ลิขสิทธิของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (Nymphaea lotus Linn.) จากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ยุวดี วัฒนสุนทร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

PHYSICAL CHARACTERISTICS AND NUTRITIONAL VALUES OF WATER-LILY SEEDS (Nymphaea lotus Linn.) FROM PAKPANANG DISTRICT, NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE

UVADEE WATTANASUNTORN

Presented in Partial Fulfillment of the Requirement for the Master of Degree Science Program in Science Education

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (*Nymphaea lotus* Linn.) จากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ผู้วิจัย นางสาวยุวดี วัฒนสุนทร

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ศึกษา

คณะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ดร.สุมาลี เลี่ยมทอง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ พรหมเพรา)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอมอร สิทธิรักษ์)

.....กรรมการ

(ดร.สุมาลี เลี่ยมทอง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ พรหมเพรา)

.....กรรมการ

(ดร.สายใจ วัฒนเสน)

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไว้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา เลิศไกร) (อาจารย์สมพงค์ เหมือนเพชร)

ผู้อำนวยการสำนักงานคณะกรรมการบัณฑิตศึกษา ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน

วันที่ 23 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2555

บทคัดย่อ

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (Nymphaea lotus Linn.) จากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ผู้วิจัย	นางสาวยุวดี วัฒนสุนทร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ศึกษา
ประธานอาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุมาลี เลี่ยมทอง\
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ พรหมเพรา

การศึกษาเมล็ดบัวสายที่มีสายพันธุ์แตกต่างกัน จำนวน 2 สายพันธุ์ และได้จากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน ของอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช คือเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพู และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนขาวจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี ขนาด การพองตัวหลังในน้ำที่อุณหภูมิห้องและการพองตัวหลังต้มที่อุณหภูมิ 80°C และการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อบอกคุณค่าทางอาหาร ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย เถ้า แร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก และพลังงาน วิเคราะห์ 5 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย/เมล็ดแห้ง 100 กรัม ผลการศึกษาพบว่าเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่งมีค่า L* 32.42 – 44.81 a* 12.01 – 14.30 และ b* 15.03 – 22.22 เมล็ดส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมาก เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1 มิลลิเมตรแต่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร 80.45 – 90.93 กรัม คุณค่าทางอาหารต่อเมล็ดแห้ง 100 กรัม เมล็ดบัวสายมีความชื้น 1.59 – 2.73 กรัม และไขมัน 1.25 – 1.49 กรัม ซึ่งต่ำมาก เยื่อใย 2.27 – 2.86 กรัม แต่มีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง ระหว่าง 9.58 - 10.85 กรัม และ 84.63 - 85.42 ตามลำดับ มีเถ้าเล็กน้อย 0.76-0.85 กรัม ปริมาณแร่ธาตุสูง แคลเซียม 230.13 – 456.80 มิลลิกรัม เหล็ก 64.87 – 73.81 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 15.54-18.81 มิลลิกรัม และพลังงานรวม 391.83 – 407.04 กิโลแคลอรี ทั้งสี ขนาด และคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายทั้ง 3 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่การพองตัวหลังแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง 90.00-115.00 กรัม และพองตัวหลังการต้มที่อุณหภูมิ 80°C 455.00-538.33 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สรุปผลการศึกษานี้ได้ว่า เมล็ดบัวสายจากทุกแหล่งก็มีคุณค่าทางอาหารสูง เหมาะสำหรับบริโภค โดยเฉพาะผู้ที่ต้องการคาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียมและเหล็กปริมาณมาก และต้องการไขมันต่ำ จึงส่งเสริมให้มีการบริโภคเมล็ดบัวสายกันอย่างแพร่หลายเพื่อเป็นการเสริมสร้างสุขภาพ

แก่ประชาชน และควรมีเผยแพร่ผลการศึกษานี้ต่อสาธารณชน ให้เห็นถึงคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย และมีความต้องการเมล็ดบัวสายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกษตรกร ในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีรายได้จากการปลูกบัวสายเพื่อเพิ่มผลผลิตเมล็ดบัวสายให้มากขึ้น

ABTRACT

The Title	Physical characteristics and Nutritional values of water- lily seeds (Nymphaea lotus Linn.) from Pakpanang district Nakhon si thammarat province
The Author	MissUvadee Wattanasuntorn
Program	Science Education
Thesis Chairman	Dr.Sumalee Liamthong
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr.Suppawan Promprou

Study physical characteristics and nutritional values of two improved varieties of water lily seeds from 3 sources (white-pink colored water lily from cultivated pond, white-pink colored and purple-white colored water lily from natural ponds). The aim of this study was to analyze physical characteristics and nutritional values. The analysis of physical characteristics were color, size and swelling by soaking in water at room temperature and boiling at 80°C. The Nutritional values studies moisture, crude proteins, crude fat, total carbohydrate, crude fiber, ash, mineral content (Ca, P and Fe) and total energy, with 5 replications. The results show that water- lily seeds were red ranged L* 32.42 – 44.81, a* 12.01 – 14.30, b* 15.03 – 22.22. Seed size was smallest with diameter more than 1 mm but less than 2 mm 80.45 – 90.93g/100g. Nutritional value of water lily seeds with significant different among varieties of water lily seeds from 3 sources, low moisture 1.59 – 2.73 g /100g, high crude protein ranged 9.58 - 10.85 g/100g, high carbohydrate 84.63 - 85.42 g/100g. low crude fat 1.25 – 1.49 g/100g , low crude fiber 2.27 – 2.86 g/100g, high calcium ranged 230.13 – 456.80 mg /100g, Phosphorus 15.54-18.81 mg/100g, high iron 64.87 – 73.81 mg/100g and energy values of water lily seeds were 391.83 – 407.04 kcal/100g with significant differences ($p<0.05$) among improved varieties of water lily seed from 3 sources. The swelling in water at room temperature and at 80°C with no significant different ($p>0.05$) ranged 90.00 - 98.33g/100g and at 80°C ranged 455.00 - 538.33g/100g. The results of this study suggest that consumption of water lily seeds should be widely promoted to enhance the nutrition of people in this region. This study also suggest that it can be bring out to the public, so that people will have knowledge about the benefits of water lily seeds and it can also help to improve the economics of people in Pakpanang district Nakhon si thammarat province.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์ดูแล ตรวจแก้ไข ให้ความคิดเห็น และความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีของ ดร.สุมาลี เลี่ยมทอง ประธานอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภวรรณ พรหมเพรา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสชัย สิทธิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และคณาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชทุกท่าน

ขอขอบคุณคุณหนูเสริม เพชรสงค์ และคุณทวี เหมทานนท์ ผู้ให้ความรู้และความร่วมมือสาธิตขั้นตอนการผลิตเมล็ดบัวสาย

ขอขอบคุณคุณจีราภรณ์ สังข์ผุด คุณโชคชัย หมั่นถนอม และคุณอนุสรณ์ บันลือพืช ศูนย์วิทยาศาสตร์ ที่ชี้แนะการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี และเพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา รุ่น 1/2551 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ให้ความช่วยเหลือในการสืบค้นข้อมูล

ขอขอบคุณผู้อำนวยการ คณะครู นักเรียนและนักการภารโรง โรงเรียนอินทร์ธานีวิทยาคม พ่อแม่ ญาติพี่น้อง และผู้เกี่ยวข้องทุกคน ให้การสนับสนุนด้านเวลา และช่วยสืบค้นแหล่งผลิตเมล็ดบัวสาย ในตำบลปากแพรกและตำบลขนาบนาก ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

ยุวดี วัฒนสุนทร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ซ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

สมมติฐานการวิจัย 3

กรอบแนวคิดในการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 4

นิยามคำศัพท์เฉพาะ 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

บัวสาย 6

คุณภาพของอาหาร 19

ลักษณะทางกายภาพของอาหาร 19

คุณค่าทางอาหาร 27

การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร 55

ความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์โดยประมาณ 59

3 วิธีดำเนินการวิจัย 66

การกำหนดประชากรและเตรียมตัวอย่าง 66

การกำหนดตัวแปรที่ศึกษา 66

บทที่ หน้า

การวางแผนศึกษาลักษณะทางกายภาพและวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร
ของเมล็ดบัวสาย 67
วิธีการศึกษาลักษณะทางกายภาพและวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย 68
การเก็บรวบรวมข้อมูล 95
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 95

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 97
การศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย 97
การศึกษาและเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย 100

5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 104
สรุปผลการวิจัย 104
อภิปรายผลการวิจัย 105
ข้อเสนอแนะ 111

บรรณานุกรม 113

บุคลานุกรม 120

ภาคผนวก 121

ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมี 122
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหาร
ของเมล็ดบัวสาย 129

สัมภาษณ์ผู้ผลิตเมล็ดบัวสายในอำเภอปากพนัง 140

ประวัติผู้วิจัย 142

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 การจำแนกชนิดและเรียกชื่อโมโนแซคคาไรด์ 31
2 ปริมาณโปรตีนในอาหารบางชนิด ต่ออาหาร 100 กรัม (โดยน้ำหนักสด) 42
3 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวจากธัญพืชส่วนที่กินได้ 100 กรัม 46
4 ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากธัญพืชส่วนที่กินได้ 100 กรัม 46
5 แสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของอาหารด้วยวิธี proximate analysis 58
6 ค่า factor ของอาหารและปริมาณโปรตีนในอาหารชนิดต่างๆ 61
7 ปริมาณสารอาหารในธัญพืช (ส่วนที่กินได้100 กรัม) 65
8 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วและพืชเมล็ดชนิดต่างๆ (ส่วนที่กินได้ 100 กรัม) 65
9 ค่าสีของเมล็ดบัวสาย 98
10 ค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่มีขนาดโตกว่า 1.0 มิลลิเมตร (โดยน้ำหนักแห้ง) 99
11 ค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่อุณหภูมิห้อง
และในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (°C) 100
12 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (โดยน้ำหนักแห้ง 100 กลัม) 101
13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย 130
14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย 133
15 ปริมาณผลผลิตเมล็ดบัวสายต่อ 100 กรัม 138

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1 ลักษณะของผนังกั้นรังไข่แบบ apocarpiae และ syncarpiae ของบัวสาย 8
2 ลักษณะของผนังกั้นรังไข่แบบ syncarpiae ของบัวสายดอกสีขาวปนชมพู และดอกสีม่วงปนชมพู 8
3 ลักษณะดอกบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพูและดอกสีม่วงปนชมพู 10
4 ขั้นตอนการผลิตเมล็ดบัวสาย.... 12
5 บัวสายดอกสีขาวปนชมพูในบ่อปลูก.... 12
6 บัวสายดอกสีขาวปนชมพูในแหล่งน้ำธรรมชาติ.... 13
7 บัวสายดอกสีดอกสีม่วงปนชมพูในแหล่งน้ำธรรมชาติ 13
8 โตนดบัวสายที่แก่จัด.... 14
9 โตนดบัวสายที่บ่มจนสุก.... 14
10 เมล็ดบัวสายที่แกะจากโตนดบัว.... 15
11 การตากเมล็ดบัวสาย 15
12 การซ้อมเมล็ดบัวสายในครกตำข้าว 16
13 การฝัดแยกเปลือกออกจากเมล็ดบัวสาย.... 16
14 การใช้พัดลมเป่าฝุ่นผงออกจากเมล็ดบัวสาย.... 17
15 เมล็ดบัวสายบรรจุถุงในถุงพลาสติก บรรจุถุงละ 1 กิโลกรัม 17
16 แกงบวดเมล็ดบัวสาย.... 18
17 โครงสร้างของน้ำตาลอัลโดสและน้ำตาลคีโทส 31
18 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลมอลโทส 34
19 โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครส.... 34
20 โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลแลกโทส 35
21 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดแป้งจากธัญพืชบางชนิด.... 37
22 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของกรดอะมิโน 40
23 โครงสร้างของกรดไขมัน กลีเซอรอลและกลีเซอไรด์หรือไขมัน 44
24 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของอาหารด้วยวิธี proximate analysis.... 57

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บัวสาย (water lily) เป็นพืชที่มีบทบาทในโลกมาแต่โบราณนานกว่า 4,000 ปีแล้ว บัวสายเป็นพืชดอกที่มีใบเลี้ยงคู่ จัดอยู่ในวงศ์ Nymphaeaceae ซึ่งมี 6 สกุล ได้แก่ Barclaya, Euyale, Nuphar, Ondinea, Victoria และ Nymphaea (Songpanich & Hongtrakul, 2011, 475) สามารถพบบัวสายได้ทุกภูมิภาคของโลกทั้งในเขตร้อน เขตอบอุ่น และเขตหนาว เช่น อเมริกา ยุโรป แอฟริกา จีน ออสเตรเลีย และเอเชีย รวมถึงประเทศไทยด้วย (เสริมลาภ วสุวัตร, 2539, 12) บัวสายที่พบและนิยมปลูกในประเทศไทยมีเพียง 2 สกุลคือ บัวสายสกุล Victoria และบัวสายสกุล Nymphaea โดยบัวสาย Victoria เป็นบัวที่มีใบลอยแตะผิวน้ำมีขนาดใหญ่ ขอบใบตั้งคล้ายกระด้ง มีหนาม ดอกมีขนาดเล็ก คนไทยจึงเรียกว่าบัวกระด้ง ส่วนบัวสายสกุล Nymphaea เป็นบัวสายที่มีใบลอยแตะผิวน้ำ แต่ไม่มีหนาม บัวสายสกุล Nymphaea ที่พบมีทั้งพันธุ์พื้นเมืองแท้ (variety) และพันธุ์ลูกผสม (hybrid) บัวสายสกุล Nymphaea พันธุ์พื้นเมืองของไทยพบได้เพียง 3 สายพันธุ์ คือ บัวสายดอกสีแดง บัวสายดอกสีขาว และบัวสายดอกสีชมพู ส่วนบัวสายพันธุ์ลูกผสมได้จากการพัฒนาบัวสายพันธุ์ใหม่ ซึ่งนอกจากจะทำให้ได้บัวสายที่มีความสวยงามมากขึ้นแล้วยังทำให้ได้บัวสายที่มีสายพันธุ์หลากหลายมากขึ้น (เสริมลาภ วสุวัตร, 2539, 15) บัวสายในประเทศไทยพบแพร่กระจายตามแหล่งน้ำจืด แม้จะพบมากในภาคกลาง แต่ก็พบกระจายไปในภูมิภาคอื่นๆ ด้วย (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542, 229)

บัวสายในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช มักพบตามทุ่งนา มีหลายสายพันธุ์ เช่น บัวกินสายหรือบัวสายดอกสีขาวปนชมพู บัวสายดอกสีแดง และบัวสายดอกสีม่วงปนชมพู จากการสัมภาษณ์ชาวบ้านและเกษตรกรในอำเภอปากพนัง พบว่ามีชาวบ้านในอำเภอปากพนังบางกลุ่ม ที่นิยมนำเมล็ดบัวสายมารับประทานเป็นเวลานานกว่าร้อยปีแล้ว โดยมีวิธีการเก็บเกี่ยวเมล็ดบัวสายและวิธีการผลิตอาหารจากเมล็ดบัวสายที่เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นของชาวปากพนัง แต่เดิมชาวบ้านกลุ่มนี้ได้นำเมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาบริโภคภายในครัวเรือนเท่านั้น ต่อมาได้นำอาหารที่ปรุงจากเมล็ดบัวสายไปถวายพระ ด้วยรสชาติที่ดีของอาหารและเป็นอาหารแปลกใหม่ จึงทำให้อาหารที่ผลิตจากเมล็ดบัวสายได้เผยแพร่ออกสู่ชุมชน และได้รับความนิยมในเวลาต่อมา เมื่อความต้องการบริโภคเมล็ดบัวสายของคนในชุมชนเพิ่มขึ้นจึงทำให้เกษตรกรบางรายได้ริเริ่มขยายการผลิต โดยการขุดบ่อปลูกบัวสายจนถึงปัจจุบัน

ซึ่งในปี 2551 และ ปี 2552 พบว่าปริมาณผลผลิตเมล็ดบัวสายที่กะเทาะเปลือกแล้ว ทั้งที่เก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติและบ่อปลูกรวมกันได้ประมาณปีละ 110 กิโลกรัม ทั้งนี้ปริมาณผลผลิตของเมล็ดบัวสายที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนในแต่ละปี ฤดูกาลเก็บโตนดบัวสายจะเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายน นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดบัวสายที่ผลิตในอำเภอปากพนังส่วนมากได้จากบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพูเช่นเดียวกับในอดีตแล้ว ยังได้จากดอกสีม่วงปนชมพูด้วย แต่ผลผลิตเมล็ดบัวสายจากดอกสีม่วงปนชมพูยังมีปริมาณน้อยมาก เนื่องจากบัวชนิดนี้เก็บโตนดได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติเท่านั้น เมล็ดบัวสายของอำเภอปากพนังเป็นผลผลิตจากบัวสายดอกสีขาวปนชมพูทั้งจากแหล่งน้ำธรรมชาติและบ่อปลูก และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งธรรมชาติ (หนูเสริม เพชรสงค์, 2552 และทวี เหมทานนท์, 2552)

คุณภาพของอาหารเป็นคุณลักษณะของอาหารที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถวัดค่าหรือวิเคราะห์คุณภาพเพื่อประเมินระดับคุณภาพของอาหารได้ โดยการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหาร (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 325) ลักษณะทางกายภาพของอาหารจะวิเคราะห์สิ่งที่รับรู้ได้ด้วยตา เช่น สี ขนาด และการพองตัว ส่วนการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารจะเป็นการระบุถึงองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ซึ่งเรียกว่า สารอาหาร ได้แก่ น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า เยื่อใย วิตามิน และแร่ธาตุ สารอาหารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ซึ่งร่างกายต้องได้รับสารอาหารครบทุกประเภท ตามสัดส่วนและในปริมาณที่พอเหมาะ ดังนั้นคุณภาพของอาหารจึงมีความสำคัญต่อความเชื่อมั่นและไว้วางใจอาหารและผลิตภัณฑ์จากอาหารนั้น (วิไล รังสาดทอง, 2543, 241-245)

ชาวบ้านในอำเภอปากพนังมีความเชื่อว่าเมล็ดบัวสายที่รับประทานนอกจากจะมีรสชาติดี ไม่สามารถหารับประทานจากที่อื่นได้แล้วยังมีคุณค่าทางอาหารสูงด้วย ซึ่งยังไม่มีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวกับคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายและจากรายงานการศึกษาที่ว่า คุณค่าทางอาหารจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชและแหล่งที่ปลูกพืช (Svihus & gullord, 2002) ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (Nymphaea lotus Linn.) จากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยจะทำการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย 3 กลุ่มคือ เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ผู้วิจัยคาดว่าการศึกษาครั้งนี้ จะทำให้ได้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ยืนยันถึงคุณภาพที่ดีด้านลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย ซึ่งนอกจากจะส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความเชื่อมั่น ไว้วางใจ ยอมรับ และมีความต้องการบริโภคเมล็ดบัวสายเพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังสามารถ

ใช้เป็นข้อมูลเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาทำอาชีพปลูกและผลิตเมล็ดบัวสายเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้มีการอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นการผลิตและการใช้ประโยชน์จากบัวสายให้ยั่งยืนสืบไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย (Nymphaea lotus L.) อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

2. เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (Nymphaea lotus L.) อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

3. เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกกับเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

สมมติฐานการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของบัวสายและแหล่งผลิตบัวสาย

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ชาวบ้านในอำเภอปากพนังนิยมบริโภคเมล็ดบัวสาย โดยมีผลผลิตเมล็ดบัวสายจาก 3 แหล่ง คือ เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งชาวบ้านเชื่อว่าเมล็ดบัวสายมีคุณค่าทางอาหารสูง แต่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย และจากรายงานของ Svihus & gullord (2002) ที่พบว่าคุณค่าทางอาหารจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และแหล่งที่ปลูกพืช การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย อำเภอปากพนังจากสายพันธุ์บัวและแหล่งปลูกที่ต่างกัน จะทำให้ได้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่นอกจากจะทำให้ผู้บริโภคเกิดความเชื่อมั่น ไว้วางใจ ยอมรับ และมีความต้องการบริโภคเมล็ดบัวสายเพิ่มมากขึ้น แล้ว ยังเป็นการช่วยให้เกษตรกรหันมาทำอาชีพปลูกและผลิตเมล็ดบัวสายเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้เกิดการอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการผลิตและการใช้ประโยชน์เมล็ดบัวสายให้ยั่งยืนสืบไป

ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการเก็บตัวอย่างเมล็ดบัวสาย 3 กลุ่มคือ เมล็ดของบัวสายดอกขาวปนชมพูจากบ่อปลูก เมล็ดของบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดของบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลผลิตเมล็ดบัวสายจากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ปี 2552 ทำการตากแห้งและกะเทาะเปลือกหุ้มเมล็ด แล้วนำเมล็ดบัวสายทั้ง 3 กลุ่มไปศึกษาคุณภาพของเมล็ดบัวสาย โดยการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหาร ลักษณะทางกายภาพที่ศึกษาได้แก่ สี ขนาด การพองตัวของเมล็ดบัวสายในน้ำที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ส่วนคุณค่าทางอาหารที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณน้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และพลังงานรวม ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ ณ ห้องปฏิบัติการทางเคมีและวิทยาศาสตร์การอาหาร ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละของลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหาร โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ($p<0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีดันแคน (Duncan Multiple Range Test : DMRT)

นิยามคำศัพท์เฉพาะ

เมล็ดบัวสาย หมายถึง เมล็ดของบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพู และเมล็ดของบัวสายชนิดดอกสีม่วงปนชมพู ที่กะเทาะเปลือกแล้ว

ดอกบัวสายชนิดดอกสีม่วงปนชมพู หมายถึง บัวสายพบบัวชนิดนี้ที่แหล่งน้ำแห่งหนึ่งในตำบลขนาบนาก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ลักษณะกลีบดอกเป็นสีม่วง ส่วนกลีบเลี้ยงด้านนอกสีเขียวปนสีน้ำตาลและขอบด้านในกลีบเลี้ยงเป็นสีชมพู ก้านชูเกสรเพศผู้สีเหลืองและอับเรณูสีม่วงอ่อน

แหล่งน้ำธรรมชาติ หมายถึง แหล่งน้ำที่บัวสายเจริญเติบโตได้เองตามธรรมชาติ ได้แก่ สระ หนอง คู คลอง และริมฝั่งแม่น้ำปากพนัง

บ่อปลูก หมายถึง แหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้นสำหรับปลูกบัวสายเพื่อผลิตเมล็ดบัวสาย ซึ่งมีความลึก 1.50 เมตร มีระดับน้ำสูงจากก้นบ่อ 1.20 เมตร และเป็นบริเวณที่แสงแดดส่องถึงตลอดวัน

แหล่งผลิตเมล็ดบัวสาย หมายถึง ชุมชนในตำบลปากแพรกที่มีการเก็บโตนดบัวสายจากการปลูกหรือเก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แล้วนำมากะเทาะเปลือกเพื่อจำหน่ายเมล็ดบัวสาย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยคาดว่าข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

1. ทำให้ผู้บริโภคได้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย ซึ่งจะมีส่วนช่วยทำให้ผู้บริโภคเลือกรับประทานอาหารจากเมล็ดบัวสายเพิ่มมากขึ้น
2. เกษตรกรสามารถใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจประกอบอาชีพผลิตเมล็ดบัวสาย
3. ใช้เป็นแหล่งข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากเมล็ดบัวสาย
4. ช่วยอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการผลิตและการใช้ประโยชน์จากเมล็ดบัวสายให้ยั่งยืนสืบไป

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบัวสาย คุณภาพของอาหาร การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บัวสาย

บัวสายเป็นพืชที่มีบทบาทในโลกมาแต่โบราณ ยาวนานกว่า 4,000 ปีแล้ว บัวสายเป็นพืชดอก มีใบเลี้ยงคู่ จัดอยู่ในวงศ์ Nymphaeaceae มี 6 สกุล ได้แก่ Barclaya, Euyale, Nuphar, Ondinea, Victoria และ Nymphaea (Songpanich & Hongtrakul, 2011, 475) บัวสายนิยมปลูกทั่วทุกภูมิภาคของโลกทั้งในเขตร้อน เขตอบอุ่น และเขตหนาว ซึ่งสามารถจำแนกถิ่นกำเนิด และการเจริญเติบโตของบัวสายได้ 2 กลุ่มคือ

1. บัวเขตหนาว คือ บัวที่เกิดและเจริญในเขตอบอุ่นและเขตหนาว (subtropical and temperate zones) เช่น ยุโรป อเมริกาเหนือ ภาคใต้ของอเมริกาใต้ ตอนเหนือของอินเดีย จีน และออสเตรเลีย บัวชนิดนี้มีเหง้าสะสมอาหารอยู่ในดิน ในช่วงฤดูหนาวขณะที่ผิวหน้าของน้ำเป็นแผ่นน้ำแข็ง บัวจะทิ้งใบและอาศัยอาหารในเหง้าเลี้ยงตัวเอง เมื่อถึงฤดูใบไม้ผลิบัวจึงจะเจริญและออกดอกออกผล เนื่องจากบัวชนิดนี้สามารถทนอากาศหนาวได้ จึงถูกเรียกว่า hardy type หรือ hardy water lily (เสริมลาภ วสุวัตร, 2539, 12)

2. บัวเขตร้อนคือ บัวที่เกิดและเจริญในเขตร้อน (tropical zones) เช่น ทวีปเอเชียตอนกลางและตอนใต้ ออสเตรเลียตอนเหนือ แอฟริกา อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ เนื่องจากบัวชนิดนี้จะตายเมื่อผิวหน้าของน้ำเป็นน้ำแข็ง ทำให้สามารถเจริญได้ในเขตร้อนเพียงเขตเดียว จึงถูกเรียกว่า tropical type หรือ tropical water lily (เสริมลาภ วสุวัตร, 2539, 12; คณิตา เลขะกุล, 2535, 15)

สำหรับประเทศไทยพบว่ามีบัวสายที่นิยมปลูกเพียง 2 สกุลคือ สกุล Victoria และสกุล Nymphaea โดยบัวสกุล Victoria จะเป็นบัวที่มีใบลอยแตะผิวน้ำมีขนาดใหญ่ ขอบใบตั้งคล้ายกระด้งและใบมีหนาม คนไทยจึงเรียกว่าบัวกระด้ง ดอกของบัวชนิดนี้จะมีขนาดเล็ก ส่วนบัวในสกุล Nymphaea เป็นบัวสายที่มีใบลอยแตะผิวน้ำ แต่ไม่มีหนาม

บัวสายสกุล Nymphaea มีการจัดจำแนกดังนี้

Kingdom: Plantae

Division: Magnoliophyta

Class: Magnoliopsida

Order: Nymphaeales

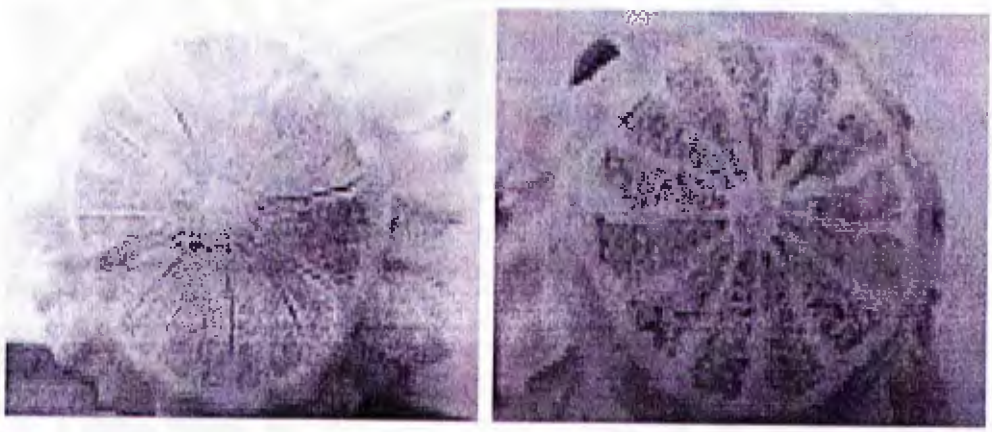
Family: Nymphaeaceae

genus: Nymphaea

ลักษณะของบัวสายสกุล Nymphaea เป็นบัวที่มีเหง้าหรือลำต้นใต้ดิน ใบเดี่ยวเรียงสลับมีลักษณะค่อนข้างกลม ขนาด 25-30 เซนติเมตร ฐานใบหยักเว้าลึก ขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อยใหญ่ หูใบเปิด ผิวใบด้านบนเรียบเป็นมัน ใบอ่อนด้านบนมีสีแดงเลือดหมู ด้านล่างมีสีม่วง ใบแก่มีสีเขียว ด้านล่างมีสีน้ำตาลและขนเล็กๆ เส้นใบขนาดใหญ่นูน ก้านใบมีสีน้ำตาลมีความยาวเท่าระดับน้ำ ดอกของบัวสายสกุล Nymphaea จะเป็นดอกเดี่ยวเจริญออกมาจากเหง้า ก้านดอกกลมมีสีน้ำตาลชูดอกขึ้นลอยเหนือผิวน้ำ มีกลีบเลี้ยง 4 กลีบ ด้านนอกมีสีเขียวปนสีน้ำตาลแดง ส่วนด้านในมีสีเดียวกับสีของกลีบดอก ดอกเป็นรูปครึ่งวงกลม กลีบดอกเรียวยาวปลายกลีบดอกมนหรือแหลม กลีบดอกแยกกัน มีจำนวนมากเรียงซ้อนกันหลายชั้น (polypetalous flower) กลีบดอกมีสีแตกต่างกัน เช่น สีขาว สีแดง สีน้ำเงิน และสีม่วง เป็นต้น เกสรเพศผู้ (stamens) มีลักษณะเป็นแผ่นแบนๆ มีสีเหลืองหรือสีตามกลีบดอกและเชื่อมติดกับรังไข่ (ovary) ตามแนวรัศมีจำนวนมาก ปลายเกสรเพศผู้มีอับเรณู (anthers) ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องขนานตามยาวและภายในมีละอองเรณู (pollen grains) เกสรเพศเมีย (pistils) ประกอบด้วยรังไข่ที่มีขนาดใหญ่เชื่อมติดกับกลีบดอก รังไข่เจริญไปเป็นผล (fruit) เรียกว่า โตนด ภายในโตนดมีเนื้อสีขาวและเมล็ดทรงกลมขนาดเล็กจำนวนมาก บัวสายมีทั้งชนิดดอกบานกลางวันและชนิดดอกบานกลางคืน โดยดอกบัวสายที่บานกลางคืนจะเริ่มบานตั้งแต่ช่วงใกล้ค่ำถึงตอนสายวันรุ่งขึ้น (เสริมลาภ วสุวัต, 2539, 24)

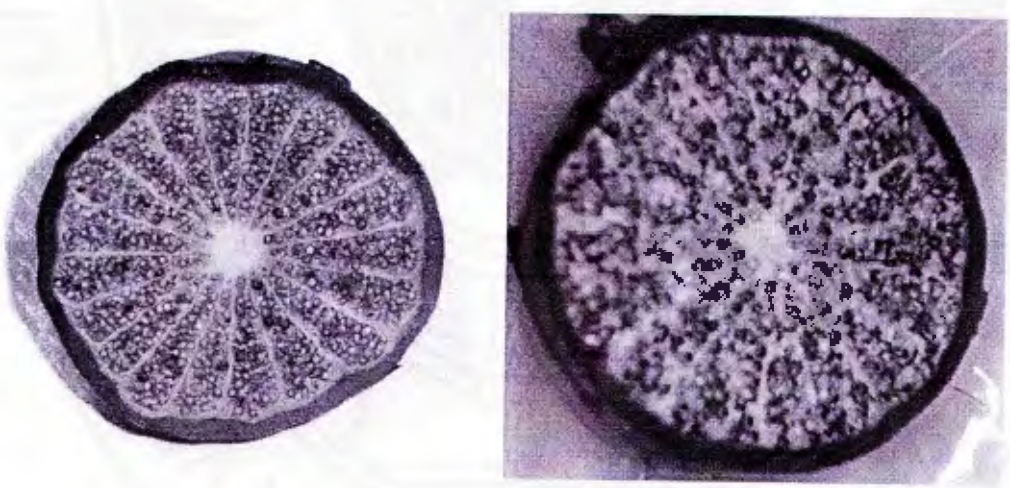
ดอกของบัวสายสกุล Nymphaea เป็นดอกสมบูรณ์เพศและบาน 3 วัน โดยธรรมชาติบัวสกุลนี้จะมีกลไกในการป้องกันการผสมภายในดอกเดียวกัน เรียกว่า โพรโตจีนัส (protogynous) ซึ่งหมายถึง การที่เกสรเพศเมียพร้อมรับการผสมละอองเกสรของดอกอื่น ก่อนที่เกสรเพศผู้ในดอกเดียวกันจะแพร่กระจายละอองเกสร โดยเกสรเพศเมียของบัวในสกุล Nymphaea จะพร้อมรับการผสมในวันแรกที่ดอกบาน ในขณะที่เกสรเพศผู้พร้อมกระจายละอองเกสรในวันที่สองและสาม (Songpanich & Hongtrakul, 2011, 475) ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของบัวในสกุล Nymphaea ตามลักษณะของคาร์เพลได้ 2 กลุ่ม (group) คือ กลุ่ม apocarpiae หรือ apocarpous pistil และกลุ่ม syncarpiac หรือ syncarpous pistil โดยกลุ่ม apocarpiae เป็นกลุ่มที่มีผนังกั้นรังไข่แต่ละอันอาจแยกเป็นอิสระต่อกัน

ส่วนกลุ่ม syncarpiae เป็นบัวสายชนิดที่มีผนังกั้นรังไข่ส่วนใดส่วนหนึ่งเชื่อมติดกัน (ภาพที่ 1) ซึ่งบัวสายดอกสีขาวปนชมพูและบัวสายดอกสีม่วงปนชมพู ที่ศึกษาในครั้งนี้จัดอยู่ในกลุ่ม syncarpiae (ภาพที่ 2)



apocarpiae syncarpiae

ภาพที่ 1 ลักษณะของผนังกั้นรังไข่แบบ apocarpiae และ syncarpiae ของบัวสาย
ที่มา : Songpanich & Hongtrakul, 2011, 479



บัวสายดอกสีขาวปนชมพู บัวสายดอกสีม่วงปนชมพู

ภาพที่ 2 ลักษณะของผนังกั้นรังไข่แบบ syncarpiae ของบัวสาย
ดอกสีขาวปนชมพูและดอกสีม่วงปนชมพู

บัวสายในประเทศไทยมีหลายชนิดทั้งพันธุ์พื้นเมืองแท้ (variety) และบัวสายพันธุ์ลูกผสม (hybrid) โดยบัวสายพันธุ์พื้นเมืองจะแพร่กระจายตามแหล่งน้ำจืดทั่วไป ซึ่งส่วนใหญ่พบในภาคกลาง ส่วนบัวสายพันธุ์ลูกผสมเป็นการพัฒนาบัวสายพันธุ์ใหม่ที่เกิดจากการผสมพันธุ์จนได้บัวสายที่มีลักษณะสวยงาม มีสีแตกต่างกันไป จึงมีการตั้งชื่อบัวสายตามสีของดอก เช่น ดอกสีขาวมีชื่อว่า เศวตอุบล ดอกสีชมพู มีชื่อว่า ลินจง และดอกสีแดง มีชื่อว่าสัตตบรรณหรือรัตอุบล เป็นต้น อย่างไรก็ตามพบว่าบัวสายสายพันธุ์เดียวกันอาจมีสีแตกต่างกันได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อสีของดอก เช่น สภาพแวดล้อม แสงแดด อุณหภูมิ สภาพการปลูก ความอุดมสมบูรณ์ของต้นและปุ๋ยที่ใช้ เป็นต้น (เสริมลาภ วสุวัตร, 2539, 15) จากความนิยมในปลูกบัวสายเพื่อใช้เป็นไม้ดอกและไม้ประดับ ทำให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขยายพันธุ์และปรับปรุงสายพันธุ์บัวสายจนได้สายพันธุ์ใหม่ๆ เสมอ ดังเช่นงานวิจัยผสมพันธุ์บัวสายเพื่อให้ได้บัวฝรั่งที่มีดอกสีน้ำเงินต้นแรกของโลก ซึ่งมีชื่อว่า สยามบลูฮาร์ดดี้ (Nymphaea 'Siam blue hardy') โดยนักวิจัยไทย (Songpanich & Hongtrakul, 2011, 475)

การขยายพันธุ์บัวสาย ทำได้หลายวิธี เช่น การเพาะเมล็ดในน้ำนิ่ง การแยกหัว การแยกต้นอ่อนจากเหง้าของต้นแม่และการใช้ใบที่มีต้นอ่อนซึ่งเกิดขึ้นที่ขั้วใบ ปักชำลงในดิน เติมน้ำให้ท่วมยอด 6-10 เซนติเมตร ต้นอ่อนจะแตกรากยึดดินเป็นต้นใหม่ได้ภายใน 2 สัปดาห์ และเมื่อบัวสายเจริญขึ้นจะเพิ่มระดับน้ำเป็น 15-100 เซนติเมตร (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542, 229; เอื้อมพร วีสมหมาย และทยา เจนจิตติกุล, 2544, 202-204; เสริมลาภ วสุวัตร, 2547, 29-42)

บัวสายที่กระจายอยู่ในอำเภอปากพนังส่วนใหญ่เป็นบัวสายพันธุ์พื้นเมือง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Nymphaea lotus Linn. มีหลายชนิด ได้แก่ บัวกินสายหรือบัวสายดอกสีขาวปนชมพู บัวสายดอกสีแดงหรือบัวครั่ง บัวสายดอกสีชมพู และบัวสายดอกสีม่วงปนชมพู เป็นต้น (คณิตา เลขะกุล, 2535, 16; สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542, 229) โดยบัวสายที่พบส่วนใหญ่เป็นบัวสายดอกสีขาวปนชมพู

ในขณะที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานสายบัวหรือก้านบัว แต่ชาวบ้านในอำเภอปากพนังบางกลุ่มกลับนิยมนำเมล็ดบัวสายมาปรุงเป็นอาหารรับประทานกันมานานกว่า 100 ปีแล้ว โดยชาวบ้านจะนำเมล็ดจากบัวสายมากะเทาะเปลือกแข็งที่หุ้มเมล็ดออก แล้วจึงนำมาปรุงเป็นอาหาร ในระยะแรกๆ เมล็ดบัวสายจะได้จากบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้ได้ผลผลิตเมล็ดบัวสายจำนวนน้อย เพียงพอสำหรับบริโภคภายในครัวเรือนเท่านั้น แต่เนื่องจากชาวปากพนังมีความศรัทธาในพุทธศาสนา ในโอกาสสำคัญทางศาสนา เช่น วันพระ วันวิสาขบูชา วันเข้าพรรษาหรือวันออกพรรษา ชาวบ้านจะนำอาหารที่ดีที่สุด ซึ่งรวมถึงอาหารที่ปรุงจากเมล็ดบัวสายไปถวายไปถวายพระสงฆ์ หลังจากที่พระสงฆ์ฉันเสร็จแล้วก็จะมอบอาหารที่เหลือให้แก่พุทธศาสนิกชน

ทั้งหลายได้บริโภค และเนื่องจากอาหารที่ทำจากเมล็ดบัวสายมีรสชาติดี จึงได้รับความนิยมบริโภคและแพร่หลายออกสู่ชุมชนเป็นวงกว้างขึ้น

เมื่อความต้องการเมล็ดบัวสายเพิ่มมากขึ้น เกษตรกรบางรายจึงหันมาทำบ่อปลูกบัวสาย โดยจะปลูกบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพู เนื่องจากบัวสายชนิดนี้ให้ผลขนาดใหญ่ ซึ่งภายในจะมีเมล็ดจำนวนมาก การปลูกบัวจะใช้วิธีการแยกหน่อ ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้บัวสายเจริญเร็วกว่าวิธีเพาะด้วยเมล็ด และมีการดูแลรักษาและให้ปุ๋ย จากการสัมภาษณ์นางหนูเสริม เพชรสงค์ (20 พฤษภาคม 2552) หนึ่งในเกษตรกรจำนวน 3 ราย ที่ทำการปลูกบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพูเพื่อผลิตเมล็ดในตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง พบว่าบ่อบัวขนาดพื้นที่ 4 ไร่ จะได้ผลผลิตประมาณ 70-80 กิโลกรัมต่อปี หรือ 17.5 – 20 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนเกษตรกรที่เก็บโตนดบัวสายจากแหล่งน้ำธรรมชาติจะมี 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่เก็บเมล็ดบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพู มีสมาชิกจำนวน 5 ราย สามารถเก็บผลผลิตได้รวมกันประมาณปีละ 20-30 กิโลกรัม กลุ่มที่สองคือกลุ่มที่เก็บเมล็ดบัวสายชนิดดอกสีม่วงปนชมพูซึ่งมีเกษตรกรที่เก็บเพียงรายเดียวคือนายทวี เหมทานนท์ จากการสัมภาษณ์นายทวี (23 มิถุนายน 2552) ได้ข้อมูลว่าบัวชนิดดอกสีม่วงปนชมพูเป็นบัวที่พบเฉพาะที่ตำบลขนาบนาก อำเภอปากพนังเท่านั้น โดยนายทวีสามารถเก็บผลิดผลจากบัวชนิดนี้ได้เพียง 0.5-1 กิโลกรัมต่อปีเท่านั้น ดังนั้นผลผลิตเมล็ดบัวสายจากอำเภอปากพนังในปัจจุบันจึงเป็นผลผลิตจากบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพูทั้งจากบ่อปลูกและแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ และเป็นผลผลิตจากบัวสายดอกสีชมพูม่วงปนขาวจากแหล่งน้ำธรรมชาติเพียงเล็กน้อย ลักษณะดอกบัวสายทั้งสองชนิดแสดงในภาพที่ 3

