

สารอาหารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะถูกย่อยให้มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด ดังนี้

คาร์โบไฮเดรต $\longrightarrow$ กลูโคส

โปรตีน $\longrightarrow$ กรดอะมิโน

โขมัน $\longrightarrow$ กรดไขมัน และกลีเซอรอล

2.12.3 การย่อยในระบบทางเดินอาหาร

อวัยวะส่วนต่างๆของร่างกายนั้นมีความสามารถในการย่อยสารอาหารต่างๆ ได้แตกต่างกันตามชนิดของน้ำย่อยที่อยู่ในแต่ละอวัยวะของร่างกาย ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงการย่อยสารอาหารที่ตำแหน่งต่างๆของร่างกาย

ตำแหน่ง	สารที่ย่อย	น้ำย่อย		สารที่ได้
ปาก	แป้ง	ไทยาลิน (อะไมเลส)		เดกซ์ทริน
กระเพาะ	โปรตีน	เปปซิน		กรดอะมิโน
ลำไส้เล็ก	แป้ง	amylase	สร้างจากตับอ่อน	มอลโทส
	ไขมัน	lipase		กรดไขมัน+กลีเซอรอล
	โปรตีน	trysin		เปปไทด์,กรดอะมิโน
	พอลิเปปไทด์	chymotehpasin		เปปไทด์,กรดอะมิโน
	เปปไทด์	carboxypeptidase		กรดอะมิโน
	แป้ง	amylase	สร้างจากผนังลำไส้เล็ก	มอลโทส
	น้ำตาลโลเลกุลคู่	disaccharase		น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว
	เปปไทด์	peptidase		กรดอะมิโน

ที่มา: Halliwell (2002)

เมื่อรับประทานอาหารอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับทางเดินอาหาร เพื่อเกิดการย่อยตามลำดับคือ ปาก , คอหอย, หลอดอาหาร, กระเพาะ, ลำไส้เล็ก, ลำไส้ใหญ่ และทวารหนัก โดยแต่ละอวัยวะของร่างกายมีหน้าที่ที่แตกต่างกันไปดังนี้

1. ปาก (mouth) มีการย่อยเชิงกล โดยการบดเคี้ยวของฟัน และมีการย่อยทางเคมี โดยเอนไซม์อะไมเลสหรือไทยาลีน ซึ่งทำงานได้ดีในสภาพที่เป็นเบส

2. คอหอย (pharynx) เป็นทางผ่านของอาหาร ซึ่งไม่มีการย่อยใดๆ ทั้งสิ้น

3. หลอดอาหาร (esophagus) มีลักษณะเป็นกล้ามเนื้อเรียบมีการย่อยเชิงกลโดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อ

4.ทางเดินอาหารมีการเคลื่อนตัวเป็นช่วงๆ เรียกว่า " เพอริสตัสซิส (peristalsis)" เพื่อให้อาหารเคลื่อนที่ลงสู่กระเพาะอาหาร

5. กระเพาะอาหาร (stomach) มีการย่อยเชิงกลโดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อทางเดินอาหารและมีการย่อยทางเคมีโดยเอนไซม์เพปซิน (pepsin) ซึ่งจะทำงานได้ดีในสภาพที่เป็นกรด โดยชั้นในสุดของกระเพาะจะมีต่อมสร้างน้ำย่อยซึ่งมีเอนไซม์เพปซิน และกรดไฮโดรคลอริกเป็นส่วนประกอบ เอนไซม์เพปซินจะย่อยโปรตีนให้เป็นเพปไทด์ (peptide)ในกระเพาะอาหารนี้ยังมีเอนไซม์อยู่อีกชนิดหนึ่งชื่อว่า" เรนนิน " ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนในน้ำนม

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

- มอลเทส (maltase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยน้ำตาลมอลโทสให้เป็นกลูโคส
- ซูเครส (sucrase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยน้ำตาลทรายหรือน้ำตาลซูโครส (sucrose) ให้เป็นกลูโคสกับฟรักโทส (fructose)
- แล็กเทส (lactase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยน้ำตาลแล็กโทส (lactose) ให้เป็นกลูโคสกับกาแล็กโทส (galactose)

การย่อยอาหารที่ลำไส้เล็กโดยใช้เอนไซม์จากตับอ่อน (pancreas) มาช่วยย่อย เช่น

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

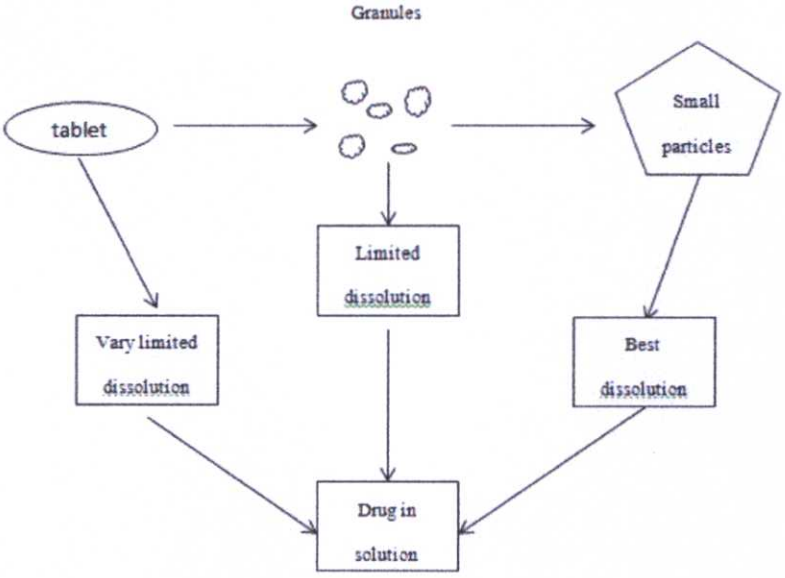
7. น้ำดี (bile) เป็นสารที่ผลิตมาจากตับ (liver) แล้วไปเก็บไว้ที่ถุงน้ำดี (gall bladder) น้ำดีไม่ใช่เอนไซม์เพราะไม่ใช่สารประกอบประเภทโปรตีน น้ำดีจะทำหน้าที่ย่อยโมเลกุลของโปรตีนให้เล็กลงแล้วน้ำย่อยจากตับอ่อนจะย่อยต่อทำให้ได้อนุภาคที่เล็กที่สุดที่สามารถแพร่เข้าสู่เซลล์

8. ลำไส้ใหญ่ (large intestine) ที่ลำไส้ใหญ่ไม่มีการย่อย แต่ทำหน้าที่เก็บกากอาหาร และดูดซึมน้ำออกจากกาก

2.13 การละลายของตัวยา (Dissolution)

การเตรียมยาเกือบทุกรูปแบบ ยกเว้นยาน้ำใส ตัวยาสำคัญต้องละลายอยู่ในตัวทำละลายที่อยู่ในบริเวณที่ยาเกิดการดูดซึม เช่น น้ำลาย หรือของเหลวในกระเพาะและลำไส้ จึงจะสามารถถูกดูดซึมเข้าลำไส้ได้ เพราะฉะนั้นการละลายของตัวยา (dissolution) โดยเฉพาะตัวยาที่อยู่ในสถานะของแข็ง และกึ่งของแข็ง จึงมีผลต่อการดูดซึม และการออกฤทธิ์ของยา

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



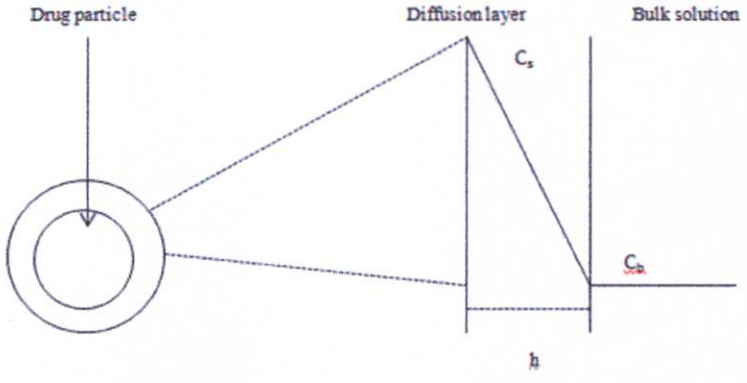
ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการละลายของยาเตรียมรูปแบบของแข็ง
ที่มา: วารี ลิมป์วิกรานต์ (2550)

2.13.1 การละลายของอนุภาคของแข็ง

การละลายของของแข็งในของเหลวจะเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทสสารจากรูปของแข็งไปเป็นรูปของเหลว วิธีการในการถ่ายเทสสารแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ปฏิกิริยาระหว่างผิว (interfacial reaction) ซึ่งเป็นการปล่อยโมเลกุล ตัวถูกละลายหลุดออกจากสารในสถานะของแข็งจนได้เป็นโมเลกุลของตัวถูกละลายอิ่มตัวในตัวทำละลาย จากนั้นโมเลกุลของ 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) คือความเข้มข้นอิ่มตัวของสารในตัวทำละลายชนิดนั้นๆ และในตำแหน่งที่ห่างจากผิวอนุภาคนั้น ความเข้มข้นของสารในชั้นของเหลวจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงผิวนอกของ diffusion layer จะเป็นชั้นของตัวทำละลายกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน ความเข้มข้นของสารจะคงที่และเท่ากันทุกส่วน ซึ่งจะเท่ากับความเข้มข้นของสารในตัวทำละลายทั้งหมด ณ เวลานั้นๆ (C_b)

ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของทั้งสองตำแหน่ง จะมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วในการละลาย คือ ยิ่งความเข้มข้นต่างกันมาก อัตราเร็วในการละลายก็จะสูงตามไปด้วย นอกจากนี้การคนมีผลต่อความหนาของชั้น diffusion layer โดยเมื่อคนสารละลายด้วยความเร็วสูงๆ ความหนาของชั้นจะบางลงแต่หากคนเบาๆชั้นก็จะหนา



ภาพที่2.5 Diffusion layer model

ที่มา: ศุภกัญญา และ ปิลันธนา (2555)

2.13.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการละลายของยา (ลักขณา และ นิธิยา, 2544)