บัวสายดอกสีชาวปนชมพู บัวสายดอกสีม่วงปนชมพู

ภาพที่ 3 ลักษณะดอกบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพูและดอกสีม่วงปนชมพู

การผลิตเมล็ดบัวสายในอำเภอปากพนังจะเริ่มฤดูฝนเพราะบัวสายเจริญได้ดีในน้ำจืด ซึ่งบัวจะให้ดอกออกผลประมาณเดือน มกราคม – เดือนมิถุนายน ขั้นตอนการผลิตเมล็ดบัวสาย แสดงดังภาพที่ 4 เริ่มจากการเก็บโตนดบัวสายจากบ่อปลูก (ภาพที่ 5) หรือจากแหล่งน้ำธรรมชาติ (ภาพที่ 6 และ 7) ซึ่งเป็นโตนดบัวสายที่แก่จัดสังเกตได้จากกลีบดอกและกลีบเลี้ยงหลุดออกแล้ว (ภาพที่ 8) โดยเก็บในตอนเช้าตรู่ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและมีอากาศถ่ายเท ประมาณ 1-2 วัน เพื่อบ่มให้โตนดสุกและเปลือกแยกออก (ภาพที่ 9) ทำให้แกะแยกเมล็ดได้ง่าย ใส่เมล็ดที่แยกออกจากเปลือกแล้วบนภาชนะแบน เช่น ถาด กระด้ง หรือแผ่นสังกะสี (ภาพที่ 10) แล้วนำออกตากแดดจัดๆ จนแห้งสนิท (ภาพที่ 11) ก่อนนำเมล็ดบัวสายไปกระเทาะเอาเปลือกออก ซึ่งชาวบ้านจะใช้วิธีการที่ดัดแปลงมาจากการตำข้าวซ้อมมือ โดยใช้ครกและสากไม้สำหรับทำข้าวซ้อมมือ แต่ด้วยเมล็ดบัวสายที่มีลักษณะกลมและมีขนาดเล็ก ทำให้เมล็ดบัวสายกระเด็นออกจากครกได้ง่าย ด้วยภูมิปัญญาชาวบ้านในการป้องกันไม่ให้เมล็ดกระเด็นออกจากครกไม้ ชาวบ้านได้ใช้ใบตองแห้งปิดทับบนเมล็ดบัวสาย แล้วตำลงบนใบตองแห้งและตำในขณะที่เมล็ดบัวสายยังมีความร้อน เพราะจะทำให้เปลือกที่กรอบเกรียมแล้วนั้นแตกออกได้ง่าย (ภาพที่ 12) เมื่อเปลือกหุ้มเมล็ดแตกออกแล้วจึงตักใส่ถาดฝัดแยกเปลือกและผงฝุ่น (ภาพที่ 13 และ 14) เมล็ดบัวสายแห้งที่ได้จะนำไปบรรจุในถุงพลาสติกถุงละ 1 กิโลกรัม (ภาพที่ 15) และเนื่องจากเมล็ดบัวสายเป็นเมล็ดแห้ง จึงสามารถเก็บรักษาผลผลิตเมล็ดบัวสายไว้ได้นาน (หนูเสริม เพชรสงค์, 2552)

เก็บโตนดบัวสายที่แก่จัด

↓

บ่มที่อุณหภูมิห้องและอากาศถ่ายเท เพื่อให้ผลสุก 1-2 วัน

↓

แกะแยกเมล็ดออกจากเปลือก

↓

ใส่ภาชนะโลหะแบน ตากแดดจัด 2-3 วัน

↓

ซ้อมด้วยมือในครกตำข้าว เพื่อกะเทาะเปลือกหุ้มเมล็ด

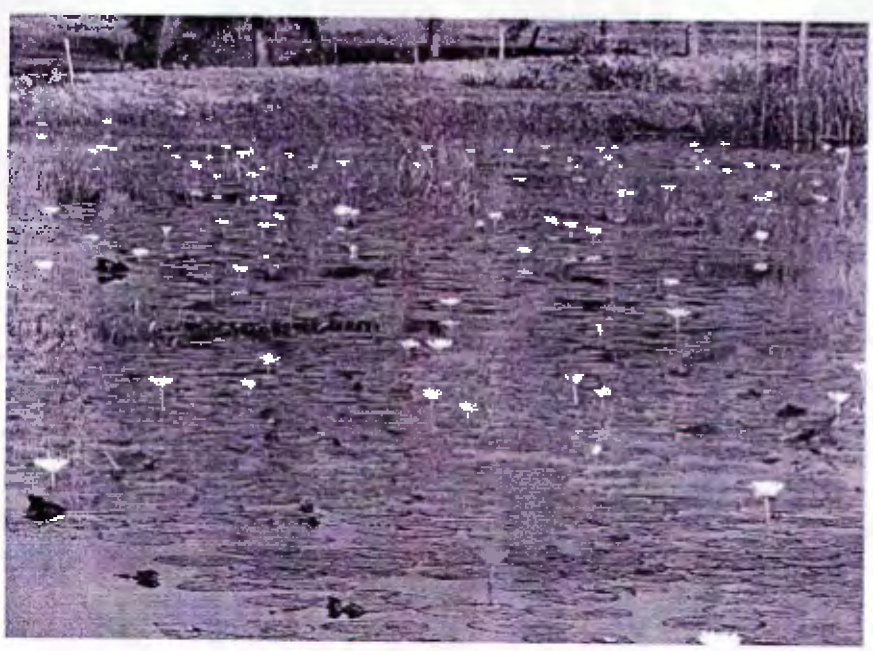
↓

ฝัดแยกเปลือกหุ้มเมล็ดและเป่าลมไล่ฝุ่นผงละเอียดออกจากเมล็ด

↓

เมล็ดบัวสายที่สะอาดบรรจุถุงพลาสติก

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการผลิตเมล็ดบัวสาย



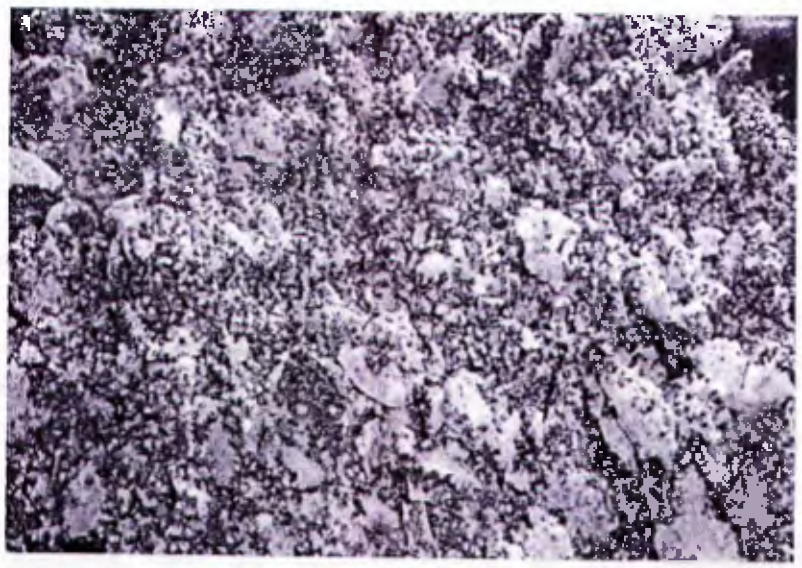
ภาพที่ 5 บัวสายดอกสีขาวปนชมพูในบ่อปลูก

ภาพที่ 6 บัวสายดอกสีขาวปนชมพูในแหล่งน้ำธรรมชาติ

ภาพที่ 7 บัวสายดอกสีดอกสีม่วงปนชมพูในแหล่งน้ำธรรมชาติ

ภาพที่ 8 โตนดบัวสายที่แก่จัด

ภาพที่ 9 โตนดบัวสายที่บ่มจนสุก

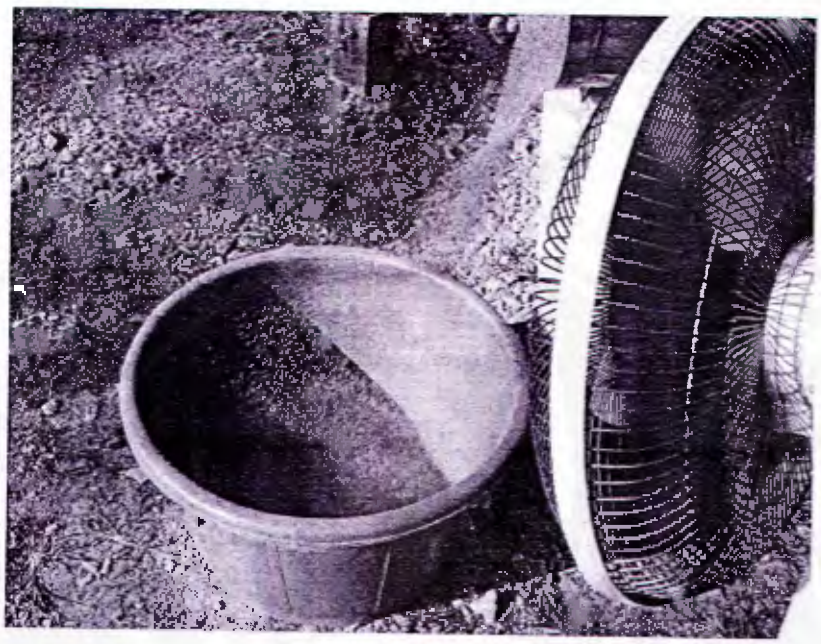


ภาพที่ 10 เมล็ดบัวสายที่แกะจากโตนดบัว

ภาพที่ 11 การตากเมล็ดบัวสาย

ภาพที่ 12 การซ้อมเมล็ดบัวสายในครกตำข้าว

ภาพที่ 13 การฝัดแยกเปลือกออกจากเมล็ดบัวสาย



ภาพที่ 14 การใช้พัดลมเป่าฝุ่นผงออกจากเมล็ดบัวสาย

ภาพที่ 15 เมล็ดบัวสายบรรจุถุงในถุงพลาสติก บรรจุถุงละ 1 กิโลกรัม

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันชาวบ้านในอำเภอปากพนังนิยมนำเมล็ดบัวสายมาทำเป็นแกงบวด (ภาพที่ 16) ซึ่งมีส่วนผสมและวิธีการทำดังนี้

ส่วนผสมของแกงบวดเมล็ดบัวสาย (สำหรับ 20 ที่)

1. เมล็ดบัวสาย 200 กรัม
2. หัวกะทิ 400 กรัม
3. หางกะทิ 2-3 กิโลกรัม
4. น้ำตาลทราย 400 กรัม
5. เกลือแกง 2 ช้อนชา

วิธีทำ

1. ล้างเมล็ดบัวสายให้สะอาดไม่ให้เหลือฝุ่น เปลือก และดินทราย เสร็จแล้วแช่ในน้ำสะอาด 1 คืน

2. ใส่เมล็ดบัวนาที่แช่น้ำแล้ว ลงหม้อขนาด 4 ลิตร ต้มกับน้ำประมาณ 1.5 ลิตรใช้ไฟกลางจนเมล็ดบัวสายสุก

3. ใส่น้ำหางกะทิ 2-3 กิโลกรัม น้ำตาล 400 กรัม ต้มต่อไปประมาณ 5 นาที จนน้ำตาลละลายหมด ใส่หัวกะทิ และเกลือ ต้มให้เดือด ยกลง

ภาพที่ 16 แกงบวดเมล็ดบัวสาย

คุณภาพของอาหาร

คุณภาพของอาหาร หมายถึง คุณลักษณะร่วมของอาหารที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 325) ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะตัวของอาหาร โดยสามารถมองเห็นความแตกต่างของผลิตภัณฑ์และวัดระดับผลิตภัณฑ์ที่ดีได้ หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอจนผู้บริโภคเกิดความเชื่อมั่นและไว้วางใจผลิตภัณฑ์นั้น (ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และวันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2536, 1) การวัดค่าหรือวิเคราะห์คุณภาพของอาหารเพื่อประเมินระดับคุณภาพของอาหาร สามารถวัดได้ 2 วิธี คือ การวัดค่าโดยวิธีทางตรงและการวัดค่าโดยวิธีทางอ้อม สำหรับการวัดค่าโดยวิธีทางตรงจะเป็นการวัดด้วยเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์ทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา ซึ่งค่าที่ได้จะมีความถูกต้องมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ การเตรียมตัวอย่าง วิธีวิเคราะห์ รวมทั้งเทคนิคของผู้วิเคราะห์ ส่วนการวัดค่าโดยวิธีทางอ้อมเป็นการวัดค่าโดยใช้สิ่งมีชีวิตเป็นเครื่องมือในการประเมินค่า ซึ่งสิ่งมีชีวิตจะถ่ายทอดความรู้สึกหรือผลที่ได้ให้ผู้วัดทราบ (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 325) คุณภาพของอาหารยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ คุณภาพด้านลักษณะทางกายภาพ (physical characteristics) และคุณภาพด้านคุณค่าทางอาหาร (nutritional value) (รังสินี โสธรวิทย์, 2551, 2)

ลักษณะทางกายภาพของอาหาร (physical characteristics)

ลักษณะทางกายภาพของอาหาร หมายถึง คุณภาพของอาหารที่รับรู้ได้ด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัส (sensory quality) แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ ประเภทเนื้อสัมผัส (texture) ประเภทกลิ่นรส (flavor) และประเภทที่รับรู้ได้ด้วยตา (sightappearance) ลักษณะทางกายภาพของอาหารประเภทเนื้อสัมผัส หมายถึง ลักษณะที่มองเห็นด้วยตาหรือสัมผัสด้วยมือหรือรับรู้ด้วยปากถึงความกรอบ เหนียว นุ่ม และลื่น ส่วนลักษณะทางกายภาพของอาหารประเภทกลิ่นรส หมายถึง ลักษณะที่รับรู้ได้ด้วยจมูกและลิ้น เกี่ยวกับรส เปรี้ยว หวาน ขมและเค็ม และลักษณะทางกายภาพของอาหารประเภทที่รับรู้ได้ด้วยตา หมายถึง ลักษณะที่มองเห็นได้ เช่น สี (color) ขนาด (size) และรูปร่าง (shape) เป็นต้น (ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และวันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2536, 1; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 2)

สีของอาหาร ขนาด และการพองตัวของเมล็ดพืช เป็นลักษณะที่ปรากฏให้เห็นได้ด้วยตาที่เกี่ยวเนื่องกับความพึงพอใจและความเชื่อมั่นของผู้บริโภคที่มีต่ออาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค (วสันต์ กันตมูน, ม.ป.ป., 1) เนื่องจากผู้บริโภคไม่มีโอกาสในการทดลองรับประทานผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการตัดสินใจซื้อส่วนใหญ่จึงขึ้นอยู่กับสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็น (วิษฐิดา จันทราพรชัย, 2550, 368) โดยทั้งสี ขนาด และรูปร่างมีอิทธิพลต่อการความพึงพอใจในการซื้อและบริโภคอาหารถึง 45 % รสชาติมีความสำคัญ 25 % ลักษณะเนื้อสัมผัส

มีความสำคัญ 20 % ในขณะที่คุณค่าทางอาหารมีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการเลือกซื้อและบริโภคเพียง 10 % เท่านั้น (ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และวันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2536, 6)

1. สี (color)

สี หมายถึง สีที่ปรากฏเมื่อมองวัตถุที่มีสี สีในอาหารเกิดขึ้นได้เนื่องจากมีสารให้สี เรียกว่า สารสี หรือ รงควัตถุ (pigment) ซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติ สารสีในอาหารตามธรรมชาติที่ได้จากพืช จำแนกตามสมบัติในการละลายได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ และกลุ่มที่ละลายได้ในน้ำ โดยกลุ่มที่ละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งเป็นสารสีเขียว และแคโรทีนอยด์ (carrotinoids) ซึ่งเป็นสารสีเหลืองและสีส้มแดง ส่วนกลุ่มที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งเป็นสารสีเหลือง แอนโทไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งเป็นสารสีแดง สีน้ำเงิน และสีม่วง และแทนนิน (tannins) ซึ่งเป็นสารสีเหลืองและสีน้ำตาล เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548, 405-447)

จากรายงานวิจัยสารสีกลุ่มแอนโทไซยานิน พบว่าสารสีกลุ่มนี้เป็นแหล่งสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (LDL) ช่วยทำให้เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดมีความอ่อนนิ่ม ช่วยป้องกันโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือด และโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัว (สุธาทิพย์ ภมรประวัติ, 2006) และช่วยปกป้องผักและผลไม้จากการทำลายของรังสีอัลตราไวโอเลตพบในเนื้อเยื่อพืช เช่น เผือก มันสีม่วง องุ่นแดง ข้าวนิล ข้าวเหนียวดำ ถั่วแดง และถั่วดำ เป็นต้น (Lo & Nicholson, 1998, 979)

นอกจากนี้สียังใช้บอกความอ่อน-แก่ (maturity) ของเมล็ดได้ เช่น ถั่วเหลืองเมล็ดแก่มากจะมีสารแคโรทีนอยด์มากกว่าเมล็ดอ่อน ส่งผลให้เมล็ดเป็นสีเหลืองเข้มกว่าเมล็ดอ่อน และสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากสภาพปกติจะบอกถึงการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพืช เช่น เมล็ดข้าวสารที่เสื่อมคุณภาพจะมีสีขาวขุ่นไม่สดใส ซึ่งมีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ มอด แมลง อุณหภูมิ สารเคมี และการกระแทกจากการขนส่ง ดังนั้นสีจึงแสดงถึงคุณภาพของอาหารและผลิตผลทางการเกษตร และสามารถใช้สีเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกวัตถุดิบ ควบคุมขั้นตอนการผลิต และจัดแบ่งคุณภาพของอาหาร (ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และวันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2536, 5-11)

สีในทางฟิสิกส์ หมายถึง คุณสมบัติของแสงที่วัดได้ด้วยความเข้มข้นและความถี่ของคลื่นแสง (ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และวันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2536, 5) แสงที่ตามองเห็นได้ (visible light) จะเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ระยะคลื่นแสงที่ตาสามารถรับความรู้สึกได้มีความยาวคลื่นระหว่าง 380-780 นาโนเมตร ซึ่งแต่ละความยาวคลื่นทำให้เกิดการมองเห็นสีแตกต่างกัน (วิษฐิดา จันทราพรชัยม 2550, 368) เช่น ความยาวคลื่น 380-450 นาโนเมตร จะเห็นเป็นสีม่วง (violet) ความยาวคลื่น 450-490 นาโนเมตร จะเห็นเป็นสีน้ำเงิน (blue) ความยาวคลื่น 490-560 นาโนเมตร จะเห็น

เป็นสีเขียว (green) ความยาวคลื่น 560-590 นาโนเมตร จะเห็นเป็นสีเหลือง (yellow) ความยาวคลื่น 590-630 นาโนเมตร จะเห็นเป็นสีส้ม (orange) ความยาวคลื่น 630-780 นาโนเมตร จะเห็นเป็นสีแดง (red)

สีในทางกายภาพ หมายถึง พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ (วสันต์ กันตมูน, ม.ป.ป. 1) แต่เนื่องจากการมองเห็นสีของมนุษย์แต่ละคนไม่เหมือนกัน และไม่สามารถอธิบายค่าของสีที่มองเห็นนั้นให้เข้าใจตรงกันได้ จึงได้มีต้องมีเครื่องมือวัดค่าสี เพื่อทำให้เข้าใจตรงกัน ทั้งนี้การใช้เครื่องมือวัดสีต้องอาศัยองค์ประกอบที่เหมือนๆ กัน 3 ประการคือ แหล่งกำเนิดแสง (light source) วัตถุ (object) และผู้สังเกตการณ์ (observer) (ภัคนัย ทองทิอัมพร, 2550; วิษฐิดา จันทราพรชัย, 2550, 368)

แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติและแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ โดยแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ ได้แก่ ดวงอาทิตย์ ดวงดาว กองไฟ และเทียนไข ส่วนแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ ได้แก่ หลอดไฟฟ้าที่ใช้ขดลวดให้ความร้อน (incandenscence lamp) หลอดไฟทังสเตน (tunกรัมsten filament lamp) หลอดไฟทังสเตน-ฮาโลเจน (tunกรัมsten-halogen filament lamp) หลอดไฟฟลูออเรสเซนส์ (fluorescence lamp) และหลอดซีนอนอาร์ค (xenon arc lamp) เป็นต้น ซึ่งสีจะเปลี่ยนไปเมื่อต้นกำเนิดแสงเปลี่ยนไป จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน (standard illuminants) ตามที่ Commission Internationale de I'Ecairage (CIE) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำหนดมาตรฐานและให้คำแนะนำเกี่ยวกับเรื่องแสงสีในระดับนานาชาติได้กำหนดไว้ (วสันต์ กันตมูน, ม.ป.ป., 1)

CIE ได้กำหนดแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน ซึ่งหมายถึง แหล่งกำเนิดแสงที่ให้พลังงานคงที่ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละความยาวคลื่น โดยกำหนดเป็นกลุ่มตัวเลขที่แสดงการกระจายพลังงานที่ช่วงคลื่นต่างๆ ของแหล่งกำเนิดแสงชนิดหนึ่งๆ โดยการเปรียบเทียบกับแสงสีของวัตถุสีดำที่ผ่านการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดแสงนั้นในหน่วยองศาเคลวิน ซึ่งเรียกว่า CCT (correlated color temperature) แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานมีหลายแบบ ซึ่งได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน A (standard illuminants A) ซึ่งมีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับหลอดไฟทังสเตนหรือหลอด incandenscence ที่มี CCT 2856 เคลวิน แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน B (standard illuminants B) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอด illuminants A ที่ผ่านการกรองแสงแล้วให้แสงแดดตอนเที่ยงโดยมี CCT 4900 เคลวิน แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน C (standard illuminants C) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอด illuminants A ที่ผ่านการกรองแสงแล้วให้แสงแดดตอนกลางวันและเป็นหลอดไฟที่มีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับแสงเหนือและแสงใต้ (north-sky daylกรัมht) โดยมี

CCT 6800 เคลวิน แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D-series (standard illuminants D) เป็นหลอดไฟที่ที่มีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติในช่วงเวลาต่างๆ เช่น D_{65} เป็นหลอดไฟที่ใช้แทนแสงธรรมชาติตอนเที่ยงวัน (natural daylกรัมht) โดยมี CCT 6500 เคลวิน และ D_{75} เป็นหลอดไฟที่ใช้แทนแสงธรรมชาติตอนครึ้มฝนหรือท้องฟ้ามืดหม่น (overcast daylight) โดยมี CCT 7500 เคลวิน เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วในการวัดค่าสีจะนิยมใช้ D_{65} เป็นแหล่งกำเนิดแสง (เฉลิมชัย ประเวศตระกูลชัย, 2553; วิษฐิดา จันทราพรชัย, 2550, 368)

วัตถุ

เมื่อแสงเคลื่อนที่กระทบวัตถุจะมีปรากฏการณ์เกิดขึ้นแตกต่างกัน 4 ปรากฏการณ์คือ แสงอาจจะทะลุผ่านวัตถุ (transmit) แสงอาจจะสะท้อนกลับโดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน (reflect) แสงอาจจะถูกดูดซับในวัตถุ (absorb) หรือแสงอาจจะผ่านวัตถุไปในทิศทางหักเห (refract) ถ้าแสงที่ผ่านปริซึมที่สามารถมองเห็นได้ (visible spectrum) มาตกกระทบวัตถุทึบ ซึ่งวัตถุทึบจะมีคุณสมบัติที่ทำให้แสงสะท้อนกลับหมด ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีขาว แต่ถ้าวัตถุดูดแสงได้บ้างเล็กน้อย แสงที่เหลือจะสะท้อนออกมา จึงมองเห็นวัตถุเป็นสีเทาอ่อน ส่วนวัตถุที่สะท้อนแสงได้เล็กน้อยแต่ดูดซับแสงได้มากจะทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีเทาแก่ และหากวัตถุนั้นดูดแสงไว้ได้หมดจะทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีดำ สำหรับวัตถุมีสี (colored object) สามารถวัดค่าเป็นตัวเลขได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ซึ่งเป็นการวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเปรียบเทียบกับวัตถุมาตรฐานอ้างอิง ได้แก่ แผ่นกระเบื้องสีขาวและสีดำ เมื่อนำมาเขียนกราฟการสะท้อน (reflectance curve) ซึ่งมีแกน x เป็นความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นนาโนเมตร และแกน y เป็นค่าร้อยละของการสะท้อนแสง (วิษฐิดา จันทราพรชัย, 2550, 368) ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนแสง และการดูดกลืนแสง โดยไม่คำนึงถึงความถี่ของคลื่นแสง เรียกว่า lightness หรือ value แต่ถ้าแสงถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่นหนึ่งมากกว่าที่ความยาวคลื่นอื่น ทำให้ตาคนเรามองเห็นสีที่ความยาวคลื่นนั้น เช่น แสงที่ความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร สะท้อนแสงมากกว่าคลื่นแสงอื่นเราจะเห็นเป็นสีฟ้า เรียกแสงสีที่เห็นนี้ว่า hue หรือ dominant wavelength ส่วนจำนวนแสงที่สะท้อนจากวัตถุมาเข้าตาของคลื่นแสงความถี่หนึ่งๆ เรียกว่า intensity หรือ purityหรือ chroma ซึ่งบอกถึงความบริสุทธิ์ ความสดหรือหม่นของสี (ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และวันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2536, 7)

ผู้สังเกตการณ์

โดยปกติในลูกตาของมนุษย์บริเวณเรตินา (retina) จะมีส่วนที่ไวต่อแสงแตกต่างกัน 2 ชนิด คือ เซลล์รูปแท่ง (rod) และเซลล์รูปกรวย (cone) ซึ่งเซลล์รูปแท่งจะทำให้มองเห็นความมืด-สว่างหรือขาว-ดำ ส่วนเซลล์รูปกรวยจะทำให้มองเห็นสี ซึ่งเซลล์รูปกรวยจะมีความไวต่อแสงสี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน CIE ได้กำหนดค่าผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน (standard observer)

ขึ้นจากการทดลองเพื่อหาค่าความไวแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของเซลล์รูปกรวย จากผู้ทดลองหลายๆ คน และหาค่าเฉลี่ยของคนที่มีสายตาปกติที่ความยาวคลื่นต่างๆ กำหนดผู้สังเกตการณ์มาตรฐานเป็นค่า x, y, z โดย x คือสีแดง y คือสีเขียว และ z คือสีน้ำเงิน ซึ่ง CIE ได้กำหนดค่าผู้สังเกตการณ์มาตรฐานไว้ 2 ค่า คือ กำหนดค่าผู้สังเกตการณ์มาตรฐานที่ 2 องศา และกำหนดค่าผู้สังเกตการณ์มาตรฐานที่ 10 องศา โดยค่ามุมองศา หมายถึง ค่ามุมที่ใช้มองในการทดลองเพื่อกำหนดค่าผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน ซึ่งในการวัดค่าสีจะต้องระบุค่าผู้สังเกตการณ์มาตรฐานให้ชัดเจน

การวัดค่าสีเป็นการระบุลักษณะของสี ประกอบด้วยค่าที่แสดงลักษณะต่างๆ 3 ค่า ได้แก่ ค่าสี (hue) ค่าความสว่าง (lightness value) และค่าความเข้มของสี (chroma) (วิษฐิดา จันทราพรชัย, 2550, 374) การวัดค่าสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) มีหลายระบบ เช่น mumsell, CIE XYZ, hunter lab และ CIE L*a*b* (CIELAB) เป็นต้น ซึ่งสามารถแปลงค่าจากระบบหนึ่งไปเป็นอีกระบบหนึ่งได้ ระบบ mumsell เป็นระบบแรกที่ใช้ในการวัดค่า คิดค้นโดย Albert H. Munsell เมื่อปี ค.ศ. 1905 ในระบบนี้จะวัดค่าสีเป็นตัวเลขและตัวอักษร ซึ่งเขียนเป็น hue value หรือ chroma เช่น วัตถุมีค่าสีเท่ากับ 5 กรัม 3/6 หมายถึง วัตถุนี้มีสีมีค่าสี (hue) เท่ากับ 5 กรัม ซึ่งเป็นสีเขียว มีค่าความสว่างเท่ากับ 3 ซึ่งจัดว่ามืด (dark value) และมีค่าความบริสุทธิ์ของสี (chroma) ระดับ 6 เป็นต้น (วสันต์ กันตมูน, ม.ป.ป., 4) การอ่านค่าสีในระบบ mumsell ยังต้องใช้การตัดสินจากสายตามนุษย์และแผ่นเทียบสี ซึ่งมีความซีดจางเมื่อเวลาผ่านไป ทำให้ขาดความแน่นอนและไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควร (วิษฐิดา จันทราพรชัย, 2550, 374)

การวัดค่าสีระบบ CIE XYZ เป็นระบบการวัดค่าสีที่ CIE พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1931 เพื่อให้เป็นระบบการวัดค่าสีที่ไม่ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของมนุษย์ แต่ให้ใช้เครื่องมือวัด (objective measurement) ที่เลียนแบบการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งระบบ CIE XYZ มีการวัด 3 ค่า คือ X, Y และ Z โดย X หมายถึง ค่าที่เกี่ยวข้องกับสีแดง ส่วน Y หมายถึง ค่าที่เกี่ยวข้องกับสีเขียวและความสว่างของสี และ Z หมายถึง ค่าที่เกี่ยวข้องกับสีน้ำเงิน ทำให้สามารถวัดค่าสีเป็นตัวเลขได้และวัดค่าด้วยเครื่องมือ แต่นำมาอธิบายให้เข้าใจได้ยาก เพราะค่า Y สัมพันธ์กับค่าสีและความสว่างของสี ในขณะที่ค่า X และ Z ไม่สัมพันธ์กับค่าสีและความสว่างของสี (วิษฐิดา จันทราพรชัย, 2550, 375)

ส่วนการวัดค่าสีด้วยระบบ hunter lab เป็นระบบพัฒนาขึ้นโดย E.Q. Adams และ R.S. Hunter เมื่อปี 1948 โดยใช้ทฤษฎีสีตรงกันข้าม (opponent color theory) โดยแปลงค่าสีในระบบ CIE XYZ เป็นค่า L, a, b ซึ่งกำหนดให้ L คือค่าความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) ส่วนค่า +a คือค่าความเป็นสีแดง (redness) และ –a คือค่าความเป็นสีเขียว (กรัมreenness) และค่า + b คือค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness) และค่า -b คือค่าความเป็นสีน้ำเงิน (blueness) ระบบ hunter lab จัดเป็นระบบที่วัดค่าสีเป็นตัวเลขและใช้เครื่องมือวัด ทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

แต่ความสม่ำเสมอของการเพิ่มค่าสียังไม่สม่ำเสมอทั้งระบบ ค่าที่อธิบายจึงไม่ใช่ค่าเดียวกับค่าสี ความสว่าง และความเข้มของสีที่รับรู้กันโดยทั่วไป (วิษฐิดา จันทราพรชัย, 2550, 377)

การวัดค่าสีด้วยระบบ CIE L*a*b* (CIELAB) เป็นระบบวัดค่าสีที่ CIE ได้พัฒนาขึ้นและเริ่มใช้ในปี ค.ศ. 1976 เพื่อปรับปรุงค่าสีในทรงกลมสี (color space) ให้มีความสม่ำเสมอมากกว่าในระบบ hunter lab โดยกำหนดค่าการผสมสีใน 3 มิติเป็นค่า L*, a*, b* ในทรงกลมสี ซึ่งกำหนดให้แกน L* คือ ค่าความความสว่าง (value, lightness) ของสี หรือความอ่อนแก่ของสี มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีสว่างที่สุดหรือสีขาว) ค่าที่ทำให้มองเห็นเนื้อสีเด่นชัดจะเป็นค่ากลางๆ ประมาณ 50 – 60 ถ้าต่ำกว่านี้เนื้อสีจะค่อนข้างไปทางสีดำมืด แต่ถ้าสูงกว่านี้เนื้อสีจะค่อนข้างสว่างหรือจางลง แกน a* คือ ค่าความเป็นสีแดง (redness) และความเป็นสีเขียว (greenness) โดยค่า a* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีแดง และถ้า a* เป็นลบจะ แสดงความเป็นสีเขียว ซึ่ง a* มีค่าอยู่ระหว่าง -60 ถึง +60 ส่วนแกน b* คือค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness) และความเป็นสีน้ำเงิน (blueness) โดยค่า b* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีเหลือง ส่วน b* เป็นลบจะแสดงความเป็นสีน้ำเงิน และ b* มีค่าอยู่ระหว่าง -60 ถึง +60 (เฉลิมชัย ประเวศตระกูลชัย, 2553) แต่อย่างไรก็ตามความสม่ำเสมอของค่าสีที่ได้จากระบบนี้ยังไม่สมบูรณ์ทั้งระบบ และค่าที่อธิบายไม่ใช่ค่าเดียวกับค่าสี ความสว่าง และความเข้มของสีที่รับรู้กันโดยทั่วไป (วิษฐิดา จันทราพรชัย, 2550, 380)

การวิเคราะห์ค่าสีของวัตถุจึงเป็นการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี colorimeter ที่กำหนดแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน ค่าผู้สังเกตการณ์ ระบบการวัดค่าสีตามความต้องการของผู้วัด

รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสีของอาหาร ได้แก่

รายงานวิจัยเรื่องดัชนีค่าระดับสีเพื่อการคัดเลือกข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วง พบว่าการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วง สารสีม่วงของเยื่อหุ้มเมล็ดมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารแอนโทไซยานิน การวัดค่าสีและการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินมีหลายวิธี บางวิธีมีความยุ่งยาก ใช้เวลานาน และมีค่าใช้จ่ายสูง จึงเลือกศึกษาการวัดค่าสีเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวัดค่า L*, a* และ b* ด้วยเครื่อง Tri-Stimulus colorimeter ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวกและรวดเร็ว แต่ค่าที่วัดได้ไม่สามารถประเมินได้โดยตรง เนื่องจากค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันและใช้จำแนกสีที่มีความแตกต่างกันมากๆ ได้ดี ส่วนการประเมินด้วยสายตา โดยการเทียบสีกับ ระบบ Munsell นำค่า L*, a* และ b* ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณในดัชนีสีสูตรต่างๆ ได้แก่ h°, C, a*/b*, (1000×a*)/(L*×b*), (2000×a*)/(L*×C), (180-h°)/(L*×C) และ (180-h°)/(L*+C) พบว่าดัชนีสูตรที่สามารถจำแนกสีของเมล็ดข้าวได้ดีและมีความสัมพันธ์กับสีของเมล็ดข้าวสูงสุดคือ (2000×a*)/(L*×C) (ไพบูรณ์ เปรียบยิ่ง และวิลาวรรณ ศิรีพูนวิวัฒน์, 2554, 1-9)

รายงานการศึกษาใบของบัวสายสกุล Nymphaea,L พบสารฟลาโวนอยด์ ไกลโคไซด์ (Fossen & Andersen, 1999) แอนโทไซยานิน (Fossen & Andersen, 1997) และแทนนิน เจอรานีอิน (tannin geranniin) (Kurihara et al., 1993) ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบของวิตามินซีที่อยู่ในรูปของสารธรรมชาติ พบในพืชผักและผลไม้ต่างๆ เช่น ผลไม้ที่มีสีเหลือง สีส้ม สีแดง ส่วนแอนโทไซยานินเป็นสารสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของคลอโรพลาสต์ พบในใบไม้ที่มีสีเขียว และสารแทนนินมีฤทธิ์เป็นยาฝาดสมาน สามารถบรรเทาอาการท้องร่วงและห้ามเลือดได้ ช่วยสมานแผลและบรรเทาอาการเจ็บคอ นอกจากนี้ยังช่วยระงับกลิ่นปากและรักษาแผลเรื้อรัง เช่น น้ำกัดเท้า และผื่นคันจากผิวหนังที่ถูกใบไม้คันได้ด้วย ในเนื้อเยื่อพืชจะเป็นแหล่งสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเฉพาะสีแดง สีม่วง สีน้ำเงิน และสีดำ ซึ่งสีเหล่านี้อุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานินที่มีประโยชน์ต่อสายตาช่วยในการมองเห็น และมีส่วนออกฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระ ลดปริมาณคอเลสเตอรอล ต่อต้านการเกิดโรคมะเร็ง (กนกพร สมไพลิน, 2545, 23) ช่วยลดการเกิดโรคหัวใจ และช่วยป้องกันจุลินทรีย์เข้าทำลายพืชเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียด (Lo & Nicholson, 1998)

2. ขนาด (sizes)

ขนาดและรูปร่างของอาหารเป็นสิ่งที่มองเห็นได้ชัดเจน ซึ่งช่วยให้ผู้ผลิตกำหนดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมและส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ซื้อในการเลือกซื้ออาหารนั้นๆ ขนาดของอาหารใช้ในการจัดระดับชั้น (กรัมradinกรัม) ของอาหาร ซึ่งการจัดระดับชั้นอาจใช้คนหรือเครื่องจักร ในการวัดขนาดมักจะใช้วิธีการวัดปริมาตรและ/หรือการชั่งน้ำหนัก

การวัดขนาดโดยการวัดปริมาตร สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวัดเนื้อที่วัตถุโดยการแทนที่น้ำ โดยนำวัตถุใส่ลงในน้ำที่กำหนดปริมาตรแล้ววัดปริมาตรของน้ำที่เพิ่มขึ้น แต่วิธีการที่นิยมใช้ในทางการค้า คือ ใช้จำนวนหน่วยต่อหน่วยภาชนะบรรจุ เช่น ส้ม 1 ลังมีจำนวน 100 ผล มะม่วง 1 ลังมีเท่ากับ 60 ผล เป็นต้น หรือวัดปริมาตรรวมต่อวัตถุ หรือปริมาตรเฉลี่ยต่อวัตถุ ซึ่งนิยมใช้กับวัตถุที่มีขนาดเล็ก เช่น ถั่ว 100 เมล็ด เมื่อใส่ในกระบอกตวงที่มีน้ำ 200 มิลลิลิตร จะมีระดับน้ำสูงขึ้นเป็น 400 มิลลิลิตร แสดงว่าถั่ว 100 เมล็ด มีปริมาตร 200 มิลลิลิตร ดังนั้นถั่ว 1 เมล็ด จึงมีปริมาตรเท่ากับ 2 มิลลิลิตร เป็นต้น

การวัดขนาดโดยการชั่งน้ำหนัก ทำได้โดยวิธีการชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบแต่ละผล หรือให้วัตถุดิบผ่านสายพานหรือตะแกรงที่มีตาชั่ง เช่น การจัดระดับชั้นของไข่ไก่ เป็นต้น หรือวัดเป็นน้ำหนักทั้งหมด (total weiกรัมht) หรือน้ำหนักเฉลี่ยหรือน้ำหนักต่อหน่วย เช่น ข้าวเปลือก 1 เกวียน หนัก 1,000 กิโลกรัม ข้าวสาร 1 กระสอบ หนัก 100 กิโลกรัม และ ข้าว 1 ถัง หนัก 15 กิโลกรัม เป็นต้น หรือวัดเป็นน้ำหนักเนื้ออาหาร หรือวัดค่าน้ำหนักสุทธิ (ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และวันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2536, 27-28)

ในการวัดขนาดเมล็ดพืชสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องวัดขนาด เรียกว่า ตะแกรงร่อนให้เมล็ดลอด (slot sieve) โดยนำเมล็ดพืชใส่ตะแกรงแล้วเขย่า ซึ่งเครื่องจะบอกจำนวนเมล็ดที่ลอดผ่านตะแกรง หรือวัดโดยการชั่งน้ำหนักเมล็ด (กรัมrain weight) จำนวน 100 กรัม ร่อนด้วยตะแกรง แล้วคำนวณหาน้ำหนักของเมล็ดที่ลอดได้ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2533, 145)

3. การพองตัว (swelling)

ตามปกติผลผลิตทางการเกษตรมักจะมีความชื้นสูง ทำให้เก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน การลดความชื้นที่เหมาะสมจะช่วยทำให้เมล็ดมีคุณภาพดีและเก็บรักษาเมล็ดไว้ได้นานขึ้น (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540, 1) โดยเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมอบแห้งเมล็ดพืชด้วยแสงอาทิตย์และพลังงานแสงอาทิตย์ (sun and solar drying) หรือใช้เครื่องอบที่อุณหภูมิที่เหมาะสมกับชนิดของพืชและการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน เช่น ข้าวเจ้าเป็นเมล็ดพืชมีความชื้นขณะเก็บเกี่ยวสูงหรือค่อนข้างสูง การลดความชื้นโดยการอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส นอกจากจะช่วยลดความเสียหายจากการเกิดรอยร้าวหรือแตกหักภายในเมล็ดแล้วยังสามารถลดการเกิดสีน้ำตาล (browningreaction) ได้ อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงขึ้น เมล็ดพืชแห้งจะดูดคืนน้ำกลับเข้าไปใหม่ได้ (วิไล รังสาดทอง, 2543, 241)

การดูดคืนน้ำของอาหาร หมายถึง ความสามารถในการอุ้มน้ำ เพื่อเข้าสู่สภาพเดิมก่อนการทำแห้ง ทำให้เกิดการพองตัวของอาหารแห้ง แต่ไม่เป็นการย้อนกลับของอาหารแห้ง เพราะโครงสร้างและองค์ประกอบของสารเปลี่ยนแปลงสภาพไปแล้ว จึงไม่เกิดการคืนรูป การเปลี่ยนแปลงความชื้นของอาหารในระหว่างการทำแห้ง ทำให้ส่วนต่างๆ ภายในอาหารเกิดความเครียดมีการอัดและการเปลี่ยนรูปเซลล์ ทำให้ค่อนข้างแข็งและเหี่ยวย่น ดังนั้นเมื่ออาหารแห้งดูดคืนความชื้นกลับอีกครั้งอย่างช้าๆ จะทำให้เนื้อสัมผัสไม่แน่นเหมือนอาหารเดิม เพราะความร้อนได้ลดระดับการดูดคืนน้ำของแป้ง ลดความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ และทำให้โปรตีนจับตัวกัน จึงลดความสามารถในการอุ้มน้ำ อัตราเร็วและระดับการดูดคืนน้ำใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ (วิไล รังสาดทอง, 2543, 241-245)

รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพองตัวของอาหาร ได้แก่

รายงานการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการพองตัวของแป้งจากธัญพืชชนิดต่างๆ (Harris & Jesperson, 1946) จำนวน 3 ปัจจัยคือ ชนิดของธัญพืช การเตรียมแป้ง และการอบแห้งด้วยตู้อบไฟฟ้า (electric oven) พบว่าการพองตัวของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของธัญพืช และการอบแห้งแป้งจากธัญพืชต่างๆ ได้แก่ แป้งข้าวสาลี แป้งข้าวบาร์เลย์ แป้งข้าวไรย์ แป้งข้าวฟ่าง แป้งลูกเดือย และแป้งข้าวโพดเพื่อการค้า แป้งที่เตรียมจากน้ำเกลือ (NaCl) 0.5% ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมีผลต่อการพองตัวเพิ่มขึ้นมาก แต่ไม่มีผลต่อการพองตัวของแป้งที่เตรียมจากน้ำ

รายงานการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าว (Hoke, et al., 2005) ซึ่งนำข้าวไปให้ความร้อนด้วยน้ำ (hydro-heated) ที่อุณหภูมิในช่วง 60-80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาข้ามคืน ทำแห้งแล้วคั่วข้าวแห้งให้เกิดการพองตัวด้วยทรายที่มีอุณหภูมิ 240-250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 วินาที แล้วหาอัตราส่วนขยายตัว โดยการวัดปริมาตรกลุ่ม (bulk volume) ของข้าวที่ผ่านความร้อนเบื้องต้นก่อนการพองตัวและหลังการพองตัว ด้วยกระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร และ 200 มิลลิลิตร พบว่าการแช่ข้าวที่อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้ข้าวดูดซึมน้ำน้อยเกินไป ซึ่งมีผลให้ข้าวมีการขยายตัวลดลง และการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยไม่เพิ่มความร้อนในระหว่างการแช่อีก ข้าวจะมีการพองตัวได้มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าสายพันธุ์ข้าวชนิดต่างๆ ที่ผ่านการทำให้พองตัวด้วยวิธีเดียวกันนี้ จะมีผลต่อการพองตัวแตกต่างกัน และค่าอัตราส่วนการขยายตัวของข้าวมีความสัมพันธ์กับปริมาณ อะไมโลสในสายพันธุ์ข้าว ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงระหว่าง 23.95-31.55 % จะมีอัตราส่วนการขยายตัวค่อนข้างสูง (7-10) เท่า และยังพบว่าปริมาณโปรตีนที่มากจะมีผลยับยั้งการพองตัว

รายงานวิจัยที่พบว่าการพองตัวของแป้งในข้าวเจ้าถูกควบคุมโดยยีนบนโครโมโซมคู่ที่ 6 (Wx กรัมene) และอัตราการพองตัวจะขึ้นอยู่กับพันธะทางเคมีของเม็ดแป้ง (Bao et al., 2004)

รายงานการวิจัยที่พบว่าการพองของแป้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช สายพันธุ์ และปริมาณของอะไมโลส การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 92.5 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็วจะทำให้ข้าวสาลี ข้าวเจ้า และแป้งบะหมี่ มีการพองตัวได้อย่างมีคุณภาพดีและเหมาะต่อการบริโภค (Tian et al., 1991)

รายงานการวิจัยที่พบว่าเวลาที่ใช้ในการลวกมีผลต่อการพองตัวของกล้วยน้ำว้า โดยกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จะทำให้กล้วยน้ำว้ามีอัตราการพองตัวสูงกว่ากล้วยน้ำว้าที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 1 และ 3 นาที (ชมณี ยืนยงพุทธกาล และพรนภา น้อยพันธ์, 2553)

คุณค่าทางอาหาร (nutritional value)

มีนักวิชาการหลายท่านที่ได้ให้ความหมายของคุณค่าทางอาหาร ตัวอย่างเช่น คุณค่าทางอาหาร หมายถึงอาหารสมส่วน (balanced diet) ซึ่งต้องมีสารอาหารที่ร่างกายต้องการครบทุกชนิดและมีปริมาณมากพอเพียงกับความต้องการของร่างกาย (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 3) หรือคุณค่าทางอาหารเป็นองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร เรียกว่าสารอาหาร สารอาหารแบ่งออกได้ 6 ประเภท ได้แก่ น้ำ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุ สารอาหารเหล่านี้มีประโยชน์ต่อร่างกายทั้งการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ (รังสินี โสธรวิทย์, 2551, 2) หรือคุณค่าทางอาหาร หมายถึงสิ่งสำคัญที่ใช้บ่งบอกคุณภาพของอาหาร สามารถวัดได้จากองค์ประกอบทางเคมี

ของอาหาร ซึ่งเรียกว่า สารอาหาร ได้แก่ น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ ซึ่งต้องได้รับสารอาหารครบทุกประเภทตามสัดส่วน และมีปริมาณที่พอเหมาะต่อร่างกาย (วิไล รังสาดทอง, 2543, 241)

อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า คุณค่าทางอาหารเป็นการวัดเพื่อบอกปริมาณของสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของอาหารนั้นๆ ซึ่งได้แก่ปริมาณของสารอาหารจำพวก น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ

1. ความหมายของอาหาร (food)

นักวิชาการหลายท่านได้ให้ความหมายของอาหารดังนี้ อาหาร หมายถึงสิ่งใดๆ ก็ตามที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกายแล้วก่อให้เกิดประโยชน์ ช่วยทำให้ร่างกายเจริญเติบโต ซ่อมแซมเนื้อเยื่อของร่างกาย และทำให้อวัยวะต่างๆ ทำงานได้ตามปกติ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 1) หรืออาหาร คือสิ่งใดก็ตามที่รับเข้าสู่ร่างกาย ไม่ว่าจะดื่ม กิน หรือฉีด ฯลฯ แล้วเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และอาหารนั้นอาจให้สารอาหารอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 1) หรืออาหารเป็นวัตถุดิบที่สิ่งมีชีวิตรับเข้าสู่ร่างกาย แล้วทำให้สิ่งมีชีวิตนั้นเจริญเติบโต ให้พลังงานแก่ร่างกาย และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ อาหารของมนุษย์ประกอบด้วยพืชและสัตว์ โดยวัตถุดิบนั้นเมื่อถูกย่อยแล้วจะให้สารเคมีและพลังงานที่ร่างกายต้องการ (อัคกะบัทคาน ปาทาน, 2542, 1) หรือความหมายของอาหารตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ที่ว่าอาหารคือของกินหรือเครื่องค้ำจุนชีวิต ซึ่งหมายถึงวัตถุทุกชนิดที่คนกิน ดื่ม อม หรือนำเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าด้วยวิธีใด หรือในรูปลักษณะใด แต่ไม่รวมถึงยา สารเสพติด และวัตถุออกฤทธิ์ต่อจิตและประสาท (ลาวัลย์ เบญจศีล, 2542, 1; ศิริวรรณ สุทธิจิตต์, 2550, 23) หรืออาหารเป็นสิ่งที่คนเราบริโภคเพื่อแก้หิว ช่วยรักษาชีวิตและการเจริญเติบโต ให้พลังงาน สร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ (อรอนงค์ วินัยกุลและคณะ, 2547, 17)

สรุปได้ว่าอาหารเป็นสิ่งที่เมื่อรับเข้าสู่ร่างกายแล้วทำให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ทั้งการเจริญเติบโต สร้าง ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ และทำให้อวัยวะต่างๆ ทำงานได้ตามปกติ ทั้งนี้อาหารได้จากทั้งพืชและสัตว์ ซึ่งประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ

2. ความหมายของสารอาหาร (nutrients)

นักวิชาการได้ให้ความหมายของสารอาหารและจำแนกประเภทของสารอาหารแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่จำแนกสารอาหารออกเป็น 5 ประเภทและกลุ่มที่จำแนกสารอาหารออกเป็น 6 ประเภท โดยกลุ่มที่จำแนกสารอาหารออกเป็น 5 ประเภท มีดังนี้ สารอาหารเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สารอาหารที่ร่างกายต้องการแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ

และวิตามิน โดยทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะเป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการในปริมาณมากและให้พลังงาน เรียกว่า macronutrients หรือ fuel nutrient ส่วนแร่ธาตุและวิตามิน เป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการน้อยแต่ขาดไม่ได้และไม่ให้พลังงาน เรียกว่า micronutrient (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 11) หรือสารอาหารเป็นโมเลกุลของสารเคมีที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต แบ่งสารอาหารออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน ร่างกายได้รับสารอาหารจากสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างความเจริญเติบโตและช่วยให้ระบบของร่างกายสามารถทำงานได้ตามปกติ สารอาหารต่างๆ มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบแตกต่างกัน นอกจากนี้ในอาหารยังมีน้ำซึ่งเป็นสารเคมีอีกชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญเช่นเดียวกับสารอาหารส่วน (อัคกะบัทคาน ปาทาน, 2542, 2) หรือสารอาหารเป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักในอาหาร และแบ่งสารอาหารเป็น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และน้ำแต่ได้แยกวิตามิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญออกจากสารอาหาร (อรอนงค์ วินัยกุล และคณะ, 2547, 17)

ส่วนกลุ่มที่จำแนกสารอาหารออกได้ 6 ประเภท มีดังนี้ สารอาหารเป็นส่วนประกอบในอาหารที่มีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ ช่วยให้ร่างกายทำหน้าที่ต่างๆ ได้เป็นปกติ สารอาหารได้จากอาหารชนิดต่างๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร สารอาหารแบ่งออกเป็น 6 ประเภทคือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 42) หรือสารอาหารเป็นสารเคมีที่มีอยู่ในอาหาร แบ่งออกเป็น 6 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำ ซึ่งสารอาหารแต่ละประเภททำหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 1) หรือสารอาหารเป็นสารประกอบทางเคมีในอาหาร อาหารทุกชนิดไม่ว่าจะมาจากพืชหรือสัตว์ล้วนมีส่วนประกอบหลักเป็นสารประกอบทางเคมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอาหารแบ่งออกเป็น 6 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำ ซึ่งสารอาหารเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นต่อร่างกายและได้รับจากการบริโภคอาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, คำนำ)

สรุปได้ว่าสารอาหาร หมายถึง สารเคมีต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอาหารเป็นสิ่งจำเป็นและมีประโยชน์ต่อร่างกาย อาจจำแนกได้เป็น 5 หรือ 6 ประเภท ในกลุ่มที่จำแนกเป็น 6 ประเภท จะจำแนกเป็น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำ

สารอาหารแต่ละประเภทก็มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต และมีบทบาทหน้าที่ในร่างกายแตกต่างกันดังนี้

1) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

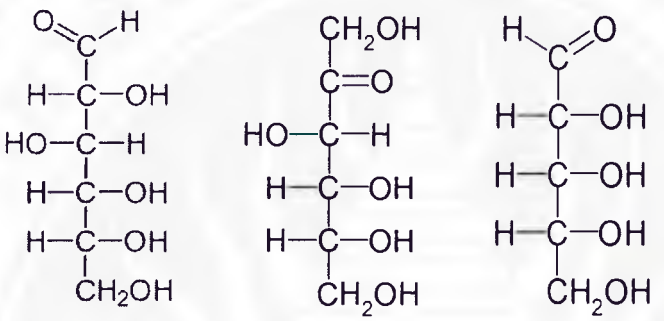
คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารที่สำคัญ เพราะเป็นแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ของร่างกาย โดยคาร์โบไฮเดรตเกิดจากการรวมตัวหรือการดัดแปลงของสารประกอบพอลิไฮดรอกซีอัลดีไฮด์ (polyhydroxy aldehydes) หรือพอลิไฮดรอกซีคีโทน (polyhydroxy ketones) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 138) หรือคาร์โบไฮเดรต หมายถึง สารใดก็ตามที่เมื่อเกิดการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) แล้วได้สารประกอบสองชนิดดังกล่าว (อรอนงค์ วินัยกุล และคณะ, 2549, 22) โดยแหล่งคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่จะได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 47; Potter, 1995, 27) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้

$$6CO_2 + 12\,H_2O \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลล์}]{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6\,H_2O$$

จากสมการเคมีข้างต้นนี้จะเห็นได้ว่าพืชสังเคราะห์แสง โดยคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ทำหน้าที่รับพลังงานแสงและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ได้จากอากาศและน้ำ (H_2O) ซึ่งรากดูดซึมขึ้นมาจากดิน สังเคราะห์เป็นน้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) ก๊าซออกซิเจน (O_2) และน้ำ ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาล ซึ่งสามารถจำแนกตามขนาดของโมเลกุลได้ 3 ประเภทดังนี้ (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 20; ศิริวรรณ สุทธจิตต์, 2550, 61)

(1) น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide หรือ simple sugar) เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทน้ำตาลที่โมเลกุลมีขนาดเล็กที่สุดและถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ทันที (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 11) มีสูตรทางเคมีคือ $(CH_2O)_n$ โดย n มีค่าตั้งแต่ 3-6 (สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 18) กรณีที่น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมีโครงสร้างทางเคมีเป็นพอลิไฮดรอกซีอัลดีไฮด์ และมีหมู่อัลดีไฮด์ (-CHO) เป็น functional group จะเรียกว่าน้ำตาลอัลโดส (aldose) ส่วนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพอลิไฮดรอกซีคีโทน และมีหมู่คีโทน (C=O) เป็น functional group จะเรียกว่าน้ำตาลคีโทส (ketose) ดังแสดงในภาพที่ 17 (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 65; Toole and Toole, 1999, 12) น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทุกชนิดเป็นน้ำตาลรีดิวส์ (Potter, 1995, 27) การจำแนกชนิดและเรียกชื่อน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจะจำแนกและเรียกชื่อตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุล โดยชื่อน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวกลุ่มอัลโดสจะลงท้ายด้วย “ose” เสมอ ถ้ามีหมู่คีโทนอยู่ให้เติม “ul” นำหน้าคำว่า

"ose" เช่น น้ำตาลอัลโดสที่มีคาร์บอนอะตอม 3 อะตอม เรียกว่า ไตรโอส ส่วนถ้าเป็นคาร์บอนอะตอม 3 อะตอมของน้ำตาลคีโทส เรียกว่า ไตรอูโลส เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1 (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 138)



กลูโคส
น้ำตาลอัลโดส

ฟรักโทส
น้ำตาลคีโทส

ไรโบส
น้ำตาลอัลโดส

ภาพที่ 17 โครงสร้างของน้ำตาลอัลโดสและน้ำตาลคีโทส
ที่มา: (http://thaprinกรัม.com, 24 ก.พ.2553)

ตารางที่ 1 การจำแนกชนิดและเรียกชื่อโมโนแซกคาไรด์

จำนวนอะตอมของคาร์บอนใน โมเลกุลของน้ำตาล	ชนิดของหมู่คาร์บอนิล	
	อัลโดส	คีโทส
3	ไตรโอส (triose)	ไตรอูโลส (triulose)
4	เตตโทรส (tetrose)	เตตรูโลส (tetrulose)
5	เพนโทส (pentose)	เพนทูโลส (pentulose)
6	เฮกโซส (hexose)	เฮกซูโลส (hexulose)
7	เฮพโทส (heptose)	เฮพทูโลส (heptulose)
8	ออกโทส (octose)	ออกทูโลส (octulose)
9	โนโนส (nonose)	โนนูโลส (nonulose)

ที่มา: (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 140; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 22)

ตัวอย่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิต และที่พบมากในอาหาร ได้แก่ น้ำตาลเพนโทส และน้ำตาลเฮกโซส เช่น ไรโบส กลูโคส ฟรักโทส และกาแลคโทส เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ไรโบส (rbose) เป็นน้ำตาลเพนโทสชนิดหนึ่งซึ่งมีคาร์บอน 5 อะตอม พบเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ได้แก่ ไรโบนิวคลีอิกหรืออาร์เอ็นเอ (ribonucleic acid, RNA) และกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิกหรือดีเอ็นเอ (deoxyribonucleic acid, DNA) นอกจากนี้ไรโบสยังพบเป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์ (coenzyme) และโมเลกุลของวิตามินบี 2 (riboflavin) (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 71; วรรณา ตุลยธัญ, 2549, 16) ส่วนใหญ่ไรโบส จะเป็นองค์ประกอบของน้ำตาลหลายโมเลกุล ไรโบสให้พลังงานแก่ร่างกายได้น้อย พบในเปลือกของผลไม้ เช่น เปลือกข้าวโพด แกลบ และรำข้าว เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 141)

กลูโคส (glucose) หรือเดกซ์โทรส (dextrose) เป็นน้ำตาลเฮกโซสชนิดหนึ่งที่มีคาร์บอน 6 อะตอม กลูโคสจัดเป็นน้ำตาลอิสระที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ พบทั้งในพืชและสัตว์ (วรรณา ตุลยธัญ, 2549, 16) กลูโคสสามารถเชื่อมต่อกับโมเลกุลอื่น ทำให้ได้คาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นๆ อีกหลายชนิด กลูโคสมีรสหวาน เป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย เมื่อรับประทานคาร์โบไฮเดรตทุกชนิดเข้าสู่ร่างกายแล้วต้องเปลี่ยนเป็นกลูโคสก่อนจึงจะดูดซึมไปใช้ได้ โดยพบกลูโคสในกระแสเลือดมนุษย์ประมาณร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัว (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 75) มนุษย์ต้องมีน้ำตาลในเลือดตลอดเวลาเพื่อให้ร่างกายทำงานได้ตามปกติ โดยเฉพาะสมองต้องใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียวและต้องได้รับกลูโคสจากเลือดตลอดเวลา (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 47) ถ้าลดออกซิเจนของกลูโคสลงจะได้น้ำตาลแอลกอฮอล์เรียกว่า ซอร์บิทอล (sorbitol) ซึ่งเป็นอัลดีไฮด์ที่มีรสหวานใช้แทนน้ำตาลและใช้เตรียมวิตามินซี กลูโคสพบได้ในผลไม้ตระกูลเบอร์รี (berry) และองุ่น (grape) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 142; Drummond, 2007, 98) กลูโคสถูกนำไปใช้ในการผลิตน้ำผลไม้ ลูกอม และลูกกวาด เป็นต้น (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 71)

ฟรักโทส (fructose หรือ fruit sugar) เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมีคาร์บอน 6 อะตอมอีกชนิดหนึ่ง มักพบอยู่ร่วมกับกลูโคสในน้ำผลไม้และน้ำผึ้ง นอกจากนี้ยังพบฟรักโทสในผลไม้ที่มีรสหวาน เช่น ผลไม้สุก ธัญพืช ผัก มันเทศ มันฝรั่ง และหัวผักกาด เป็นต้น (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 72; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 143) ฟรักโทสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีความหวานมากที่สุด (Potter, 1995, 27) โดยฟรักโทสที่ได้จากการย่อยน้ำตาลทรายหรือซูโครส และพอลิแซคคาไรด์อินนูลิน (innulin) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พืชสำรองไว้ที่ราก

(roots) และหัว (tubers) (วรรณา ตุลยธัญ, 2549, 17) โดยจะมีความหวานมากกว่าซูโครสสองเท่า (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 75)

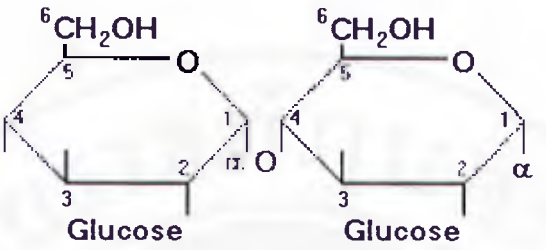
กาแลกโทส (galactose) เป็นน้ำตาลเฮกโซสที่มีคาร์บอน 6 อะตอมอีกชนิดหนึ่ง น้ำตาลชนิดนี้จะไม่พบที่เป็นอิสระในธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ โดยกาแลกโทสได้จากการไฮโดรไลซ์แลกโทสแล้วได้กาแลกโทสและกลูโคส กาแลกโทสเป็นองค์ประกอบสำคัญในน้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 72; กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 75; สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 19; วรรณา ตุลยธัญ, 2549, 17) รวมทั้งเป็นองค์ประกอบของกาแลคโทลิพิดที่เนื้อเยื่อสมอง และ myelin sheath ของเซลล์ประสาท (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 143)

(2) โอลิโกแซกคาไรด์ (oligosaccharides)

โอลิโกแซกคาไรด์ เป็นน้ำตาลที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตั้งแต่ 2-10 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) น้ำตาลสามโมเลกุล (trisaccharide) และน้ำตาลสี่โมเลกุล (tetrasaccharide) เป็นต้น (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 26) โอลิโกแซกคาไรด์ที่สำคัญ ได้แก่

(2.1) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) เป็นน้ำตาลที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุลรวมกัน ซึ่งอาจเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 75) สูตรทั่วไปของน้ำตาลโมเลกุลคู่คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 73; สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 19) เมื่อย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ด้วยกรดหรือเอนไซม์จะแยกตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุล น้ำตาลโมเลกุลคู่มีรสหวาน ละลายน้ำได้ รวมทั้งตกผลึกและย่อยได้ง่าย (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 21; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 48) น้ำตาลโมเลกุลคู่ชนิดที่สำคัญ เช่น

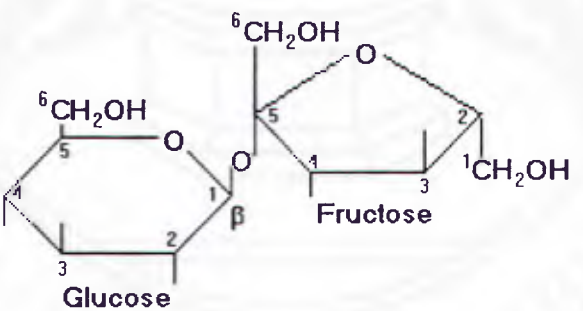
- **น้ำตาลมอลโทส** (maltose หรือ malt) เป็นน้ำตาลที่ประกอบด้วยกลูโคส จำนวน 2 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glucosidic bond) ชนิด α , 1 $\rightarrow$ 4 โดยกลูโคสทางซ้ายเกิดพันธะไกลโคซิดิกกับหมู่อะโนเมอริกคาร์บอน (anomeric carbon) และทางขวามือเป็นหมู่อัลดีไฮด์อิสระ จึงสามารถเกิดออกซิไดส์ได้ (oxidize) (ภาพที่ 18) (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 77; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 26) โดยมอลโทสเป็นน้ำตาลที่ไม่เกิดอย่างอิสระในธรรมชาติ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 49) แต่ได้จากการไฮโดรไลซ์แป้ง และไกลโคเจนด้วยเอนไซม์ β - อะไมเลส (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 147) มอลโทสมีสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (reduce) ละลายน้ำได้ดี และเกิดกระบวนการหมักได้ แหล่งที่พบมอลโทส ได้แก่ เมล็ดธัญพืชที่กำลังงอก เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวมอลต์ และน้ำเชื่อมข้าวโพด (corn syrup) เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 147; วรรณา ตุลยธัญ, 2549, 35; Lee, 1996, 11)



ภาพที่ 18 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลมอลโทส

ที่มา: www.rpi.edu/dept/chem-enกรัม/Biotech Environ/FUNDAMNT/suกรัมpoly.htm

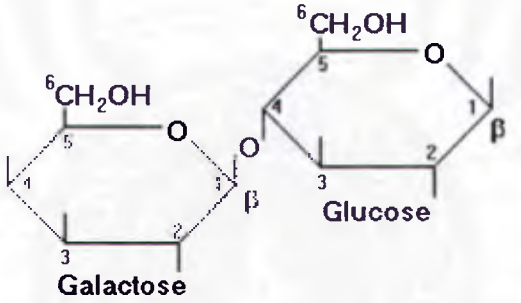
- **น้ำตาลซูโครส** (sucrose หรือ saccharose) ประกอบด้วยกลูโคสและฟรักโทส ต่อเชื่อมด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด→ 2 ดังแสดงในภาพที่ 19 (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 27) ทำให้ไม่มีหมู่แอลดีไฮด์และหมู่คีโตนอิสระ ซึ่งเป็น functional group เหลืออยู่ในโมเลกุลซูโครสจึงไม่เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (non reducing sugar) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 147; Potter, 1995, 27) ซูโครสละลายน้ำและตกผลึกได้ พบในพืชทั่วไป เช่น อ้อยและบีท (beets) ซึ่งทั้งอ้อยและบีทใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทราย น้ำตาลซูโครสที่ถูกสลายด้วยน้ำ หรือไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเจือจางหรือย่อยด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) จะได้กลูโคสและฟรักโทสผสมกันเรียกว่า น้ำตาลอินเวิร์ท (invert sugar) น้ำตาลชนิดนี้มีความหวานมากกว่าซูโครส จึงใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตลูกกวาด น้ำผึ้ง ขนมหวาน และแยม (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 72; วรรณา ตุลยธัญ, 2549, 33; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 147; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 28)



ภาพที่ 19 โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครส

ที่มา: www.rpi.edu/dept/chem-enกรัม/Biotech-Environ/FUNDAMNT/suกรัมpoly.htm

- **น้ำตาลแลกโทส** (lactose หรือ milk sugar) ประกอบด้วยกลูโคส และกาแลกโทส ต่อเชื่อมด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด β,⇾ 4 ดังแสดงในภาพที่ 20 เนื่องจากแลกโทสมีอัลดีไฮด์อิสระ จึงเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 27) เมื่อแลกโทสถูกย่อยด้วยเอนไซม์แลกเทสที่เกาะอยู่กับเยื่อหุ้มเซลล์ (membranes) ของเซลล์เยื่อบุผนัง (epithelial cell) ส่วนที่เป็น brush border ในลำไส้เล็กจะได้น้ำตาลกลูโคสกับกาแลกโทส (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 144) น้ำตาลแลกโทส ช่วยกระตุ้นการดูดซับธาตุแคลเซียม พบแลกโทสในน้ำนมและผลิตภัณฑ์จากนมที่ไม่ผ่านการหมัก เช่น ไอศกรีม และผลิตภัณฑ์นมที่ผ่านการหมัก เช่น โยเกิร์ต (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 27) นิยมใช้แลกโทสผสมอาหารเด็กอ่อน ขนมปัง และใช้เป็นสารถนอมอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ ทำให้อาหารมีความหวานลดน้อยลง (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 73; กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 78)



ภาพที่ 20 โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลแลกโทส

ที่มา: www.rpi.edu/dept/chem-enกรัม/Biotech-Environ/FUNDAMNT/sunกรัมpoly.htm

(2.2) น้ำตาลสามโมเลกุล (trisaccharides) ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 โมเลกุลต่อเรียงกัน เช่น แรฟฟีโนส (raffinose) จะได้จากฟรักโทส กลูโคสและกาแลกโทส น้ำตาลสามโมเลกุลพบได้ในกากน้ำตาลอ้อย น้ำสกัดจากหัวบีท เมล็ดฝ้าย ถั่วเหลือง และถั่วลันเตา เป็นต้น (อรอนงค์ วินัยกุล และคณะ, 2549, 26; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 26)

(2.3) น้ำตาลสี่โมเลกุล (tetrasaccharides) ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 4 โมเลกุล เช่น สตาคิโอส (stachyose) ได้จากโมเลกุลของฟรักโทส กลูโคส และกาแลกโทส จำนวน 2 โมเลกุลต่อเรียงกัน จะพบสตาคิโอสได้ในเมล็ดถั่วต่างๆ ธัญพืช หัวบีท และหน่อไม้บางชนิด (วรรณา ตุลยธัญ, 2549, 36; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 151; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 26)

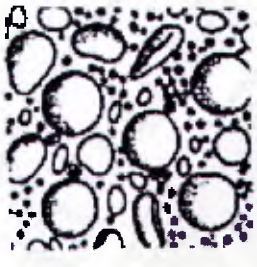
(2.4) น้ำตาลหลายโมเลกุล (polysaccharides)

น้ำตาลหลายโมเลกุลเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลมาก โดยน้ำตาลหลายโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตั้งแต่ 10 โมเลกุลขึ้นไปต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก เรียกว่าไกลแคน (glycan) (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 28) มีสูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 73) น้ำตาลหลายโมเลกุลมีรูปร่างไม่แน่นอน ไม่มีรสหวาน (สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 20) สกัดให้เป็นสารบริสุทธิ์ได้ยาก เมื่อละลายน้ำจะได้สารคอลลอยด์ (colloid) น้ำตาลหลายโมเลกุลที่พบมากในธรรมชาติ ได้แก่ แป้ง (starch) เซลลูโลส (cellulose) และอินูลิน (inulin) เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 153) โดยเฉพาะแป้งจะเป็นไกลแคนที่พบในพืชทุกชนิด นอกจากนี้พบแป้งสะสมในสัตว์ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำรองเรียกว่า ไกลโคเจน (glycogen) (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 79; Drummond, 2007, 108)

เมื่อพืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้กลูโคสและเก็บสะสมในรูปเม็ดแป้ง (starch granule) ที่มีหรือไม่มีเมมเบรนห่อหุ้มเรียกว่าอะไมโลพลาสต์ (amyloplast) ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของไกลแคน หากมีโมเลกุลเป็นเส้นตรงจะเรียกว่า อะไมโลส (amylose) แต่ถ้ามีโมเลกุลเป็นสาขาหรือโซ่ข้างจะเรียกว่าอะไมโลเพกติน (amylopectin) (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 74; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 29) เม็ดแป้งส่วนใหญ่มีอะไมโลส ร้อยละ 15–20 และอะไมโลเพกติน ร้อยละ 80–85 ซึ่งไกลแคนทั้งสองนี้จะเรียงตัวขนานกันและเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นกลุ่มก้อนเรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) อะไมโลสสามารถละลายได้ในน้ำอุ่น และเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนจะได้สารสีน้ำเงิน ส่วนอะไมโลเพกตินไม่ละลายน้ำ แต่จะเกิดเป็นสารแขวนลอย และทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนจะได้สารสีม่วงแดง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 154) เม็ดแป้งของพืชแต่ละชนิดมีลักษณะแตกต่างกันทั้งขนาด รูปร่าง และความสม่ำเสมอ รวมทั้งมีสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 29) ลักษณะและรูปร่างของเม็ดแป้งจากธัญพืชบางชนิดแสดงในภาพที่ 21

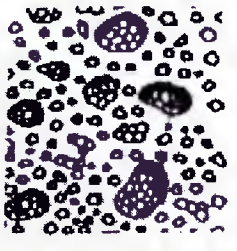
เม็ดแป้งส่วนใหญ่พบในเมล็ดพืช ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าว เป็นต้น แต่อาจพบเม็ดแป้งบางชนิดในหัวและรากพืชได้ เช่น มันเทศ มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และอื่นๆ (อรอนงค์ วินัยกุล, 2538, 9-54) แป้งจากธัญพืชสามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ถึง 12-14 % ในภาวะปกติ โดยทั่วไปแป้งไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อนำแป้งไปใส่ในน้ำเย็น น้ำจะซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัว (swell) และจมน้ำ ถ้าต้มแป้งในน้ำร้อน อะไมโลสจะละลายและดูดน้ำได้มาก ทำให้พองตัวได้มากด้วย บางส่วนของอะไมโลสแตกออกจนเห็นกระจายในน้ำ ทำให้น้ำแป้งมีความข้นหนืด (starch paste) เรียกว่าการทำให้เป็นเจลลาติน (gelatinization) สารละลายข้นหนืดนี้จะมีส่วนผสมของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน หากแป้งใดมีอะไมโลสมาก

จะทำให้ได้น้ำแป้งที่ข้นข้น แต่แป้งข้าวเหนียวมีอะไมโลเพกตินเพียงชนิดเดียว จึงมีความเหนียวข้นและใสมากกว่าแป้งข้าวเจ้า (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 76; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548, 158) เมื่อต้มอะไมโลสแล้วทิ้งไว้ให้เย็นจะจับตัวเป็นวุ้นและเป็นแผ่นแข็ง ส่วนอะไมโลเพกตินจะไม่จับตัวเป็นวุ้นและไม่เป็นแผ่นแข็ง (Beynum & Roels, 1985)



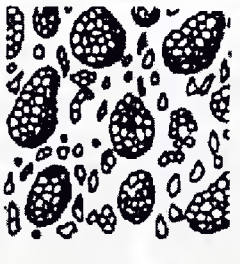
แป้งสาลี (Wheat starch)

แป้งข้าวโพด (Maize starch)



แป้งข้าวเจ้า (Rice starch)

แป้งข้าวบาร์เลย์ (Barley starch)



แป้งข้าวโอ๊ต (Oat starch)

แป้งข้าวไรย์ (Rye starch)

ภาพที่ 21 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดแป้งจากธัญพืชบางชนิด
ที่มา : (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 156)

น้ำตาลหลายโมเลกุล แบ่งตามชนิดของโมเลกุลได้เป็น 3 ประเภท (อรอนงค์ วินัยกุล และคณะ, 2549, 26) คือ โฮโมพอลิแซกคาไรด์ (homo polysaccharide) เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดเดียวกันต่อเรียงกัน หรือเมื่อย่อยสลายน้ำตาลหลายโมเลกุลแล้วได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพียงชนิดเดียว (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 79) เช่น แป้ง ไกลโคเจน เซลลูโลส และอินูลิน เป็นต้น ส่วนเฮเทอโรพอลิแซกคาไรด์ (hetero polysaccharide) เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 28) หรือเมื่อถูกย่อยสลายแล้วได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิดขึ้นไป เช่น เพกติน (pectin) กัม (gum) มิวซิเลจ (mucilage) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และสารประกอบคอนจูเกต (conjugated compounds) ซึ่งเป็นน้ำตาลหลายโมเลกุลที่รวมกับสารอื่น ตัวอย่างสารประกอบ

คอนจูเกต ได้แก่ ไกลโคลิพิด (glycolipid) และไกลโคโปรตีน (glycoprotein) เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 153)

เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส ประมาณ 300 - 3,000 หน่วย (ลักษณา อินทร์กลับ, 2543, 163; Toole & Toole, 1999, 17-20) ต่อเป็นสายยาวด้วยพันธะไกลโคซิดิกหลายๆ สาย ได้เป็นเส้นใย (micro fibrin) ซึ่งแต่ละสายจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของกลูโคส ทำให้เกิดโครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลสที่มีรูปร่างชัดเจน เรียกว่า ความเป็นผลึก (paracrystalline) (วรรณา ตุลยธัญ, 2549, 63) ซึ่งส่งผลให้เส้นใยมีความแข็งแรงมาก ถ้าโมเลกุลเส้นใยไม่มีความเป็นผลึกหรือมีรูปร่างไม่ชัดเจนจะเป็นเส้นใยที่สามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำและพองตัวออกได้ ทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่น พบเส้นใยเหล่านี้ได้ถึงร้อยละ 50 ในผนังเซลล์ของพืชทุกชนิด เส้นใยจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พืชมีทั้งความแข็งแรงและยืดหยุ่น เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและสารละลายด่าง รวมทั้งไม่ถูกย่อยสลายด้วยน้ำย่อยอะไมเลส (amylase) มีความคงทนต่อการถูกย่อยสลายด้วยกรดอ่อน แต่จะถูกย่อยสลายได้ด้วยกรดแก่เข้มข้น (ลักษณา อินทร์กลับ, 2543, 163) ถ้าเซลลูโลสถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์จะได้น้ำตาลกลูโคสเพียงอย่างเดียว และถ้าย่อยสลายไม่สมบูรณ์จะได้น้ำตาลโมเลกุลคู่กลุ่มเซลโลไบโอส (cellobiose) (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 80)

เยื่อใย (fiber) เป็นสารประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เพกติน และกัม อยู่รวมกันในอาหาร (ลักษณา อินทร์กลับ, 2543, 163) เยื่อใยเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งแต่ไม่ใช่สารอาหาร ไม่ถูกย่อย และไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด เยื่อใยแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ เยื่อใยที่ละลายน้ำได้และเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ โดยเยื่อใยชนิดที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ ลิกนิน เพกติน และกัม ซึ่งเยื่อใยเหล่านี้จะสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลได้ ซึ่งมีผลต่อการย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในทางเดินอาหาร โดยการจับกับน้ำแล้วทำให้เกิดเป็นวุ้นเหนียว (กรัมel) ส่งผลทำให้น้ำตาลถูกดูดซึมช้าลง ช่วยให้อาหารอยู่ในกระเพาะนานขึ้น และขัดขวางการทำงานของน้ำย่อยจากตับอ่อนที่ใช้ย่อยคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้เยื่อใยชนิดที่ละลายน้ำได้ยังช่วยทำให้มีความรู้สึกไวต่ออินซูลินได้ดีขึ้น เยื่อใยชนิดที่ละลายน้ำพบได้ในผัก ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต กล้วย ส้ม รำข้าว และถั่วเมล็ดแห้งชนิดต่างๆ (สิริพันธ์ จุลกรังคะ, 2542, 53) ส่วนเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำมี 2 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเยื่อใยชนิดนี้สามารถดูดน้ำในลำไส้เล็ก ทำให้อุจจาระพองตัว ช่วยในระบบขับถ่ายของคน นอกจากนี้ยังช่วยดูดจับคอเลสเตอรอล สารพิษต่างๆ และสารต้านอนุมูลอิสระได้ (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 80) พบเยื่อใยชนิดไม่ละลายน้ำในรำข้าว ธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสี (whole wheat) ถั่วเมล็ดแห้ง พืชตระกูลกะหล่ำ และผักประเภทหัว เช่น มันฝรั่ง แครอท และมันเทศ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 79-85; Drummond, 2007, 110) สถาบันวิจัย

โภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้วิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยอาหารทั้งหมดในพืช ผัก และผลไม้ในส่วนที่กินได้ แล้วพบว่าสามารถจัดกลุ่มพืชตามปริมาณของเยื่อใยที่มีในพืชได้จำนวน 3 กลุ่มคือพืชที่มีเยื่อใยสูงมากประมาณ 19-28 กรัมต่อ 100 กรัม ได้แก่ งา รำข้าว และถั่วเมล็ดแห้งชนิดต่างๆ ทั้งถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วเหลือง และถั่วลิสง พืชที่มีเยื่อใยปานกลางประมาณ 4-14 กรัมต่อ 100 กรัม ได้แก่ มะเขือพวงทั้งเมล็ด เห็ดหูหนู พริก กระเทียม ผักกระเฉด สะเดา หัวปลี แครอท ละมุด ฝรั่ง และมะม่วงดิบ ส่วนพืชที่มีเยื่อใยต่ำจะมีปริมาณเยื่อใยน้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 กรัม ได้แก่ แตงกวา บวบเหลี่ยม มะระจีน ผักกาดหอม ผักกาดขาว หัวไชเท้า ฟักเขียว น้ำเต้า และแตงโม (สิริพันธ์ จุลกรังคะ, 2542, 55-56)

บทบาทหน้าที่ของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตมีบทบาทหน้าที่ที่สำคัญต่อร่างกายดังนี้

(1) คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ของสิ่งมีชีวิต จะให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม ช่วยทำให้การเผาผลาญไขมันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 22) มีผลให้ร่างกายสะสมโปรตีนได้ดีขึ้น ช่วยในการทำงานของเซลล์สมองและเซลล์ประสาท ถ้าร่างกายได้รับคาร์โบไฮเดรตมากเกินไปจะเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนเก็บสะสมไว้ในตับและกล้ามเนื้อ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองของร่างกาย (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 85; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 163)

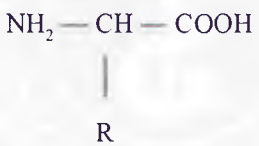
(2) คาร์โบไฮเดรตประเภทน้ำตาลทำให้ผลไม้กรอบ เนื่องจากน้ำเชื่อมข้นทำให้เกิดแรงดันออสโมติกภายในเซลล์ต่ำ ส่งผลให้โมเลกุลน้ำเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ผลไม้ และโมเลกุลน้ำตาลเข้าไปแทนที่น้ำในเซลล์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงขึ้น ถ้าให้ความร้อนน้ำตาลจะละลายและเป็นสีน้ำตาลเกิดกลิ่นน้ำตาลไหม้ ถ้าน้ำตาลได้รับความร้อนนานขึ้นจะกลายเป็นถ่านสีดำ (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 53)

(3) คาร์โบไฮเดรตบางชนิดช่วยป้องกันไม่ให้อาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กัมช่วยป้องกันการแยกตัวของน้ำใช้ในการทำไอศกรีม ช่วยป้องกันการแยกตัวของน้ำมันโดยเคลือบผิวของเม็ดน้ำมันและป้องกันการตกผลึก เพกตินช่วยป้องกันการตกตะกอน หรือเป็นสารที่ช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้น (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 55)

(4) คาร์โบไฮเดรตประเภทเซลลูโลส ช่วยในการขับถ่ายทำให้ท้องไม่ผูกและป้องกันการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ ช่วยดูดซับไขมันและน้ำตาลโดยเฉพาะไขมันชนิดอิ่มตัว จึงช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลและป้องกันการสะสมของไขมันในเส้นเลือด ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและโรคเส้นเลือดแดงอุดตัน (Minkoff, 2004, 330)

2) โปรตีน (protein)