2.13.2.1 คุณสมบัติของยา

- การแตกตัวของยา ตัวยาที่มีคุณสมบัติเป็นเกลือที่แตกตัวในน้ำได้ดีจะเกิดการละลายได้เร็ว อย่างไรก็ตามการละลายของสารประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ counter-ion หรือ ionic strength ของตัวทำละลายด้วย ถ้าตัวทำละลายมีค่า ionic strength สูง อัตราเร็วในการละลายก็จะลดลง นอกจากนี้การละลายยังขึ้นกับค่า pH ด้วยเช่น ในกระเพาะอาหารมี pH 1.5-3.0 ส่วนในลำไส้เล็กตอนต้นมี pH 5.0-7.0 ตัวยาที่เป็นด่างอ่อนจะละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารเนื่องจากยาจะแตกตัวเป็นไอออนได้ดี จะตรงข้ามกับยาที่เป็นกรดอ่อนซึ่งจะละลายได้ดีที่ลำไส้เล็ก แต่หลักการสำคัญอย่างหนึ่งคือยาจะละลายได้ดีเมื่อเกิดการแตกตัว แต่ร่างกายจะดูดซึมยาที่อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวได้ดีกว่า ด้วยเหตุนี้ยาที่เป็นด่างอ่อนจะละลายได้ดีที่กระเพาะอาหาร แต่จะไปถูกดูดซึมได้ดีที่ลำไส้เล็ก

- ขนาด และพื้นที่ผิวของอนุภาคยา จากสมการของ Noyes-Whitney จะแสดงให้เห็นหว่าอัตราการละลายจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของอนุภาคยา ถ้าอนุภาคยามีขนาดเล็กลงจะทำให้พื้นที่ผิว (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 ผงยาที่เป็นแบบ crystalline จะละลายได้ช้ากว่าแบบ amorphous เพราะจะต้องใช้พลังงานสูงกว่าเพื่อทำละลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งผงยาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธี freeze dried จะเป็นแบบ amorphous และมีลักษณะที่ฟูเบาจึงสามารถละลายน้ำได้เร็วมาก

2.13.2.2 คุณสมบัติของตัวทำละลาย

- ความหนืดของตัวทำละลาย ถ้าตัวทำละลายมีความหนืดสูง จะทำให้อัตราเร็วในการแพร่ของตัวถูกละลายช้าลง และยังทำให้อัตราการละลายลดลงตามไปด้วย

- สารลดแรงตึงผิว สารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบ จะมีผลช่วยเพิ่มอัตราการละลายอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณียาผงที่เปียกน้ำยาก เนื่องจากสารลดแรงตึงระหว่างผิว (interfacial tension) ของอนุภาคผงยา และผิวของตัวทำละลาย จะทำให้ตัวทำละลายสามารถเกาะติดหรือทำให้ผิวของอนุภาคแข็งเปียกได้ดีขึ้น และตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าสู่ผิวอนุภาคผงยาง่ายขึ้น อัตราการละลายก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.13.2.3 สภาวะของร่างกาย

- gastric emptying and intestinal transit time อาหารที่รับประทานเข้าไปจะใช้เวลาในการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารนาน 15 นาที จนถึง 2 ชม. ขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งที่รับประทาน และขึ้นกับปริมาณอาหารที่มีอยู่ภายในกระเพาะ ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวจะมีผลต่อการละลายของยาที่มีลักษณะเป็นของแข็ง เช่น กรณีของตัวยาที่ละลายได้ดีในสภาวะกรด ถ้าอยู่ในกระเพาะอาหารเป็นเวลานานก็จะละลายได้เร็วขึ้น นอกจากนี้อาหารที่อยู่ในกระเพาะจะมีผลต่อความหนืด ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการละลายได้ ยาส่วนมากจะถูกดูดซึมได้ดีที่ลำไส้เล็กส่วน duodenum และ jejunum เพราะฉะนั้นระยะเวลาที่ยาอยู่ในลำไส้เล็กส่วนนี้ก็จะมีผลต่อการละลายและปริมาณยาที่จะถูกดูดซึมด้วย โดยปกติแล้วระยะเวลาที่อาหารจะเคลื่อนที่ผ่านลำไส้เล็กส่วนนี้จะใช้เวลาประมาณ 1-4 ชม.

- ความเป็นกรดด่างในทางเดินอาหาร ในทางเดินอาหารแต่ละตำแหน่งจะมีค่า pH ที่แตกต่างกันไป ซึ่งจะมีผลต่อการละลายของยาที่เป็นกรดอ่อนหรือด่างอ่อน

ในกระเพาะอาหารช่วงที่ไม่มีอาหารมีค่า pH ประมาณ 1.2 แต่เมื่อรับประทานอาหารเข้าไปจะเพิ่มเป็น 3.5 หรือสูงกว่านั้นขึ้นกับชนิดและปริมาณของอาหาร ยาที่เป็นกรดอ่อนจะละลายไม่ดีในสภาวะกรด แต่ยาที่เป็นด่างอ่อนจะแตกตัว และละลายได้ดีในสภาวะกรด

2.13.2.4 ความเข้มข้นของตัวยาในสารละลาย หากความเข้มข้นของตัวถูกละลายมีปริมาณต่ำ อัตราเร็วการละลายจะสูง แต่ถ้าความเข้มข้นตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้อัตราเร็วของการละลายลดต่ำลง

2.13.3 ความสำคัญของการทดสอบการละลาย

2.13.3.1 การควบคุมคุณภาพ ในเภสัชตำรับต่างๆจะกำหนดให้การทดสอบการละลายเป็นส่วนหนึ่งในการควบคุมคุณภาพของเภสัชภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเตรียมยาที่เป็นของแข็ง โดยใน monograph ของยาแต่ละชนิดจะมีการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการทดสอบการละลายของยาชนิดนั้นเอาไว้ 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 วัตถุดิบ

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	Ohuaus (ARC 120), USA
3.2.16 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	Denver (SI-324), Germany
3.2.17 เครื่องสีข้าว	NW 1000 TURBO, Thailand
3.2.18 เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง	Suntex (SP-7), Germany
3.2.19 เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary evaporator)	Yamato (RE301), USA
3.2.20 เครื่องหีบแยกกาก	
3.2.21 โถดูดความชื้น (Desiccator)	Bohlender, Germany

3.2.22 กระดาษกรอง เบอร์ 1	Whatman, England
3.2.23 เครื่องแก้ว	Schott, Germany
3.3.24 เครื่องตอกแคปซูลเบอร์ 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 เอมไซม์ปาเปน	Fluka, Germany
3.3.4 โซเดียมไบคาร์บอเนต	MERCK, Germany
3.3.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์	MERCK, Germany
3.3.6 โซเดียมคลอไรด์	MERCK, Germany
3.3.7 โพแทสเซียมคลอไรด์	MERCK, Germany
3.3.8 โพแทสเซียมฟอสเฟต	SIGMA, Germany

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การศึกษาวิธีการเตรียมรำข้าว

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

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี T-Test ทำการทดลอง 3 ซ้ำนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความ

แตกต่างของค่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ 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 การศึกษาสภาวะการเก็บรักษารำข้าวที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในกากรำข้าว

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.ก่อนนำมากำจัดไขมันและโปรตีน

นำรำข้าว RB1, RB2, RB3 และ RB4 ไปกำจัดไขมันโดยแช่ในเฮกเซนอัตราส่วน รำข้าว 1 ส่วน ต่อ เฮกเซน 3 ส่วน แล้วนำไปเขย่าที่ 190-200 rpm เป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เพื่อแยกส่วนของของเหลว และของแข็งออกจากกัน นำส่วนของของแข็งไปผ่านกระบวนการเดิมซ้ำอีก 3 ครั้งเพื่อทำให้มั่นใจว่าจะไม่เหลือส่วนของไขมันปะปนอยู่ 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 at., 2010) จากนั้นนำไปกรองแยกของเหลว และของแข็งออกจากกัน นำส่วนของของเหลวซึ่งประกอบด้วยโปรตีนไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโปรตีนด้วยวิธีเจลดาห์ (Kjeldahl, 1883) และนำส่วนของแข็งที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80±2 °C นาน 5-6 ชม. จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncans' New Multiple Range Test ทำการทดลอง 3 ซ้ำนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยมีตัวแปรอิสระคือ สภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน และตัวแปรตามคือปริมาณแร่ธาตุที่วิเคราะห์ได้

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

3.5.4 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุในสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริก

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

3.5.4.1 การย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน

เตรียมกากรำข้าว 1 กิโลกรัม ใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำ 2.5 ลิตร ผสมเอนไซม์ปาเปน 10 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 300 unit) นำไปปรับค่าความเป็นกรดด่างที่ pH 6.5 ด้วย 1 N NaOH จากนั้นบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 4 ชม. ดัดแปลงจาก Glahn และ Van Campen (1997) แล้วนำไปหีบแยกของเหลวออกจากของแข็งด้วยเครื่องหีบแยกกาก ทำ 2 ซ้ำ โดย

นำส่วนของของแข็งไปอบแห้งเพื่อหา Crude fiber และส่วนของของเหลวจะนำไปปรับปริมาตรให้ได้ 3 ลิตรแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเครื่อง ICP-OES

3.5.4.2 ย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริก

เตรียมกากรำข้าว 1 กิโลกรัม ใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำ 2.5 ลิตร ผสมเอนไซม์ปาเปน 10 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 300 unit) นำไปปรับค่าความเป็นกรดด่างที่ pH 6.5 ด้วย 1 N NaOH จากนั้นบ่ม ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 4 ชม. นำไปปรับค่าความเป็นกรดที่ pH 2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 5.0 M บ่มต่อในตู้บ่มอุณหภูมิ 65 °C นาน 2 ชม. จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดด่าง pH เป็น7 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 ซ้ำนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$

3.5.5 การศึกษาปริมาณแร่ธาตุในผงแร่ธาตุสกัดต่อ 1 แคปซูล

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

3.5.6 การศึกษาความสามารถในการแตกตัวของแคปซูล (Disintegration) ที่เตรียมในรูปแบบอาหารเสริมแร่ธาตุ

ศึกษาความสามารถในการแตกตัวของแคปซูลโดยประยุกต์จากวิธีการทดสอบการแตกตัวของเม็ดยาตามเภสัชตำรับ (วาลี ลิมป์วิกรานต์, 2014) โดยนำน้ำกลั่น บรรจุลงหลอด หลอดละ 40 มิลลิลิตร จำนวน 6 หลอด ควบคุมอุณหภูมิที่ 37±2 °C ด้วยอ่างน้ำร้อน เมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนด ใส่สารสกัดแร่ธาตุชนิดผงที่บรรจุในแคปซูลเบอร์ 0 ลงในแต่ละหลอดๆละ 1 เม็ด จับเวลาที่ 15, 30 และ 60 นาที เมื่อครบเวลาสังเกตว่าแคปซูลทั้ง 6 เม็ดแตกตัวสมบูรณ์

หรือไม่ ถ้าแตกตัวทั้งหมด ถือว่าสารสกัดแร่ธาตุนั้นผ่านการทดสอบตามมาตรฐานเภสัชตำรับ โดยสร้างกราฟการแตกตัว (disintegration) เปรียบเทียบกันในแต่ละช่วงเวลาในการละลาย

3.5.7 การศึกษาความสามารถในการละลายเลียนแบบทางอาหาร (Solubility test)

ประยุกต์จากวิธีการละลายนมผง (ลักขณา 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 ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว นำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 5-6 ชม. ชั่งน้ำหนักของสารสกัดแร่ธาตุที่เหลือจะได้ ร้อยละการละลาย (โดยการละลายจะผันแปร ตามวิธีที่ใช้ในการเตรียมสารสกัดแร่ธาตุ อุณหภูมิ ความเป็นกรด และวิธีที่ใช้ทดสอบการละลาย)

3.5.8 การศึกษาความสามารถในการละลายเลียนแบบทางยา (Dissolution testing)

ประยุกต์จากวิธีทดสอบที่เป็นไปตามข้อกำหนดของเภสัชตำรับ (Food and Drug Adminstration, 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. ชั่งน้ำหนักของสารสกัดแร่ธาตุที่เหลือจากการละลาย 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) ซึ่งใช้

หลักการของอะตอมมิกสเปกโทรสโกปในการวิเคราะห์ธาตุ ทำให้วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ พร้อมกันหลายชนิดในเวลาเดียวกัน และมีความไวในการวิเคราะห์สูง สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ถึงขีดจำกัดการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นพิโคกรัมต่อมิลลิลิตร (pg/ml) ถึง เฟมโตกรัมต่อมิลลิลิตร(fg/ml) (Soliman et.al., 2005)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาวิธีการเตรียมรำข้าว

ผลการเปรียบเทียบปริมาณรำข้าว ข้าวขาว และแกลบที่ได้จากเตรียมรำข้าวที่ไม่ผ่านการอบก่อนขัดสี และ การเตรียมรำข้าวที่ผ่านการอบก่อนการขัดสี แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของส่วนต่างๆของข้าวจากการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน

ส่วนของข้าว (ร้อยละ)	ตัวอย่างข้าวที่ไม่ผ่านการอบ	ตัวอย่างข้าวที่ผ่านการอบ
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 Nguyyen (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 และแกรมม่า-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 ผลการศึกษาสภาวะการเก็บรักษารำข้าวที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าว

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 จึง สามารถสรุปได้ว่าเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในรำข้าว ในระหว่างการเก็บรักษา มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าว โดยการนำรำข้าวไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ไลเปสได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sulaiman และคณะ (2004) ที่พบว่าในน้ำมันพืชจะมีเอนไซม์ไลเปสในปริมาณมากซึ่งส่งจะผลต่อคุณภาพของรำข้าว 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 ไมครอน ต้องมีแร่ธาตุที่ต้องการตรวจวัดมากกว่า 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) และเกิดออกซิเดชั่นของลิพิด (lipid oxidation) ด้วยเอนไซม์ลิพอกซีจีเนสที่พบมากในจมูกข้าว และรำข้าว โดยเอนไซม์ไลเปสที่เกิดขึ้นเองจากรำข้าวนั้นจะไปย่อยสลายไตรกลีเซอรอล และโครงสร้างปฐมภูมิของลิพิด (primary lipids) ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษารำข้าวมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปส 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 หรือการชะลอการทำงานของเอนไซม์ ไลเปสด้วยการใช้อุณหภูมิต่ำในช่วงระหว่างการเก็บรักษารำข้าว จะสามารถทำให้แร่ธาตุที่ผลิตได้ มีคุณภาพตามที่ต้องการ ส่วน RB4 พบว่ามีจำนวนชนิดของแร่ธาตุน้อยที่สุด แสดงว่า การสกัดโปรตีนออกจากกากรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว 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 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ แคลเซียม 322.391 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม , เหล็ก 126.876 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุดคือ สังกะสี 38.199 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang และคณะ (2011) ที่ได้ศึกษาปริมาณของไฟเตต และองค์ประกอบแร่ธาตุของข้าวอินดิก้า 3 สายพันธุ์ โดยพบว่าในข้าวอินดิก้านั้นมีแร่ธาตุสำคัญในปริมาณมากเช่นเดียวกัน 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 จะทำให้มีปริมาณแร่ธาตุคงเหลืออยู่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับรำข้าวที่ผ่านการกำจัด

ไขมันแต่ไม่ผ่านการแยกโปรตีน จึงเป็นไปได้ว่าแร่ธาตุที่ลดลงอย่างมากนั้นอาจจะติดอยู่กับโครงสร้างของโปรตีน โดยทำการศึกษาวิธีการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปน เปรียบเทียบกับการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน และกรดไฮโดรคลอริกเลียนแบบลำไส้ และกระเพาะอาหารของมนุษย์ ซึ่ง Mark และคณะ (2000) พบว่าหากย่อยด้วยกรด และด่างจะยังคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ เมื่อใช้รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) มาย่อยด้วยกระบวนการทั้ง 2 วิธีดังกล่าวข้างต้น ผลจากการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณแร่ธาตุที่วิเคราะห์ได้จากสารสกัดแร่ธาตุที่ย่อยด้วยเอนไซม์ และเอนไซม์กับกรดแก่นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ > 0.05 จึงเลือกใช้วิธีการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนเพียงอย่างเดียวในการสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวเพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณแร่ธาตุของสารสกัดที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนเพียงอย่างเดียวเปรียบเทียบกับสารสกัดแร่ธาตุที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน 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) ที่กำกับต่างกันในแนวนอนหมายถึงตัวอย่างข้าวที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

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 ฟอฟอรัส (P), แคลเซียม (Ca), เหล็ก(Fe) และ สังกะสี (Zn) มีค่า %RDI ต่อแคปซูลดังนี้ 6.08 , 0.30, 6.00 และ 1.96 ตามลำดับ สำหรับรูปแบบการบรรจุแร่ธาตุชนิดผงแบบแคปซูลจะมีข้อจำกัดในเรื่องของปริมารแร่ธาตุที่ใส่ได้ต่อแคปซูลคือสูงสุดเพียง 0.5 กรัม กล่าวคือการบรรจุแบบแคปซูลอาจจะยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควรเนื่องจากอาจต้องบริโภคหลายเม็ด ดังนั้นการ

ตอกเม็ดเป็นแบบเม็ดแข็งที่สามารถทำให้มีน้ำหนักได้ถึงเม็ดละ 2 กรัมอาจะเป็นการตอบโจทย์ทางการค้าได้มากกว่า

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

4.6 ผลการศึกษาความสามารถในการแตกตัวของแคปซูล (disintegration) ที่เตรียมในรูปอาหารเสริมแร่ธาตุ

จากการศึกษาความสามารถในการแตกตัวของแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว โดยประยุกต์จากวิธีการทดสอบการแตกตัวของเม็ดยาตามเภสัชตำรับ (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

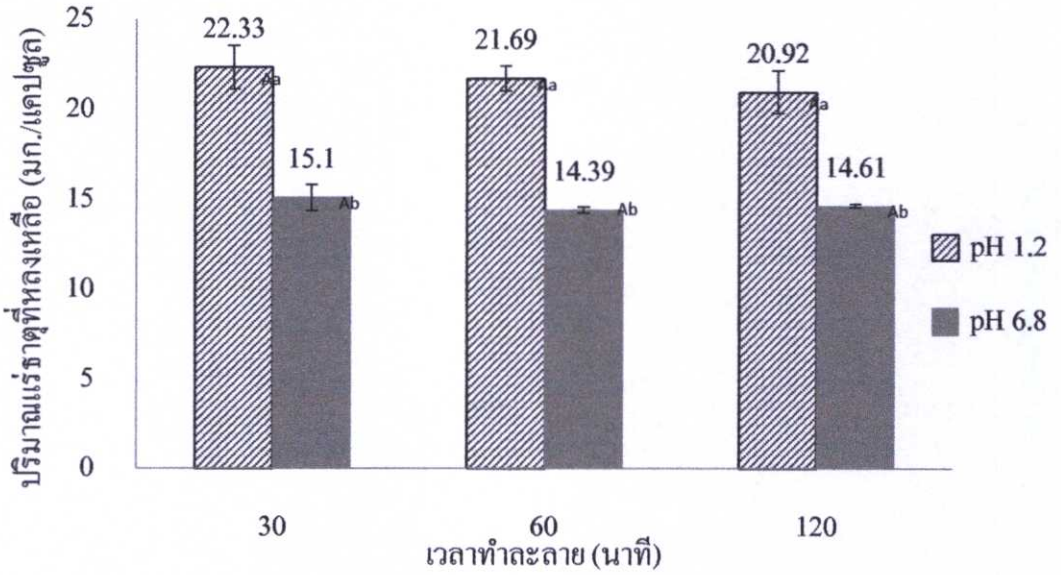
ตารางที่ 4.8 แสดงร้อยละการละลายของสารสกัดรำข้าวชนิดผง

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 พบว่าค่าร้อยละลายการละลายนั้นไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากการให้ความร้อนในระหว่างกระบวนเตรียมตัวอย่างทำให้คุณสมบัติ soluble solid สูญเสียไปบางส่วน