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญที่สุดในร่างกาย มีมากเป็นอันดับที่สอง รองจากน้ำ โปรตีนมาจากภาษากรีกว่า "proteios" หมายถึง มีความสำคัญอันดับหนึ่ง พบโปรตีนในร่างกายประมาณร้อยละ 15-25 โดยโปรตีนจะมีองค์ประกอบพื้นฐานคือ คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีไนโตรเจน กำมะถัน และฟอสฟอรัสด้วย (Toole and Toole, 1999, 24) โปรตีนจะถูกย่อยสลายได้ด้วยน้ำ (hydrolysis) น้ำย่อย กรด หรือด่างเข้มข้น และความร้อน โดยโปรตีนจะแตกตัวเป็นสารเล็กๆ ที่ทำปฏิกิริยาได้ทั้งกรดและด่าง เรียกว่า กรดอะมิโน (amino acid) (สิริพันธ์, 2542, 64) กรดอะมิโนจึงเป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดในโมเลกุลของโปรตีน โปรตีนเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีน้ำหนักโมเลกุลมาก (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 46-47; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 61) โปรตีนเป็นสายพอลิเพปไทด์ (polypeptide) ที่เกิดจากพอลิเมอร์ของกรดอะมิโนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) โดยโมเลกุลโปรตีนประกอบด้วย หมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) อย่างละ 1 หมู่ และหมู่สายแขนง (R) ต่อกับคาร์บอนอะตอม ซึ่งหมู่ R จะแตกต่างกันตามชนิดและการเรียงตัว ทำให้ได้กรดอะมิโนที่แตกต่างกัน กรดอะมิโนในธรรมชาติพบว่ามีเพียง 20 ชนิด โดยกรดอะมิโนทั้ง 20 ชนิดจะมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็นเช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 22 (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 118)



ภาพที่ 22 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของกรดอะมิโน
ที่มา : (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 118)

เนื่องจากกรดอะมิโนแต่ละชนิดมีหมู่ R แตกต่างกัน ทำให้โปรตีนมีสมบัติแตกต่างกันด้วย โดยโปรตีนในอาหารประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 12-22 ชนิด กรดอะมิโนในร่างกายมีประมาณ 20 ชนิด (รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 59; Minkkoff, 2004, 33; Drummond, 2007, 189) ซึ่งจัดแบ่งตามความจำเป็นของร่างกายออกเป็น 2 กลุ่มคือ กรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็น (non essential amino acid) และกรดอะมิโนชนิดจำเป็น (essential amino acid) โดยกรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็นเป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์เองได้ มีจำนวน 11 ชนิด ได้แก่ ไกลซีน (glycine) กลูทามิก (glutamic) ซีสทีอีน (cysteine) ซีสทีน (cystine) เซรีน (serine) ไทโรซีน (tyrosine) โพรลีน (proline) แอลานีน (alanine) แอสพาร์ติก (aspartic) แอสพาราจีน (asparagines)

และไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) ส่วนกรดอะมิโนชนิดจำเป็นเป็นกรดอะมิโน ที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร ในผู้ใหญ่ต้องการกรดอะมิโนกลุ่มนี้ 8 ชนิด คือ เมทิโอนีน (methionine) ลูซีน (leucine) ไลซีน (lysinc) ทริโอนีน (thrconinc) ไอโซลูซีน (isolcucinc) วาลีน (valine) เฟนิลแอลานีน (phcnylalanine) และทริปโตเฟน (tryptophan) ส่วนเด็กต้องการเพิ่มอีก 2 ชนิดคือ อาร์จินีน (arginine) และฮีสทีดีน (histidine) (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 126; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 150; สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2549, 3-4)

พืชสร้างกรดอะมิโนจากการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยพืชจะดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ น้ำ และไนโตรเจนจากดินในรูปของไนเตรท โดยแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน (nitrification bacteria) และแอมโมเนียในรูปอื่นๆ พืชบางชนิดสามารถรีดิวส์ไนเตรทไปเป็นไนไตรท์ได้ ในขณะที่พืชตระกูลถั่วสามารถใช้ไนโตรเจนจากอากาศ สร้างเป็นสารประกอบไนโตรเจนและโปรตีนได้โดยตรง ส่วนมนุษย์และสัตว์ไม่สามารถใช้ไนเตรทสร้างโปรตีนได้ จึงต้องบริโภคโปรตีนจากพืชหรือสัตว์อื่นๆ (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 47) ซึ่งในระบบทางเดินอาหารสามารถย่อยสลายโปรตีนได้ด้วยเอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic enzymcs) หลายชนิด ได้แก่ เปปซิน (pepsin) ในกระเพาะอาหาร (กรัมastric juice) ทริปซิน (trysin) จากตับอ่อน (pancreatic juice) และเปปทิเดส (peptidaes) จากลำไส้เล็ก (small intestine) (สมจิต สุรพัฒน์ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2549, 29-37) กรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยจะถูกดูดซึมในลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือดและลำเลียงไปยังเซลล์ต่างๆ ภายในเซลล์จะมีไรโบโซม (ribosomes) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างโปรตีนใหม่จากกรดอะมิโนที่ได้รับจากอาหารให้เป็นไปตามที่ร่างกายต้องการ ถ้าร่างกายได้รับกรดอะมิโนไม่ครบขาดตัวใดตัวหนึ่งจะส่งผลต่อการเรียงตัวของกรดอะมิโน ทำให้ไม่สามารถสร้างโปรตีนใหม่ได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 229, 233) นั้นคือมนุษย์ต้องรับประทานอาหารที่มีโปรตีนคุณภาพดี มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วนและอย่างเพียงพอทุกวัน

โปรตีนในเมล็ดพืชอยู่ในเนื้อเมล็ด (endosperm) และคัพภะ (germ หรือ embryo) ซึ่งคัพภะต้องใช้โปรตีนเพื่อให้สามารถเจริญเป็นต้นอ่อนได้ โปรตีนจะแทรกเกาะรวมกับเม็ดแป้งเป็นรูปกลม (protein bodies) ในเนื้อเมล็ดในปริมาณมากที่สุด (อรอนงค์ วินัยกุล, 2532, 33, 42) หรือเกาะรวมกับแป้งเป็นร่างแห (gluten) โปรตีนในเมล็ดพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเอนไซม์สำหรับย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล ช่วยในการงอกของต้นอ่อนและเป็นองค์ประกอบของเซลล์สำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยเมล็ดแห้งที่แก่จัดของข้าวเจ้า ข้าวโพด และข้าวสาลี จะมีปริมาณโปรตีน (crude protein) ร้อยละ 6.7, 9.4 และ 12.6 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ปริมาณโปรตีนแปรผันตามชนิดของพืช พันธุ์ และวิธีการทำให้สุก (ศิริวรรณ สุทธจิตต์, 2550, 35, 67)

ตารางที่ 2 ปริมาณโปรตีนในอาหารบางชนิด ต่ออาหาร 100 กรัม (โดยน้ำหนักสด)

ชนิดของอาหาร	ปริมาณโปรตีน (คิดเป็นร้อยละ)
ข้าวเจ้า (สุก)	2.0
ข้าวเจ้า (ดิบ)	6.7
ข้าวโพด	9.4
ข้าวสาลี	12.6
ข้าวบาร์เลย์	12.5
ถั่วเหลืองเมล็ดแห้ง(สุก)	11.0
ถั่วเหลืองเมล็ดแห้ง(ดิบ)	34.1

ที่มา : (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 262)

โดยทั่วไปโปรตีนจากพืชมีกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่ครบถ้วน (incomplete protein) พืชบางชนิดมีกรดอะมิโนที่จำเป็นบางอย่างสูง แต่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นบางอย่างต่ำหรือไม่มีเลยและเมล็ดพืชหลายชนิดมีกรดอะมิโนที่จำเป็นหนึ่งชนิดหรือมากกว่า เช่น เมล็ดพืชที่มีเปลือกแข็งหุ้มมักมีไลซีนสูง ในขณะที่พืชตระกูลข้าวจะมีไลซีนต่ำ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 69) เมล็ดพืชส่วนใหญ่มีโปรตีนชนิดโกลบูลิน (globulin) และแอลบูมิน (albumin) ซึ่งละลายน้ำได้ จึงควรรับประทานเมล็ดพืชหลายๆ ชนิดปนกัน เพื่อช่วยให้ร่างกายได้รับโปรตีนเสริมเพิ่มขึ้น (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 142; Monkoff, 2004, 334)

บทบาทหน้าที่ของโปรตีน

โปรตีนมีบทบาทที่สำคัญต่อร่างกายดังนี้

(1) โปรตีนมีกรดอะมิโนที่ร่างกายนำไปใช้สร้างโปรตีนในเซลล์และเนื้อเยื่อต่างๆ เพื่อการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ รวมทั้งให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีนให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม และเป็นแหล่งพลังงานสำรองถ้าร่างกายขาดคาร์โบไฮเดรตและไขมัน (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 51; อรอนงค์ วินัยกุลและคณะ, 2549, 34)

(2) โปรตีนเป็นส่วนประกอบของสารควบคุมการทำงานของร่างกายหลายๆ ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ ฮอร์โมน และอื่นๆ โดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารทำหน้าที่ย่อยสลายอาหารให้เป็นสารอาหารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กๆ เพื่อดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์ ส่วนฮอร์โมน เช่น อินซูลิน (insulin) ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ช่วยลำเลียงก๊าซ

ออกซิเจนจากปอดไปยังเซลล์ และรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์ไปกำจัดที่ปอด เป็นต้น (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 51)

(3) โปรตีนช่วยรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย (water balance) โดยควบคุมการเคลื่อนที่ระหว่างของเหลวในเลือดกับเซลล์ โปรตีนเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่จึงไม่สามารถลอดผ่านผนังเส้นเลือดได้ โดยส่วนใหญ่เป็นอัลบูมิน อยู่ในน้ำเลือด ช่วยให้เกิดแรงดันออสโมติกในเลือดสูง ทำให้น้ำยังคงอยู่ในเลือด แต่กรณีที่ร่างกายมีโปรตีนในเลือดต่ำแรงดันออสโมติกในเส้นเลือดต่ำลงด้วย ส่งผลให้น้ำในเลือดเคลื่อนที่ออกจากเลือดไปสะสมในของเหลวรอบๆ เซลล์มากกว่าปกติ ทำให้เกิดอาการบวมน้ำ (edema) (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 52)

(4) โปรตีนช่วยขัดขวางการดูดซึมสารพิษตะกั่วและปรอทไม่ให้เข้าสู่กระแสเลือดได้ โดยให้ผู้ป่วยรับประทานน้ำนมหรือไข่ขาวดิบ โปรตีนในน้ำนมหรือไข่ขาวจับกับสารพิษเป็นก้อนอยู่ในทางเดินอาหารแล้วกำจัดออกนอกร่างกายได้ (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 136; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 248, 250; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 64)

(5) โปรตีนเปลี่ยนแปลงสภาพได้ (denaturation) ตามสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ กรดด่างและตัวทำละลายบางชนิด สิ่งเหล่านี้ไม่ทำลายพันธะเปปไทด์และไม่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีน แต่จะทำให้โปรตีนสูญเสียสมบัติบางอย่าง จึงไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ ตัวอย่างเช่น การต้มไข่ได้ทำให้โปรตีนเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง การบีบมะนาวลงในเนื้อสัตว์ทำให้โปรตีนตกตะกอนเป็นสีขุ่นขาว เป็นต้น โปรตีนในอาหารส่วนใหญ่มีเปลี่ยนแปลงสภาพอย่างถาวร ซึ่งช่วยทำให้ร่างกายย่อยโปรตีนได้ง่ายขึ้นและช่วยทำให้พิษของโปรตีนบางชนิด เช่น พิษในเมล็ดละหุ่งและพิษในเมล็ดถั่วเหลืองดิบหมดไป เป็นต้น (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 136; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 250, 254; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 65)

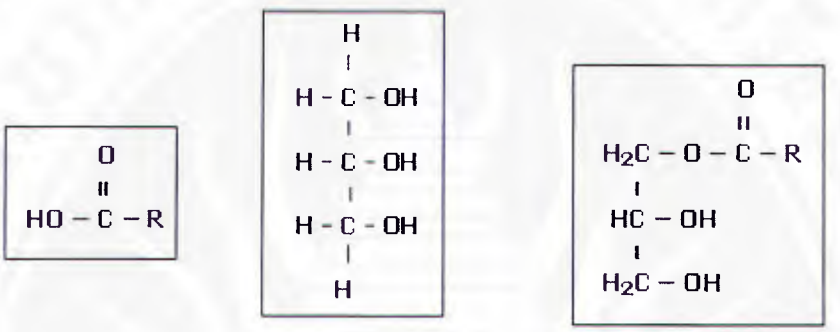
(6) โปรตีนช่วยรักษาค่า pH ของร่างกายและเลือดให้คงที่หรือเปลี่ยนเป็นด่างเพียงเล็กน้อย เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ทั้งนี้เพราะโปรตีนมีสมบัติเป็นทั้งกรดและด่าง จึงทำปฏิกิริยาเคมีกับกรดและด่างได้ (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 52)

(7) โปรตีนเป็นอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) ของน้ำกับน้ำมัน ได้แก่ เลซิทิน (lecithin) ในไข่แดงและโปรตีนในน้ำนม ช่วยทำให้น้ำกับน้ำมันผสมเข้ากันได้ (อรอนงค์ นัยวิกุล และคณะ, 2549, 29)

3) ไขมัน (lipid)

ไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว (nonpolar) มีลักษณะเรียบเป็นมัน ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายไขมัน (fat solvents) เช่น คลอโรฟอร์ม (chloroform), เบนซิน (benzene), อีเทอร์ (ether) และอะซิโตน (acetone) เป็นต้น (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 32;

Toole and Toole, 1999, 20) องค์ประกอบของโมเลกุลไขมันคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน แต่บางครั้งมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมอยู่ด้วย (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 118) จะพบไขมันได้ทั้งในพืชและสัตว์ (Drummond, 2007, 146) ไขมันส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเอสเทอร์ (ester) ของกรดไขมัน (Fatty acid) (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 89) ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 โครงสร้างของกรดไขมัน กลีเซอรอลและกลีเซอไรด์หรือไขมัน
ที่มา: (สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 26)

ชนิดของไขมัน

สามารถจำแนกชนิดของไขมันได้เป็น 3 ประเภท ซึ่งได้แก่

(1) ไขมันธรรมดา (simple lipid) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ถ้าแอลกอฮอล์เป็นกลีเซอรีน (glycerin) ได้สารประกอบไขมันแท้ (true fat) เรียกว่า กลีเซอไรด์ (glyceride) ถ้ามีกรดไขมัน 1 หมู่ เรียกว่า โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ถ้ามีกรดไขมัน 3 หมู่ เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) เช่น ไขมัน (fats) น้ำมัน (oils) และ ขี้ผึ้ง (wax) โดยไขมันเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและน้ำมันเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนขี้ผึ้งเป็นกรดไขมันรวมกับแอลกอฮอล์อื่นๆ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 81; Toole and Toole, 1999, 20)

(2) ไขมันประกอบ (compound lipid) เป็นกรดไขมันที่อยู่รวมกับสารอื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต ฟอสเฟต และสารประกอบไนโตรเจน เมื่อกรดไขมันรวมกับคาร์โบไฮเดรตจะได้ไกลโคลิปิด (glycolipid) เมื่อกรดไขมันรวมกับกรดฟอสฟอริกจะได้ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) และเมื่อกรดไขมันรวมกับโปรตีนได้ไลโปโปรตีน (lipoprotein) (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 90; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 68-69)

(3) อนุพันธุ์ไขมัน (derived lipid) เป็นไขมันที่ได้จากการแตกตัวของไขมันธรรมดาและไขมันประกอบ ได้แก่ กรดไขมัน กลีเซอรอล และสเตอรอยด์ (steroids) เป็นต้น (กุลยา

จันทร์อรุณ, 2533, 90; Drummond, 2007, 146) กรดไขมันที่พบในอาหารส่วนใหญ่เป็นพวกที่มีโมเลกุลของคาร์บอนสูง เช่น กรดไขมัน 1 โมเลกุลของน้ำมันถั่วลิสงและน้ำมันปลามีคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 33)

การจำแนกชนิดของกรดไขมันตามความอิ่มตัว ได้ 2 ประเภท คือ

(1) กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) ซึ่งหมายถึง กรดไขมันที่คาร์บอนในโมเลกุลมีไฮโดรเจนจับเกาะอยู่เต็มแล้วไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีก หรือเป็นกรดไขมันที่โมเลกุลมีพันธะเดียว ได้แก่ ไมรีสติก (myristic) ปาล์มิติก (palmitic) สเตียริก (stearic) และอะราชิดิก (arachidic) (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 90; สิริพันธุ์, 2542, 87; Minkoff, 2004, 330) อาหารที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูง ได้แก่ ไขมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันหมู และไขมันจากพืช เช่น น้ำมันมะพร้าว เป็นต้น ซึ่งไขมันชนิดนี้จะเป็นไขที่อุณหภูมิห้อง (20องศาเซลเซียส) (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 118)

(2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated Fatty Acids) ซึ่งหมายถึง กรดไขมันที่คาร์บอนในโมเลกุลมีไฮโดรเจนจับเกาะอยู่ไม่เต็มสามารถรับไฮโดรเจนได้อีก (สิริพันธุ์, 2542, 87) หรือเป็นกรดไขมันที่โมเลกุลมีพันธะคู่ (Drummond, 2007, 148) กรดไขมันชนิดนี้เป็นไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential fatty acid) เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้เองหรือสังเคราะห์ได้แต่ไม่เพียงพอ จึงต้องได้รับกรดไขมันชนิดนี้จากอาหาร (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 91; Minkoff, 2004, 330) กรดไขมันไม่อิ่มตัวจำแนกตามตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวได้ 2 ประเภทคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว (mono unsaturated fatty acids) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (poly unsaturated fatty acids) กรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว ได้แก่ โอเลอิก (oleic) และพาลมิโทเลอิก (palmitoleic) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง ได้แก่ ไลโนเลอิก (linoleic) และไลโนเลนิก (linolenic) กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเกิดออกซิเดชันได้ง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีกลิ่นเหม็นหืน (สิริพันธุ์, 2542, 87) กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวช่วยป้องกันการเกิดโรคผิวหนัง ทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้น ช่วยให้เนื้อเยื่อเจริญเติบโต และลดระดับคอเลสเทอรอล (cholesterol) ในกระแสเลือด (สุวิมล ตัณฑ์ศุภกิจ, 2548, 31) กรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่ได้จากพืช ยกเว้นมะพร้าว (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 93; Monkoff, 2004, 330) ส่วนธัญพืชจัดเป็นแหล่งที่มีกรดไขมันทั้งสองประเภท แต่จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (ตารางที่ 3 และ 4)

ตารางที่ 3 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวของธัญพืชส่วนที่กินได้ 100 กรัม

ชนิดกรดไขมัน	ข้าวสาลี	ข้าวโพด	ข้าวเจ้า	ข้าวบาร์เลย์	ข้าวฟ่าง	ข้าวโอต	ข้าวไรย์	ลูกเดือย
ไมรีสติก	<0.005	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02	<0.005	0.00
พาลมิติก	0.36	0.40	0.54	0.45	0.44	1.21	0.25	0.68
สเตียริก	0.01	0.06	0.04	0.02	0.03	0.10	0.02	0.16
อะราชิดิก	<0.005	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.02

ที่มา : (Cardain, 1999, 38)

ตารางที่ 4 ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากธัญพืชส่วนที่กินได้ 100 กรัม

ชนิดกรดไขมัน	ข้าวสาลี	ข้าวโพด	ข้าวเจ้า	ข้าวบาร์เลย์	ข้าวฟ่าง	ข้าวโอต	ข้าวไรย์	ลูกเดือย
พาลมิโทลีอิก	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.02
โอเลอิก	0.25	0.91	0.54	0.24	1.15	2.60	0.22	0.83
ไลโนเลอิก	1.20	2.12	0.78	1.14	1.46	2.87	0.95	1.69
ไลโนเลนิก	0.10	0.03	0.03	0.13	0.09	0.16	0.12	0.13
ไขมันรวม	2.7	4.1	2.3	2.8	3.3	7.4	2.2	4.1

ที่มา : (Cardain, 1999, 38)

บทบาทหน้าที่ของไขมัน

ไขมันมีบทบาทหน้าที่ที่สำคัญต่อร่างกายดังนี้

(1) ไขมันเป็นแหล่งพลังงานสะสมของร่างกาย ซึ่งอยู่ในรูปเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) (monkoff, 2004, 330; Drummond, 2007, 147) ไขมันให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรีต่อกรัม ไขมันเป็นสารอาหารที่สำคัญของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ไขมันที่เก็บไว้ใต้ผิวหนังทำหน้าที่เป็นฉนวน (insulator) ทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิคงที่ (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 37; นิธิยา รัตนปนนท์, 2549, 8)

(2) ไขมันช่วยหล่อลื่นอาหารให้เคลื่อนที่ไปในทางเดินอาหารได้สะดวกและช่วยป้องกันการกระทบกระแทกของอวัยวะภายใน รวมทั้งยึดให้อยู่ในตำแหน่งประจำ ไขมันและขี้ผึ้งเป็นสารเคลือบ ผิวหนัง ขน และใบ หรือเคลือบเปลือกหุ้มผลหรือเมล็ดป้องกันน้ำและรักษา

ความชุ่มชื้น (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 137, กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 112-113, Toole & Toole, 1999, 21)

(3) ไขมันเป็นตัวทำละลายและช่วยดูดซึมวิตามินเอ ดี อี และเค เข้าสู่เซลล์ร่างกาย (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 137; อรอนงค์ วินัยกุลและคณะ, 2549, 38; เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 37)

(4) ไขมันในอาหารช่วยเพิ่มรสชาติ ทำให้แป้งนุ่มร่วน และเป็นตัวนำความร้อนทำให้อาหารสุกได้เร็วขึ้น (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 136; เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 36; Drummond, 2007, 147)

(5) ไขมันละลายได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จุดหลอมเหลวของไขมันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของกรดไขมัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวต่ำ ถ้าจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลมากจุดหลอมเหลวจะต่ำด้วย เช่น น้ำมันถั่วเหลืองเหมาะสำหรับผัดอาหาร ถ้ามีโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัวมากขึ้นจะทำให้มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น จึงเหมาะสำหรับใช้ทอดอาหาร เช่น น้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 97)

(6) ไขมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระบริเวณที่มีแสงและความชื้น โดยเปลี่ยนเป็นอัลดีไฮด์และกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน (rancid) และรสเปลี่ยนไป (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 109)

(7) ไขมันและน้ำมันถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ด่าง และเอนไซม์ได้ และถ้าไฮโดรไลซ์ ไตรกลีเซอไรด์ด้วยด่างจะได้สบู่ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 102, 104)

(8) ไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากถูกเติมด้วยออกซิเจนจะได้ของแข็งไม่เปียกน้ำ ใช้ผสมสีทาบ้านและเชลแล็ก เรียกว่า น้ำมันซักแห้ง (drying oil) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 111)

4) แร่ธาตุ (minerals)

แร่ธาตุเป็นสารอาหารอนินทรีย์ (inorganic nutrient) ที่จำเป็นต่อร่างกาย พบได้ทุกส่วนของร่างกายในปริมาณน้อย ประมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักตัว แต่ร่างกายขาดแร่ธาตุไม่ได้ (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 64) แร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายมี 21 ชนิด (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 188) แร่ธาตุในร่างกายอยู่ในรูปสารประกอบของสารอินทรีย์ ได้แก่ ฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein) ฮีโมโกลบิน ไทรอกซิน (thiroxin) ไอออนอิสระ (free ion) และสารประกอบ อนินทรีย์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) และแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) (สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 73) แร่ธาตุแบ่งได้ 2 ประเภทคือ เกลือแร่ที่มีปริมาณมาก (macrominerals) และเกลือแร่ที่มีปริมาณน้อย (trace minerals) โดยเกลือแร่ที่มีปริมาณมากจะเป็นแร่ธาตุที่มีอยู่ใน

เนื้อเยื่อของร่างกายจำนวนมากและร่างกายต้องการปริมาณมาก ประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อวัน มีจำนวน 7 ชนิด ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม โพแทสเซียม คลอไรด์ ซัลเฟอร์ และโซเดียม ส่วนเกลือแร่ที่มีปริมาณน้อยจะเป็นแร่ธาตุที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของร่างกายเพียงเล็กน้อยและร่างกายต้องการปริมาณน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งแร่ธาตุประเภทนี้ยังแบ่งได้อีก 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย (essential trace elements) ได้แก่ เหล็ก ทองแดง สังกะสี และไอโอดีน 2) กลุ่มที่ยังไม่ทราบคุณสมบัติที่แน่ชัด แต่ทราบถึงความจำเป็น ได้แก่ ซิลิคอน ดีบุก และ นิเกิล และ 3) กลุ่มที่ไม่มีความจำเป็นและเป็นพิษต่อร่างกาย ได้แก่ ตะกั่ว สารหนู และแคดเมียม ซึ่งร่างกายได้รับสารเหล่านี้จากการปนเปื้อนอยู่ในอาหาร (ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 108; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 156)

บทบาทหน้าที่ของแร่ธาตุ

แร่ธาตุมีบทบาทสำคัญต่อร่างกายสิ่งมีชีวิตดังนี้

(1) แร่ธาตุเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างร่างกาย สร้างความแข็งแรงให้กระดูกและฟันและเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แมงกานีสและฟลูออไรด์ เป็นต้น (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 156; เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 65)

(2) แร่ธาตุบางชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชีวเคมี เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ เช่น สังกะสี แมงกานีส โมลิบดีนัม และทองแดง เป็นต้น และทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ช่วยในการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ได้ (ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 108; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 156; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 385)

(3) แร่ธาตุเป็นองค์ประกอบของฮอร์โมน วิตามิน และสารอินทรีย์ในร่างกาย เช่น สังกะสีเป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนอินซูลิน เหล็กเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่เป็นตัวพาก๊าซออกซิเจนจากปอดไปยังเซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกาย (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 157; เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 65)

(4) แร่ธาตุช่วยรักษาความสมดุลของ pH เซลล์ร่างกายทำงานได้ดีที่ pH 7.35 - 7.45 ช่วยควบคุมสมดุลของน้ำทำให้ปริมาณน้ำภายในและภายนอกเซลล์อยู่ในภาวะปกติ ได้แก่ แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียมและฟอสฟอรัส (ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 108; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 156; เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 66)

(5) แร่ธาตุจำเป็นต่อการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท รวมทั้งการเจริญเติบโตของร่างกาย เช่น โพแทสเซียมเกี่ยวข้องกับการเต้นของกล้ามเนื้อหัวใจ ส่วนแคลเซียมช่วยในการยืดและหดของกล้ามเนื้อ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 156, เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 66)

(6) แร่ธาตุจำเป็นต่อการสร้างสารต่างๆ เช่น ธาตุคลอรีนจำเป็นต่อการสร้างกรดเกลือในกระเพาะอาหาร ส่วนธาตุไอโอดีนจำเป็นต่อการสร้างฮอร์โมนไทรอกซินในต่อมไทรอยด์ (ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 108; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 157)

การศึกษาครั้งนี้จะวิเคราะห์แร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งร่างกายต้องการในปริมาณมาก ได้แก่

1) แคลเซียม (calcium, Ca)

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบมากที่สุดในร่างกายประมาณ 99 % ของน้ำหนักตัว ส่วนใหญ่เป็นกระดูกและฟัน 99 % และส่วนที่เหลืออยู่ในกระแสโลหิต เนื้อเยื่อ และของเหลวอื่นๆ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 157; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 127) แคลเซียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกซีอาปาไทท์ (calcium hydroxyapatite) (Drummond, 2007, 257) อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) และแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) เพียงเล็กน้อย ผู้ใหญ่ที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม จะมีแคลเซียมสะสมประมาณ 1,200 กรัม (ลักษณา อินทร์กลับ, 2543, 110) แคลเซียมในกระแสโลหิตถูกควบคุมโดยฮอร์โมนพาราธัยรอยด์ (parathyroid hormone) (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 68; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 157) นอกจากนี้แคลเซียมยังทำงานร่วมกับแร่ธาตุชนิดอื่นด้วย เช่น ฟอสฟอรัส แมกเนเซียม วิตามินเอ ซี และดี เป็นต้น ถ้าขาดแคลเซียมนานๆ ร่างกายจะดึงแคลเซียมจากกระดูกไปใช้ทำให้เป็นโรคกระดูกพรุนได้ แหล่งอาหารที่มีแคลเซียมสูง ได้แก่ น้ำนม ผลิตภัณฑ์จากน้ำนม ปลาเล็กปลาน้อย กุ้งแห้ง หอย ผัก ธัญพืช ถั่ว และงา (ลักษณา อินทร์กลับ, 2543, 112; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 400)

บทบาทหน้าที่ของแคลเซียม

แคลเซียมมีบทบาทสำคัญต่อร่างกายดังนี้

(1) แคลเซียมช่วยในการสร้างความแข็งแรงให้กระดูกและฟัน โดยเฉพาะในระยะที่กำลังเจริญเติบโต ถ้าได้รับแคลเซียมมากพอ กระดูกส่วนปลายทราเบคูลี (trabeculae) จะพัฒนาได้ทั้งกระดูกด้านยาว และเพิ่มความหนาแน่นของมวลกระดูก แต่ถ้าร่างกายได้รับแคลเซียมจากอาหารน้อย กระดูกจะมีการสลายแคลเซียมเข้าสู่เส้นเลือดและของเหลวที่อยู่ภายในโพรงกระดูก (ศศิเกษม ทองยอด และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 190) เนื่องจากร่างกายมีการปรับระดับแคลเซียมในเลือดให้สมดุลตลอดเวลา แต่ร่างกายสามารถซ่อมแซมและสร้างกระดูกทดแทนได้ ในวัยเด็กที่มีการเจริญเติบโตร่างกายจะมีการสร้างมากกว่าการสลายกระดูก แต่ผู้ใหญ่จะตรงกันข้าม คือการสลายมากกว่าการสร้างกระดูก ทำให้เป็นโรคกระดูกพรุน เปราะ และแตกหักได้ง่าย ดังนั้นในแต่ละวันคนทุกวัยควรรับประทานอาหารที่มีแคลเซียมในปริมาณมาก และให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 157)

(2) แคลเซียมทำหน้าที่ควบคุมกระแสประสาทและการทำงานของกล้ามเนื้อ ถ้ามีแคลเซียมในเลือดน้อยจะทำให้กล้ามเนื้อไวต่อการกระตุ้น ชักเกร็งได้ง่าย (เสาวนีย์ จักรทิพย์, 2541, 67) แต่ถ้ามีแคลเซียมมากเกินไปจะกดการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจจะหยุดเต้นในท่าบีบตัว (systole) (ลักษณา อินทร์กลับ, 2543, 110) ทำให้ระบบประสาทเฉื่อยชา จึงควรรับประทานแคลเซียมให้พอเหมาะ จึงจะทำให้หัวใจและระบบประสาททำงานตามปกติ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 158)

(3) แคลเซียมกระตุ้นการแข็งตัวของเลือดเมื่อเกิดบาดแผล (เสาวนีย์ จักรทิพย์, 2541, 67; สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 79) โดยแคลเซียมจะกระตุ้นการขับทรอมโบพลาสติน (thromboplastin) ออกจากเกล็ดเลือดและเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนโพรทรอมบิน (prothrombin) เป็นทรอมบิน (thrombin) ซึ่งมีผลให้ไฟบริโนเจน (fibrinogen) เปลี่ยนเป็นไฟบริน (fibrin) ซึ่งจะปิดปากแผลและช่วยป้องกันการเสียเลือด (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 158)

(4) แคลเซียมกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ไลเปส (lipase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยย่อยไขมัน และเอนไซม์อะดีโนซีนไตรฟอสฟาเทส (adenosine triphosphatase, ATPase) เอนไซม์ชนิดนี้จะอยู่ในกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่ออื่นๆ ช่วยสลายอะดีโนซีนไตรฟอสเฟส (adenosine triphosphase, ATP) ให้เป็นอะดีโนซีนไดฟอสเฟส (adenosine diphosphase, ADP) ฟอสเฟสอนินทรีย์ (inorganic phosphase, P) และพลังงาน เพื่อให้ร่างกายนำใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 191; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 158)

(5) แคลเซียมทำให้ผนังเซลล์ยอมให้สารต่างๆ ผ่านเข้า-ออกได้มากขึ้นและช่วยให้การดูดซึมวิตามินบี 12 ทำได้ตลอดความยาวของลำไส้เล็ก (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 191; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 158)

(6) แคลเซียมช่วยในการย่อยโปรตีนในน้ำนม (casein) ช่วยควบคุมสมดุลของกรดและเบส และควบคุมการผ่านของสารต่างๆ ให้น้อยลง (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 158)

(7) ปริมาณของแคลเซียมที่ร่างกายควรได้รับต่อในแต่ละวันขึ้นอยู่กับ อายุและสภาวะของร่างกายดังนี้คือ เด็กอายุ 1-9 ปี มีความต้องการ 800 มิลลิกรัม เด็กอายุ 10-19 ปี ต้องการ 1,200 มิลลิกรัม สำหรับผู้ใหญ่ต้องการ 800 มิลลิกรัม ส่วนหญิงมีครรภ์และหญิงให้นมบุตรต้องการเพิ่มขึ้นอีก 400 มิลลิกรัม (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 160; ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 112)

2) ฟอสฟอรัส (phosphorus, P)

ฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่มีในร่างกายมากเป็นอันดับสอง โดยร้อยละ 85 ของฟอสฟอรัสจะอยู่ในกระดูกและฟันในรูปผลึกไฮดรอกซีอาปาไทท์ (hydroxyapatite) ส่วนที่

เหลืออีกร้อยละ 15 พบในเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกายในรูปของฟอสเฟตไอออนที่มีประจุลบ (phosphate ion; HPO_4^{2-} และ $H_2PO_4^-$) (ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 115) ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่ในเม็ดเลือด นอกจากนี้ยังพบเป็นส่วนประกอบของสารเคมีที่สำคัญ เช่น ฟอสโฟลิพิด โปรตีน เอนไซม์ โคเอนไซม์ และสารเก็บสะสมพลังงานในรูปของ ATP (เสาวนีย์ จักรทิพย์, 2541, 70) อาหารที่มีฟอสฟอรัสสูง ได้แก่ เนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์ เนยแข็ง ไข่ ถั่วเมล็ดแห้ง และธัญพืช ร่างกายต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณที่พอเหมาะกับปริมาณของแคลเซียม โดยต้องการปริมาณฟอสฟอรัสต่อแคลเซียมในสัดส่วน 1 : 2 (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 192) ถ้าร่างกายได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไปจะทำให้การดูดซึมแคลเซียมลดลง อย่างไรก็ตามหากได้รับวิตามินดีอย่างเพียงพอก็จะแก้ไขปัญหานี้ได้ (เสาวนีย์ จักรทิพย์, 2541, 71)

บทบาทหน้าที่ของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญต่อร่างกายสิ่งมีชีวิตดังนี้

(1) ฟอสฟอรัสทำงานคู่กับแคลเซียมในการสร้างกระดูกและฟัน (เสาวนีย์ จักรทิพย์, 2541, 70)

(2) ฟอสฟอรัสเป็นสารประกอบฟอสเฟตในเลือด ทำหน้าที่ช่วยรักษาสมดุลของกรด-ด่าง (buffer) ทำให้เลือดเป็นกลาง (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 162; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 128)

(3) ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ และเป็นโคเอนไซม์ที่จำเป็นของร่างกาย (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 192)

(4) ฟอสฟอรัสจำเป็นต่อกระบวนการทางเคมีที่สำคัญของร่างกาย เช่น ในกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน จำเป็นสำหรับการดูดซึมน้ำตาลในลำไส้เล็ก และหลอดไต (เสาวนีย์ จักรทิพย์, 2541, 70)

(5) ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของสารให้พลังงาน ในรูปของ ATP (ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 116; สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 83)

(6) ฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟต เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (DNA และ RNA) และไซโตพลาซึม (cytoplasm) ซึ่งมีบทบาทในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม การแบ่งเซลล์ และการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ในเยื่อหุ้มเซลล์ และฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein) ของเคซีน (casein) ในน้ำนม (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 192; ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 116; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 128)

3) เหล็ก (iron, Fe)

เหล็กมีอยู่ร่างกายของคนปกติประมาณ 3-5 กรัม ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ อายุ เพศ ขนาดและภาวะโภชนาการ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 171) เหล็กร้อยละ 70 เป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ร้อยละ 25 จะเก็บในรูปเฟอร์ริทิน (ferritin) และฮีโมซิเดอริน (hemosiderin) ไว้ที่ ตับ ม้าม และโพรงกระดูก ส่วนร้อยละ 10 อยู่ในไมโอโกลบิน (myoกรัมlobin) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ทำให้กล้ามเนื้อมีสีแดง และร้อยละ 1 เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ (enzymes) และพลาสมา (plasma) (สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 83) ร่างกายใช้เหล็กในรูปเฟอร์ริทินสร้างฮีโมโกลบินได้เร็วกว่าใช้เหล็กในรูปฮีโมซิเดอริน (ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 130)

บทบาทหน้าที่ของเหล็ก

เหล็กมีบทบาทสำคัญต่อร่างกายดังนี้

(1) เหล็กเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่พาออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อและรับคาร์บอนไดออกไซด์จากเนื้อเยื่อไปปอด (เสาวนีย์ จักรทิพย์, 2541, 75) เหล็กจึงเป็นสารสร้างคุณภาพของเลือดและเพิ่มความต้านทานความเครียดและโรค (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 171)

(2) เหล็กในกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่รับและเก็บออกซิเจน เพื่อใช้การหดตัวของกล้ามเนื้อ ในขณะเดียวกันก็จะดึงคาร์บอนไดออกไซด์กลับออกมา (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 171)

(3) เหล็กจะเป็นส่วนประกอบของโปรตีนและเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งสารเหล่านี้จะมีบทบาทในการเจริญเติบโตและกระบวนการหายใจ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 171)

(4) เหล็กช่วยเปลี่ยนเบต้าแคโรทีน (betacarotenes) ให้เป็นวิตามินเอ ช่วยสังเคราะห์คอลลาเจน (collaกรัมen) ช่วยขจัดสารพิษ (detoxification) ของยาในตับ และช่วยสร้างแอนติบอดี (antibodies) (ลักษณา อินทร์กลับ, 2542, 131)

(5) ปริมาณเหล็กที่ควรได้รับต่อวัน จะขึ้นอยู่กับอายุ เพศ และสภาวะของร่างกายดังนี้ เด็กที่มีอายุ 1-9 ปี ต้องการเหล็ก 10 มิลลิกรัม เด็กชายที่มีอายุ 10-15 ปี ต้องการ 12 มิลลิกรัม และที่มีอายุ 16-19 ปี ต้องการ 10 มิลลิกรัม/วัน ส่วนเด็กหญิงที่มีอายุ 10-19 ปี ต้องการ 15 มิลลิกรัม ผู้ใหญ่ที่เป็นผู้ชายและมีอายุ 20-60 ปีขึ้นไป ต้องการเหล็ก 10 มิลลิกรัม และผู้หญิงที่มีอายุ 20-49 ปี ต้องการ 15 มิลลิกรัม แต่ผู้หญิงที่มีอายุมากกว่า 50 ปีจะต้องการเหล็กเพียง 10 มิลลิกรัม ในขณะที่หญิงมีครรภ์ต้องการเหล็กเพิ่มขึ้นจากคนปกติอีก 30 มิลลิกรัม และหญิงให้นมบุตรต้องการเหล็กเพิ่มขึ้นอีก 15 มิลลิกรัม (ลักษณา อินทร์กลับ, 2543, 132; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 174)

5) วิตามิน (vitamins)

วิตามินเป็นสารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ซึ่งร่างกายคนเราสังเคราะห์วิตามินไม่ได้ จึงต้องได้รับจากอาหารเท่านั้นและไม่มีอาหารชนิดใดที่มีวิตามินครบทุกชนิดตามที่ร่างกายต้องการ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 335) มีวิตามินประมาณ 20 ชนิดที่มีบทบาทต่อโภชนาการของมนุษย์ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 105) วิตามินสามารถแบ่งตามลักษณะการละลายได้ 2 ประเภท คือ วิตามินที่ละลายในไขมัน (fat-soluble vitamins) และวิตามินที่ละลายในน้ำ (water-soluble vitamins) โดยวิตามินที่ละลายในไขมัน ซึ่งได้แก่ วิตามินเอ ดี อี และเค (vitamin A, D, E and K) มักพบอยู่รวมกับไขมันในอาหารและถูกดูดซึมพร้อมกับไขมัน ถ้ามีมากร่างกายจะเก็บสะสมไว้ที่เซลล์ไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่ตับ (สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 36) และ 2) ส่วนวิตามินที่ละลายในน้ำถูกดูดซึมได้ดีโดยไม่ต้องรวมกับไขมัน ได้แก่ วิตามินบีรวม (B complex) เช่น บี1 (thiamin) บี2 (niacin) และโฟลิค (folic) รวมทั้งวิตามินซี (vitamin C) โดยปกติร่างกายจะขับวิตามินเหล่านี้ออกทางปัสสาวะ และไม่มีการเก็บสะสมไว้ในร่างกาย จึงควรรับประทานอาหารที่มีวิตามินเป็นส่วนประกอบ และมีปริมาณที่พอเหมาะกับความต้องการของร่างกาย อาหารที่มีวิตามินสูง ได้แก่ ผักสด ผลไม้สด และธัญพืชตามฤดูกาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 335)

บทบาทหน้าที่ของวิตามิน

วิตามินมีบทบาทสำคัญต่อร่างกายดังนี้

(1) วิตามินชนิดที่ละลายน้ำได้ อยู่ในรูปโคเอนไซม์ หรือเป็นสารเริ่มต้นที่จะเปลี่ยนเป็นโคเอนไซม์ เพื่อสร้างเอนไซม์ ส่วนวิตามินชนิดที่ละลายในไขมันจะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 107)