4.8 ผลการศึกษาการละลายเลียนแบบทางยา (dissolution testing)

ผลการศึกษาการละลายของตัวอย่างแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวที่เวลา 30, 60 และ 120 นาที และนำไปสร้างกราฟแสดงการละลาย (dissolution profile) เปรียบเทียบที่ค่าความเป็นกรดที่ pH 1.2 และ pH 6.8 ดังภาพที่ 4.1 พบว่าการละลายแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุที่มีค่าความเป็นกรดที่ pH 6.8 นั้นมีค่าร้อยละการละลายมากกว่าที่ pH 1.2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ แสดงว่าสารสกัดรำข้าวมีสภาวะเป็นกรดอ่อน เมื่อนำไปวัดค่า pH ได้เท่ากับ 4.24 ซึ่งสอดคล้องกับ ศุภกัญญา และ ปิลันธนา (2008) ที่กล่าวว่ายาที่เป็นกรดอ่อนจะละลายไม่ดีในสภาวะกรด แต่ยาที่เป็นด่างอ่อนจะแตกตัวละลายได้ดีในสภาวะกรด แต่ระยะเวลาการทำละลายที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้ร้อยละการลายมีความแตกต่างกัน 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) และธัญพืชของ Laiyan และคณะ(1991) แสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่า แคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว มีปริมาณสารหนู 1.325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, แคดเมียม 0.064 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, สารตะกั่ว 0.610 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ไม่พบสารปรอท และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ โลหะหนักกับข้าวขัดสี Montira และคณะ (2010) และธัญพืชของ Laiyan และคณะ(1991) พบว่าตัวอย่างแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว มีปริมาณสารหนู มากกว่าข้าวขัดสี และธัญพืช แต่มีปริมาณของแคดเมียม ปรอท และตะกั่ว น้อยกว่าในข้าวและธัญพืช

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างรำข้าวผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) เปรียบเทียบกับข้าวขัดสีและธัญพืช

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
ธัญพืช[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.ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (2529) 4. WHO (2007)

อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว ไม่เกินเกณฑ์คุณภาพตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ที่ได้กำหนดปริมาณโลหะหนักมากที่สุดที่สามารถตรวจพบได้ในอาหาร ประกอบด้วย ตะกั่วไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ,สารหนู ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่ออาหาร 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 เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภคว่าอาหารเสริมนั้นมีคุณภาพและเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของเภสัชตำรับ ก่อนจะนำไปจำหน่ายออกสู่ท้องตลาด

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 และมีโปรตีนอยู่ ร้อยละ 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 และกรดเลียนแบบลำไส้กับกระเพาะอาหารต่อปริมาณแร่ธาตุ 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 ประกอบไปด้วยแร่ธาตุที่สำคัญ โดยพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัส (P) มากสุดคือ 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 และจากการศึกษาการละลายของตัวอย่างแคปซูลสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวที่เวลา 30, 60 และ 120 นาที เปรียบเทียบการละลายที่ pH 1.2 และ pH 6.8 พบว่าที่ pH 6.8 สารสกัดรำข้าวละลายได้ดีกว่าที่ pH 1.2 ในทุกช่วงเวลาอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ แสดงว่าสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าวมีสภาวะเป็นกรดอ่อน 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 จึงถือว่าสารสกัดรำข้าวปลอดภัยต่อผู้ที่ต้องการรับประทานสารสกัดแร่ธาตุจากรำข้าว ที่ผ่านกระบวนการในการทดสอบ และควบคุมคุณภาพเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีประสิทธิภาพ และมั่นใจในความปลอดภัยก่อนจะนำไปจำหน่ายออกสู่ท้องตลาด

ข้อเสนอแนะการศึกษาเพิ่มเติม

ควรมีการศึกษากระบวนการดูดซึมแร่ธาตุในร่างกายของมนุษย์ว่าสามารถดูดซึมสารสกัดแร่ธาตุชนิดผงได้ร้อยละเท่าใด รวมถึงการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุชนิดอื่นเช่น โพแทสเซียม(K) ว่าเพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุหรือไม่ โดยสารสกัดรำข้าวชนิดผงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตในเชิงพาณิชย์แต่ต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบทางการค้ากับผู้ผลิตรายอื่นว่าราคามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยคำนวณจากต้นทุนวัตถุดิบ เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาจำนวนเท่าไหร่ 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 โพธิทัต. 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 รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ

บุญหงส์ จงคิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลักขณา รุจนไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. หลักการวิเคราะห์อาหาร.พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2546. ชนิดของเอนไซม์อะไมเลส.[ระบบออนไลน์] .แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1174/amylase. 5 กรกฎาคม 2546.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2550. ข้าว [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1657/rice. 1 ธันวาคม 2550.

วารี ลิมป์วิกรานต์. 2550. ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.การละลายและการแตกตัวของยาเม็ด เหมือนหรือต่างกัน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/thai/knowledgeinfo.php?id=138. 14 เมษายน 2550.

ศุภกัญญา ตันตระบัณฑิตย์ และ ปิลันธนา เลิศสถิตธนกร. 2555. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. การละลาย (Dissolution). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.slideshare.net/adriamycin/dissolution2555. 23 มกราคม 2555.

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.

Dziezak, 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., Windhunser 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., Rescurreccion, 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 Nguyyen, 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.

Moongngram, A., Daomukda, N. and Khumpika, S., 2012. Chemical compositions, phyto-chemicals 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., Laoharojanaphand, 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 Subrahmanyan, 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.

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.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก1. วิธีวิเคราะห์แร่ธาตุรวมด้วยเครื่อง 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 ฉาบเคลือบตัวอย่างด้วยพาราเดียม

1.2.3 ตั้งค่าเครื่อง SEM JEOL ซึ่งจะดูลักษณะทางกายภาพ และล็อคตำแหน่งแร่ธาตุที่จะวิเคราะห์

1.2.4 run mode high vacuum โดยั้งค่า 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 คำนวณค่าปริมาณแร่ธาตุที่ตรวจพบออกมาเป็น %element และ %atomic

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 ใส่ลงใน 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 $^{\circ}C$

Step 2 time 20 min temperature 200 $^{\circ}C$

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 $^{\circ}C$ 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 เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่ อุณหภูมิ 550 °C นาน 3 ชม. นำ ออกจากเตาเผาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องชั่ง น้ำหนัก บันทึกผล

4.2.2 ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งไม่ เกิน 1-3 มิลลิกรัม) หาค่าเฉลี่ย และบันทึกผล (W_1)

4.2.3 ชั่งตัวอย่าง อย่างละเอียดประมาณ 2กรัม (S) ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ เผาบนเตาไฟฟ้า จนหมดควัน

4.2.4 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C จนกระทั่งได้เถ้าสีเทาอ่อน หรือสีขาวสม่ำเสมอ นำออกจากเตาเผา เก็บในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องชั่งน้ำหนักบันทึกผลที่ได้

4.2.5 ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 4 จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม) หาค่าเฉลี่ยบันทึกผล (W_2)

4.2.6 คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

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

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

5.1 อุปกรณ์

5.1.1 อุปกรณ์ชุดหาปริมาณใยอาหาร

5.1.2 กระดาษกรองเบอร์41

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 กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 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 สวิตช์ไฟฟ้า ต้มให้เดือด 30 นาที

5.3.5 กรองตัวอย่างขณะร้อนผ่านกระดาษกรองล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำล้างหมดความเป็นกรด

5.3.6 ถ่ายกากที่ได้ในบีกเกอร์ใบเดิมเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 200 มิลลิลิตร

5.3.7 วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบแน่นและเปิดน้ำหล่อเครื่องควบแน่น เปิดสวิตช์ไฟฟ้าต้มให้เดือด 30 นาที

5.3.8 กรองตัวอย่างขณะร้อนผ่านกระดาษกรองล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำล้างหมดความ เป็นด่าง

5.3.9 ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

5.3.10 นำกระดาษกรองพร้อมกากใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบและอบในตู้อบ 105 องศา เซลเซียส นาน 3 ชม. แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็น

5.3.11 ชั่งน้ำหนักซ้ำจนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณหาปริมาณใยอาหารตามสูตร

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

$$S$$

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 แบน

6.2 สารเคมี

6.2.1 ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)

6.2.2 ไดเอธิลอีเทอร์ (Diethyl ether)

6.2.3 เอธานอล (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 ให้ความร้อนบนอ่างน้ำควบคุมอุณภูมิ 75±5 ^{o}C นาน 30 นาที คนสารเป็นระยะ

6.3.4 ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 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 ไขสารละลายชั้นล่างลงในบีกเกอร์ใบแรกให้หมด

6.3.9 เทชั้นของสารผสม ether (ชั้นบน) ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ลงในขวดก้นกลมแบนขนาด 250 มิลลิลิตร

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

6.3.11 นำชั้นของสารผสมether ไประเหย และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100±2 ^{o}C นาน 90 นาที และอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่(ผลต่างครั้งแรกและครั้งที่สอง < 0.0050 กรัม)

6.3.12 เมื่ออบเสร็จแล้ว นำมาล้างไขมันออกด้วย petroleum ether

6.3.13 ขวดก้นกลมแบนที่ล้างไขมันออกแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 2 ^{o}C นาน 90 นาที จนน้ำหนักคงที่

6.3.14 นำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณ

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

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 เครื่องย่อยโปรตีน

7.1.2 เครื่องกลั่นโปรตีน

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. HCI

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 ^{o}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 Erienmeyer flash จะเปลี่ยนจากสีชมพู เป็นสีเขียว

7.3.7 นำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานกรด HCl 0.1 N จนถึงจุดยุติ สังเกตจากสี จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู

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

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ

100 – (ปริมาณความชื้น +ปริมาณไขมัน + ปริมาณโปรตีน+ปริมาณเส้นใย+ปริมาณเถ้า)

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 HNO_3 กรดไนตริก

9.2.2 H_2O_2

9.3 วิธีการวิเคราะห์

9.3.1 ชั่งตัวอย่าง 0.5xx g

9.3.2 เติม HNO_3 ความเข้มข้น 70% 7 ml

9.3.3 เติม H_2O_2 ความเข้มข้น 30% 1 ml

9.3.4 นำไปย่อยด้วย microwave digestion ตามโปรแกรม 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

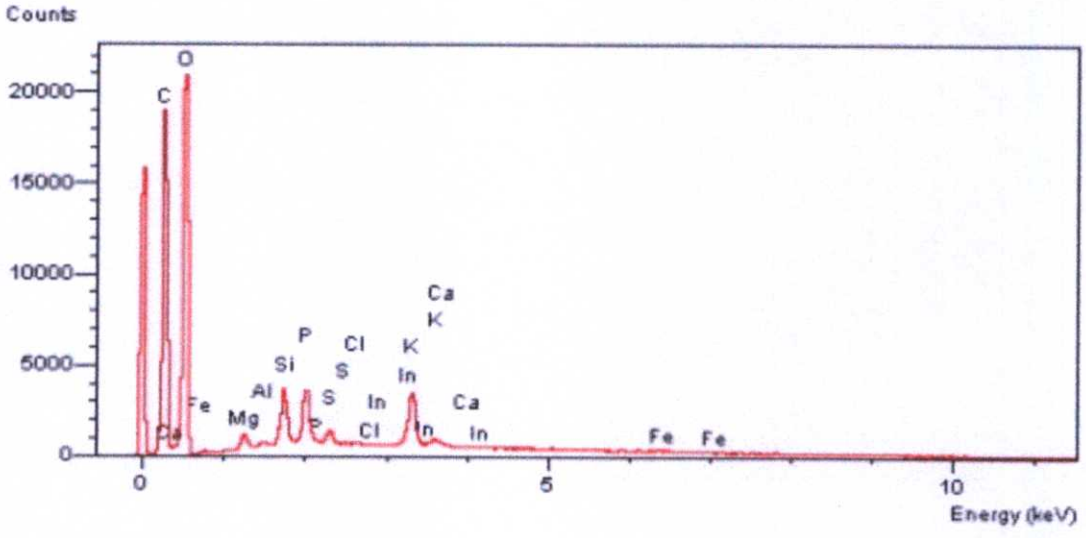
9.3.7 ตรวจวัดด้วยเครื่อง ICP-MS

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)

ภาคผนวก ข

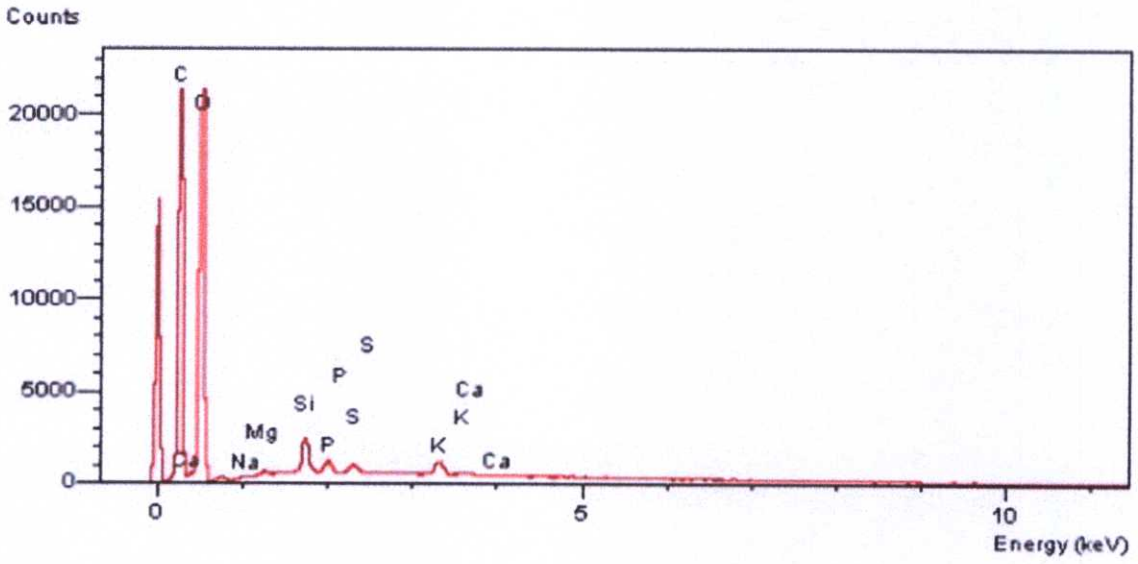
ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)



(a)

(b)

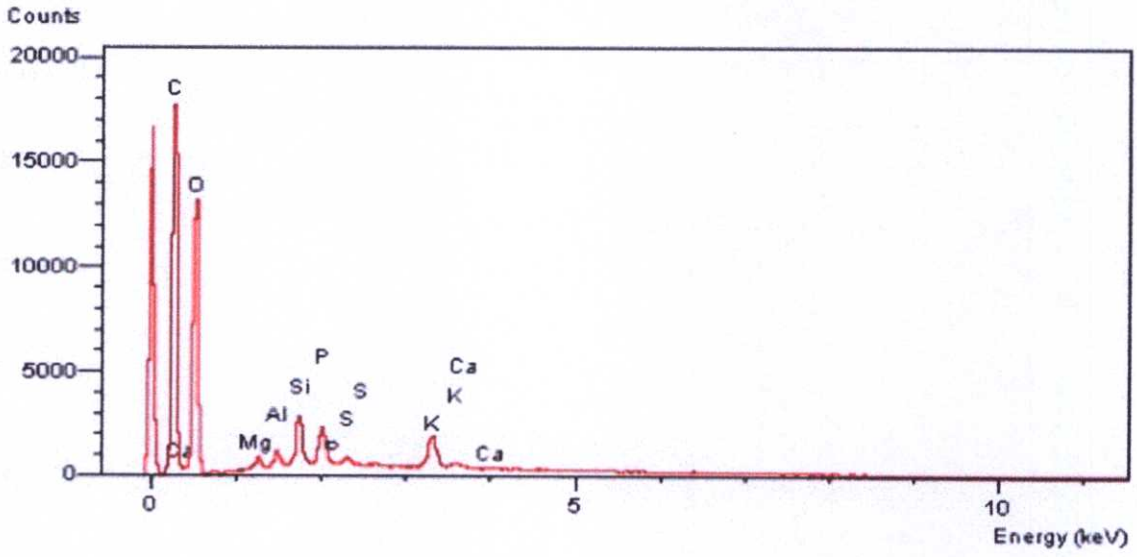
ภาพที่ ข1 (a) แสดงสเปคตรัมปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม.(RB1), (b) แสดงลักษณะกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB1) ด้วยเครื่อง SEM



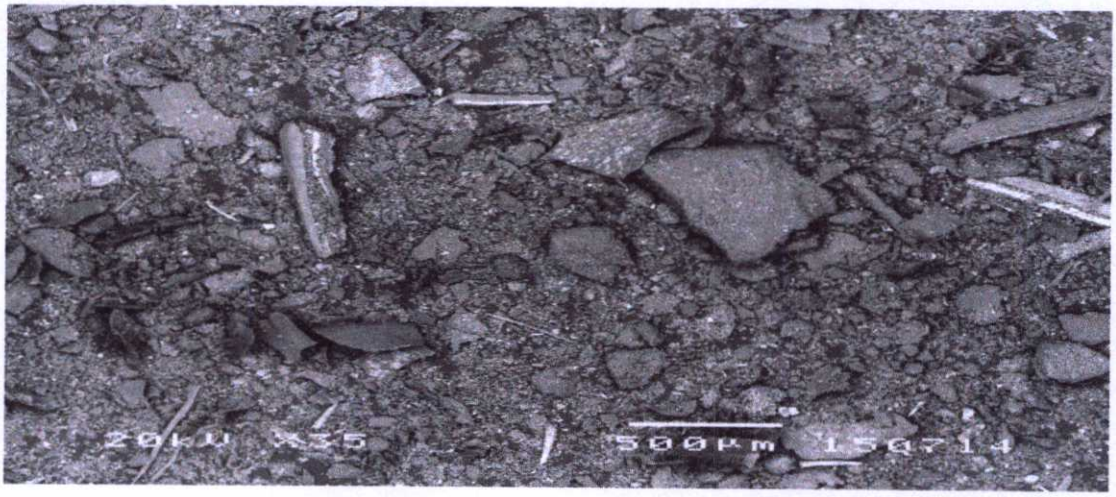
(a)

(b)

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

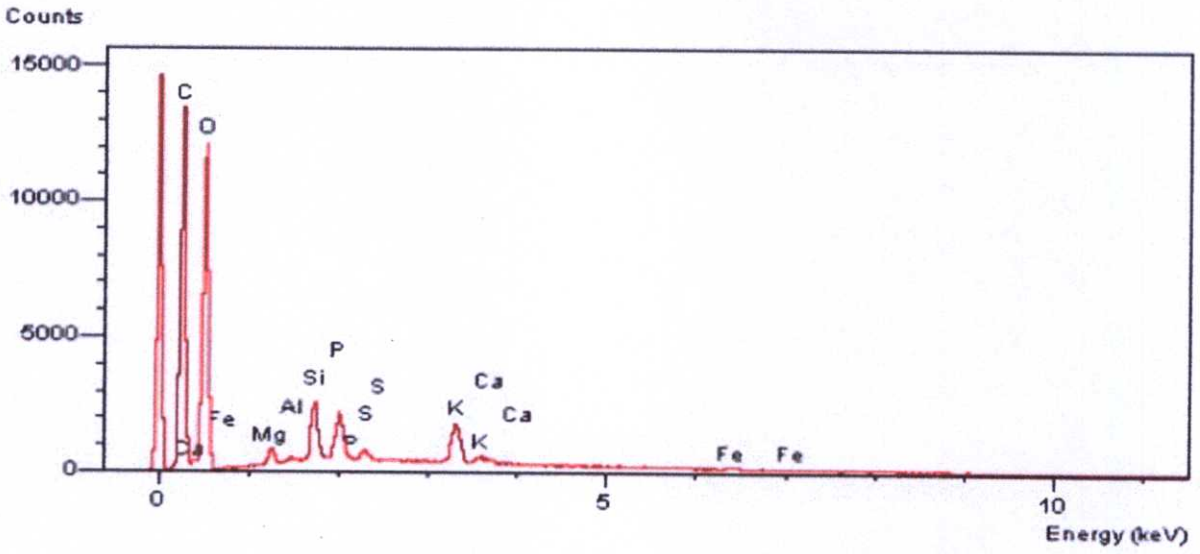


(a)