(2) วิตามินบางชนิดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี และแคโรทีนอยด์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 336)

(3) วิตามินแต่ละชนิดมีหน้าที่เฉพาะ เช่น วิตามินเอทำหน้าที่เกี่ยวกับการมองเห็น และวิตามินเคทำหน้าที่สร้างสารที่เกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 336)

6) น้ำ (water)

น้ำเป็นสารอาหารที่มีมากที่สุดในร่างกายคนและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ โดยน้ำในร่างกายมีประมาณ 1/2 ถึง 3/4 ของน้ำหนักตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุ และปริมาณไขมันในร่างกาย (เสาวนีย์ จักรทิพย์, 2541, 191; สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ 2548, 158) น้ำมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต ทั้งการสังเคราะห์และการสลาย เช่น ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) ดีไฮเดรชัน (dehydration) และไฮโดรไลซีส (hydrolysis) สูตรทางเคมีของน้ำคือ H_2O โดยโมเลกุลของน้ำจะ

ประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนจำนวน 2 อะตอมจับกับอะตอมของออกซิเจนจำนวน 1 อะตอม เชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งทำมุมระหว่างพันธะทั้งสองประมาณ 105 ในสถานะก๊าซความยาวของพันธะระหว่างไฮโดรเจนอะตอมกับออกซิเจนอะตอมประมาณ 0.9572 อังสตอม (0.096 นาโนเมตร) แต่เนื่องจากออกซิเจนอะตอมในโมเลกุลของน้ำมีอิเล็กตรอนอิสระเหลืออยู่เป็น unshared electron pair จึงส่งผลให้โมเลกุลของน้ำมี 2 ขั้ว (dipole) คือ ขั้วบวกและขั้วลบ น้ำจึงมีแรงดึงระหว่างไฮโดรเจนอะตอมของน้ำโมเลกุลหนึ่ง กับออกซิเจนอะตอมของน้ำอีกโมเลกุลหนึ่งได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนที่ยึดติดกันในโมเลกุลของน้ำสถานะของเหลวจะลดลง โมเลกุลของน้ำนอกจากจะสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันแล้ว ยังสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่โพลาร์ในโมเลกุลของสารอื่นๆ ได้ด้วย เช่น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 2; รังสีนี โสธรวิทย์, 2550, 8)

น้ำในธรรมชาติ พบได้ทั้ง 3 สถานะคือ น้ำแข็ง (ของแข็ง) น้ำ (ของเหลว) และไอน้ำ (ก๊าซ) ซึ่งพบน้ำในสถานะของเหลวมากที่สุด (รังสีนี โสธรวิทย์, 2550, 8) โดยอยู่ในแหล่งน้ำต่างๆ เช่น คู คลอง สระ แม่น้ำ และทะเล เป็นต้น น้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอาหารทุกชนิด จะพบในรูปอิสระ (free water) ซึ่งมีผลต่ออาหารโดยตรงทั้งลักษณะเนื้ออาหาร และการเก็บรักษาอาหาร เพราะน้ำประเภทนี้เป็นตัวการสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีของอาหาร (สมจิตร สุรพัฒน์ และอรอนงค์ วินัยกุล, 2549, 19) และมีน้ำบางส่วนเกาะเกี่ยวกับสารอาหารอื่นๆ ด้วย (true bound water) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งเป็นน้ำที่อยู่ในสภาพของเหลว และไม่เป็นน้ำแข็งถึงแม้ว่ามีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส จึงเป็นน้ำที่มีความคงตัวมากสามารถถูกยึดเกาะได้อย่างเหนียวแน่น มีระเบียบ มีรูปทรง (rigid) แต่ไม่สามารถนำไปใช้เป็นตัวทำละลายได้ พบน้ำประเภทนี้ในธัญพืชหลายชนิด โดยมีประมาณร้อยละ 34 ของน้ำทั้งหมด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 15-16)

น้ำที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหาร จะมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันตามชนิดของอาหาร เช่น ผักและผลไม้มีน้ำประมาณร้อยละ 90 แต่ธัญพืชเมล็ดแห้งจะมีน้ำประมาณร้อยละ 10-14 ค่าความชื้นเป็นปัจจัยที่บอกถึงความคงตัว คุณภาพ และอายุการเก็บของเมล็ดธัญพืช ธัญพืชที่มีความชื้นเหมาะสมจะช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งทำให้เกิดบาดแผลแล้วชักนำให้แมลงมารบกวนได้ (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 331; อรอนงค์ วินัยกุลและคณะ, 2549, 17, 365)

บทบาทหน้าที่ของน้ำ

บทบาทของน้ำที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตมีดังนี้

(1) น้ำช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย น้ำมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งสูงกว่าสารประกอบอื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน เมื่อโมเลกุลของน้ำได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอน้ำระเหยไปในอากาศ ไอน้ำจะนำความร้อนไปด้วย ส่งผลให้อุณหภูมิของร่างกายลดลง (อัคกะบัทคาน ปาทาน, 2542, 5; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 6)

(2) น้ำช่วยละลายสารเคมีแทบทุกชนิดในร่างกาย เนื่องจากน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้ว และเกิดพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสมบัติของตัวทำละลาย ทำให้น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารประกอบที่มีขั้วหรือประจุ (polar or charged compound) (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542, 220; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 12)

(3) น้ำเป็นสารที่ช่วยขนส่งสารต่างๆ เข้าและออกจากเซลล์ เช่น สารอาหาร ของเสียที่ต้องกำจัดออกไป น้ำเป็นสารให้ความชุ่มชื้นและหล่อลื่นในอวัยวะต่างๆ และป้องกันการกระทบกระเทือนของอวัยวะภายในร่างกาย (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541,120; อัคกะบัทคาน ปาทาน, 2542, 5; Drummond, 2007, 255)

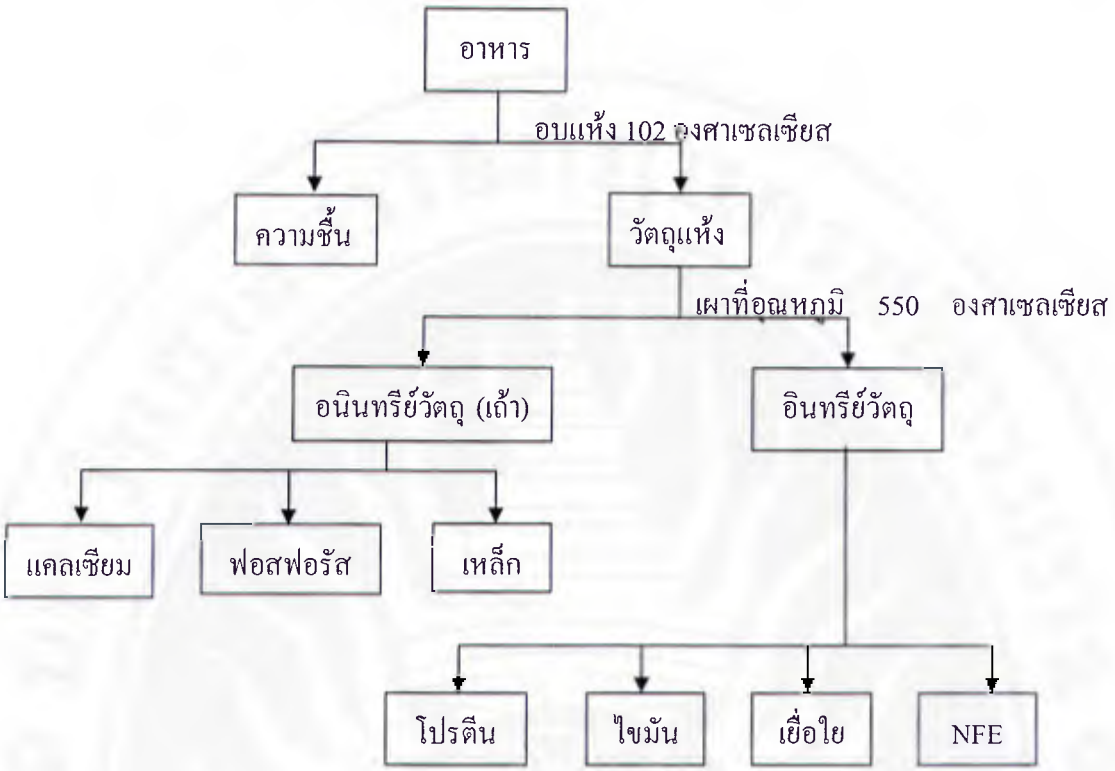
(4) น้ำมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ในร่างกาย เนื่องจากน้ำสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนอิออน (H^+) และไฮดรอกซิลอิออน (OH^-) ได้ในปริมาณที่จำกัด น้ำบริสุทธิ์มีปริมาณไฮโดรเจนอิออน และไฮดรอกซิลอิออนเท่ากัน จึงทำให้มีสมบัติเป็นกลาง แต่ถ้าน้ำมีปริมาณไฮโดรเจนอิออน มากกว่าไฮดรอกซิลอิออนจะแสดงสมบัติเป็นกรด และถ้าน้ำนั้นมีปริมาณไฮโดรเจนอิออนน้อยกว่า ไฮดรอกซิลอิออนจะแสดงสมบัติเป็นเบส (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 6)

(5) น้ำเป็นตัวกระจายองค์ประกอบของอาหาร และช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่ายขึ้น เช่น สารโปรตีนในน้ำนมกระจายตัวอยู่ในน้ำในรูปของคอลลอยด์ และช่วยในการรวมตัวของสารอาหารประเภทอื่นๆ (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2541, 120; รังสินี โสธรวิทย์, 2550, 13)

การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร

การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารเป็นการวิเคราะห์สารอาหารที่เป็นองค์ประกอบหลักที่มีปริมาณมาก ได้แก่ น้ำ (โดยการวัดความชื้น) โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และเถ้า และสารอาหารอื่นๆ ที่มีปริมาณน้อยและมีผลต่อคุณภาพของอาหาร ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก รวมทั้งวิเคราะห์พลังงานรวมของอาหาร ซึ่งมีหลักการและวิธีวิเคราะห์ดังนี้

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในอาหาร นิยมใช้วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยประมาณ (proximate analysis) ซึ่งเป็นวิธีที่คิดค้นโดย เฮนเนแบร์กและ สโตมันน์ (Heneberg and Stomann) ประเทศเยอรมนี (1862) ต่อมาสหรัฐอเมริกาได้นำไปปรับปรุงและนิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทางเคมีในอาหารจนถึงปัจจุบัน หลักการของวิธี proximate analysis คือ ไม่ว่าอาหารจะอยู่ในสภาพใดย่อมมีน้ำหรือความชื้นเป็นองค์ประกอบ เมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่อาหารด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำ จะทำให้น้ำระเหยออกไป ส่วนกากหรือของแข็งที่เหลืออยู่จะเรียกว่า วัตถุแห้ง (dry matter หรือ DM) ทั้งนี้วัตถุแห้งจะประกอบด้วยสารอนินทรีย์ (inorganic matter) และสารอินทรีย์ (organic matter) เมื่อเผาวัตถุแห้งจนสารอินทรีย์สลายตัวจะเหลือเถ้า (ash) ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก เป็นต้น (วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2539, 5; ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545, 38) สารอินทรีย์ในอาหารแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มโปรตีนหยาบ (crude protein หรือ CP) กลุ่มสารสกัดอีเทอร์หรือไขมัน (ether extract หรือ EE หรือ crude fat) สารกลุ่มเยื่อใย (crude fiber หรือ CF) และไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (nitrogen free extract หรือ NFE) โดยกลุ่มโปรตีนหยาบจะเป็นกลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ หรือโปรตีนที่รวมตัวกับสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ ส่วนกลุ่มสารสกัดอีเทอร์หรือไขมันจะเป็นกลุ่มที่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (orกรัมanic solvent) ได้แก่ วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน สารสี ฮอร์โมนบางชนิด ทั้งนี้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ ได้แก่ ปิโตเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) หรือไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) สารกลุ่มเยื่อใยจะเป็นกลุ่มที่คงทนต่อการย่อยด้วยกรดและด่าง และกลุ่มไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกจะเป็นกลุ่มที่ปราศจากไนโตรเจนและย่อยสลายได้ง่าย ส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย มีแผนผังและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของอาหารด้วยวิธี proximate analysis แสดงดังภาพที่ 24 และตารางที่ 5



ภาพที่ 24 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของอาหารด้วยวิธี proximate analysis

ที่มา : (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545, 38)

ตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของอาหาร ด้วยวิธี proximate analysis

ส่วนของสารอาหาร	วิธีการ	องค์ประกอบหลัก
ความชื้น (moisture)	อบที่อุณหภูมิ 102 องศา เซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่หายไป คือความชื้น	น้ำและสารประกอบที่ระเหยได้ (100%= ความชื้น- % วัตถุแห้ง)
เถ้า (ash) มีแร่ธาตุต่างๆ	เผาที่อุณหภูมิ 550 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง	แร่ธาตุ ดิน ทราย
โปรตีนรวม crude protein, CP (%CP= %N x 6.25)	วิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก โดยวิธี Kjeldahl method	โปรตีน กรดอะมิโนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน
ไขมัน (ether extract หรือ EE)	สกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เช่น ether	fats, oil, waxes, pigments alcohol และวิตามินที่ละลายในไขมัน
เยื่อใย (crudc fiber หรือ CF)	กากที่เหลือจากการต้มด้วยกรดอ่อนหรือด่าง	เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน
คาร์โบไฮเดรต (nitroกรัมen free extract หรือ NFE)	100 – สาร 5 ส่วนแรก	แป้ง น้ำตาล บางส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน รวมทั้งวิตามินที่ละลายน้ำได้

ที่มา : (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545, 79)

การวิเคราะห์ทางเคมีอาหารด้วยวิธี proximate analysis ไม่ได้ทำการวิเคราะห์โดยตรง แต่จะเป็นการประมาณ ซึ่งได้จากการคำนวณ โดยใช้สูตรดังนี้

1. ร้อยละของวัตถุแห้ง (DM) = 100 - ร้อยละของความชื้น (100 - % moistures)
2. ร้อยละของอินทรียวัตถุ (OM) = ร้อยละของวัตถุแห้ง - ร้อยละของเถ้า (% DM - %ash)
3. ร้อยละของไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (NFE) = ร้อยละของวัตถุแห้ง – [ร้อยละของเถ้า + ร้อยละของไขมัน + ร้อยละของเยื่อใย + ร้อยละของโปรตีน] (% DM - % [Ash + %EE + % CF + % CP]) (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545, 36)

ความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์โดยประมาณ (accuracy of proximate analysis)

โปรตีน (protein หรือ crude protein หรือ CP)	V +/- 10 %
ไขมัน (fat หรือ ether extract หรือ EE)	V +/- 8 %
เถ้า ash	V +/- 4-5 %
เยื่อใย (crude fiber หรือ CF)	V +/- 10-15 %
คาร์โบไฮเดรต (nitrogen free extract หรือ NFE)	V +/- 8 %

โดย V คือค่าที่วิเคราะห์ได้ โดยเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

การวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาปริมาณขององค์ประกอบหลักของอาหาร ด้วยวิธี proximate analysis มีรายละเอียดดังนี้

1. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำ โดยการหาปริมาณความชื้น (moisture content)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหรือความชื้นในอาหาร จะทำโดยใช้วิธีการอบแห้ง (drying method) ซึ่งเป็นวิธีการระเหยน้ำออกจากตัวอย่างอาหารจนมีน้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่หายไปคือปริมาณความชื้นในอาหาร ในการอบแห้งจะอบที่ใช้อุณหภูมิ 100-102 องศาเซลเซียส วิธีการอบแห้งเป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะทำได้ง่ายและรวดเร็ว แต่วิธีนี้ความร้อนได้ทำให้น้ำ หรือสารระเหย หรือน้ำมันระเหย (volatile oil) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของอาหารนั้นสูญเสียไป โดยน้ำที่สูญเสียไปจะเป็นน้ำอิสระ (free water) ส่วนน้ำที่ไม่สามารถแยกออกได้ (bound water) และน้ำที่ถูกดูดซับ (absolute water) จะแยกออกได้ยาก เพราะน้ำเหล่านี้จะเกาะตัวอยู่กับโปรตีนที่มีอยู่ในอาหาร โดยเฉพาะธัญพืชและถั่วเมล็ดแห้ง จึงไม่ใช่ค่าปริมาณความชื้นที่แท้จริง แต่เป็นค่าโดยประมาณ (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 332; วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2539, 5) การวิเคราะห์ความชื้นทำได้โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบให้แห้งในเตาอบที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ชั่งน้ำหนักอาหารหลังจากอบ และทำการอบอีกครั้งหรือกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง 2530, 205) และคำนวณค่าร้อยละของความชื้นในอาหารได้

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (protein)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธีเจลดาลห์ (Kjeldahl method) เนื่องจากโปรตีนมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ วิธีเจลดาลห์ใช้หาค่าปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบในอาหารทั้งหมด (total nitrogen) ซึ่งโปรตีนโดยทั่วไปจะมีไนโตรเจนร้อยละ 16 ดังนั้นปริมาณโปรตีนจะเท่ากับปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด × 6.25 (6.25 มาจาก $\frac{100}{16}$) (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 115) โดยเฉพาะอาหารที่เป็นแป้งจะนิยมใช้การย่อยและกลั่นด้วยวิธีนี้ (วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2539, 31) ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการหาโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ที่ได้จากการหาปริมาณไนโตรเจนจากสารประกอบอินทรีย์เท่านั้น ไม่รวมไนโตรเจนจากสารประกอบอนินทรีย์

เช่น ไนเตรท และไนไตรท์ (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545, 56; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549, 257) วิธีเจลดาลห์มีความแม่นยำสูงและไม่แพง จึงนิยมใช้กันมาก (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 334) การวิเคราะห์โปรตีนทำได้โดย การชั่งน้ำหนักตัวอย่าง แล้วนำมาทำการย่อย (degradation) กับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ใช้ $CuSO_4$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ K_2SO_4 เป็นตัวช่วยเร่งความร้อน ซึ่งไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไบซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) (1) แล้วทำการกลั่น (liberation of ammonia) โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงไป แอมโมเนียมไบซัลเฟตเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) (2) และจับก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) (capture of ammonia) ด้วยกรดบอริก (H_3BO_3) 2 % (3) และทำการไตเตรท (back-titration) ด้วยกรดเกลือที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน เพื่อหาปริมาณแอมโมเนียมเตตระบอเรต ($NH_4^+ + H_2BO_3^-$)โดยใช้อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างเมธิลเรด (methyl red) และเมธิลบลู (methyl blue) จะได้จุดยุติเป็นสีม่วงแดง (4) สมการการเกิดปฏิกิริยา (Wikipedia, 26 เมษายน 2555)

การย่อยตัวอย่าง N (เมล็ดบัวสาย) $\xrightarrow{\text{คะตะลิส}}$ $(NH_4)_2SO_4$ (1)

การกลั่น $(NH_4)_2SO_4 + 2\,NaOH \longrightarrow 2NH_3 + 2H_2O + Na_2SO_4$ (2)

การจับ $NH_3 + H_3BO_3$ (boric acid) $\longrightarrow NH_4^+ + H_2BO_3^-$ (borate ion) (3)

การไตเตรท $H_2BO_3^- + H^+ \longrightarrow H_3BO_3$ (4)

นำค่าที่ได้ไปหาค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) คูณด้วยค่า factor ของอาหาร (ตารางที่ 7) (กุลยา จันทร์อรุณ, 2533, 140) และคำนวณหาปริมาณโปรตีนในอาหารชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่า factor ของอาหารและปริมาณโปรตีนในอาหารชนิดต่างๆ

ชนิดของอาหาร	Factor	ปริมาณโปรตีน
ข้าวสาลี	5.83	N × 5.83
ข้าวเจ้า	5.95	N × 5.95
ถั่วเหลือง	5.71	N × 5.71
เมล็ดงา ทานตะวัน และถั่วอื่นๆ	5.30	N × 5.30
อาหารอื่นๆ	6.25	N ×6.25

ที่มา : (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2547, 56 อ้างถึง FAO, 1986; วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2539, 32)

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (fat)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในอาหาร ใช้วิธี acid hydrolysis และ solvent extraction method หลักการวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน คือ นำอาหารไปอบแห้งก่อนนำไปสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ แล้วระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกไปจนเหลือไขมัน ซึ่งเป็นวิธีการสกัดไขมันโดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นสารละลายไม่มีขั้ว (non polar solvent) เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์หรือเอธิลอีเทอร์ หรือเฮกเซน สารละลายที่ใช้ในการสกัดไขมันควรมีความสามารถละลายไขมันได้สูง แต่ละลายสารอื่นได้ต่ำ นอกจากนี้จะต้องระเหยได้ง่าย ไม่มีสารตกค้าง มีจุดเดือดต่ำ ไม่มีควัน และไม่เป็นพิษ ที่นิยมใช้มากคือ ปิโตรเลียมอีเทอร์ เพราะราคาถูกและติดไฟน้อย (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545, 65) สารที่ได้เรียกว่า ether extract หรือ crude fat ซึ่งเป็นไขมันอิสระ (free lipid) ที่พบในอาหาร (วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2539, 27) การวิเคราะห์ไขมันทำได้โดย การชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว ใส่ลงในปลอกบรรจุสาร (thimble) แล้วจึงบรรจุปลอกบรรจุสารลงในเครื่องสกัดไขมัน (soxhlet extaction) ที่ต่อเข้ากับเครื่องทำความเย็น (coolinกรัม) ทำการสกัดประมาณ 2 ชั่วโมง และกลั่นปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีไขมันละลายอยู่ เพื่อไล่อีเทอร์ออกไป จากนั้นนำส่วนที่เหลือไปอบแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาค่าร้อยละของไขมันในอาหาร ซึ่งค่าที่ได้จะมีสารอื่นๆ รวมอยู่ด้วย เช่น วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน และสารสี (pigment) (วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2539, 27) การวิเคราะห์ไขมันด้วยวิธีการสกัดด้วยเครื่อง soxhlet เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ให้ความถูกต้องสูง แต่ใช้เวลานาน (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 338; ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง 2530, 143)

4. การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (fiber)

การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย ด้วยวิธี association of official analytical chemists ; AOAC method เยื่อใยเป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่ย่อยได้ยาก ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารอื่นๆ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลาย และเหลืออยู่ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530, 170) หลักการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย คือ ต้มสารอินทรีย์ที่ปราศจากไขมันด้วยกรดเจือจางและด่างเจือจาง จนเหลือเส้นใยและเถ้า แล้วเผาให้เส้นใยสลายไป จึงเหลือเฉพาะเถ้า จึงเป็นผลต่างของน้ำหนักก่อนเผาและหลังเผา (วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2539, 36) การวิเคราะห์เยื่อใยทำได้โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว นำมาต้มกับสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง เป็นเวลา 10 นาที กรองล้างกรดออกไป จากนั้นนำไปต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง กรอง และล้างด่างออกไป เหลือกากที่เป็นเยื่อใยและเถ้า นำกากที่เหลือนี้ไปอบแห้งในตู้อบชั่งน้ำหนักก่อนแล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ส่วนของเยื่อใยหายไป เหลือเฉพาะเถ้า ชั่งน้ำหนัก (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545, 74) และคำนวณค่าร้อยละของเยื่อใยได้

5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าใช้วิธี dry ash method หลักการคือ เผาตัวอย่างอาหารด้วยอุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้สารสีขาว ซึ่งเป็นการหาปริมาณของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาให้สารอินทรีย์สลายตัว ซึ่งปริมาณเถ้าไม่จำเป็นจะต้องเหลือเท่ากับปริมาณของสารประกอบ อนินทรีย์ที่มีในอาหารเสมอไป เพราะสารบางส่วนของเถ้าได้ระเหยหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบของอาหาร ปริมาณเถ้าใช้บ่งชี้คุณภาพของอาหารบางชนิดได้ อาหารที่มีปริมาณเถ้ามากอาจเนื่องจากอาหารนั้นถูกปลอมปน เช่น เครื่องเทศ เจลาติน น้ำตาลทราย และแป้ง (วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2539, 8) การวิเคราะห์เถ้าทำได้โดย การชั่งน้ำหนักตัวอย่าง เผาในเตาเผาจนได้สารสีขาว ชั่งน้ำหนักอาหารหลังจากอบ และทำการอบอีกครั้ง หรือกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2547,49) และคำนวณค่าร้อยละของเถ้าทั้งหมดได้

6. การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการคำนวณหาค่าความต่าง (by difference) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์หาค่าโดยประมาณ (approximated valuc) เป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่ต้องใช้เครื่องมือขั้นสูง (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545, 78) คาร์โบไฮเดรตจะเป็นส่วนที่ย่อยได้ง่ายหรือสารประกอบที่ปราศจากไนโตรเจน (nitrogen free extract : NFE) หลักการคือ ค่าร้อยละของคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละของวัตถุแห้ง ลบด้วยผลรวมร้อยละของเถ้า ร้อยละของไขมัน ร้อยละของเยื่อใย และร้อยละของโปรตีน (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 340)

7. **การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและเหล็ก** (calcium and iron)

การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ โดยวิธี atomic absorption spectrophotometric method (AOAC 2000) โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectroscopy, (AAS) อาศัยหลักการการดูดกลืนแสงของอะตอมอิสระจนอะตอมเปลี่ยนสถานะ จากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอม (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 345) ในแต่ละความยาวคลื่น ซึ่งจะสามารถบ่งบอกถึงชนิด และปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ซึ่งการทำให้อะตอมภายในธาตุเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้นต้องอาศัยพลังงานความร้อนไปกระตุ้นให้อะตอมเกิดการแตกตัวหรือกลายเป็นไอ โดยความร้อนเป็นตัวทำลายพันธะที่ยึดอยู่ระหว่างอะตอม ทำให้ธาตุเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ (atomizer) การให้พลังงานความร้อนทำได้หลายวิธี เช่น flame atomization วิธีการนี้จะใช้เปลวไฟที่เหมาะสมในการทำให้สารตัวอย่างเกิดการแตกตัวเป็นอะตอม เพราะเปลวไฟแต่ละชนิดให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน สำหรับสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์จะต้องเป็นสารละลายที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวไม่มีสารแขวนลอยอยู่ การวิเคราะห์แคลเซียมและเหล็กทำได้โดย เริ่มต้นจากการใช้เครื่องพ่นสารละลาย (nebulizer) พ่นให้ของเหลวกลายเป็นไอ หลังจากนั้นตัวทำละลายจะถูกกำจัดออกไปจนเกิดอนุภาคเล็กๆ ของสารประกอบ พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ ทำให้สารประกอบเหล่านี้เกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ โมเลกุล และอะตอมอิสระ วิธีการนี้ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดี ง่าย สะดวกและใช้ประโยชน์ได้มาก แต่มีความไวไม่สูงมากนัก (พรรณทิพย์ ตั้งปรียารักษ์, 2548; อาสาพ จิตรแจ่ม, 2548)

การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและเหล็กของอาหารจะใช้เถ้าสีเทาที่ได้จากการทำเถ้าแบบแห้ง ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ปราศจากสารอินทรีย์ โดยนำเถ้าไปต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นเพื่อละลายแร่ธาตุ แล้วเจือจางสารละลายที่มีแร่ธาตุด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นตามความเหมาะสม นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมและเหล็ก ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 3110 วัดการดูดกลืนแสงโดยอะตอมใช้ก๊าซ acetylene และอากาศ เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของแคลเซียม และกราฟค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของเหล็ก วัดค่าเป็นหน่วย มิลลิลิตร

8. **การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส** (phosphorus)

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสใช้วิธี Vanado-Molybdate colorimetric method การสกัดฟอสฟอรัสจากเถ้าสีเทาที่ได้จากการทำเถ้าแบบแห้ง ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ปราศจากสารอินทรีย์ โดยนำเถ้าไปต้มด้วยน้ำยาเบร์ยทู (Bray II) เพื่อละลายแร่ธาตุ แล้วเจือจางสารละลายที่มีแร่ธาตุด้วย

น้ำกลั่น เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นตามความเหมาะสม และทำให้เกิดสีด้วยโมลิบดินัมบลู (molybdenum blue) ใช้กรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) เป็นตัวรีดิวส์ วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ยี่ห้อ perkin elmer รุ่น landa 12 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานของฟอสฟอรัส วัดค่าเป็นหน่วย มิลลิลิตร

9. การวิเคราะห์หาพลังงานรวม (กรัมross enerกรัมy)

การหาพลังงานรวมโดยการนำอาหารมาเผาในเครื่องมือ auto bomb calorimeter ยี่ห้อ gallenkamp รุ่น cab 101.ab1.c โดยการเผาไหม้อาหารอย่างสมบูรณ์จะทำให้เกิดพลังงาน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยพลังงานจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อน พลังงานความร้อน 1 แคลอรี (calorie; cal) เกิดจากการเผาอาหาร 1 กรัม แล้วทำให้น้ำ 1 มิลลิลิตรมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส พลังงานในอาหารได้จากคาร์โบไฮเดรต 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม โปรตีน 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม และไขมัน 9 กิโลแคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นการหาพลังงานรวมของอาหาร แต่ในร่างกายมนุษย์จะมีสารบางอย่างในอาหารที่ไม่ถูกนำไปเผาผลาญ เช่น ยูเรีย ดังนั้นจึงต้องเผายูเรียออกไปครั้งหนึ่งก่อนนำไปวิเคราะห์พลังงาน (ฉัตรชัย สังข์ผุด, 2545, 84-85)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางโภชนาการในธัญพืชและเมล็ดพืช จากกองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข (2550) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสารอาหารในธัญพืช (ตารางที่ 7) พบว่าธัญพืชและเมล็ดพืชต่างชนิดกันให้คุณค่าทางอาหารแตกต่างกัน แต่กระนั้นเมล็ดพืชส่วนใหญ่ก็ให้พลังงานมากกว่า 300 กิโลแคลอรี/100 กรัม และมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นสารอาหารหลัก ได้แก่ น้ำร้อยละ 8-14 โปรตีนร้อยละ 8-13 ไขมันร้อยละ 2-12 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 58-78 เยื่อใยร้อยละ 0.5-6 และแร่ธาตุต่างๆ ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของถั่วและเมล็ดพืชชนิดต่างๆ (ตารางที่ 8) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้งและเมล็ดพืชต่างๆ พบว่าถั่วส่วนใหญ่จะให้พลังงานสูง โดยได้จากโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ถั่วเมล็ดแห้งและเมล็ดพืชยังมีเยื่อใย แคลเซียม และเหล็กสูงด้วย

ตารางที่ 7 ปริมาณสารอาหารในธัญพืช (ส่วนที่กินได้100 กรัม)

ชนิดของธัญพืช	พลังงาน (kcal)	น้ำ (g)	โปรตีน (g)	ไขมัน (g)	คาร์โบไฮเดรต (g)	เยื่อใย (g)	เถ้า (g)	Ca (mg)	P (m g)	Fe (m g)
ข้าวเจ้ากล้อง	336	9.9	7.0	2.4	79.1	2.5	1.6	27	255	3.7
ข้าวสาลี	365	9.4	12.2	1.4	75.9	11.7	1.1	42	190	4.2
ข้าวเหนียวกล้อง	362	11.4	7.4	2.6	77.3	3.0	1.3	18	272	1.6
ข้าวโพดเหลือง (ดิบ)	111	73.4	3.4	1.4	21.1	0.7	0.7	10	11	1.7
ข้าวบาร์เลย์	354	11.3	8.3	0.7	78.5	9.4	1.2	41	191	1.4
ข้าวฟ่าง	371	8.8	9.8	2.5	77.4	9.1	1.5	24	316	4.2
ข้าวโอ๊ต	381	10.6	10.8	5.9	71.2	12.3	1.5	43	282	6.5

ที่มา: (กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2550)

ตารางที่ 8 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วและพืชเมล็ดชนิดต่างๆ (ส่วนที่กินได้ 100 กรัม)

ชนิดของธัญชาติ	พลังงาน (kcal)	น้ำ (g)	โปรตีน (g)	ไขมัน (g)	คาร์โบไฮเดรต (g)	เยื่อใย (g)	เถ้า (g)	Ca (m g)	P (m g)	Fe (m g)
ถั่วเหลือง (ดิบ)	430	11.1	34.0	18.7	31.4	4.7	4.8	245	500	10
ถั่วเขียว (ดิบ)	374	11.5	23.4	1.3	60.3	4.3	3.5	125	340	5.2
ถั่วแดง (ดิบ)	332	14.2	22.4	1.2	58.0	4.3	4.2	-	253	-
ถั่วดำ (ดิบ)	357	9.3	23.8	1.6	61.8	4.6	3.5	57	479	16.5
ถั่วลิสง (ดิบ)	538	11.4	29.7	38.7	17.7	2.1	2.5	20	455	13.8
เมล็ดบัวหลวง (ดิบ)	353	10.8	19.2	2.1	64.2	10.1	3.7	122	626	4.4

หมายเหตุ (-) = ยังไม่ได้วิเคราะห์

ที่มา: (กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2550)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (Nymphaea lotus Linn.) จากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชในครั้งนี้ มีการกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง การกำหนดตัวแปรที่ศึกษา วางแผนศึกษาลักษณะทางกายภาพและวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร วิธีการศึกษาลักษณะทางกายภาพและวิธีวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร การเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังนี้

การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ทำการศึกษาครั้งนี้เป็นเมล็ดบัวสายในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยทำการศึกษา 3 กลุ่มตัวอย่างคือ ตัวอย่างที่ 1 เมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีขาวปนชมพูที่ได้จากบ่อปลูก บ้านเลขที่ 59 หมู่ที่ 8 ตำบลปากแพรก ตัวอย่างที่ 2 เมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีขาวปนชมพูที่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ หมู่ที่ 8 ตำบลปากแพรก และตัวอย่างที่ 3 เมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูที่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ หมู่ที่ 4 ตำบลขนาบนาก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเมล็ดบัวสายทั้ง 3 กลุ่มเป็นผลผลิตในปี 2552-2553

การกำหนดตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ

1. ตัวแปรอิสระ (independent variables) ได้แก่ ชนิดและแหล่งที่มาของเมล็ดบัวสาย

2. ตัวแปรตาม (dependent variables) ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ สี ขนาด และการพองตัว ปริมาณพลังงานรวม ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก ของเมล็ดบัวสาย

3. ตัวแปรควบคุม (control variable) ได้แก่ ช่วงอายุของเมล็ดบัวสาย ปี 2552 จากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

การวางแผนศึกษาลักษณะทางกายภาพและวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

1. การวางแผนศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย จะศึกษาสี ขนาด และการพองตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยวางแผนการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย ดังแสดงในภาพที่ 25

- เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก กำหนดให้เป็นตัวอย่างที่ 1 (T1)
- เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ กำหนดให้เป็นตัวอย่างที่ 2 (T2)
- เมล็ดบัวสายดอกสีชมพูม่วงปนขาวจากแหล่งน้ำธรรมชาติ กำหนดให้เป็นตัวอย่างที่ 1 (T3)

→ สีของเมล็ดบัวสาย ด้วย colorimeter โดยการวัดค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

→ ขนาดของเมล็ดบัวสาย ด้วยตะแกรงร่อนขนาด 1 มิลลิเมตร

→ การพองตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง

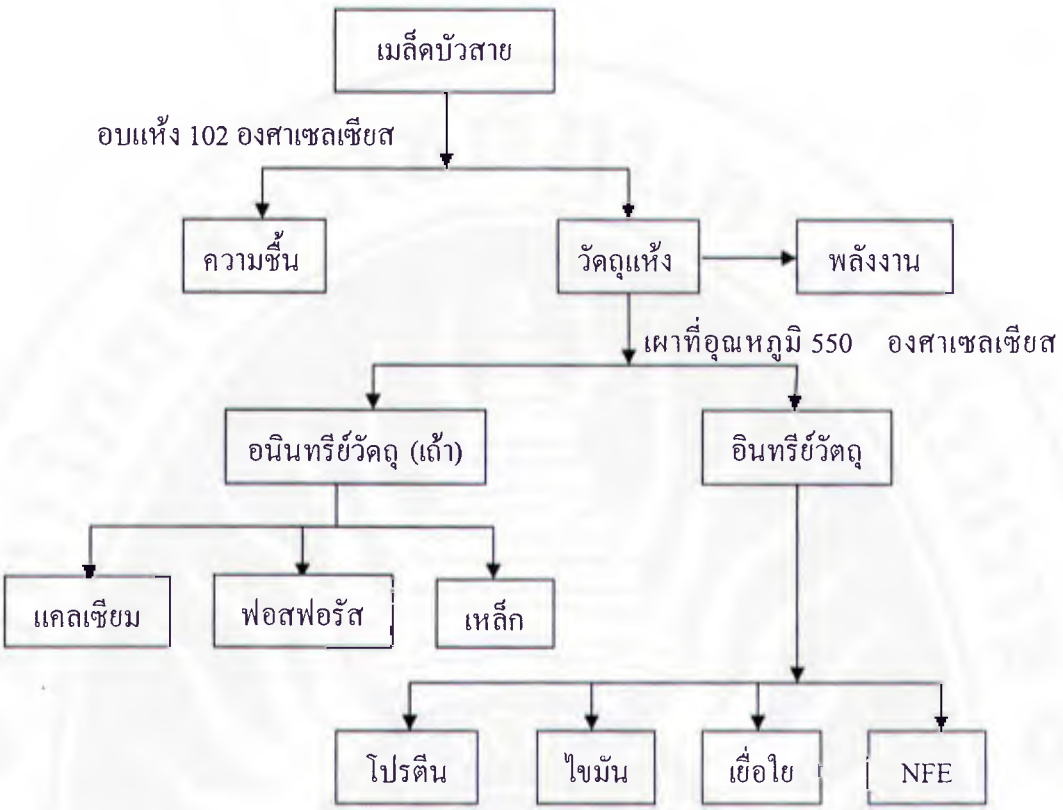
→ การพองตัวในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (สุก) โดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

→ บันทึก วิเคราะห์ และสรุปผลการศึกษาเมล็ดบัวสาย

ภาพที่ 25 การวางแผนศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย

2. การวางแผนวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

การวิจัยนี้ได้กำหนดแผนวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายด้วยวิธี proximate analysis วิเคราะห์พลังงานของเมล็ดบัวสายด้วย bomb calorimeter ยี่ห้อ gallenkamp รุ่น cab 101.ab1.c วิเคราะห์แร่ธาตุแคลเซียมและเหล็ก โดยดัดแปลงจากวิธี official method 927.02 (AOAC 2000) ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ perkin elmer รุ่น 3110 และวิเคราะห์ฟอสฟอรัส ด้วย spectrophotometer ยี่ห้อ perkin elmer รุ่น landa 12 ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ มีแผนการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายแผน ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แสดงแผนการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

วิธีการศึกษาลักษณะทางกายภาพและวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

1. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย

1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่

1.1.1 เครื่องวัดสี colorimeter ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น color flex 45/0

1.1.2 ตะแกรงร่อน (testinกรัม sieve) ยี่ห้อ W.S. Tyler ขนาด 1 มิลลิเมตร

1.1.3 เตาไฟฟ้า (hot plate & stirrer) ยี่ห้อ Jenway รุ่น 1203

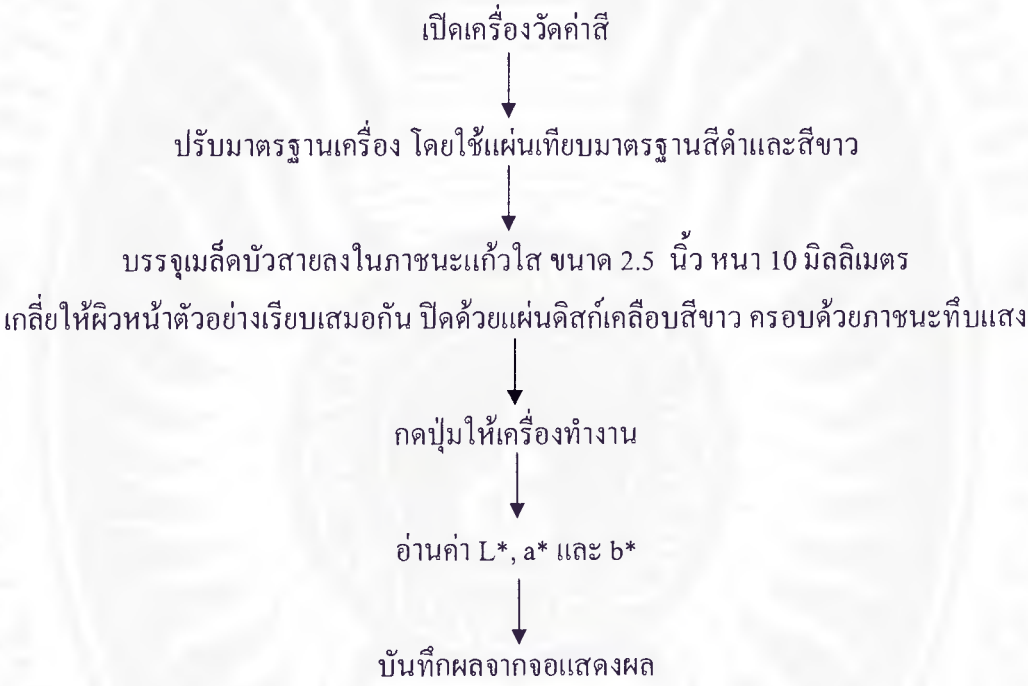
1.1.4 เครื่องชั่งไฟฟ้า (balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP 210S

1.1.5 เครื่องแก้ว

1.2 วิธีการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย

1.2.1 สี มีขั้นตอนการวัดค่าสีของเมล็ดบัวสายแสดงดังภาพที่ 27 โดยใช้เครื่อง colorimeter ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น color flex 45/0 แสดงดังภาพที่ 28 ใช้ระบบ CIE L* a* b* เริ่มต้นด้วยการปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดยใช้แผ่นเทียบมาตรฐานสีดำและสีขาว ภายใต้สภาวะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ port size เท่ากับ 0.50 นิ้ว ค่าองศาการมอง (observer) เท่ากับ 10 องศา

แหล่งกำเนิดแสง (illumination) คือ D_{65} ซึ่งเป็นหลอดไฟที่ใช้แทนแสงธรรมชาติตอนเที่ยงวัน (noon daylightรัมht) จากนั้นบรรจุเมล็ดบัวสายลงในภาชนะแก้วใส (glass sample cup หรือ petri dish) ขนาด 2.5 นิ้ว หนา 10 มิลลิเมตร วางแผ่นดิสก์เคลือบสีขาวปิดทับให้ผิวหน้าตัวอย่างเรียบเสมอกัน เพื่อให้การสะท้อนแสงชัดเจน แล้วจึงวางภาชนะแก้วใสที่บรรจุเมล็ดบัวสายลงบนเครื่อง ครอบด้วยภาชนะทึบแสงเพื่อป้องกันแสงจากภายนอก กดปุ่มทำงาน แล้วจึงอ่านค่า L* (lightness), a* (redness-greenness) และ b* (yellowness-blueness) (เฉลิมชัย ประเวศตระกูลชัย, 2553) บันทึกผล จากจอแสดงผล ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ



ภาพที่ 27 ขั้นตอนการวัดค่าสีของเมล็ดบัวสาย

ภาพที่ 28 เครื่อง colorimeter ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น color flex 45/0

1.2.2 ขนาด มีขั้นตอนการวัดขนาดของเมล็ดบัวสาย แสดงดังภาพที่ 29 เนื่องจากเมล็ดบัวสายมีขนาดเล็กมาก จึงใช้วิธีการวัดขนาดโดยการร่อนเมล็ดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเท่ากับ 1 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 30 เพื่อคำนวณหาค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดโตกว่า 1 มิลลิเมตร โดยการชั่งเมล็ดบัวสาย 1 กรัม ใส่ลงในตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เขย่าตะแกรงให้เมล็ดบัวสายที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ลอดผ่านลงไปในภาชนะที่รองรับ ชั่งน้ำหนักของเมล็ดบัวสายที่เหลือค้างอยู่บนตะแกรง ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ นำมาคำนวณหาค่าร้อยละของน้ำหนักของเมล็ดบัวสายที่มีขนาดโตกว่า 1 มิลลิเมตร โดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละของน้ำหนักของเมล็ดบัวสายที่มีขนาดโตกว่า 1 มิลลิเมตร} = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

เมื่อ M1 = น้ำหนักของเมล็ดบัวสายทั้งหมด

M2 = น้ำหนักของเมล็ดบัวสายที่ลอดผ่านตะแกรง

ชั่งเมล็ดบัวสาย 1 กรัม

↓

ใส่ลงในตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูขนาด 1 มิลลิเมตร เขย่าตะแกรง

↓

ชั่งน้ำหนักของเมล็ดบัวสายที่ลอดผ่านตะแกรง

↓

บันทึกผลและคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักของเมล็ดบัวสายที่มีขนาดโตกว่า 1 มิลลิเมตร

ภาพที่ 29 ขั้นตอนการวัดขนาดของเมล็ดบัวสาย

ภาพที่ 30 ตะแกรงร่อน (sieve) ยี่ห้อ W.S. Tyler ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 1 มิลลิเมตร

1.2.3 การพองตัวของเมล็ดบัวสาย มีขั้นตอนการวัดการพองตัวของเมล็ดบัวสายในน้ำที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 31 โดยการวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเป็นค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องและร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังการต้มด้วยเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Sathe และ Salunkhe (1981) โดยการชั่งน้ำหนักเมล็ดบัวสายแห้ง 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 20 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 10 ชั่วโมง รินน้ำทิ้งโดยคว่ำบีกเกอร์บนตะแกรง เป็นเวลา 15 นาที ชั่งน้ำหนัก แสดงดังภาพที่ 32 ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ นำค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง} = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100$$

เมื่อ M1 = น้ำหนักเมล็ดบัวสายก่อนแช่น้ำ

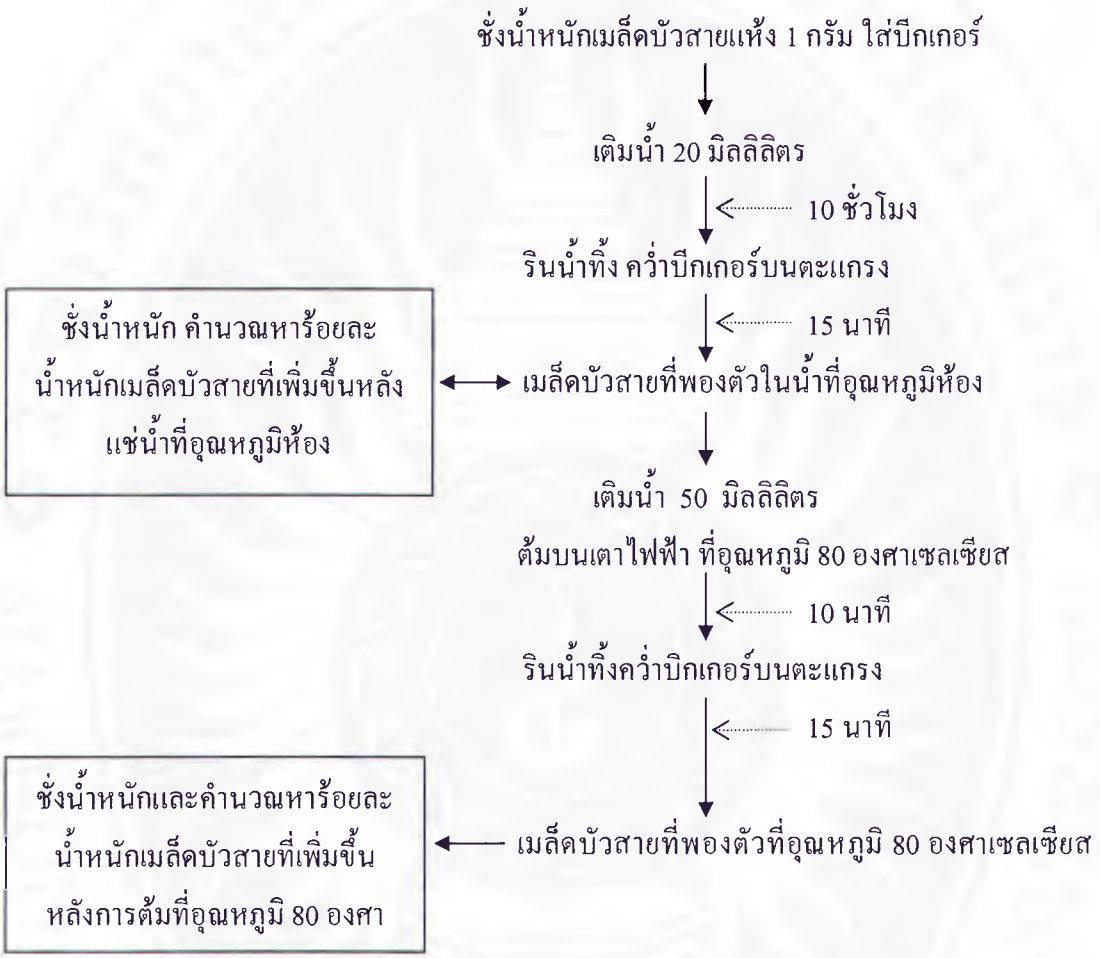
M2 = น้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง

ส่วนการวิเคราะห์การพองตัวในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นการวิเคราะห์การพองตัวภายหลังจากแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ด้วยการเติมน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ต้มบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที รินน้ำทิ้งโดยคว่ำบีกเกอร์บนตะแกรง เป็นเวลา 15 นาที ชั่งน้ำหนัก ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ นำค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้สูตร

ร้อยละน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส $= \frac{M2 - M1}{M1} \times 100$

เมื่อ M1 = น้ำหนักเมล็ดบัวสายก่อนแช่น้ำ

M2 = น้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 31 ขั้นตอนการวัดการพองตัวของเมล็ดบัวสายในน้ำที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 32 เตาไฟฟ้า (hot plate & stirrer) ยี่ห้อ Jenway รุ่น 1203

2. การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต เถ้า แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และพลังงานของเมล็ดบัวสาย ซึ่งใช้เครื่องมือและอุปกรณ์และวิธีการวิเคราะห์ มีรายละเอียดดังนี้

1) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

1.1) เครื่องชั่งไฟฟ้า (balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP 210S

1.2) ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ Mettler toledo รุ่น AT400

1.3) โถดูดความชื้น (desiccator)

1.4) เครื่องบดละเอียด (blender) ยี่ห้อ Purichawon รุ่น MC15

1.5) เตาเผา (muffle furnace) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น cwt 1300

1.6) เตาไฟฟ้า (hot plate & stirrer) ยี่ห้อ Jenway รุ่น 1203

1.7) เครื่องย่อยโปรตีน (digestion unit) ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-426

1.8) เครื่องกำจัดไอกรด ยี่ห้อ Velp scientifica

1.9) ตู้ควัน (super flow fume cupboard) ยี่ห้อ Major

1.10) เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน (nitrogen analyzer) ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-323

1.11) เครื่องทำความเย็น (cooling) ยี่ห้อ Scientific promotion

1.12) เครื่องสกัดไขมัน (soxhlet extraction) ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-426

1.13) เครื่องสกัดเยื่อใย (soxhlet fiber) ยี่ห้อ Velp scientifica

1.14) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (atomic absorption spectrophotometer หรือ AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 3110

1.15) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ Perkin elmer รุ่น landa 12

1.16) เครื่องออโต้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (auto bomb calorimeter) ยี่ห้อ gallenkamp รุ่น cab 101.ab1.c

1.17) หลอดย่อย (digesting tube)

1.18) บีกเกอร์ (beaker)

1.19) ปิเปต (pipette)

1.20) ขวดชมพู่ (flask)

1.21) ภาชนะโลหะ

2) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

2.1) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โปรตีน ได้แก่

(1) sulfuric acid (H_2SO_4) conc.

(2) sodium hydroxide (NaOH) 32 %

(3) selenium mixture หรือ 5% $CuSO_4$ + 95% K_2SO_4

(4) boric acid (H_3BO_3) 2 %

(5) mixinกรัม indicator (0.2% methyl red และ 0.1% methylene blue)

(6) hydrochloric acid (HCl) 0.1 N

2.2) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ไขมัน

(1) petroleum ether

2.3) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์เยื่อใย

(1) H_2SO_4 1.25%

(2) NaOH 1.25%

(3) acetone

2.4) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์แคลเซียม เหล็ก และฟอสฟอรัส

(1) น้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน (deionized water)

(2) nitric acid (HNO_3) 1 N

(3) nitric acid (HNO_3) 3 N

(4) lanthanum oxide (La_2O_3) 99.99 % (AAS quality)

(5) lanthanum chloride ($LaCl_3$) 1% โดยมวลต่อปริมาตร

(6) lanthanum stock solution 1,000 ไมโครกรัม

(7) สารละลายแคลเซียม (Ca) มาตรฐาน

(8) สารละลายเหล็ก (Fe) มาตรฐาน

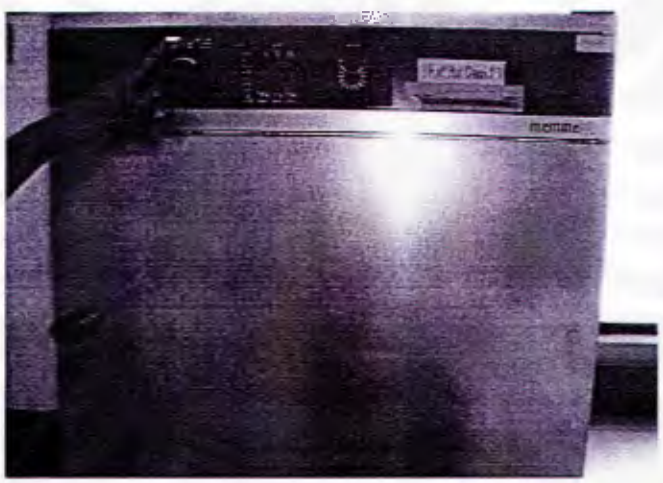
(9) สารละลาย ฟอสฟอรัส (P) มาตรฐาน

(10) น้ำยาเบร์ยทู (Bray II)

(11) กรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid)

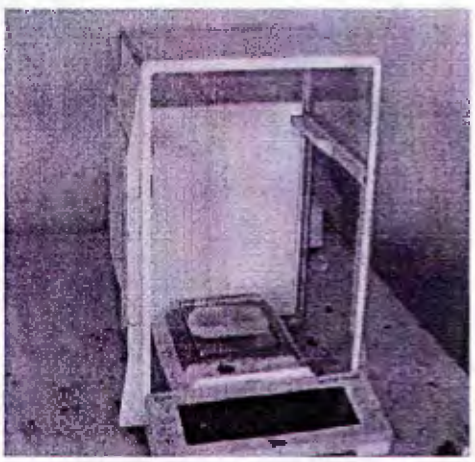
3) การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

เตรียมตัวอย่างเมล็ดบัวสาย โดยการนำเมล็ดบัวสายไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน แสดงดังภาพที่ 33 และบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่างดังภาพที่ 34 ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า ดังภาพที่ 35 นำไปอบแห้งอีกครั้งจนมีน้ำหนักคงที่ ใส่กล่องพลาสติกและเก็บไว้ในโถดูดความชื้นดังภาพที่ 36 สำหรับใช้ในการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายต่อไป



ภาพที่ 33 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ mettler toledo รุ่น AT400

ภาพที่ 34 เครื่องบดละเอียด (blender) ยี่ห้อ Purichawon รุ่น MC15



ภาพที่ 35 เครื่องชั่งไฟฟ้า (balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP 210S

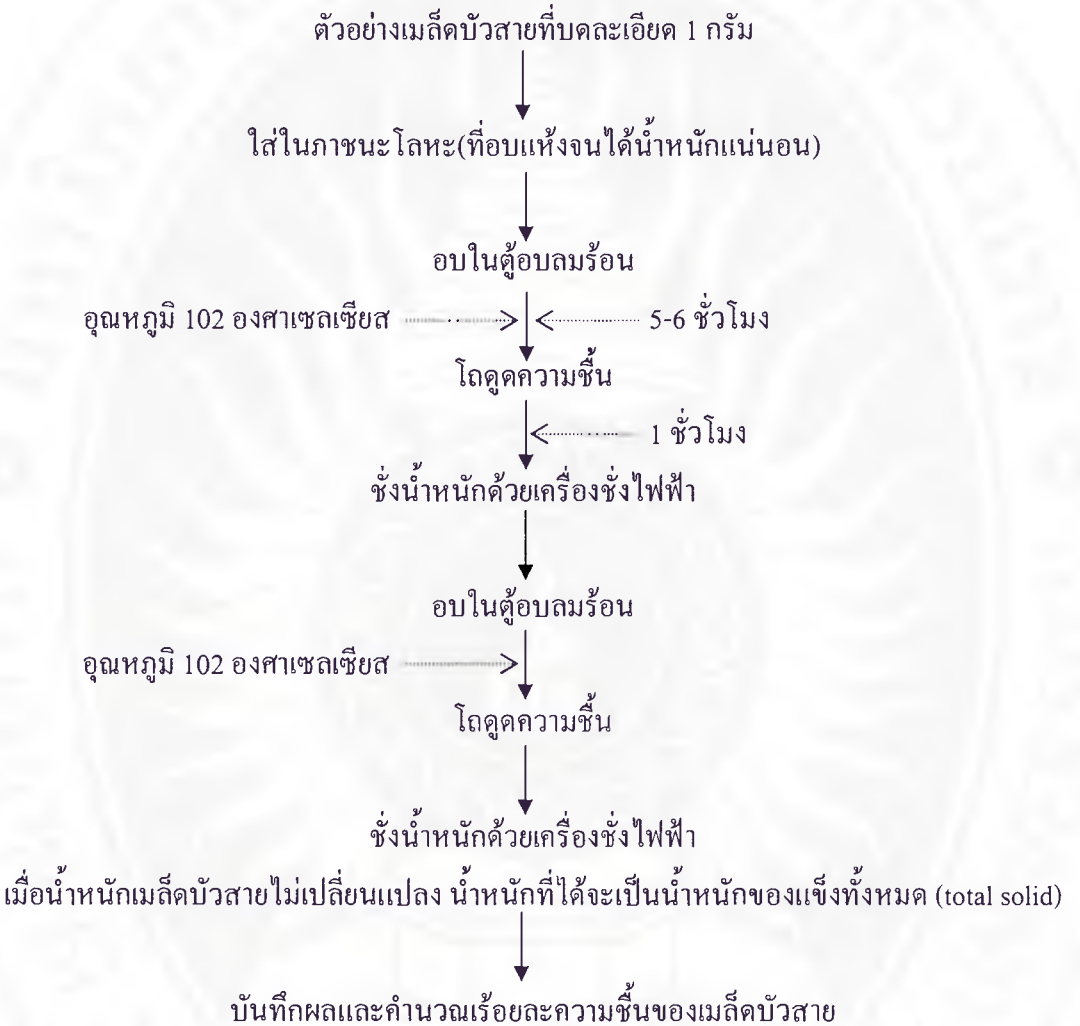
ภาพที่ 36 โถดูดความชื้น (desiccator)

(1) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเมล็ดบัวสาย โดยวิธีทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส ในตู้อบไฟฟ้า ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐาน official method 973.08 (AOAC, 2000) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเมล็ดบัวสายแสดงดังภาพที่ 37 โดยการนำตัวอย่างเมล็ดบัวสายที่บดละเอียด 1 กรัมใส่ในภาชนะโลหะ (ที่อบแห้งจนได้น้ำหนักแน่นอน) ดังภาพที่ 38 อบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า หลังจากนั้นจึงนำเมล็ดบัวสายไปอบที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักอีกครั้งจนได้น้ำหนักคงที่ ส่วนของแข็งที่เหลือหลังจากน้ำในเมล็ดบัวสายระเหยออกไปหมดแล้วเรียกว่า ของแข็งทั้งหมด (total solid) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ บันทึกผลและคำนวณร้อยละความชื้นของเมล็ดบัวสายได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

เมื่อ M1 คือ น้ำหนักของเมล็ดบัวสาย (กรัม) ก่อนอบในตู้อบลมร้อน

M2 คือ น้ำหนักของเมล็ดบัวสาย (กรัม) หลังอบในอบลมร้อน



ภาพที่ 37 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเมล็ดบัวสาย

ภาพที่ 38 ภาชนะโลหะ

(2) การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี Kjeldahl method ซึ่งเป็นการหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในรูปของโปรตีนหยาบ (crude protein) ที่มีทั้งโปรตีนและสารประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โปรตีนแต่มีไนโตรเจน ได้แก่ เอไมด์ (amind) เกลือแอมโมเนีย (ammonium salt) และยูเรีย (urca) รวมอยู่ด้วย ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน แสดงดังภาพที่ 39 ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยการนำตัวอย่างเมล็ดบัวสายที่บดละเอียด 1 กรัม ใส่ในหลอดย่อย เติมคะตะลิส 7 กรัมและกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องย่อยโปรตีนและกำจัดไอกรด แสดงดังภาพที่ 40 ทำการย่อยเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้สารละลายใสสีฟ้าอ่อน นำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นไนโตรเจน แสดงดังภาพที่ 41 รองรับสารที่กลั่นได้ด้วยกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2 ที่ผสมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จะได้สารละลายสีเขียว ทำการไตเตรทสารละลายที่ได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 นอร์มอล จะได้จุดยุติเป็นสารละลายสีม่วง แสดงดังภาพที่ 42 อ่านค่าปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรท บันทึกผลและคำนวณค่าร้อยละโปรตีนของเมล็ดบัวสายโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \%N_2 \times 6.25$$

$$\text{เมื่อ } \%N_2 = \frac{(V1 - V2) \times (14.007) \times (N) \times 100}{E}$$

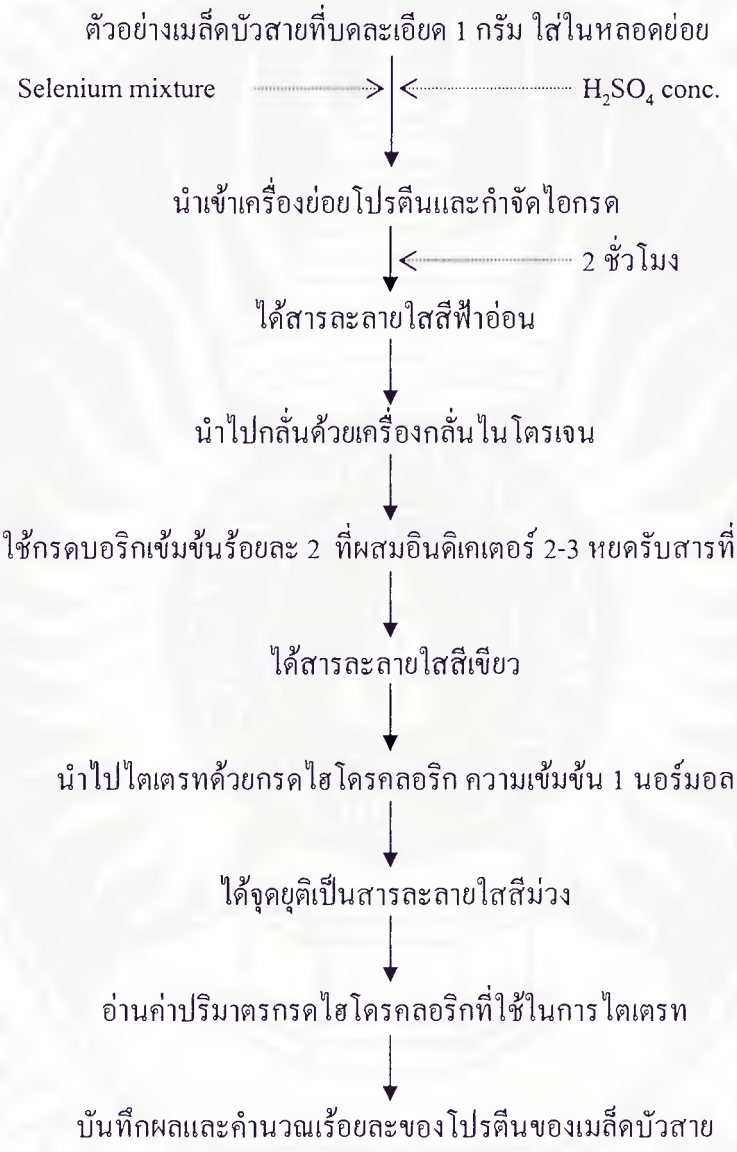
V1 = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไตเตรท

V2 = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไตเตรท blank

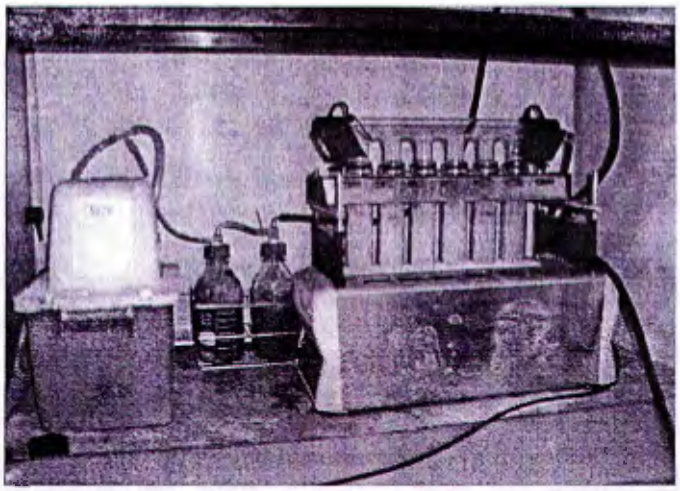
N = normality ของกรด

E = น้ำหนักของเมล็ดบัวสายหน่วยเป็นมิลลิกรัม

ตัวอย่างอาหารจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 16 หรือ 6.25 และกรดไฮโดรคลอริก 1 โมล จะสมมูลกับไนโตรเจน 1 โมล มีค่าเท่ากับ 14 กรัม ดังนั้น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จะมีไนโตรเจน เท่ากับ 0.0014 กรัม และกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 14.007 มิลลิกรัม

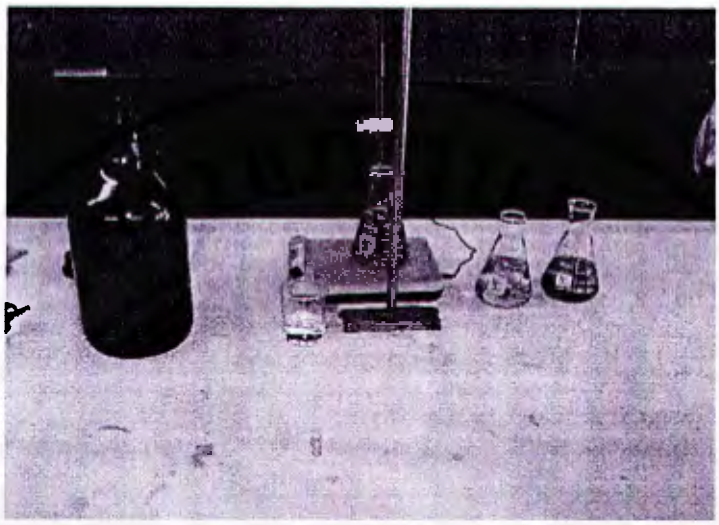


ภาพที่ 39 ขั้นตอนการวิเคราะห์โปรตีนในเมล็ดบัวสาย



ภาพที่ 40 เครื่องย่อยโปรตีนและกำจัดไอกรด (digestion unit) ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-426

ภาพที่ 41 เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน (nitrogen analyzer) ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-323

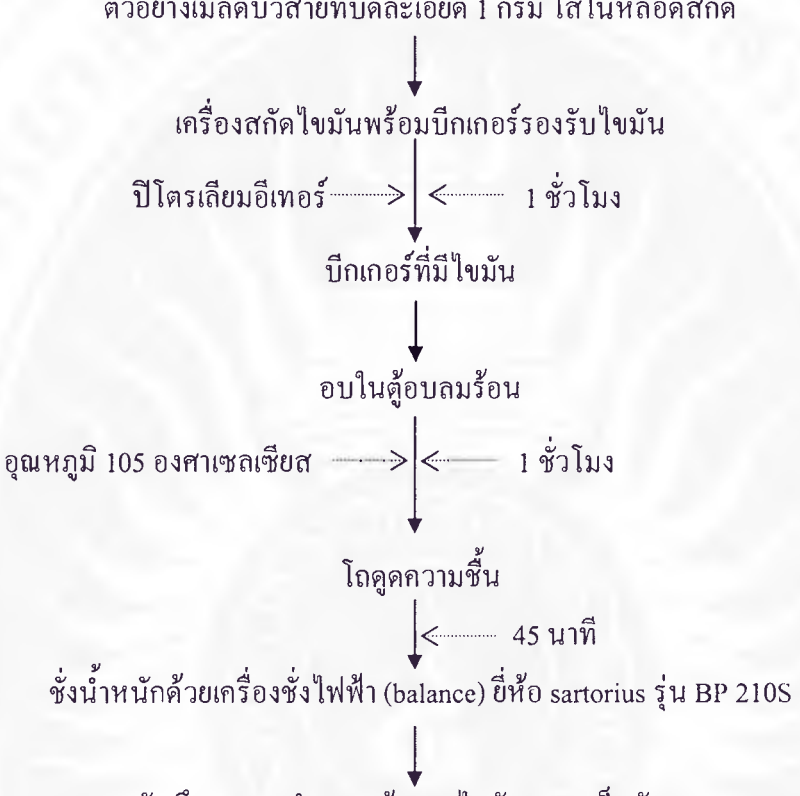


ภาพที่ 42 การไตเตรทสารละลายไนโตรเจนด้วยกรดไฮโดรคลอริกได้จุดยุติเป็นสารละลายสีม่วง

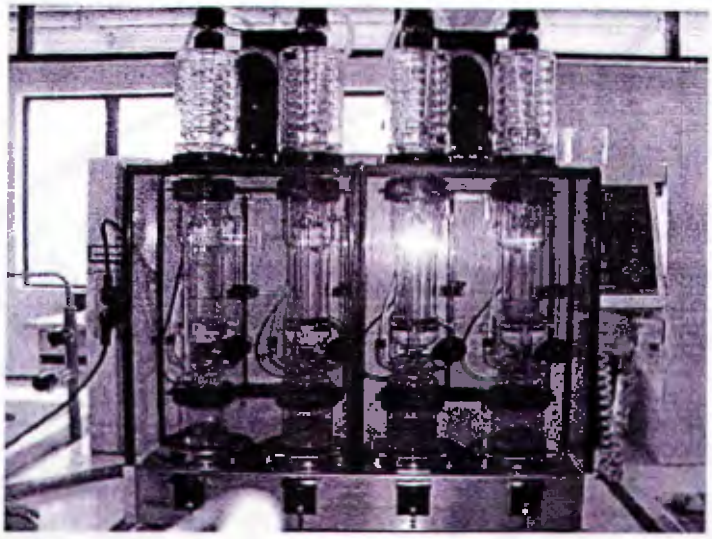
(3) การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน เป็นการวิเคราะห์ไขมันอย่างหยาบโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยทั่วไปส่วนประกอบของไขมันในอาหารจะเป็นสารประกอบลิพิดที่สกัดออกได้ด้วยอีเทอร์ ทั้งปิโตเลียมอีเทอร์และไดเอทธิลอีเทอร์ ซึ่งเป็นสารละลายที่ไม่มีขั้ว (non-polar solvent) สารที่สกัดได้เรียกว่า สารสกัดจากอีเทอร์ (ether extract หรือ crude fat) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในเมล็ดบัวสาย แสดงดังภาพที่ 43 โดยการนำตัวอย่างเมล็ดบัวสายที่บดละเอียด 1 กรัม ใส่ในหลอดสกัด นำหลอดสกัดประกอบเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน แสดงดังภาพที่ 44 พร้อมบีกเกอร์รองรับไขมัน สกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ใช้เวลาสกัด 1 ชั่วโมง นำบีกเกอร์ที่มีไขมันไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 45 นาที (ฉัตรชัย สังผุด, 2545, 70) ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า บันทึกผลและคำนวณร้อยละไขมันของเมล็ดบัวสาย

จากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่ได้จากการสกัด}}{\text{น้ำหนักเมล็ดบัวสาย}} \times 100$$



ภาพที่ 43 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในเมล็ดบัวสาย



ภาพที่ 44 เครื่องสกัดไขมัน (soxhlet extraction) ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-426

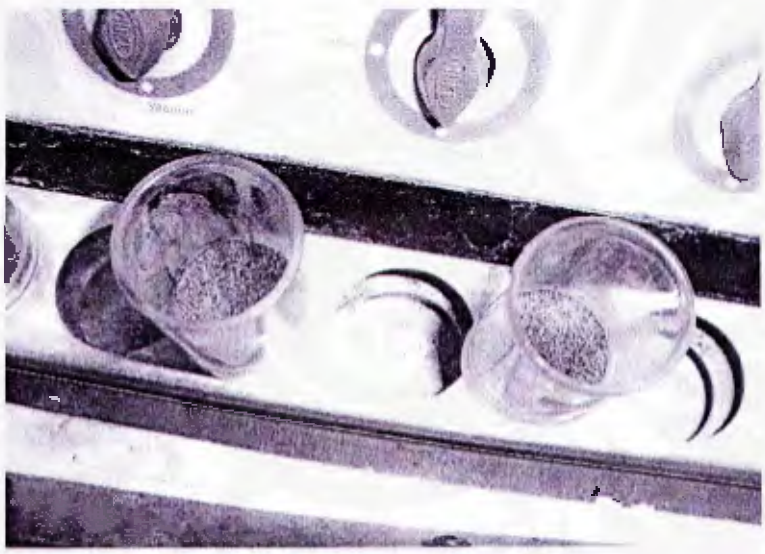
(4) การวิเคราะห์ปริมาณของเยื่อใย มีขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 45 โดยใช้เครื่องสกัดเยื่อใย แสดงดังภาพที่ 46 ซึ่งวิธีนี้ดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐาน official Method 935.5 (AOAC, 2000) ซึ่งทำการสกัดตัวอย่างด้วยกรดและเบส โดยการนำตัวอย่างเมล็ดบัวสายที่บดละเอียดและสกัดไขมันแล้ว 1 กรัม ไปใส่ในภาชนะสำหรับย่อยเยื่อใย แสดงดังภาพที่ 47 ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก 1.25 % เป็นเวลา 30 นาที และย่อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 % เป็นเวลา 30 นาที นำสารที่เหลือในถ้วยไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ ซึ่งเป็นน้ำหนักของเยื่อใยและแร่ธาตุด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า เผาส่วนที่เหลือในเตาเผา แสดงดังภาพที่ 48 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เยื่อใยจะถูกเผาไหม้หมด ทิ้งส่วนที่เหลือให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 45 นาที ชั่งน้ำหนัก คำนวณร้อยละของเยื่อใยของเมล็ดบัวสายได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณเยื่อใย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของเยื่อใย(g)}}{\text{น้ำหนักเมล็ดบัวสาย (g)}} \times 100$$

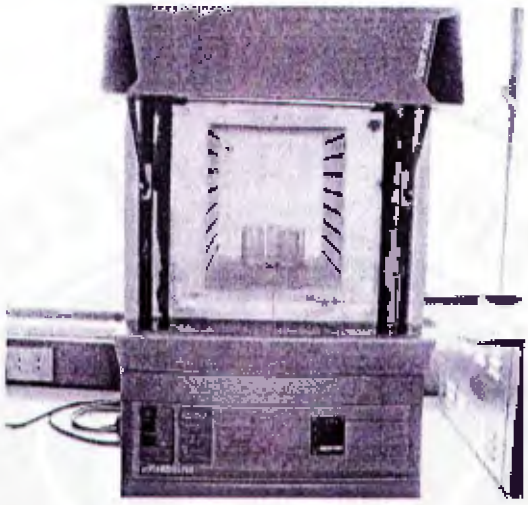
น้ำหนักของเยื่อใย (กรัม) = (น้ำหนักภาชนะ+ตัวอย่างหลังสกัด)-(น้ำหนักภาชนะ+ตัวอย่างหลังเผา)

ภาพที่ 45 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในเมล็ดบัวสาย

ภาพที่ 46 เครื่องสกัดเยื่อใย (soxhlet fiber) บริษัท Velp scientifica



ภาพที่ 47 ภาชนะใส่ตัวอย่างสำหรับการสกัดเยื่อใย



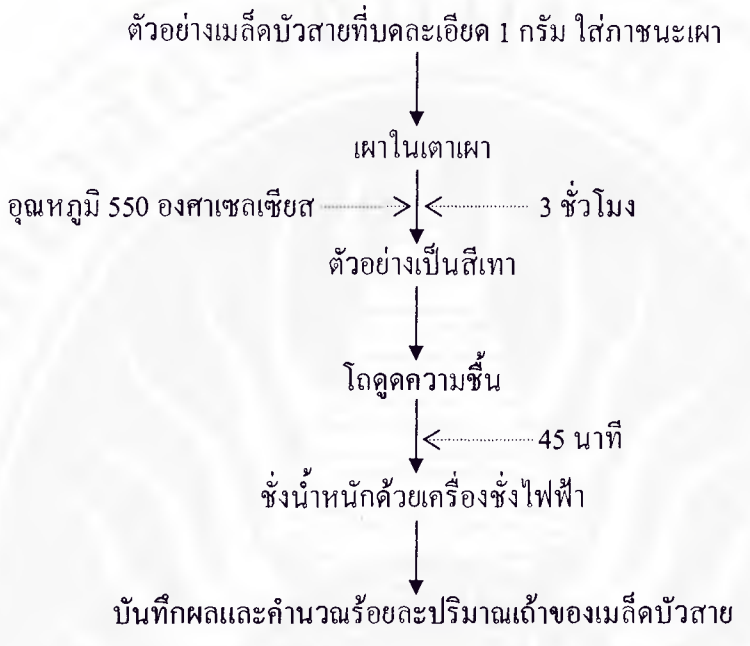
ภาพที่ 48 เตาเผา (muffle furnace) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น cwt 1300

(5) การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการคำนวณหาค่าความต่าง (by difference) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

คาร์โบไฮเดรต (%) = 100 – [ความชื้น (%) + โปรตีน (%) + ไขมัน (%) + เยื่อใย (%) + เถ้า (%)]

(6) การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า โดยใช้วิธีการเผา (dry ashinกรัม) เป็นวิธีดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐาน official Method 985.35 (AOAC, 2000) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในเมล็ดบัวสาย แสดงดังภาพที่ 49 ซึ่งทำโดยการนำตัวอย่างเมล็ดบัวสายที่บดละเอียด 1 กรัม ใส่ในภาชนะเผา นำไปเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงจนตัวอย่างเป็นสีเทา ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 45 นาที ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า บันทึกผลและคำนวณร้อยละปริมาณเถ้าของเมล็ดบัวสาย โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดบัวสายหลังเผา}}{\text{น้ำหนักเมล็ดบัวสายก่อนเผา}} \times 100$$



ภาพที่ 49 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเมล็ดบัวสาย

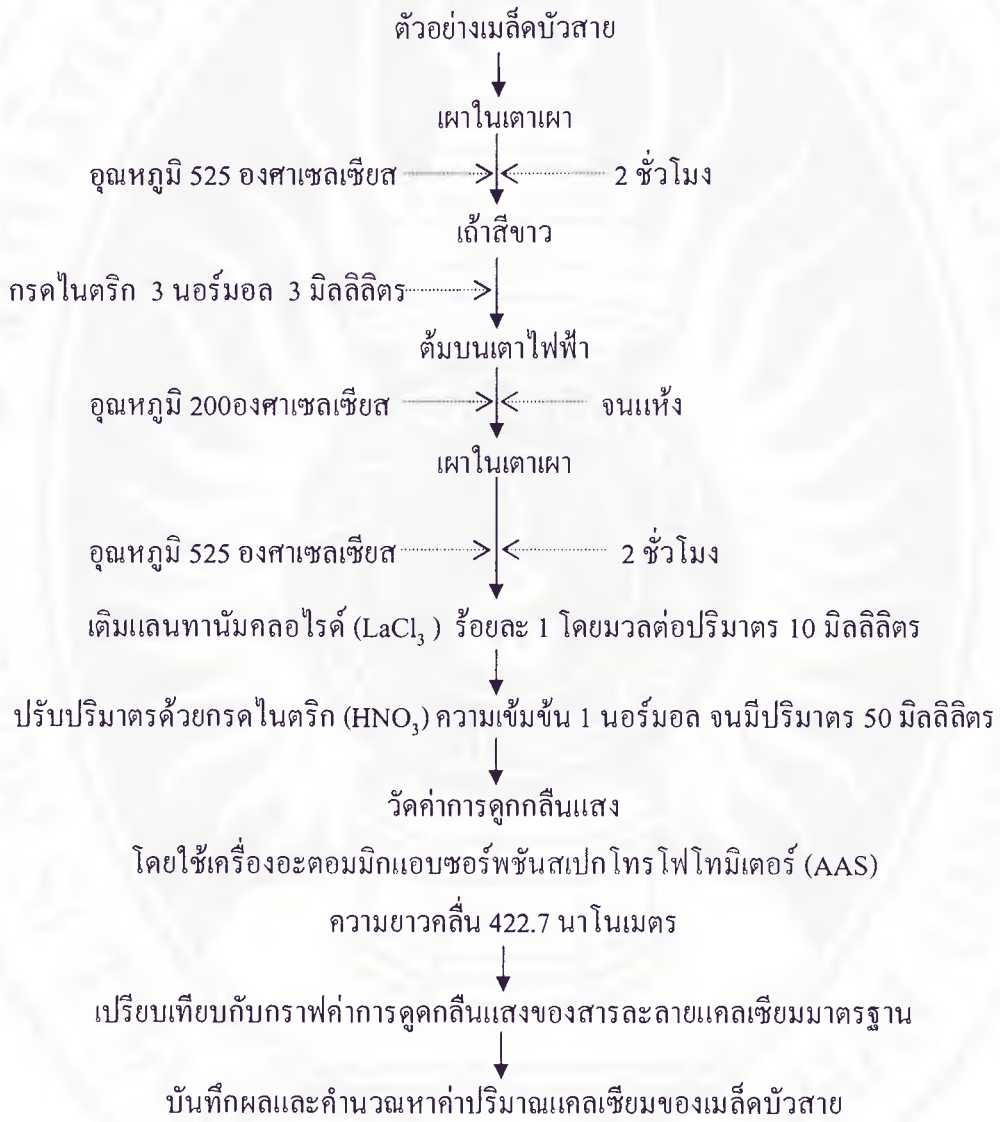
(7) การวิเคราะห์ปริมาณของแคลเซียมและเหล็ก จะวิเคราะห์แคลเซียมโดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีมาตรฐาน official Method 927.02 (AOAC, 2000) และวิเคราะห์เหล็กโดยวิธีมาตรฐาน official Method 980.01 (AOAC 2000) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในเมล็ดบัวสาย แสดงดังภาพที่ 50 ซึ่งทำโดยการเผาตัวอย่างเมล็ดบัวสายจนปราศจากสารอินทรีย์ได้เป็นเถ้าสีขาว เติมสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 3 นอร์มอล จำนวน 3 มิลลิลิตร ต้มบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จนแห้ง นำสารที่ได้ไปเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นเติมสารละลายแลนทานัมคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร จำนวน 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรสารละลายด้วยกรดไนตริก เข้มข้น 1 นอร์มอล จนมีปริมาตร 50 มิลลิลิตร วิเคราะห์หาค่าปริมาณแคลเซียมในเมล็ดบัวสายบนเปลวไฟ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ แสดงดังภาพที่ 51 ใช้ก๊าซอะเซทิลีนและอากาศ ที่ความยาวคลื่น 422.7 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแคลเซียมมาตรฐาน (ภาคผนวก ก 1) บันทึกผลและคำนวณหาค่าปริมาณแคลเซียมของเมล็ดบัวสาย ได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{A \times B}{C}$$