(b)

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



(a)

(b)

ภาพที่ ข4 (a) แสดงสเปคตรัมปริมาณแร่ธาตุของปริมาณแร่ธาตุของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันและโปรตีนหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB4) , (b) แสดงลักษณะกายภาพของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันและโปรตีนหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. (RB4)

ภาคผนวก ค

สรุปค่าใช้จ่ายดำเนินโครงการวิจัย

ภาคผนวก ค

สรุปการใช้จ่ายเงิน

งบประมาณที่ได้	70,000.00 บาท
ค่าใช้จ่ายแยกตามหมวด	
- ค่าตอบแทน	15,000.00 บาท
- ค่าใช้สอย	11,053.10 บาท
- ค่าวัสดุ	43,368.40 บาท
- ค่าครุภัณฑ์	- บาท
รวมค่าใช้จ่ายจริงทั้งหมด	69,421.50 บาท
คืนเงินงบประมาณ	578.50 บาท

ประวัติคณะผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล

(ภาษาไทย) นาย ประมวล ศรีกาหลง

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Pramoun Srikalong

ตำแหน่งปัจจุบัน

-

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวง ลำปลาทิว

เขต ลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์: 10520

หมายเลขโทรศัพท์ : 02-3298526 ต่อ 7266 โทรสาร: 02-3298527

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) : kjpramou@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี	สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ปริญญาโท	สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ปริญญาเอก	สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	
	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

วิศวกรรมแปรรูปอาหาร

เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน

เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความเย็น

เทคโนโลยีไขมัน และ น้ำมัน

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัย ในแต่ละผลงานวิจัย

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อโครงการวิจัย อุปกรณ์สาธิตแปรรูปอาหารด้วยความเย็น ได้รับทุนจาก เงินรายได้คณะฯ ประจำปี 2551

2. ชื่อโครงการวิจัย การออกแบบอุปกรณ์ผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ได้รับทุนจากเงินรายได้คณะฯ ประจำปี 2552

3. ชื่อโครงการวิจัย การใช้เตาพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการผลิตปลาหมึกแห้ง เพื่อลดการใช้พลังงานจากเตาอบ ก๊าซธรรมชาติบางส่วน ได้รับทุนจาก งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2552

4. ชื่อโครงการวิจัย บทบาทการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนากระบวนการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ปูทะเลเพื่อเพิ่มมูลค่าและมาตรฐานการผลิต และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดจันทบุรี ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก วช. ประจำปี พ.ศ. 2552

5. ชื่อโครงการวิจัย การปรับปรุงเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตมะม่วงดิบแผ่นอบแห้ง ได้รับทุนจาก เงินรายได้คณะฯ ประจำปี 2553

6. ชื่อโครงการวิจัย การเพิ่มมูลค่ามะม่วงสุกด้วยการพัฒนากระบวนการแปรรูปใหม่เป็นมะม่วงแผ่นขึ้นรูปชนิดความเหนียวต่ำ ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก IRPUS3 สกว. ประจำปี 2553

7..ชื่อโครงการวิจัย Effect of Ohmic Heating on Increasing Guava Juice Yield นำเสนอผลงานวิจัย (Notification of Acceptance of the ICBFS 2011) Presentation ในการประชุม 2011 2nd International Conference on Biotechnology and Food Science (ICBFS 2011) ณ เกาะบาหลี ประเทศอินโดนีเซีย ระหว่างวันที่ 1 – 3 เมษายน 2554 ตีพิมพ์ใน Conference Proceeding ภายใต้ Thomson ISI, Ei Compendex and IEEE Xplore

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อโครงการวิจัย เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ ได้รับทุนจาก สกว. (ผู้ถือสิทธิคือ สกว. ร่วมกับนักวิจัย) ปี 2548-2550 ได้รับสิทธิบัตรแล้ว เลขที่ 26220

2. ชื่อโครงการวิจัย การสกัดวิตามินอีจาก Distillate ของน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก สกว. ประจำปี พ.ศ. 2549

3..ชื่อข้อเสนอการวิจัย การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่น เพื่อเพิ่มผลผลิตและมูลค่า และการถ่ายทอดเทคโนโลยี ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช ประจำปี พ.ศ. 2554 ได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละ 95

4..ชื่อข้อเสนอการวิจัย ศึกษาการเก็บรักษาข้าวตั่วสมุนไพร ในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช. ประจำปี พ.ศ. 2554 ได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละ 80

5. ชื่อโครงการวิจัย การออกแบบ สร้าง และ การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผสมเกลือไอโอดีนชนิดริบบอนต้นแบบ ระยะเวลา 6 เดือน ได้รับทุนจาก องค์การยูนิเซฟ, พ.ศ. 2553

6. ชื่อข้อเสนอการวิจัย โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตหมูชะมวงแช่เยือกแข็งจากภูมิปัญญาท้องถิ่นของจันทบุรีสู่การเป็นสินค้าเศรษกิจชุมชน ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช. ประจำปี พ.ศ. 2554

7. การพัฒนากระบวนการโอห์มมิก เพื่อเร่งการดูดซึมน้ำตาล ในกระบวนการ ผลิตมะม่วงสุกแช่อิ่มอบแห้ง ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากวช. ประจำปี พ.ศ. 2556

8. การพัฒนาเครื่องคัดแยกโลหะปนเปื้อนในวัตถุดิบเมล็ดพริกไทย ระยะเวลา 1 ปี งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2556

งานวิจัยที่กำลังทำ : ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. นวัตกรรมการผลิตไขมันวัวที่มีกรดไขมันอิ่มตัวต่ำและการประยุกต์ใช้ในการผลิตเนื้อฉีดไขมันวัว ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจากสกว. ประจำปี พ.ศ. 2559
2. Properties Changes of Chicken Breast during Sous-Vide Cooking and Acceptance to Elderly ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก สจล. ประจำปี พ.ศ. 2559

2560

วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 2560 : 35 (1) : 44-50

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน

Factors Affecting Mineral Content of Defatted Rice Bran

สืบตระกูล วานิชศรี[1] และ ประมวล ศรีกาหลง[2]
Subtrakul Vanichsri[1] and Pramoun Srikalong[2]

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว โดยการนำรำข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน 4 รูปแบบ ไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุเบื้องต้นด้วยเทคนิค EDS (energy-dispersive x-ray spectroscopy) พบว่ามีแร่ธาตุหลัก 7 ชนิด ประกอบไปด้วย โซเดียม (Na), โพแทสซียม (K), แคลเซียม (Ca), ฟอสฟอรัส (P), แมกนีเซียม (Mg), ซัลเฟอร์ (S), คลอรีน (Cl) และ แร่ธาตุรอง 1 ชนิดคือ เหล็ก (Fe) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่าสภาวะในการเก็บรักษารำข้าวในกลุ่มของ รำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB1) มีปริมาณแร่ธาตุมากที่สุด รองลงมาคือ รำข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB3), รำข้าวที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB2) และรำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมันและโปรตีน (RB4) ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์จึงเลือก RB1 มาวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธีมาตรฐาน ICP-OES เพื่อยืนยันว่า RB1 มีปริมาณ P, Ca, Fe และ Zn ในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นอาหารเสริมได้ต่อไป โดยผลที่ได้พบว่า RB1 มีปริมาณแร่ธาตุ P, Ca, Fe และ Zn เท่ากับ 6,300 mg/kg , 322.391 mg/kg , 126.876 mg/kg และ 38.199 mg/kg ตามลำดับ

คำสำคัญ : รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน ปริมาณแร่ธาตุ สังกะสี

Abstract

Factors affecting mineral content in defatted rice bran. Four rice bran types with different stored conditions were selected to determine major elements and trace elements including seven kinds of major elements, sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), phosphorus (P), magnesium (Mg), sulphur (S), chlorine (Cl). The trace iron(Fe) content was also determined when the EDS method used. Maximum amount of mineral was found from defatted rice bran after milling within 24 hours(RB1), rice bran stored at temperatures 5 ^{o}C 2 days prior to extraction fat(RB3), rice bran storage at room temperature for 2 days before being taken to extract fat (RB2), Rice bran through the extraction of fat and protein(RB4), respectively. The selected RB1 was determine mineral contents by standard methods ICP-OES to confirm that the RB1 found Ca, Fe, P and Zn in amounts sufficient to bring into production a mineral supplement. The result showed that, RB1 had P (6,300 mg/kg), Ca (322.391 mg/kg), Fe (126.876 mg/kg) and Zn (38.199 mg/kg).