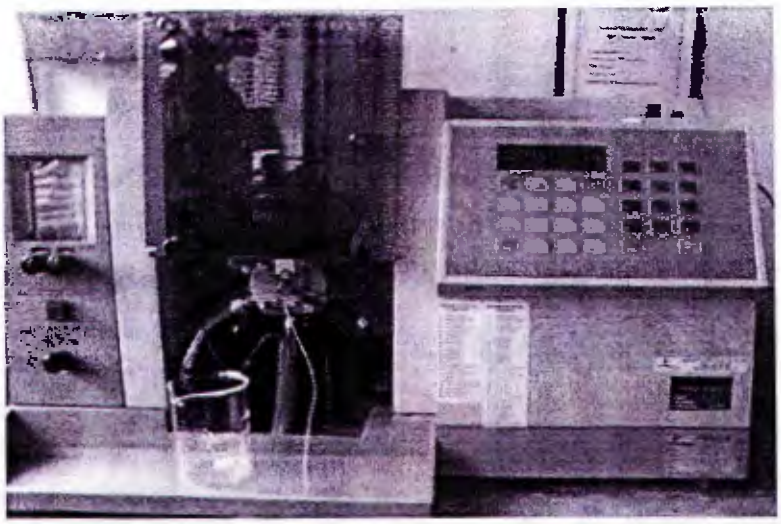
เมื่อ A = ความเข้มข้นของสารละลายที่กราฟอ่านได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

C = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)



ภาพที่ 50 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมของเมล็ดบัวสาย



ภาพที่ 51 อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (atomic absortion spectrophotometer; AAS) ยี่ห้อ perkin lmer รุ่น 3110

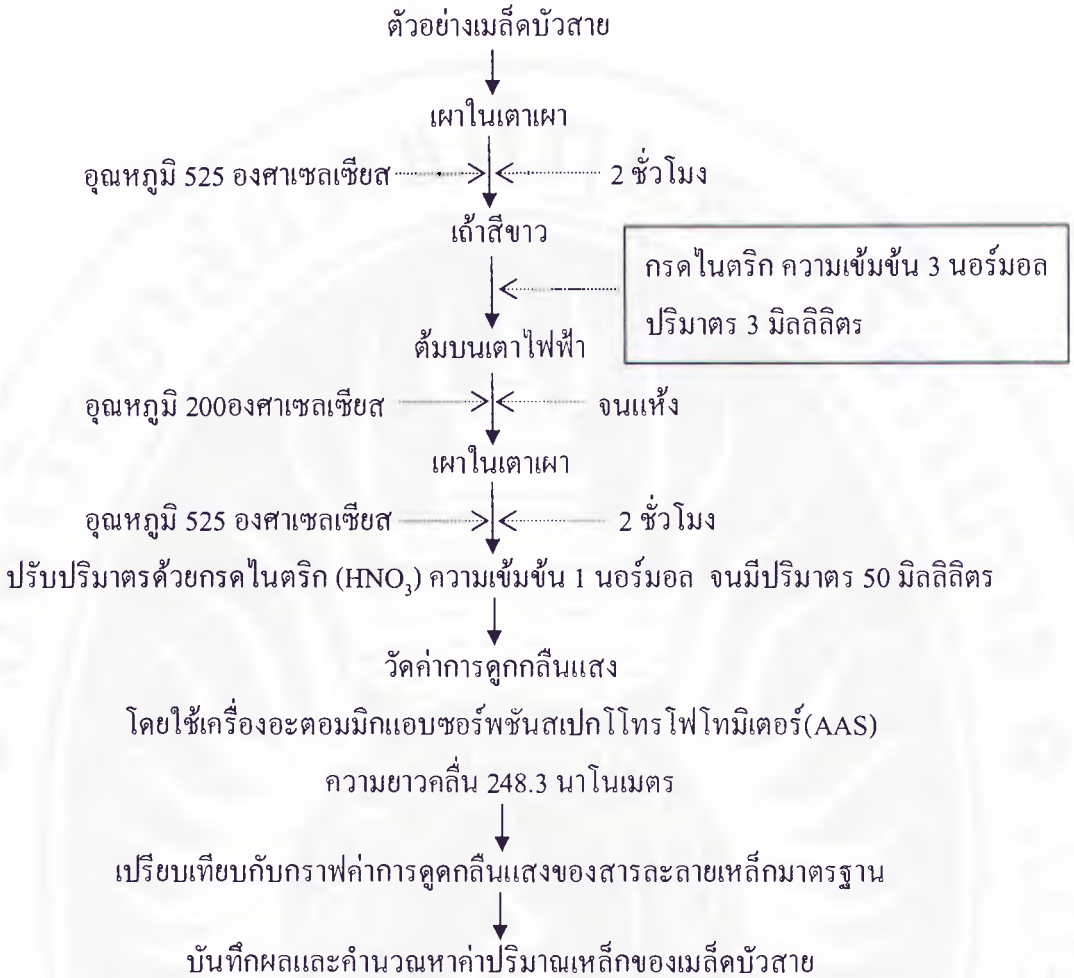
สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในเมล็ดบัวสาย แสดงดังภาพที่ 52 ซึ่งมีการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการวิเคราะห์แคลเซียม แต่ไม่ต้องเติมสารละลายแลนทานัม-คลอไรด์ วิเคราะห์หาค่าปริมาณเหล็กในเมล็ดบัวสายบนเปลวไฟโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ใช้ก๊าซอะเซทิลีนและอากาศ ที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเหล็กมาตรฐาน (ภาคผนวก ก 2) บันทึกผลและคำนวณหาค่าปริมาณเหล็กของเมล็ดบัวสาย ได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณเหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{A \times B}{C}$$

เมื่อ A = ความเข้มข้นของเหล็กที่กราฟอ่านได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

C = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)



ภาพที่ 52 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กของเมล็ดบัวสาย

(8) การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส ใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐาน official Method 927.02 (AOAC 2000) โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดบัวสาย แสดงดังภาพที่ 53 ซึ่งทำโดยการชั่งเมล็ดบัวสายบดละเอียด 1 กรัม ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติก เติมน้ำยาสกัดเบรย์ทู 20 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองวอทแมนเบอร์ 1 เก็บสารที่กรองได้ใส่ขวด ปรับปริมาตรน้ำยาเบรย์ทูให้ได้ 25 มิลลิลิตร เติมน้ำยาทำให้เกิดสีและกรดแอสคอบิก อย่างละ 1 มิลลิลิตร จะเกิดสีน้ำเงิน เติมน้ำกลั่นลงไป 2 มิลลิลตร เขย่าและปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง แสดงดังภาพที่ 54 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานของฟอสฟอรัส (ภาคผนวก ก 3) บันทึกผลและคำนวณหาค่าปริมาณฟอสฟอรัสของเมล็ดบัวสาย ได้จากสูตร

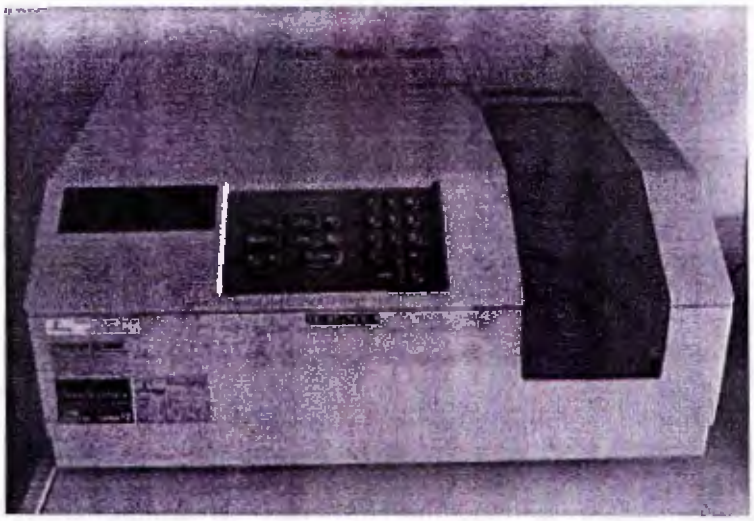
$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{A \times B}{C}$$

เมื่อ A = มิลลิกรัมต่อลิตรของฟอสฟอรัสที่กราฟอ่านได้

B = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

C = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

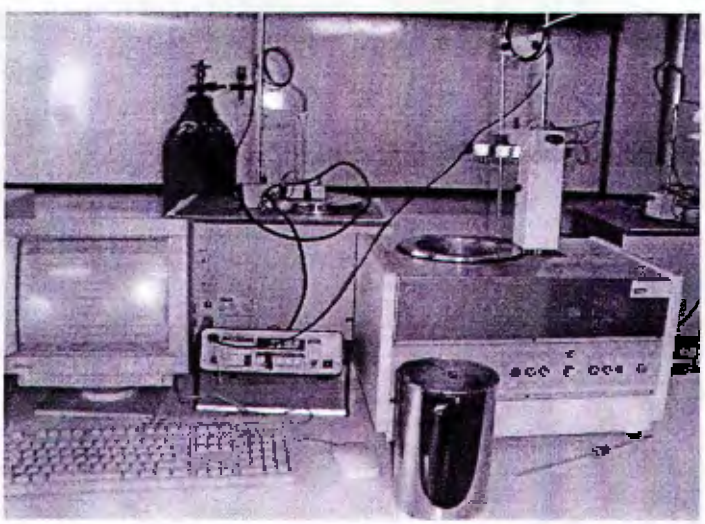
ภาพที่ 53 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสของเมล็ดบัวสาย



ภาพที่ 54 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ perkin elmer รุ่น landa 12

(9) การวิเคราะห์ปริมาณพลังงาน โดยการหาพลังงานรวม ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากสารอาหารคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานของเมล็ดบัวสาย แสดงดังภาพที่ 55 โดยการชั่งตัวอย่างเมล็ดบัวสายที่บดละเอียด 1 กรัมใส่ใน crucible แล้ววางลงใน crucible support ring จากนั้นจึงต่อปลายข้างหนึ่งของ firing wire เข้ากับขั้วไฟฟ้าและต่อปลายอีกด้านหนึ่งของ firing wire เข้ากับปลาย firing cotton ปิดฝา crucible support ring ให้เข้าที่ เติมก๊าซออกซิเจน 30 บาร์ และน้ำกลั่นลงใน bomb body ปริมาณ 1 มิลลิลิตร นำ bomb body มาประกอบเข้ากับเครื่อง auto bomb calorimeter แสดงดังภาพที่ 56 และเปิดการทำงานของเครื่องอ่านค่าพลังงานของเมล็ดบัวสายและบันทึกผล

ภาพที่ 55 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานของเมล็ดบัวสาย



ภาพที่ 56 เครื่องออโต้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (auto bomb calorimeter)
ยี่ห้อ gallenkamp รุ่น cab 101.ab1.c

การเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ของเมล็ดบัวสายจากบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก เมล็ดบัวสายจากบัวสายชนิดดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดบัวสายจากบัวสายชนิดดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ จากวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเมล็ดบัวสายตัวอย่างละ 5 ซ้ำ ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

1.1 สีของมล็ดบัวสาย เก็บข้อมูลค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*)

1.2 ขนาด เป็นน้ำหนักของเมล็ดบัวสายที่เม็ดโตกว่า 1 มิลลิเมตร

1.3 การพองตัว เป็นน้ำหนักเมล็ดบัวสาย (หน่วยเป็นกรัม) ที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และเป็นน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

2. คุณค่าทางอาหาร ได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางเคมีดังนี้

2.1 พลังงาน เป็นกิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม

2.2 น้ำหรือความชื้น เป็นกรัมต่อ 100 กรัม

2.3 โปรตีน เป็นกรัมต่อ 100 กรัม

2.4 ไขมัน เป็นกรัมต่อ 100 กรัม

2.5 คาร์โบไฮเดรต เป็นกรัมต่อ 100 กรัม

2.6 เยื่อใย เป็นกรัมต่อ 100 กรัม

2.7 เถ้า เป็นกรัมต่อ 100 กรัม

2.8 แคลเซียม เป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

2.9 เหล็ก เป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

2.10 ฟอสฟอรัส เป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

3. รวบรวมข้อมูลทั้งหมด ตรวจสอบความถูกต้อง บันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์เพื่อดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการทางสถิติ

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย จากการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ (n=5) โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของร้อยละของค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีดันแคน (Duncan's Multiple Ranกรัมe Test : DMRT) โดยกำหนดให้

ตัวอักษรที่กำกับบนข้อมูลที่ต่างกันจะแสดงความแตกต่างของข้อมูล ($P<0.05$) และตัวอักษรที่กำกับบนข้อมูลที่เหมือนกันจะแสดงความไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) รายงานผลการศึกษาที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (Nymphaea lotus Linn.) จากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 3 กลุ่ม คือ เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ณ ห้องปฏิบัติการทางเคมีและการอาหาร ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ได้ผลการศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายดังนี้

การศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสายในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย 3 ลักษณะคือ สีของเมล็ด ขนาดของเมล็ด และการพองตัวของเมล็ดบัวสายในน้ำที่อุณหภูมิห้องและในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

1. สีของเมล็ดบัวสาย

จากการวัดค่าสีของเมล็ดบัวสายด้วยเครื่อง colorimeter โดยใช้การวัดค่าสีในระบบ CIE L* a* b* (CIELAB) ซึ่งสามารถวัดค่าสีออกมาเป็นตัวเลข โดยแสดงเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b*) โดย L* มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) ส่วน a* มีค่าตั้งแต่ +60 (สีแดง) ถึง -60 (สีเขียว) และ b* มีค่าตั้งแต่ +60 (สีเหลือง) ถึง -60 (สีน้ำเงิน) มีผลการศึกษาค่าความสว่าง (L*) ค่าเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของเมล็ดบัวสาย แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าสีของเมล็ดบัวสาย

เมล็ดบัวสาย	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	39.50±0.30 [b]	14.30±0.38 [a]	22.22±0.40 [a]
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	44.81±0.23 [a]	12.36±0.23 [b]	22.08±0.25 [a]
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	32.42±0.46 [c]	12.01±0.30 [b]	15.03±0.56 [b]

หมายเหตุ : a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดที่มีตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และตัวอักษรที่เหมือนกันแนวตั้ง แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตัวเลขหลัง ± หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

จากตารางที่ 9 ค่าสีของเมล็ดบัวสาย มีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 32.42 44.81 ค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว (a*) อยู่ในช่วง 12.01- 14.30 และค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b*) อยู่ในช่วง 15.03 - 22.22 เมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่งมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความสว่าง (L*) ของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีความสว่างสูงสุด รองลงมาเป็นค่าความสว่างของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีความสว่างน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาถึงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่งอยู่ในช่วง 14.30-12.01 พบว่าเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกมีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด ซึ่งแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับค่าความเป็นสีแดงของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และค่าความเป็นสีแดงของเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ค่าความเป็นสีแดงของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และค่าความเป็นสีแดงของเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่งอยู่ในช่วง 15.03 - 22.22 โดยค่าความเป็นสีเหลืองของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกกับเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ค่าความเป็นสี

เหลืองของเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีน้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากแหล่งอื่น

2. ขนาดของเมล็ดบัวสาย

จากการศึกษาขนาดของเมล็ดบัวสาย โดยการหาค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่มีขนาดโตกว่า 1.0 มิลลิเมตร ได้ค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายในแต่ละแหล่งที่มีขนาดโตกว่า 1.0 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่มีขนาดโตกว่า 1.0 มิลลิเมตร (โดยน้ำหนักแห้ง)

แหล่งเมล็ดบัวสาย	ร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสาย ที่มีขนาดโตกว่า 1.0 มิลลิเมตร
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	81.11 ± 0.65^{b}
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	90.93 ± 0.47^{a}
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	80.45 ± 0.64^{b}

หมายเหตุ : a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดที่มีตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และตัวอักษรที่เหมือนกันแนวตั้ง แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตัวเลขหลัง ± หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

จากตารางที่ 10 ร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่มีขนาดโตกว่า 1.0 มิลลิเมตรมีค่าอยู่ในช่วง 80.45 – 90.93 เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขนาดของเมล็ดพบว่าเมล็ดบัวสายดอกบัวสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีค่าร้อยละของเมล็ดที่มีขนาดโตกว่า 1.0 มิลลิเมตร มากที่สุด ซึ่งแตกต่างจากค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกและเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีขนาดโตกว่า 1.0 มิลลิเมตร แต่ค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกและเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีขนาดโตกว่า 1.0 มิลลิเมตรไม่แตกต่างกัน

3. การพองตัวของเมล็ดบัวสายในน้ำที่อุณหภูมิห้องและในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาการพองตัวของเมล็ดบัวสาย โดยการวัดเป็นค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องและร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของเมล็ดบัวสายที่แช่น้ำที่อุณหภูมิห้องแล้วต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าได้ผลดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่อุณหภูมิห้องและในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (°C)

แหล่งเมล็ดบัวสาย	ร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นในน้ำที่	
	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิ 80°C
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	98.33±31.95[a]	538.33±89.99[a]
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	115.00±48.73[a]	455.00±102.76[a]
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	90.00±13.69[a]	485.00±105.48[a]

หมายเหตุ : a หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวตั้ง แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตัวเลขหลัง ± หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

จากตารางที่ 11 ร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ มีค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องอยู่ในช่วง 90.00 - 115.00 และมีค่าร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของเมล็ดบัวสายที่แช่น้ำที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 485.00 - 538.33 การพองตัวของเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การศึกษาและเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

การศึกษาคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย ในครั้งนี้เป็นวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และพลังงาน โดยปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และเถ้า เป็นสารอาหารที่พบในปริมาณมาก จึงรายงานเป็นค่าร้อยละที่มีอยู่ในเมล็ดบัวสาย ในขณะที่แร่ธาตุ คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก เป็นสารอาหารที่พบในปริมาณที่น้อยมาก จึงรายงานค่าปริมาณแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิด ในหน่วยมิลลิกรัมของแร่ธาตุที่พบต่อเมล็ดบัวสาย 100 กรัม ส่วนค่าพลังงานจะรายงานในหน่วยกิโลแคลอรีต่อเมล็ดบัวสาย 100 กรัม ผลการวิเคราะห์และเปรียบคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายทั้ง 3 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (โดยน้ำหนักแห้ง 100 กรัม)

แหล่งเมล็ดบัวสาย	สารอาหารของเมล็ดบัวสาย (กรัม)						ปริมาณแร่ธาตุ (มิลลิกรัม)			พลังงาน
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เยื่อใย	เถ้า	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	เหล็ก	(กิโลแคลอรี)
ดอกสีขาวปนชมพู จากบ่อปลูก	1.59±0.20^{c}	9.58±0.13^{c}	1.49±0.05^{a}	85.42±0.37^{a}	2.73±0.38^{a}	0.78±0.04^{b}	230.13±4.60^{c}	16.09±0.20^{b}	73.81±2.09^{a}	396.07±7.75^{b}
ดอกสีขาวปนชมพู จากแหล่งน้ำธรรมชาติ	2.15±0.19^{b}	10.50±0.09^{b}	1.32±0.03^{b}	84.69±0.28^{b}	2.27±0.30^{b}	0.85±0.02^{a}	456.80±22.83^{a}	18.81±0.81^{a}	71.21±1.00^{b}	391.83±4.82^{b}
ดอกสีม่วงปนชมพู จากแหล่งน้ำธรรมชาติ	2.73±0.28^{a}	10.85±0.29^{a}	1.25±0.04^{c}	84.63±0.26^{b}	2.86±0.16^{a}	0.76±0.03^{b}	321.25±7.75^{b}	15.54±0.09^{b}	64.87±0.48^{c}	407.04±6.16^{a}

หมายเหตุ : a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดที่มีตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตัวอักษรที่เหมือนกันแนวตั้ง แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตัวเลขหลัง ± หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

จากตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของเมล็ดบัวสายของดอกบัวทั้ง 3 แหล่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.59 - 2.73 ซึ่งแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยความชื้นของเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีมากที่สุด รองลงมาคือเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความชื้น ส่วนเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกมีความชื้นน้อยที่สุด

สำหรับปริมาณโปรตีนของเมล็ดบัวสายของดอกบัวทั้ง 3 แหล่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 9.58 - 10.85 ซึ่งแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโปรตีนของเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีมากที่สุด รองลงมาคือเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งมีโปรตีน ในขณะที่เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกมีโปรตีนน้อยที่สุด

ปริมาณไขมันของเมล็ดบัวสายของดอกบัวทั้ง 3 แหล่ง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.25 – 1.49 ซึ่งแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยไขมันของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีไขมัน ส่วนเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาตินั้น พบว่ามีปริมาณไขมันน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่ง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 84.63 – 85.42 โดยดอกบัวสายสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด ซึ่งแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติและเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติและเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ปริมาณเยื่อใยเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่ง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.27 – 2.73 โดยเยื่อใยของเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติและเยื่อใยของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เยื่อใยเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับเยื่อใยของเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติและเยื่อใยของเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก

ปริมาณเยื่อใยเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่ง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ0.76 - 0.85 โดยเถ้าที่พบในเมล็ดบัวสาย ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีมากที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างที่ระดับ

นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับเถ้าที่พบในเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกและเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่เถ้าที่พบในเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกและเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ปริมาณแคลเซียมของเมล็ดบัวสายทั้ง 3 มีค่าอยู่ในช่วง 230.13 - 456.80 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมของเมล็ดบัวสาย ซึ่งแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบแคลเซียมในเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมากที่สุด รองลงมาเป็นปริมาณแคลเซียมในเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และพบแคลเซียมในเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกน้อยที่สุด

ปริมาณฟอสฟอรัสของเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่ง มีค่าอยู่ในช่วง 15.54 – 18.81 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเมล็ดบัวสาย โดยพบปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดในเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับฟอสฟอรัสที่พบในเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกและเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ฟอสฟอรัสที่พบในเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกและเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณเหล็กของเมล็ดบัวสายของดอกบัวทั้ง 3 แหล่ง ค่าอยู่ในช่วง 64.87 – 73.81 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมของเมล็ดบัวสาย ซึ่งแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกมีปริมาณเหล็กมากที่สุด รองลงมาคือปริมาณเหล็กเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณเหล็กน้อยที่สุด

การเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้จากเมล็ดบัวสายของดอกบัวทั้ง 3 แหล่ง ค่าอยู่ในช่วง 391.83 – 407.04 กิโลแคลอรี /100 กรัมของเมล็ดบัวสาย โดยพบว่าค่าพลังงานที่ได้จากเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีมากที่สุด ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับพลังงานที่ได้จากเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก และพลังงานที่ได้จากเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่พลังงานที่ได้จากเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก และพลังงานที่ได้จากเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากการนำตัวอย่างเมล็ดบัวสาย ที่ได้จากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 3 กลุ่ม คือ เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก เมล็ดบัวสายดอกสีบัวขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ มาศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (Nymphaea lotus L.) ในครั้งนี้ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และมีข้อเสนอแนะจากการวิจัย ดังต่อไปนี้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย

จากการศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย 3 กลุ่ม ใน 3 ลักษณะ คือ สีเมล็ด ขนาดเมล็ด และการพองตัวหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องและการต้มที่อุณหภูมิ 80องศาเซลเซียส สามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่า

เมล็ดบัวสายจากดอกบัวสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก เมล็ดบัวสายจากดอกบัวสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และเมล็ดดอกบัวสายจากดอกบัวสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) อยู่ในช่วง 32.42-44.81, 12.01-14.30 และ 15.03-22.22 ตามลำดับ ซึ่งสีของเมล็ดบัวสายทั้ง 3 กลุ่มมีความแตกต่างกัน โดยเมล็ดบัวสายที่ได้จากดอกบัวสายสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกมีความเข้มของสีมากที่สุด ในขณะที่เมล็ดบัวสายที่ได้จากดอกบัวสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีความสว่างหรือมีสีอ่อนที่สุด ส่วนเมล็ดบัวสายที่ได้จากดอกบัวสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีสีที่ไม่สดและมีสีค่อนไปทางมืด

เมล็ดบัวสายทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1 มิลลิเมตร อยู่ในช่วง 80.45 – 90.93 กรัม โดยเมล็ดบัวสายจากดอกบัวสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกจะมีขนาดเมล็ดโตที่สุด

การพองตัวหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องไม่แตกต่างกันทั้ง 3 แหล่ง ค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดบัวสายที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องอยู่ในช่วง 90.00 - 115.00 กรัม และการพองตัวเมื่อต้มเมล็ดบัวสายที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องแล้ว ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ไม่แตกต่างกัน โดยน้ำหนักของเมล็ดบัวสายที่แช่น้ำที่อุณหภูมิแล้วจึงต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นร้อยละ 455.00 - 538.33 กรัม

การศึกษาและเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

จากการศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย 3 กลุ่ม โดยการหาค่าปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัสเหล็ก และพลังงานของเมล็ดบัวสาย สามารถสรุปได้ว่า

คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายทั้งสามกลุ่มมีความแตกต่างกัน แต่เมล็ดบัวสายทั้ง 3 กลุ่ม จะมีปริมาณความชื้นต่ำ มีปริมาณสารอาหารชนิดอื่น แร่ธาตุ และพลังงานที่สูง โดยเมล็ดบัวสายทั้ง 3 กลุ่ม มีปริมาณความชื้น สารอาหาร แร่ธาตุ และพลังงานต่อน้ำหนักเมล็ดบัวสาย 100 กรัม ดังนี้ มีปริมาณความชื้น เท่ากับ 1.59 – 2.73 กรัม ปริมาณโปรตีน เท่ากับ 9.58 - 10.85 กรัม ปริมาณไขมัน เท่ากับ 1.25 – 1.49 กรัม ปริมาณคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 84.63 – 85.42 กรัม ปริมาณเยื่อใย เท่ากับ 2.27 – 2.86 กรัม ปริมาณเถ้า เท่ากับ 0.76 – 0.85 กรัม ปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 230.13 – 456.80 มิลลิกรัม ปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 15.54 - 18.81 มิลลิกรัม ปริมาณเหล็ก เท่ากับ 64.87 – 73.81 มิลลิกรัม และพลังงานรวม เท่ากับ 391.83 – 407.04 กิโลแคลอรี

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย จากอำเภอปากพนังทั้ง 3 กลุ่ม ในครั้งนี้สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

จากการศึกษาค่าสีในระบบ CIE L* a* b* พบว่าสีของเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่งมีความแตกต่างกัน โดยเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกมีค่าความเป็นสีแดงและความเป็นสีเหลืองมากที่สุด (ค่า L* เท่ากับ 39.50, a* เท่ากับ 14.30 และ b*, เท่ากับ 22.22) ในขณะที่เมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากธรรมชาติมีค่าความสว่างของสีมากที่สุด แต่มีค่าความเป็นสีแดงและความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก (ค่า L* เท่ากับ 44.8, a* เท่ากับ 12.36 และ b* เท่ากับ 22.08) และเมล็ดบัวสายดอกสีม่วงปนชมพูมีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองต่ำที่สุด (ค่า L* เท่ากับ 32.42, a* เท่ากับ 12.02 และ b* เท่ากับ 15.03) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมล็ดบัวสายที่มีสายพันธุ์และแหล่งปลูกที่ต่างกันจะมีสีเมล็ดที่แตกต่างกัน โดยเมล็ดบัวสายที่ได้จากดอกบัวสายสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกจะมีความเข้มของสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด ในขณะที่เมล็ดบัวสายที่ได้จากดอกบัวสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีความสว่างหรือมีสีอ่อนที่สุด ส่วนเมล็ดบัวสายที่ได้จากดอกบัวสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

นอกจากจะมีความสว่างน้อยที่สุดแล้ว ยังให้ค่าสีที่มีความเป็นสีเขียวและสีน้ำเงินมากที่สุด จึงทำให้มองเห็นสีของเมล็ดบัวเป็นสีที่ไม่สดและมีสีค่อนไปทางมืด

การที่สีเมล็ดของบัวสายสายพันธุ์ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูกมีสีเข้มกว่าเมล็ดบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาตินั้น อาจเนื่องจากบัวสายที่ปลูกในบ่อได้รับการใส่ปุ๋ยบำรุงต้น ได้รับการกำจัดวัชพืช และได้รับแสงแดดมากกว่าบัวสายที่ขึ้นในแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้บัวสายมีความสมบูรณ์มากกว่า จึงส่งผลให้เมล็ดมีสีเข้มกว่าเมล็ดบัวสายสายพันธุ์เดียวกันที่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ

การศึกษาสีของเมล็ดบัวสายจะเห็นได้ว่า สีของเมล็ดมีความสัมพันธ์กับสีของดอกด้วย โดยบัวสายที่มีดอกสีม่วงปนชมพูมีเมล็ดที่มีค่าความเป็นสีเขียวและสีน้ำเงินมากกว่าเมล็ดบัวสายที่ได้จากดอกบัวสีขาวปนชมพู ทั้งนี้จากรายงานที่ว่าบัวสายพันธุ์เดียวกันเมื่อปลูกในบริเวณที่แตกต่างกันอาจมีสีดอกแตกต่างกันได้ (เสริมลาภ วสุวัตร, 2539, 15) เนื่องจากมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อสีของดอก ตัวอย่างของปัจจัยดังกล่าวได้แก่ สภาพแวดล้อม แสงแดด อุณหภูมิ สภาพการปลูก ความอุดมสมบูรณ์ของต้นและปุ๋ยที่ใช้ เป็นต้น บัวสายดอกสีม่วงปนชมพู เป็นบัวสายที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติแห่งหนึ่งในตำบลขนาบนาก ซึ่งน้ำทะเลท่วมถึงทุกปี ทำให้ดินบริเวณนั้นมีการสะสมของแร่ธาตุที่มากับน้ำทะเล ทำให้บัวสายที่เจริญในบริเวณนั้นได้รับธาตุอาหารบางอย่างจากน้ำทะเล จึงส่งผลให้สีของดอกและสีของเมล็ดบัวมีความแตกต่างจากสีและเมล็ดของดอกบัวสายพันธุ์สีขาวปนชมพูที่เจริญอยู่ในแหล่งน้ำจืดบริเวณอื่นๆ ในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ถึงแม้ในการวิจัยครั้งนี้จะไม่ได้มีการวิเคราะห์ถึงสารสีที่มีอยู่ในกลีบดอกและเมล็ดบัวสาย แต่จากรายงานที่ว่า คาดว่าในผักผลไม้ที่มีสีเหลือง สีส้ม เช่น ขนุน แครอท สับปะรด มะม่วง ทุเรียน และขมิ้น เป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ไกลโคไซด์ (flavonoid กรัมlycosides) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวิตามินซี (จักรพงษ์ ลิมปนุสสรณ์, ม.ป.ป.) ดังนั้นสารสีเหลืองที่พบในเมล็ดบัวสายจึงน่าจะเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ไกลโคไซด์ ด้วยมีรายงานที่เกี่ยวกับสารสีน้ำเงิน สีม่วง และสีแดงเป็นสารกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งพบได้ในเนื้อเยื่อพืชที่มีสีม่วง แดง เช่น เผือกมันสีม่วง องุ่นแดง ข้าวนิล ข้าวเหนียวดำ ถั่วแดง และถั่วดำ ซึ่งสารแอนโทไซยานินเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (LDL) ช่วยทำให้เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดมี ความอ่อนนิ่ม ช่วยป้องกันโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดและโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัว (สุธาทิพย์ ภมรประวัติ, 2006; Fossen et al., 1998b; Fossen & Andersen, 1997; Lo & Nicholson, 1998) มีรายงานว่าสารสีม่วงของเยื่อหุ้มเมล็ดมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารแอนโทไซยานิน (ไพบูรณ์ เปรียบยิ่ง และวิลาวรรณ ศิรีพูนวิวัฒน์, 2554) และพืชที่มีสารแอนโทไซยานิน เช่น ผลไม้ตระกูลเบอรี่ จะมีสารกลุ่มโพลีฟีนอลด้วย (Lazze et al., 2004)

โดยสารกลุ่มโพลีฟีนอลจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและชะลอสภาวะเสื่อมของเซลล์ เช่น ชะลอการเสื่อมของนัยน์ตา รากผม และลดการเกิดโรคหัวใจ (กนกพร สมพรไพลิน, 2545, 23-27) เมื่อสารแอนโทไซยานินเรียงตัวเข้าด้วยกันจะเป็นสารรสฝาด เรียกว่า สารแทนนิน (tannin) ซึ่งแทนนินมีฤทธิ์เป็นยาฝาดสมาน ใช้บรรเทาอาการท้องร่วง ห้ามเลือด ช่วยสมานแผล เป็นยาแก้เจ็บคอ ระงับกลิ่นปาก รักษาแผลเรื้อรัง น้ำกัดเท้า และผื่นคัน (รัตนะ สุวรรณเลิศ และคณะ, 2544; Kurihara et al., 1993) ดังนั้นข้อมูลจากการศึกษาเกี่ยวกับสารสีเหลือง สีแดง สีชมพู สีม่วง และสีน้ำเงิน ที่พบในกลีบดอกและเมล็ดบัวสาย จึงน่าจะเป็นสารฟลาโวนอยด์ ไกลโคไซด์ แอนโทไซยานิน และสารแทนนิน ซึ่งใช้เป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ช่วยสนับสนุนความเชื่อของชาวบ้านที่ว่า "เมล็ดบัวสายช่วยบำรุงหัวใจได้ดี" และการรับประทานอาหารจากเมล็ดบัวสาย จึงมีส่วนช่วยเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันต่างๆ ของร่างกายได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้สารสีในเมล็ดพืชยังเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเลือกเป็นอาหารของผู้บริโภค เช่น พบว่า ถั่ว haricot จากประเทศเอธิโอเปียสายพันธุ์ Awash และ Mexican ที่มีความสว่างของเมล็ด (L) มาก จะเป็นสายพันธุ์ที่นิยมส่งออกมากที่สุด ในขณะที่พันธุ์ Roba ซึ่งมีความเป็นสีเหลือง (b) มากที่สุด และสายพันธุ์ Redwolaita ซึ่งมีความเป็นสีแดง (a) มากที่สุด จะเป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุด เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่ให้สีเมล็ดที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและเป็นสายพันธุ์ที่เมื่อนำไปผลิตเป็นอาหารจะได้อาหารที่มีคุณภาพดี (Shimelis & Rakshit, 2004)

จากการศึกษาพบว่าถึงแม้ว่าเมล็ดบัวสายจะมีค่าร้อยละของเมล็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1 มิลลิเมตร ถึง 80.45 – 90.93 แต่เมื่อนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเท่ากับ 2 มิลลิเมตร พบว่าเมล็ดบัวสายทั้งหมดสามารถลอดผ่านรูของตะแกรงร่อนได้ แสดงว่าเมล็ดบัวสายทั้งหมดมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร ดังนั้นเมล็ดบัวสายจัดเป็นธัญพืชที่มีขนาดเล็กมากอีกชนิดหนึ่ง

จากการศึกษาการพองตัวของเมล็ดบัวสาย โดยการวัดค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดหลังแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องและต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งดัดแปลงวิธีจากวิธีของ Sathe & Salunkhe (1981) พบว่าค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 90 - 115 และมีค่าร้อยละของน้ำหนักเมล็ดที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องแล้วต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เท่ากับ 488.93 - 538.40

การแช่เมล็ดพืชในน้ำที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปต้มให้สุก เพื่อทำให้เมล็ดพืชมีการดูดซึมน้ำเข้าไป จึงเกิดการขยายตัวหรือพองตัว ซึ่งน้ำที่แทรกอยู่ในเม็ดแป้งจะช่วยทำให้แป้งในเมล็ดบัวสายสุกได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการปรุงอาหารจากเมล็ดบัวสายลดลง และช่วยให้ประหยัดพลังงาน (Bishnoi & Khetarpaul, 1993; Onyeike และ Omubo-dede , 2002; Wang et al., 2003;

Shimelis and Rakshit, 2005) ดังนั้นเมล็ดบัวสายทั้งสองสายพันธุ์ที่มาจากบ่อปลูกและแหล่งน้ำธรรมชาติ มีการดูดน้ำที่อุณหภูมิห้องไม่แตกต่างกัน และเมื่อนำเมล็ดบัวสายที่พองตัวแล้วไปต้มจนสุกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะมีการพองตัวเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างเมล็ดบัวสายทั้ง 3 แหล่ง ดังนั้นไม่ว่าจะปรุงอาหารจากเมล็ดบัวสายกลุ่มใดก็จะใช้เวลาในการปรุงไม่แตกต่างกันด้วย และเมล็ดบัวสายสุกจากการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีการพองตัวเพิ่มถึง 5 เท่า ซึ่งข้อมูลนี้ใช้ประกอบการตัดสินใจของผู้ปรุงอาหารให้พอเพียงแก่ความต้องการของผู้บริโภคได้

มีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการพองตัวของเมล็ดพืช เช่น การแช่ข้าวที่อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้ข้าวดูดซึมน้ำน้อยเกินไป ซึ่งมีผลให้ข้าวมีการขยายตัวลดลง และการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยไม่เพิ่มความร้อนในระหว่างการแช่อีก ข้าวจะมีการพองตัวได้มากที่สุด และพบว่าค่าอัตราส่วนการขยายตัวของข้าวมีความสัมพันธ์กับปริมาณ อะไมโลสในสายพันธุ์ข้าว ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงระหว่างร้อยละ 23.95 - 31.55 จะมีอัตราส่วนการขยายตัวค่อนข้างสูง ประมาณ 7 - 10 เท่า (Hoke et al., 2005) อัตราการพองตัวจะขึ้นอยู่กับพันธะเคมีของแป้ง (Bao et al., 2004) การพองตัวของแป้งจะขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลส และการให้ความร้อนอุณหภูมิ 92.5 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็วจะทำให้ข้าวสาลี ข้าวเจ้า และแป้งบะหมี่ มีการพองตัวได้ดี เหมาะต่อการบริโภค และการปรุงเป็นอาหารเพื่อการค้า (Tain et al., 1991) และสายพันธุ์พืชเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เมล็ดพืชมีการพองตัวที่แตกต่างกัน (Hoke et al., 2005; Tain et al., 1991) แต่ผลจากการศึกษาการพองตัวของเมล็ดบัวสายต่างสายพันธุ์กันกลับมีค่าการพองตัวที่ไม่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย โดยการวัดหาปริมาณสารอาหาร ซึ่งได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย ด้วยวิธี Proximate analysis วิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก ด้วยวิธี AOAC, 2000 และวิเคราะห์หาค่าพลังงานด้วย Bomb calorimeter พบว่าคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายมีความแตกต่างกันตามสายพันธุ์และแหล่งที่มา เมล็ดบัวสายทุกกลุ่มมีปริมาณความชื้นต่ำ มีสารอาหารชนิดอื่น แร่ธาตุ และพลังงานสูง คุณค่าทางอาหารต่อน้ำหนักเมล็ดบัวสายแห้ง 100 กรัม มีดังนี้ ความชื้น 1.59 – 2.73 กรัม โปรตีน 9.58 - 10.85 กรัม คาร์โบไฮเดรต 84.63 - 85.42 กรัม ไขมัน 1.25 – 1.49 กรัม เยื่อใย 2.27 – 2.86 กรัม แคลเซียม 230.13 – 456.80 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 15.54 - 18.81 มิลลิกรัม เหล็ก 64.87 – 73.81 มิลลิกรัม และพลังงาน 391.83 – 407.04 กิโลแคลอรี

เนื่องจากปริมาณความชื้นในอาหารจะมีความเกี่ยวข้องกับการเน่าเสียของอาหาร โดยพบว่าสาเหตุการเน่าเสียส่วนใหญ่ของธัญพืชมักเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยน้ำ หากอาหารใดมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 12 จุลินทรีย์จะเริ่มโตได้ และทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย พืชที่มีหัวส่วนใหญ่จะมีปริมาณน้ำสะสมอยู่ในหัวมาก จึงมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้นโดยเกิด

การเน่าเสียภายใน 2 อาทิตย์หลังการเก็บเกี่ยว (Kaur et al., 2011) การแปรรูปเพื่อให้มีความชื้นต่ำ เช่น ทำให้เป็นผงแป้งแห้ง จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ (Perez et al., 2005) แป้งที่ได้จากเผือก มันฝรั่ง ถั่วเหลือง และข้าวโพด ที่มีความชื้นต่ำกว่า 9% จะมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Kaur et al., 2011)

โดยทั่วไปธัญพืชเมล็ดแห้งจะมีน้ำประมาณร้อยละ 10-14 ซึ่งเป็นปัจจัยที่บอกถึงความคงตัว คุณภาพ และอายุการเก็บที่มีความชื้นเหมาะสม ช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งทำให้เกิดบาดแผลแล้วชักนำให้แมลงมารบกวนได้ (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2550, 331; อรอนงค์ วินัยกุล และคณะ, 2549, 17, 365) จากการที่เมล็ดบัวสายมีความชื้นต่ำมาก (ร้อยละ 1.59 - 2.73) แสดงว่าสามารถเก็บเมล็ดบัวสายแห้งไว้ได้นานหลายปี และมีความสะดวกต่อการขนส่ง (สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ, 2548, 157, ศิริวรรณ สุทธจิตต์, 2550, 61) นอกจากนี้การเก็บรักษาเมล็ดพืชที่ดีจะช่วยให้มีเมล็ดพืชไว้ใช้ในยามขาดแคลนหรือในช่วงที่ผลผลิตตกต่ำ ทั้งยังช่วยแก้ปัญหาผลผลิตล้นตลาดและราคาผลผลิตตกต่ำได้ด้วย (ปริศนา สุวรรณาภรณ์, 2549, 363)