Keywords: defatted rice bran, mineral content, zinc

[1]สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
[2]สาขาวิชา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

คำนำ

ประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยในปี 1990 ในประเทศจีน, อินเดีย และอินโดนีเซีย ได้มีรำข้าวที่เหลือทิ้งจากกระบวนการขัดสีข้าวออกมามากกว่า 50 ล้านตัน สำหรับประเทศไทยมีรำข้าวเหลือทิ้งเป็นอันดับ 5 ของโลก และในปี 2009 ทั่วโลกมีรำข้าวเหลือทิ้งออกมามากถึง 60 ล้านตัน โดยทั่วไปในการสีข้าวจะได้รำข้าว 8-12% ขึ้นกับระดับคุณภาพการขัดสี รำข้าวมีการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างต่อเนื่อง คือใช้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืช หรือใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ส่วนใหญ่โรงงานผลิตน้ำมันรำข้าวจะแยกเฉพาะส่วนที่ต้องการไว้ โดยใช้กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายหลังจากนั้นจึงจำหน่ายให้กับโรงงานอาหารสัตว์ (Faccin *et al.*, 2009) กากรำข้าวราคากิโลกรัมละ 6-8 บาท รำข้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวขาวนั้น แท้จริงแล้วผลผลิตดังกล่าวยังมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์อีกมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ธาตุต่างๆ ที่พบในรำข้าว ถ้าสามารถแยกออกมาได้จะสามารถเพิ่มมูลค่าได้อีกมาก เช่น การนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสำหรับมนุษย์ มีประชากรมากกว่า 3 ล้านคนทั่วโลกยังคงประสบปัญหาการขาดแคลนสารอาหารอย่างรุนแรง ซึ่งนำไปสู่อาการป่วยเช่น เป็นโรคโลหิตจาง และมีอัตราการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มแร่ธาตุที่ขาดแคลนมากที่สุดคือ Fe และ Zn โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหมู่ สตรี และเด็กในประเทศที่กำลังพัฒนา (Wang *et al.*, 2011)

ไม่นานมานี้ได้มีการศึกษาปริมาณเถ้า และแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสีข้าว พบว่าในรำข้าวมีปริมาณแร่ธาตุมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นของข้าว และยังพบแร่ธาตุที่สำคัญในปริมาณมาก เช่น เหล็ก, สังกะสี, แมงกานีส และทองแดง (Anjum *et al.*, 2007)

Kennedy *et al.* (2002) กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุของรำข้าว ได้แก่ การเก็บเกี่ยว, การเก็บรักษา, การแปรรูป, การล้าง และการให้ความร้อน ซึ่งกระบวนการเหล่านี้อาจทำให้คุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณของสารอาหารใน รำข้าวลดลงได้ เช่น การสีข้าวจะทำให้ปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โพแทสเซียม, เหล็ก, แมกนีเซียม, แคลเซียม, แมงกานีส และสังกะสี ซึ่งปริมาณจะลดลงตามระดับคุณภาพการสีข้าวที่ใช้ในกระบวนการสี โดยพบว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีมาก ปริมาณของไฟเตต ซึ่งเป็นสารคีเลต จะลดน้อยลงด้วย ทำให้ปริมาณแร่ธาตุที่ตรวจพบจะน้อยลงตามไปด้วย (Wang *et al.*, 2011)

นอกจากนี้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวที่จะเริ่มทำงานอย่างรวดเร็วภายหลังกระบวนการสีข้าว อาจมีผลต่อปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในรำข้าว หรือองค์ประกอบของรำข้าว เช่น ปริมาณโปรตีนในรำข้าว เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษา ผลของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการสีข้าว รวมถึงศึกษาผลของโปรตีน ที่มีต่อปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในรำข้าว เพื่อเพิ่มมูลค่ารำข้าวด้วยการผลิตเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุจากธรรมชาติได้ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

นำข้าวสายพันธุ์พิษณุโลก 2 จากจังหวัดสุพรรณบุรีไปลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งมีความชื้นในระดับต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ขัดสีข้าวที่ผ่านการลดความชื้นแล้วโดยแยก แกลบ รำ จมูกข้าว และเมล็ดข้าวออกจากกัน (ปรับปุ่มควบคุมระดับการสีข้าวให้อยู่ในระดับขัดขาว) โดยใช้เครื่องสีข้าว รุ่น NW 1000 turbo จากนั้นนำส่วนของรำข้าวที่ปะปนกับจมูกข้าวไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 600 µm. เพื่อแยกรำข้าวออกมา Guohua *et al.*, (2009) นำรำข้าวไปเก็บรักษาในสภาวะที่แตกต่างกัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncans' New Multiple Range Test ทำการทดลอง 3 ซ้ำนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยมีตัวแปรอิสระคือ สภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน และตัวแปรตามคือปริมาณแร่ธาตุที่วิเคราะห์ได้ โดยแบ่งเป็น รำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB1) รำข้าวที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB2) รำข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB3) และรำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน และโปรตีน (RB4) นำ RB1, RB2, RB3 และ RB4 ไปสกัดไขมันโดยนำรำข้าวไปแช่ในเฮกเซนในอัตราส่วน 1 : 3 แล้วนำไปใส่ในเครื่องเขย่าด้วยเครื่องเขย่ายี่ห้อ Gerhart ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์1 นำส่วนของของแข็งที่กรองได้ไปผ่านกระบวนการเดิมซ้ำอีก 3 ครั้ง และนำของแข็งที่กรองได้ในขั้นตอนสุดท้ายไปทำแห้งโดยนำไปอบในตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Binder ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และเก็บรักษาในถุงฟอยด์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สำหรับ RB4 ที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว จะต้องนำไปสกัดโปรตีนออกด้วยน้ำตามวิธีของ Fabian *et at.*, (2010) โดยนำรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว ผสมกับน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 6 ใส่ในเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (30 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์1 นำส่วนของของแข็งที่กรองได้ไปผ่านกระบวนการเดิมซ้ำอีก 3 ครั้ง และนำของแข็งที่กรองได้ในขั้นตอนสุดท้ายไปทำแห้งโดยนำไปอบในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บรักษาในถุงฟอยด์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นนำ RB1, RB2, RB3 และ RB4 ไปวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยเครื่อง EDS (energy dipersire X-ray spectrometer) ยี่ห้อ Oxford รุ่น Isis 300 เพื่อศึกษาชนิด และสัดส่วนของแร่ธาตุที่เหมาะสมต่อการนำไปศึกษาปริมาณแร่ธาตุในขั้นตอนต่อไป นำตัวอย่างที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDS แล้วพบว่ามีจำนวนชนิดแร่ธาตุสูงสุด ไปบดด้วยเครื่อง Hammer mill (Retsch รุ่น DR 1000) ให้มีขนาด 250 µm จากนั้นวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2005) ด้วยเครื่อง ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) ยี่ห้อ Varian รุ่น 810-MS เพื่อยืนยันว่าในตัวอย่างนั้นมีปริมาณ แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และสังกะสี ในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นอาหารเสริมให้แก่ผู้ที่ขาดแคลนแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายได้ต่อไป (Elless *et al.*, 2000)

ผลการทดลองและวิจารณ์

สเปคตรัมแสดงอิทธิพลของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าว ที่ทำงานในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาที่มีต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าวซึ่งถูกวัดโดยเครื่อง EDS แสดงดัง Figure 1 ซึ่ง (a) เป็นสเปคตรัมของรำข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB1), (b) เป็นสเปคตรัมของรำข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB2), (c) เป็นสเปคตรัมของรำข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB3) และ (d) เป็นสเปคตรัมของรำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน และโปรตีน (RB4) ตามลำดับ

จาก Figure 1 ซึ่งเป็นสเปคตรัมของรำข้าวที่ผ่านการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค EDS สามารถคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์แร่ธาตุ แสดงดัง Table 1 โดยผลจากการวิเคราะห์พบแร่ธาตุหลักที่ร่างกายต้องการ 7 ชนิดคือ โซเดียม, โพแทสเซียม, แคลเซียม, ฟอสฟอรัส, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์, คลอไรด์ และแร่ธาตุรอง 1 ชนิด คือ เหล็ก (Soetano *et al.*, 2010) ผลจากการศึกษาพบว่า RB1 มีปริมาณของแร่ธาตุรวมสูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ไลเปสในรำข้าว และความชื้น ไปเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic rancidity) และเกิดออกซิเดชั่นของลิพิด (lipid oxidation) ด้วยเอนไซม์ลิพอกซีจีเนสที่พบมากในจมูกข้าว และรำข้าว โดยเอนไซม์ไลเปสที่เกิดขึ้นเองจากรำข้าวนั้นจะไปย่อยสลายไตรกลีเซอรอล และโครงสร้างปฐมภูมิของลิพิด (primary lipids) ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษารำข้าวมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปส โดยที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ไลเปส และลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ (Fatemeh *et al.*, 2000) จึงทำให้ตัวอย่าง RB3 ที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสนั้นมีปริมาณแร่ธาตุรองลงมาจาก RB1 และ RB2 ที่มีปริมาณแร่ธาตุน้อยลงจาก RB1 และ RB3 เนื่องจากการเก็บรักษารำข้าวที่อุณหภูมิห้องมากกว่า 24 ชั่วโมงนั้นจะทำให้มีปริมาณ

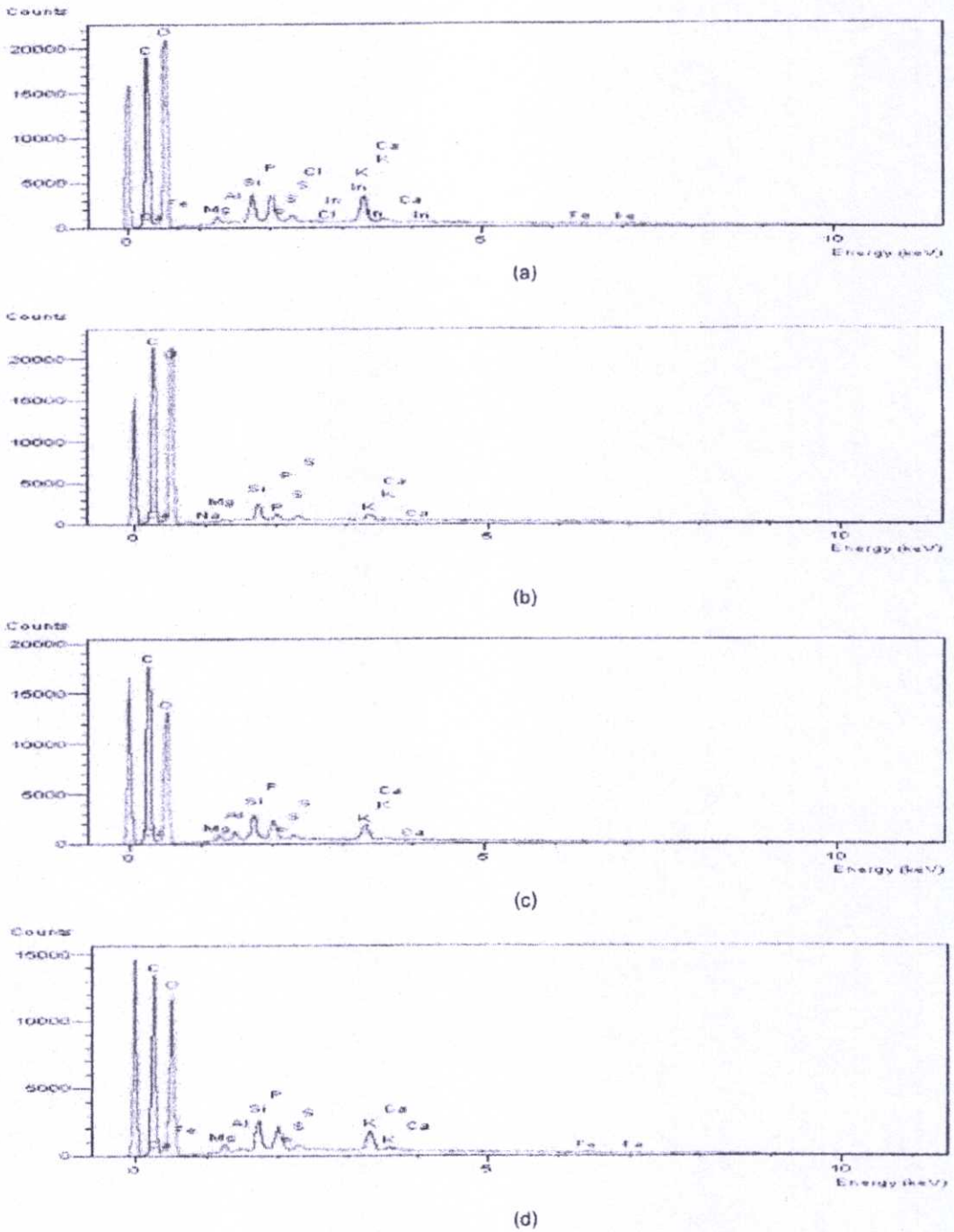


Figure1 EDS spectrum.

(a) EDS spectrum of rice bran through the extraction of fat after milling within 24 hours (RB1)

(b)EDS spectrum of rice bran stored at room temperature for 2 days prior to extraction fat (RB2)

(c) EDS spectrum of rice bran stored at temperatures 5 ^{o}C 2 days prior to extraction fat (RB3)

(d) EDS spectrum of rice bran through the extraction of fat and protein after milling within 24 hours (RB4)

กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นทำให้ถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ไลเปสได้ง่ายขึ้น (Sulaiman *et al.*, 2004) ผลที่ได้นั้นสอดคล้องกับกระบวนการผลิตน้ำมันจากรำข้าวที่จะต้องควบคุมระยะเวลา ภายหลังการสีข้าวไม่ให้เกิน 24 ชั่วโมง ก่อนนำรำข้าวไปสกัดน้ำมัน ดังนั้นการนำรำข้าวเข้าสู่กระบวนการผลิตอย่างรวดเร็ว ภายหลังการสีข้าว หรือการชะลอการทำงานของเอนไซม์ ไลเปสด้วยการใช้อุณหภูมิต่ำในช่วงระหว่างการเก็บรักษารำข้าว จะสามารถทำให้แร่ธาตุที่ผลิตได้ มีคุณภาพตามที่ต้องการ ส่วน RB4 พบว่ามีจำนวนชนิดของแร่ธาตุน้อยที่สุด แสดงว่า การสกัดโปรตีนออกจากกากรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว มีผลให้มีจำนวนชนิดของแร่ธาตุลดลงไป ทั้งนี้เนื่องมาจากแร่ธาตุสูญเสียไปกับโครงสร้างของโปรตีน (Sulaiman *et al.*, 2004) ดังนั้นในการผลิตแร่ธาตุจากรำข้าวจึงไม่ควรทำจัดโปรตีนออกจากกากรำข้าว เพื่อให้ได้ปริมาณแร่ธาตุที่มากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี EDS ไม่พบสังกะสีในทุกตัวอย่าง เพราะเครื่อง EDS มีข้อจำกัดโดยในพื้นที่ 1 ไมครอนต้องมีปริมาณแร่ธาตุมากกว่า 0.1% (w/w) จึงจะสามารถวัดค่าได้ ด้วยเหตุนี้จึงต้องนำตัวอย่างที่มีปริมาณแร่ธาตุที่มากที่สุดมาตรวจวัดปริมาณแร่ธาตุด้วยวิธี ICP-OES เพื่อทำการยืนยันว่าแร่ธาตุที่พบในรำข้าวสามารถนำมาผลิตเป็นอาหารเสริมได้ จึงนำ RB1 ไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยวิธีมาตรฐาน ICP-OES เพื่อยืนยันว่า RB1 มี แคลเซียม, เหล็ก, ฟอสฟอรัส และสังกะสี ในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นอาหารเสริมแร่ธาตุได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์ แสดงดัง Table 2

Table 1 Major mineral and trace mineral contents of RB, RB2, RB3 and RB4 analyzed using EDS.

Elements	Content (%)			
	RB1	RB2	RB3	RB4
C	37.05±0.85^{c}	43.06±0.72^{a}	40.25±0.98^{b}	38.2±0.88^{c}
O	57.06±0.28^{b}	52.1±0.34^{d}	54.41±0.39^{c}	59.48±0.53^{a}
Na	-	-	-	0.12±0.01a
Mg	0.49±0.02^{a}	0.39±0.01^{b}	0.49±0.01^{a}	0.17±0.03^{c}
Al	0.09±0.01^{b}	0.42±0.02^{a}	0.08±0.01^{b}	-
Si	1.38±0.05^{a}	1.30±0.02^{b}	1.44±0.05^{a}	0.88±0.02^{c}
P	1.51±0.04^{a}	1.19±0.03^{c}	1.38±0.02^{b}	0.36±0.01^{b}
S	0.35±0.02^{a}	0.26±0.03^{b}	0.27±0.02^{b}	0.25±0.02^{b}
Cl	0.06±0.01^{a}	-	-	-
K	1.76±0.05^{a}	1.21±0.04^{c}	1.45±0.03^{b}	0.49±0.01^{d}
Ca	0.08±0.03^{a}	0.07±0.01^{a}	0.09±0.00^{a}	0.06±0.01^{a}
Fe	0.13±0.00^{a}	-	0.12±0.00^{b}	-
Zn	0.12±0.02^{a}	-	-	-

The data were expressed as means ± standard deviations of 3 replications. The same small letter in the same row was not significant different at 0.05 level.

Table 2 Mineral contents of RB1 analyzed by using ICP-OES.

Minerals	Quantity (mg/kg)	LOD	RDI mg/day (M)	RDI mg/day (F)
Calcium(Ca)	322.39	-	1000	1300
Iron (Fe)	126.87	-	8	18
Phosphorus (P)	6,300.00	-	700	700
Zinc (Zn)	38.19	0.02	11	8

LOD : Limit of detection.

RDI : Recommended daily intake; M: male; F: female. (Abdul Malik *et al.*, 2014)

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าตัวอย่างที่มีจำนวนชนิดแร่ธาตุมากที่สุด ด้วยการวิเคราะห์จากเครื่อง EDS เรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้คือ รำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB1) มากกว่ารำข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB3) มากกว่ารำข้าวที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมัน (RB2) มากกว่ารำข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปสกัดไขมันและโปรตีน (RB4) ตามลำดับ

เมื่อนำ RB1 ไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยวิธีมาตรฐาน ICP-OES (AOAC 2005) พบว่ามีปริมาณแร่ธาตุหลัก ทั้ง 4 ชนิด ที่เหมาะสมในการนำไปเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารได้แก่ แคลเซียม, เหล็ก, ฟอสฟอรัส และสังกะสี โดยมีปริมาณแร่ธาตุเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้คือ ฟอสฟอรัส (6,300.00 mg/kg) มากกว่าแคลเซียม (322.39 mg/kg) มากกว่าเหล็ก (126.87 mg/kg) มากกว่าสังกะสี (38.19 mg/kg) ผลการทดลองที่ได้มีโอกาสที่จะนำรำข้าวที่สกัดน้ำมันออกแล้วจากโรงงานผลิตน้ำมันพืช ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุอาหารหลัก และรองเหล่านี้ได้

เอกสารอ้างอิง

Abdul, M., F. Masood and S. Ahmad. 2014. Strategies for quality assessment. Springer Science. 56: 157-163

Anjum, F.M., I. Pasha, M. A. Bugti and M.S. Butt. 2007. Mineral composition of different rice varieties and their millin fractions. Pak. J. Agri. Sci. 44(2).

AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Analysis Chemistry. Maryland.

Elless, M.P., M.J. Blaylock, J.W. Huang and C.D. Gussman. 2000. Plants as a natural source of concentrated mineral nutritional supplements. Food Chemistry. 71(2): 181-188.

Fabian, C.B., L. H. Huynh and Y.H. Ju. 2010. Precipitation of rice bran protein using carrageenan and alginate. Food Science and Technology. 43: 375-379.

Faccin, L.G., L.N. Vieira, L. A. Miotto, P.M. Barreto and E.R. Amante. 2009. Chemical sensorial and rheological properties of a new organic rice bran beverage. Rice Science. 16(3): 226-234.

Fatemeh, M., R.M. Rao, W. Prinyawiwakul, W.E. Marshall, M. Windhunser and M. Ahmedna. 2000. Lipase and lipoxygenase activity, functionality, and nutrient losses in rice bran during storage. Louisiana State University Agricultural Center. 39 p.

Guohua, H., H. Shaohua, C. Shuwen and M. Zhengzhi. 2009. Effect of enrichment with hemicelluloses from rice bran on chemical and functional properties of bread. Food Chemistry. 115: 839-842.

Kennedy, G., B. Burlinggame and N. Nguyyen. 2002. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. Agriculture and Consumer Protection. 51.

Soetan, K.O., C.O. Olaiya and O.E. Oyewole. 2010. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. African Journal of Food Science. 4(5): 200-222.

Sulaiman, A.Z., K.B. Ramachandran and M. Hasan. 2004. High enzyme concentration model for the kinetics of hydrolysis of oils by lipase. Chemical Engineering Journal. 102: 7-11.

Wang, K.M., J.G. Wu, G. Li, D.P. Zhang, Z.W. Yang and C.H. Shi. 2011. Distribution of phytic acid and mineral elements in three Indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Journal of Cereal Science . 54: 116-121.