โดยส่วนใหญ่แล้วพืชต่างชนิดกันจะมีคุณค่าทางอาหารต่างกัน เช่น เผือก มีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำ แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และแร่ธาตุสูง (Del Rosario & Lorenz, 1999) แป้งที่ได้จากเผือกในประเทศไทยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 84.6 - 91.5 กรัมต่อ100 กรัม (Tattiyakul et al., 2005) ในขณะที่เมล็ดถั่วจะมีปริมาณไขมันสูง เช่น ถั่ว African yam จะมีปริมาณไขมันร้อยละ 3.29 - 3.76 (Onyeike & Omubo-dede, 2002) และเมล็ดถั่วที่มีปริมาณไขมันมากจะมีไขมันสูงถึงร้อยละ 40 (Oyenuga, 1968) นั้นคือคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายจึงมีความแตกต่างจากพืชอื่นเช่นเดียวกัน

ปี 2550 กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข ได้รายงานเกี่ยวกับสารอาหารในธัญพืชและคุณค่าทางโภชนาการของถั่วและเมล็ดพืช ว่าเมล็ดพืชโดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นสารอาหารหลัก ได้แก่ น้ำร้อยละ 8 - 14 โปรตีนร้อยละ 8 - 13 ไขมันร้อยละ 2 - 12 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 58 - 78 เยื่อใยร้อยละ 0.5 - 6 และแร่ธาตุต่างๆ เล็กน้อยซึ่งเหมาะสมกับความต้องการร่างกาย คุณค่าทางอาหารของเมล็ดพืชแตกต่างตามชนิดของพืช และเมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหาร (ต่อ 100 กรัม) ของเมล็ดบัวสายกับเมล็ดพืชทั่วไป จะเห็นว่าเมล็ดบัวสายมีพลังงาน (391.8 -407.0 กิโลแคลอรี) ซึ่งค่อนข้างสูงมาก แต่มีความชื้น (1.6 - 2.7 กรัม) ต่ำกว่าเมล็ดข้าวเจ้ากล้อง ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอต ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วลิสง และเมล็ดบัวหลวงดิบ (8.8 - 73.4 กรัม) ในขณะเดียวกันมีโปรตีน (9.6 - 10.9 กรัม) ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเจ้ากล้อง ข้าวเหนียว และข้าวโพดเหลืองดิบ (3.4 - 7.4 กรัม) เช่นเดียวกับมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (84.6 - 85.4 กรัม) สูงกว่าเมล็ดข้าวเจ้ากล้อง ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอต ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วลิสง และเมล็ด

บัวหลวงดิบ (17.7 - 79.1 กรัม) ส่วนปริมาณเยื่อใย (2.3 - 2.9 กรัม) เท่ากับข้าวเจ้ากล้อง (2.5 กรัม) แต่มากกว่าข้าวโพดเหลืองดิบ (0.7 กรัม) เมล็ดบัวสายจัดว่าเป็นเมล็ดพืชที่มีเยื่อใยต่ำ (น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 กรัม) เช่นเดียวกับแตงกวา บวบเหลี่ยม มะระจีน ผักกาดหอม ผักกาดขาว หัวไชเท้า ฟักเขียว น้ำเต้า และแตงโม (สิริพันธ์ จุลกรังคะ, 2542, 55 - 56) เมล็ดบัวสายมีไขมัน (1.3 - 1.5 กรัม) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่วเขียว (1.3 - 1.4 กรัม) และมีปริมาณเถ้า (0.8 - 0.9 กรัม) ใกล้เคียงกับข้าวโพดเหลืองดิบ (0.7 กรัม) เมื่อเปรียบเทียบแร่ธาตุของเมล็ดบัวสายกับของเมล็ดพืชอื่นๆ พบว่าเมล็ดบัวสายมีแคลเซียม (230.1 - 396.1 มิลลิกรัม) และเหล็ก (64.9 - 73.9 มิลลิกรัม) ซึ่งสูงกว่าเมล็ดข้าวเจ้ากล้อง ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอต ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วลิสง และเมล็ดบัวหลวง ที่มีแคลเซียม (10 - 125 มิลลิกรัม) และเหล็ก (4.4 - 16.5 มิลลิกรัม) แต่เมล็ดบัวสายมีฟอสฟอรัส (15.1 - 18.4 มิลลิกรัม) น้อยกว่าข้าวเจ้ากล้อง ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอต ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วดำ และเมล็ดบัวหลวงดิบ (11 - 626 มิลลิกรัม) และเมล็ดบัวสายมีพลังงาน (391.83 – 407.04 กิโลแคลอรี) ซึ่งสูงธัญพืช และถั่วหลายชนิด เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี และข้าวเหนียว (336-365 กิโลแคลอรี)

นอกจากนี้คุณค่าทางอาหารยังขึ้นอยู่กับส่วนของพืชและอายุ โดยเมล็ดพืชส่วนใหญ่จะมีปริมาณโปรตีนที่สูงเมื่อเทียบกับส่วนอื่นของพืช เนื่องจากเมล็ดเป็นแหล่งสะสมโปรตีนที่ใช้สำหรับการขยายพันธุ์ โปรตีนที่สะสมอยู่ในเมล็ดพืชจะเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่สำคัญที่ใช้สำหรับการงอกและการเติบโตของต้นอ่อน (Shewry et al., 1995) เมื่อเมล็ดโตขึ้นจะมีปริมาณโปรตีนมากขึ้น เช่น เมล็ดที่ได้จากผลมะระสุกจะมีปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันมากกว่าเมล็ดมะระที่ได้จากผลที่แก่ (Horax et al., 2010)

มีรายงานการวิจัยของผู้วิจัยหลายๆ คณะที่ให้ผลสอดคล้องกับการวิจัยในครั้งนี้ โดยพบว่าคุณค่าของอาหารจะขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อม สถานที่ปลูก และสายพันธุ์ของพืช ตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าว ได้แก่

คุณค่าทางอาหารของเมล็ด Baobab (Adansonia dกรัมitata) จากประเทศซาอุดิอาระเบียมีความแตกต่างจากเมล็ด Baobab ที่ได้จากภาคเหนือของประเทศไนจีเรีย และจากประเทศมาดากัสการ์ โดยเมล็ด Baobab ที่ได้จากซาอุดิอาระเบียมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าจากภาคเหนือของประเทศไนจีเรีย ในขณะที่ปริมาณน้ำมันของเมล็ด Baobab ที่ได้จากซาอุดิอาระเบียมีปริมาณใกล้เคียงกับที่ได้จากมาดากัสการ์ แต่มีปริมาณต่ำกว่าที่ได้จากประเทศไนจีเรีย โดยคุณค่าทางอาหารที่แตกต่างกันนี้ อาจเกิดเนื่องจากอิทธิพลของดิน อากาศ และสายพันธุ์ของพืชที่มีความแตกต่างกัน (Osman, 2004)

ถั่วสายพันธุ์ haricot ที่ปลูกในประเทศเอธิโอเปีย จะมีปริมาณโปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต น้อยกว่าถั่วสายพันธุ์ haricot ที่ปลูกในประเทศบุรุนดี (Barampama & Simard, 1993; Shimelis & Rakshit, 2004)

ปริมาณโปรตีนที่นำไปใช้ได้ทั้งหมด (net protein utilization) ของเมล็ดยี่หร่าสีดำ (black cumin seed) ที่มาจากแหล่งปลูกที่ต่างกันจะมีความแตกต่างกัน โดยเมล็ดยี่หร่าดำที่ได้จากประเทศตุรกีมีปริมาณโปรตีนที่นำไปใช้ได้มากกว่าเมล็ดยี่หร่าดำจากประเทศซีเรีย (Takruri & Dameh, 1998)

คุณค่าทางอาหารโดยประมาณของถั่ว haricot ในประเทศเอธิโอเปีย ที่แตกต่างกัน 8 สายพันธุ์ คือ Roba, กรัมobirasha, Beshbesh, กรัมofta, Awash, Mexican, Redwolaita, Tabor แล้วพบว่าแม้ว่าถั่วที่นำมาทดสอบจะเป็นถั่วที่ปลูกในสถานีทดลองเดียวกัน แต่ถั่ว haricot ที่มีสายพันธุ์ต่างกันจะมีคุณค่าทางอาหารต่างกัน (Shimelis & Rakshit, 2004)

ถั่วงอกที่เพาะจากเมล็ดของถั่วเขียวต่างสายพันธุ์กัน จะมีคุณค่าทางอาหารต่างกัน โดยถั่วงอกที่เพาะจากเมล็ดถั่วเขียวผิวมันมีคุณค่าทางอาหาร ได้แก่ ปริมาณไขมัน เยื่อใยและโปรตีนสูงกว่าถั่วงอกที่เพาะจากเมล็ดถั่วเขียวผิวดำ (สุรัตน์ นักหล่อ และพรพธู กองแก้ว, 2547)

อย่างไรก็ตาม มีรายงานการวิจัยของผู้วิจัยบางคณะที่พบว่าสายพันธุ์และสิ่งแวดล้อมไม่มีผลต่อคุณค่าทางอาหาร ตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าว ได้แก่

เมล็ดถั่ว African yam ที่ต่างกันสองสายพันธุ์คือ สายพันธุ์ที่มีเมล็ดสีน้ำตาลและสายพันธุ์ที่มีเมล็ดสีหินอ่อน มีคุณค่าทางอาหารเหมือนกัน (Onyeike & Omubo-dede, 2002)

คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายผมนาง (กรัมracilaria fisheri) ที่ได้จาก 3 แหล่ง คือ จากบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก จากตำบลเกาะยอ อำเภอเมือง ตำบลสทิงหม้อ และจากตำบลหัวเขา อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ที่ได้จากการเก็บในฤดูฝนและฤดูร้อน มีคุณค่าทางอาหารที่ไม่แตกต่างกัน (สุรภีร์ วีรวานิช, 2544)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย จากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชมีดังนี้

1. เมล็ดบัวสายมีคุณค่าทางอาหารสูง ควรเผยแพร่ข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อสาธารณชน เพื่อช่วยให้ผู้บริโภคเลือกเมล็ดบัวสายเป็นอาหารมากขึ้น อันจะส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

2. เมล็ดบัวสายมีแคลเซียมสูง จึงควรที่จะส่งเสริมการบริโภคเมล็ดบัวสายในกลุ่มคนที่ต้องการแคลเซียมในปริมาณสูง เช่น หญิงมีครรภ์ หญิงให้นมบุตร หรือในเด็กและคนชรา

3. เมล็ดบัวสายมีความชื้นต่ำมาก ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เกิดการเน่าเสีย จึงอาจเก็บไว้ใช้ปรุงเป็นอาหารในขณะที่อาหารชนิดอื่นขาดแคลนหรือมีราคาแพง

4. การศึกษาวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารครั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นของเมล็ดบัวสาย จึงควรวิเคราะห์ด้านอื่นๆ ของเมล็ดบัวสาย เช่น วิเคราะห์หาปริมาณวิตามิน วิเคราะห์ชนิดของแป้ง และชนิดของไขมัน เพิ่มเติม

บรรณานุกรม

กนกพร สมไพลิน. (2545). ผลของสารสังเคราะห์แอนโทไซยานินต่อการควบคุมสีพืช. **วารสารพระจอมเกล้าราชกระบัง**: 10(1): 23-27.

กมลวรรณ แจ้งชัด. (2550). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรรณิการ์ สิริสิงห์. (2544). **เคมีของน้ำโสโครกและการวิเคราะห์**. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สถาบันราชภัฏจันทรเกษม.

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2550). **ตารางแสองคุณค่าโภชนาการของอาหารไทย.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: องค์การทหารผ่านศึก.

กุลยา จันทร์อรุณ. (2533). **เคมีอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กรมฝึกหัดครู.

เข็มทอง นิ่มจินดา. (2538). **ทฤษฎีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กรมฝึกหัดครู.

คณิตา เลขะกุล, คุณหญิง. (2535). **บัว ราชินีแห่งไม้น้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ด่านสุทธาการพิมพ์.

เฉลิมชัย ประเวศตระกูลชัย. (2553). **มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAกรัมE).** [online] , Available HTTP: http://chalermchai124.exteen.com/ 20100913/cie-commission-internationale-de-l-eclairage [28 เม.ย. 2554]และ[25 ตุลาคม 2554]

ฉัตรชัย สังข์ผุด. (2545). **หลักการวิเคราะห์อาหาร Principle of food Analysis.** นครศรีธรรมราช: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.

ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และวันเพ็ญ จิตรเจริญ. (2536). **การควบคุมคุณภาพอุตสาหกรรมอาหาร.** ลำปาง: สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลลำปาง.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). **เคมีอาหาร** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

ปราณี รัตนสุวรรณ, (ม.ป.ป.). **งา ธัญพืชเมล็ดจิ๋วอันทรงคุณค่า.** [online] , Available HTTP: http://pcog.pharmacy.psu.ac.th/thi/Article/2553/05-53/har.pdf [5 พฤศจิกายน 2554]

ปริศนา สุวรรณาภรณ์. (2549). **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: คณะอุตสาหกรรม.

พรรณทิพย์ ตั้งปรียารักษ์. (2548). **การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอย่างรวดเร็วด้วยเครื่อง AAS**. [online], Available HTTP: http://www. Thaiscience.com/lab [13 ธันวาคม 2552]

ไพบูรณ์ เปรียบยิ่ง และวิลาวรรณ ศิริพูนวิวัฒน์. (2554). ดัชนีค่าระดับสีเพื่อการคัดเลือกข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วง. **วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร** 23(2): 1-9.

ภัคนัย ทองทิอัมพร. (2550). **การมองเห็นและการวัดสี.** [online], Available HTTP: http:// www. rmutphysics.com/CHARUD/PDF-learning/6/pdf1/color.pdf [28 เมษายน 2554]

ม.ป.น. (2553). **คาร์โบไฮเดรต.** [online], Available HTTP:http://thapring.com/Pingpong_ web/ Biomolecules_Web/Carbohydrate_01.htm, [24 ก.พ.2553]

รังสินี โสธรวิทย์. (2550). **เคมีและจุลชีววิทยาเบื้องต้นของอาหาร**. นครปฐม: ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ลาวัลย์ เบญจศีล. (2542). **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารเบื้องต้น Introduction to Food Science and Technolonรัmy**. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา.

ลักษณา รุจนะไกรกานต์. (2544). **หลักการวิเคราะห์อาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ลักษณา อินทร์กลับ. (2543). **โภชนาศาสตร์เชิงชีวเคมี วิตามิน เกลือแร่ น้ำ และใยอาหาร**.พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: มีเดียการพิมพ์.

วิษฐิดา จันทราพรชัย. (2550). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วสันต์ กันตมูน. (2554). **Properties of Bio Material and Food.**. [online] , Available HTTP: http://www.202.44.47.77/tam/...[28 เมษายน 2554]

วรรณา ตุลยธัญ. (2549). **เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: แอคทีฟพริ้นท์.

วันเพ็ญ จิตรเจริญ. (2539). **หลักการวิเคราะห์และควบคุมคุณภาพอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่2. ลำปาง: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลลำปาง.

วิไล รังสาดทอง. (2543). **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิริวรรณ สุทธจิตต์. (2550). **ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเพื่อสุขภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: The Knowledge Center.

ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง. (2530). **เคมีอาหารเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตว์.

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ.(2542). **โภชนาศาสตร์เบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสริมลาภ วสุวัตร. (2547). **บัวประดับในประเทศไทย**. กรุงเทพมหานคร: เนชันบุคส์.

_____. (8 มิถุนายน2540). **ความรู้คู่บัว บัวสาย Nymphaea pubescens Willclenow**. [online], Available HTTP: www.thaiwaterlily.com/topt7.asp [25 ธันวาคม 2552]

_____. (2539). **บัว: ไม้ดอกไม้ประดับ** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: อัมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง.

_____. (2552), **ชนิดของบัว** [online] , Available HTTP: http//www.search-thais. com/lotus2/ lotusindx.htm; [11 ธันวาคม 2551]

สุโขทัยธรรมธิราช, มหาวิทยาลัย. (2538). **เอกสารการสอนชุดวิชาอาหารและโภชนาการ (Food and Nutrition)** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: นวกนก.

สุชาดา ศรีเพ็ญ, คุณหญิง. (2542). **พรรณไม้น้ำในประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิง จำกัด.

สุธาทิพย์ ภมรประวัติ. (2006). **กินตามสีอาหารเพื่อสุขภาพ 5 สี**. [online], Available HTTP: http://www.elib-online.com/doctors49/food_color001.html ; [5 พฤศจิกายน 2554]

สุปราณี วนิชชานนท์. (2540). **บัวประดับ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: เพื่อนเกษตร.

สุรภีร์ วีรวานิช. (2544). **รายงานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายผมนางกราซิลาเรียน ฟิชเชอไร (กรัมracilaria fisheri) บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก** (A Study On Nutritional Values of gracilaria fisheri). สงขลา: โปรแกรมชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสงขลา.

สุรัตน์ นักหล่อ และพรพธู กองแก้ว. (2547).**รายงานวิจัยเรื่อง คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วเขียวและคุณค่าทางอาหารของถั่วงอก.** เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สุวิมล ตัณฑ์ศุภศิริ. (2548). **สารอาหาร อาหารหลัก และการกำหนดรายการอาหาร.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสาวนีย์ จักรพิทักษ์. (2541). **หลักโภชนาการปัจจุบัน**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2532). **เคมีทางธัญญาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล, วรรณี จิรภาคย์กุล, สมจิต สุรพัฒน์ และปริศนา สุวรรณาภรณ์. (2549). **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อาสาพ จิตรแจ่ม. (2548). **Atomic Absorption Spectroscopy (AAS),** LAB.TODAY.

อัคกะบัทคาน ปาทาน. (2542). **สารอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. เพชรบูรณ์: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์.

อุทัยวรรณ วิสุทธากุล. (2551). **อาหารรักษาโรค (Food Cures)**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: รีดเดอร์ส ไดเจสท์ (ประเทศไทย).

Anon. (2008). **genera of Nymphaeaceae**, กรัมermplasm Resources Information Network, **GRIN Taxonomy for Plants.** 17/02/2008www.ars-drin. gov.

Aryee, F.N.A., Oduro I., Ellis, W.O. & Afuakwa, J.J. 2006. The physicochemical properties of flour samples from the roots of 31 varieties of cassava. **Food Control.** 17:916-922.

AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis of the Association of official Analytical Chemists**. (17th editions). กรัมaitherburกรัม, MD, USA.

Barampama, Z., & Simard, E.R. (1993). Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (Phaseolus vulgaris L.) grown in Burundi. **Food Chemistry**. 47:159-167.

Beynum, G.M.A., Van & Roels, J.A. (1985). **Starch Conversion Technolกรัมy,** Marcel Dekker, Inc., New York.

Bishnoi, S., Khetarpaul, N., (1993). Variability in physic-chemical properties and nutrient composition of different pea cultivars. **Food Chemistry**. 47:371-373.

Charles, A.L., Sriroth, K. & Huang, T., (2005). Proximate composition, mineral content, hydrogen cyanide and phytic acid of 5 cassava genotypes. **Food Chemistry**. 92:615-620.

Cordain, L. (1999). **Cereal grains:Humanity's Double-Edged Sword**, World Rev Nutr Diet. Basel. Karger. Vol 84, pp 19-73.

Del Rosario, A.V. & Lorenz, K., (1999). Pasta products containing taro (Colocasia esculenta L. Schott) and chaya (Cnidoscolus chayamansa L. Mcvaugh). J. **Food Process Preserv**. 23:1-20.

Drummond, K. E. & Brefere, L. M. (2007). **Nutrition for foodservice and culinary Professionals** 6th ed. U.S.A.

Jinsong, B., Mei, S., Lihuang, Z. & Harold C. (2004). Analysis of quantitative trait loci for some starch properties of rice (*Oryza sativa* L.): termal properties, gel text and swelling› volume. **Journal of Cereal Science** 39, 379-385.

FAO. (1986). **Manual of Food Quality Control 7 Food Analysis : general Technique, Additive, Contaminants and Composition.** Food and Agriculture Organization of the United Nation Rome.

Fossen, T. & Andersen, O.M., (1997). Acylated anthocyanins from leaves of the water lilt, Nymphaeae × Marliacea. **Phytochemistry** 46, 353-357.

Fossen, T., Larsen, A. & Andersen, O.M., (1998b). Anthocyanins from Nymphaeae × Marliacea. **Phytochemistry** 48, 823-827.

Fossen, T., Larsen, A., Kiremire, B.T. & Andersen, O.M., (1999). Flavonoids from blue flowers of Nymphaeae × caerulea. **Phytochemistry** 51, 1133-1137.

Glenn, T. & Susan, T. (1999). **Molecular Organization** 4th ed. Spain.

Harris, R.H. & Jesperson, E. (1946). A study of the effect of various factors on the swelling of certain cereal starches. **Journal of Colloid Science,** 1(6): 479-493.

Hoke, K., Houšová, J. & Houška, M. (2005). Optimum Condition of Rice Puffing. **Food Research Institute Prague**, Prague, Czech Republic. 1st .

Horax, R., Hettiarachchy, N., Kannan, A. & Chen , P,. (2010). Proximate composition and amino id and mineral contents of Mormordica charantia L. pericarp and seeds at different maturity stages. **Food Chemistry.** 122:1111-1115.

Kaur, M., Kaushal, P. & Sandhu, K.S., (2011). Studies on physicochemical and pasting properties of Taro (Colocasia esculenta L.) flour in comparison with cereal, tuber and legume flour. J. **Food Sci Tech**. 102:111-119.

Kurihara, H., Kawabata, J. & Hatano, M., (1993). geraniin, a hydrolysabke tannin from Nymphaeae tetragona georgi (Nymphaceae). **Biosci. Biotechnol. Biochem**. 57, 1570-1571.

Lazze, M.C., Savio, M., Pizzala, R., Cazzalini O. Perucca, P., Scovassi, A.I., Stivala, L.A. & Bianchi, L. (2004). Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human celllines. **Carcinogenesis**, 25: 1427-1433.

Lee, B. H. (1996). **Fundamentals of food biotechnology**. New York.

Lo, S.O. & Nicholson, R.L. (1998). Reduction of light-induced anthocyanin accumulation in inoculation sorghum mesocotyls. **Plant Physiology.** 116(3): 979-989.

Minoff, E. C. & Baker, P. J. (2004). **Biology today: an issues approach.** 3rd ed. New York.

Onyeike, E.N. & Omubo-dede, (2002). Effect of heat treatment on the proximate composition, Energy values, and levels of some toxicants in African yam bean (Sphenostylis stenocrpa) seed varieties. **Plant** foods for **human nutrition.** 57:223-231.

Osman, M.A., (2004). Chemical and nutrient analysis of Baobab (Adansonia digitata) fruit and seed protein solubility. **Plant foods for human nutrition.** 59:29-33.

Oyenuga, V.A., (1968). Nigeria's food nd feeding stuffs. 3rd ed Ibadan, **Ibadan University Press.** Pp 79-83.

Perez, E., Schultzb, F.S., Pacheco de Delahaye, E., (2005). Characterization of some properties of starches isolated from Xanthosoma Saggitifolium (tannia) and Colocasia esculenta (taro).**Carbohydr Polym.** 60:139-145.

Petzke, K.J., Ezeagu, I.E., ProII, J., Akinsoyinu, A.O. & Metges, C.C. (1997). **Plant Foods Hum.Nutr**, 50(2), 151-162.

Porto, E.S.B, Portugal, last updated by bungah@rpi.edu on 08/30/1997 20:43:54. **Higher sugars and polymers.** [online] . Available HTTP://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/FUNDAMNT/sugpoly.htm [26 เมษายน 2555]

Potter, N. N. & Hotchkiss, J. H. (1995). **Food science**. 5th ed. New York.

Sathe, S.K. & Salunkhe, D.K., (1981). Functional properties of great northern brean (Phascolus vulgaris L.) proteins: emulsion, foaming, viscosity and gelation properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 46: 71-74.

Shewry, P.R., Napier, J.A. & Tatham, A.S., (1995). Seed storage proteins: Structures and biosynthesis. **The Plant Cell.** 7:945-956.

Shimelis, E.A. & Rakshit, S.K., (2005). Proximate composition and physic-chemical properties of improved dry bean (Phaseolus vusgaris L.) varities grown in Ethiopia. **LWT**. 38: 331-338.

Songpanich, P. & Hongtrakul, V, (2010). Intersubgeneric cross in Nymphaea spp. L. to develop a blue hardy waterlily. **Journal of Scientia Horticulturae**, 124, 475-481.

Svihus, B. & gullord, M. (2002). Effect of chemical content and physical charactheristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry. **Animal feed Science and technology 102, 71-92.**

Takruri, H.R.H. & Dameh, M.A.F. 1998. Study of the nutritional value of black cumin seeds (Nigella Sativa L.) **J. Sci. Food Agric.** 76: 404-410.

Tattiyakul, J., Asavasaksakul S.& Pradipasena, P., (2005). Chemical and physical properties of four extracted from taro (Colocasia esculenta L. Schott) grown in different regions of Thailand. Sci Asia. 32:279-284.

Tian, S.J., Rickard, J.E. & Blanshard, J.M.V. (1991). Physiochemical properties of sweet potato starch. **Journal of the science of food and agriculture,**57: 459-491.

Wang, N., Duan, K.J. & Malclmson, J. L., (2003). Relationship between physicochemical and cooking properties, and effects of cooking time on antinutrients, of yellow field peas (Pisum sativum). **Journal of the Science of Food and Agriculture.** 83: 1228-1237.

Wikipedia, **Kjeldahl method.** [online] , Available HTTP://www. Wikipedia [26 เมษายน 2555]

บุคลานุกรม

สัมภาษณ์ นางหนูเสริม เพชรสงค์. บ้านเลขที่ 59 หมู่ 8 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. 20 พฤษภาคม 2552.

สัมภาษณ์ นายทวี เหมทานนท์. บ้านเลขที่ 119 หมู่ 4 ตำบลขนาบนาก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. 23 มิถุนายน 2552.

สัมภาษณ์ นางบุญศรี แก้วสาระ. บ้านเลขที่ 47 หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. (7 พฤศจิกายน 2554).

สัมภาษณ์ นางห้วย จิรสูตรสกุล. บ้านเลขที่ - หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. 8 พฤศจิกายน 2554.

สัมภาษณ์ นายสมศักดิ์ ฉิมปากแพรก. บ้านเลขที่ - หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. 9 พฤศจิกายน 2554.

สัมภาษณ์ นางจำลอง ฉิมปากแพรก. บ้านเลขที่ - หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. 12 พฤศจิกายน 2554.

สัมภาษณ์ นายสมควร ฉิมปากแพรก. บ้านเลขที่ - หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. 12 พฤศจิกายน 2554.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารเคมี

การเตรียมสารเคมี

สารเคมีและการเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์โปรตีน

สารเคมี

1. Sulfuric acid conc.
2. 32 % Sodium hydroxide
3. Selenium mixture หรือ 5% $CuSO_4$ + 95% K_2SO_4
4. 2 % Boric acid
5. Mixinกรัม indicator (0.2% methyl red และ 0.1% methylene blue)
6. 0.1 N HCl

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 32 % โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 320 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร คนสารให้ละลาย ซึ่งจะมีความร้อนเกิดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ควัน ถ่ายใส่ขวดปรับปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

2. สารละลายกรดบอริก (Boric acid) ความเข้มข้น 2 % โดยชั่งกรดบอริกจำนวน 20 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อนปริมาตร 700 มิลลิลิตร คนให้สารละลายทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายใส่ขวดปรับปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

3. อินดิเคเตอร์ผสมสำหรับวิเคราะห์โปรตีน (Mixinกรัม indicator) โดยชั่ง methyl red จำนวน 0.02 กรัมและ methylene blue จำนวน 0.1 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตร ละลายสารในเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (N) โดยปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 2.14 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 250 มิลลิลิตร ซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร

จากสูตร $$V = \frac{MM' \times 100}{pd}$$

เมื่อกำหนดให้ V = ปริมาตรสารที่ใช้เตรียม (มิลลิลิตรต่อลิตร)

M = ความเข้มที่ต้องการเตรียม (นอร์มอล)

M' = น้ำหนักโมเลกุลของกรด HCl

P = ความบริสุทธิ์ของสาร (%)

d = ความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะ

แทนค่าในสูตร

$$V = \frac{0.1 \times 36.46 \times 100}{36.0 \times 1.18} = 8.5828 \text{ มิลลิลิตร}$$

เมื่อต้องการเตรียมสารละลายเป็น 250 มิลลิลิตร ต้องใช้กรด HCl $= \frac{8.5828 \times 250}{1000}$

$= 2.1457$ มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยหยาบ

สารเคมี

1. 1.25% H_2SO_4
2. 1.25% NaOH
3. Acetone

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.25 % (H_2SO_4) โดยใส่น้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อยลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจำนวน 12.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1.25 % โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 12.5 กรัมใส่บิกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร คนสารให้ละลายซึ่งจะมีความร้อนเกิดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ควัน ถ่ายใส่ขวดปรับปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและเหล็ก

สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน (Deionized)
2. 1 N Nitric acid
3. 3 N Nitric acid
4. Lanthanum oxide (La_2O_3) 99.99 % (AAS quality)
5. Lanthanum chloride ($LaCl_3$) เข้มข้น 1% โดยมวลต่อปริมาตร

6. Lanthanum stock solution 1,000 ไมโครกรัม

7. สารละลายแคลเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

8. สารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีการเตรียมสาร

1. สารละลายกรดไนตริก (H_2NO_3) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล (N) โดยปิเปตกรดไนตริกเข้มข้น จำนวน 31.44 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร ซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร

จากสูตร $$V = \frac{MM'\times 100}{pd}$$

เมื่อกำหนดให้ V = ปริมาตรสารที่ใช้เตรียม (มิลลิลิตรต่อลิตร)

M = ความเข้มที่ต้องการเตรียม (นอร์มอล)

M' = น้ำหนักโมเลกุลของกรด HCl

P = ความบริสุทธิ์ของสาร (%)

d = ความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะ

แทนค่าในสูตร

$$V = \frac{0.1\times 63.01\times 100}{71.0\times 1.42} = 64.4975 \text{ มิลลิลิตร}$$

เมื่อต้องการเตรียมสารละลายเป็น 500 มิลลิลิตร ต้องใช้กรดไนตริก $= \frac{62.4975\times 500}{1000}$

$= 31.4486$ มิลลิลิตร

2. สารละลายกรดไนตริก (H_2NO_3) ความเข้มข้น 3 นอร์มอล (N) โดยปิเปตกรดไนตริกเข้มข้น จำนวน 4.7 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

3. สารละลายแลนทานัมคลอไรด์ (Lanthanum chloride : $LaCl_3$) ความเข้มข้น 1% โดยมวลต่อปริมาตร โดยชั่งแลนทานัมคลอไรด์ 10 กรัม ละลายน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

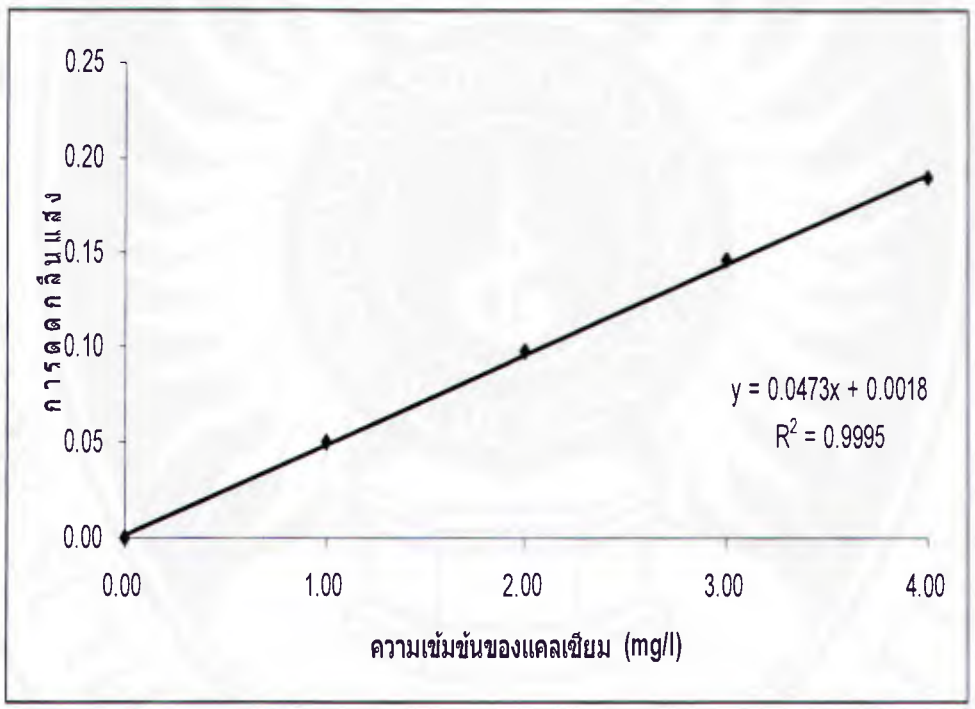
4. การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (Ca)

4.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมตั้งต้นที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายแคลเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 2.5

มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปรับให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

4.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตรต่อกรัม โดยการนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมตั้งต้นที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร เติมสารละลายสารละลายแลนทานัมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1 % โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรและปรับปริมาตรสารละลายด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปรับให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

4.3 วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแคลเซียมมาตรฐาน ด้วยเครื่องอะ***ตอม***มิก ***แอบ***ซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ โดยใช้ก๊าซผสมระหว่างอะเซทิลีน (acetylene) และอากาศ ที่ความยาวคลื่น 422.7 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแคลเซียมมาตรฐาน (ภาพภาคผนวก ก 1)



ภาพภาคผนวก ก 1 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแคลเซียมมาตรฐาน

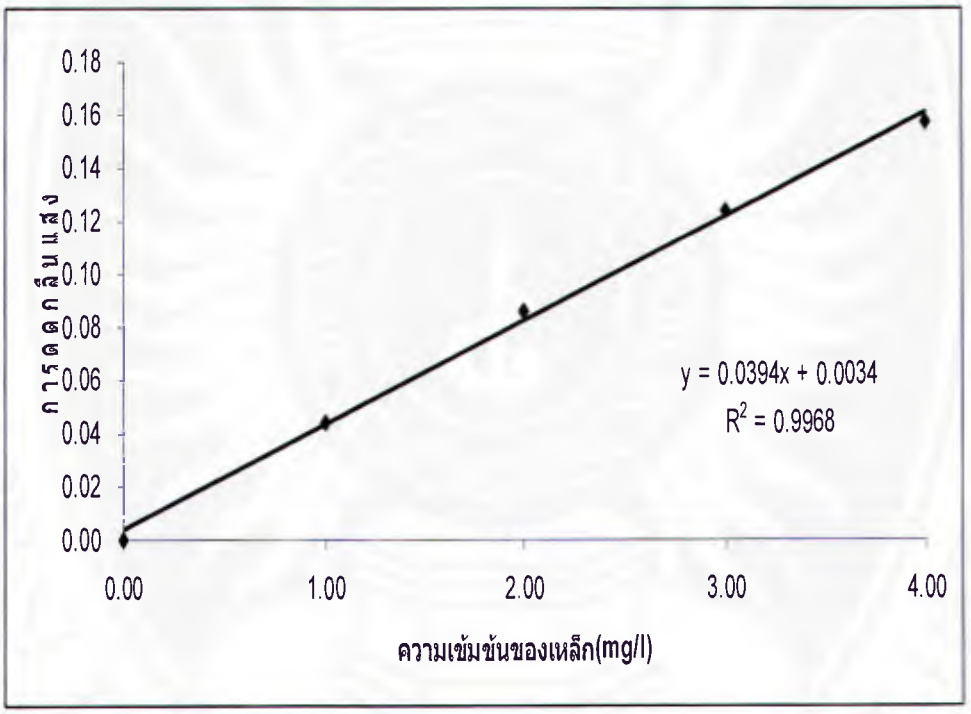
5. การเตรียมสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe)

5.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของเหล็กตั้งต้นที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 2.5 มิลลิลิตร

ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปรับให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตรต่อกรัม โดยการนำสารละลายมาตรฐานเหล็กตั้งต้น ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร และปรับปริมาตรสารละลายด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปรับให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

5.3 วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเหล็กมาตรฐาน ด้วยเครื่องอะ*ตอม*มิก*แอบ*ซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ใช้ก๊าซผสมระหว่างอะเซทิลีนและอากาศที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเหล็กมาตรฐาน (ภาพภาคผนวก ก 2)



ภาพภาคผนวก ก 2 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเหล็กมาตรฐาน

6. การเตรียมสารละลายมาตรฐานของฟอสฟอรัส (P)

สารเคมี

1. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)
2. น้ำกลั่น deionized
3. น้ำยาเบรย์ทู

4. สารละลายกรดเอสคอบิก

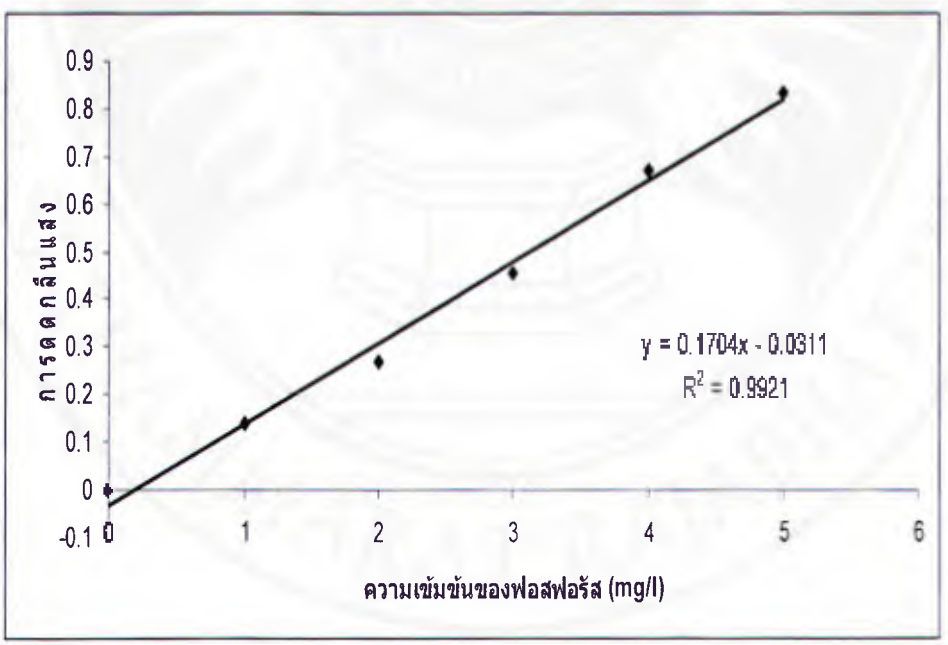
วิธีการเตรียมสาร

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสตั้งต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 3 ชั่วโมง จำนวน 0.4420 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ละลายในน้ำกลั่น deionized เล็กน้อยแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

2. เตรียมสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้มข้น 100 มิลลิลิตรต่อลิตร จำนวน 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ปรับปริมาตรด้วยน้ำยาเบรย์ทูให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. นำสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นใส่ในหลอดทดลอง หลอดละ 1 มิลลิลิตร เติมน้ำยาทำให้เกิดสีและสารละลายกรดเอสคอบิก หลอดละ 1 มิลลิลิตร เขย่าและทำให้เกิดสีน้ำเงินอย่างสมบูรณ์ ใช้เวลาประมาณ 30 นาที

4. นำสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้าเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ที่ปรับค่าให้เท่ากับศูนย์ด้วยสารละลายจากหลอดที่ไม่มีฟอสฟอรัส (Zero standard) วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐานที่ความเข้มข้นจากน้อยไปมาก ตามลำดับ และจากสารตัวอย่าง สร้าง Standard curve จากสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐานที่เตรียมไว้ (ภาคผนวก ก 3) ได้ดังนี้



ภาพภาคผนวก ก 3 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย จากห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาเคมีและวิทยาศาสตร์การอาหาร ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช โดยนำผลที่ได้มาการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SPSS version 11.5 for window โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสายจำนวน 3 ตัวอย่าง ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) ดังนี้

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวสาย

รายการ		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L*	Between groups	386.356	2	193.178	1647.245	.000
	Within groups	1.407	12	.117		
	Total	387.763	14			
a*	Between groups	15.270	2	7.635	78 608	.000
	Within groups	1.166	12	.097		
	Total	16.435	14			
b*	Between groups	168.935	2	84.468	475.482	.000
	Within groups	2.132	12	.178		
	Total	171.067	14			
ขนาดโต	Between groups	344.459	2	172.230	400.807	.000
กว่า 1	Within groups	5.156	12	.430		
มิลลิเมตร	Total	349.616	14			

ตารางที่ 13 (ต่อ)

รายการ		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
แช่น้ำที่	Between groups	1620.407	2	810.204	.678	.526
อุณหภูมิ	Within groups	14332.867	12	1194.406		
ห้อง	Total	15953.274	14			
ต้มที่	Between groups	17815.119	2	8907.559	2.094	.166
อุณหภูมิ	Within groups	51056.411	12	4254.701		
80 องศา	Total					
เซลเซียส		68871.530	14			

ค่าความสว่างของเมล็ดบัวสาย (L*)

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	32.4220		
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5		39.4960	
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5			44.8120
Sig.		1.000	1.000	1.000

ค่าความเป็นสีแดงของเมล็ดบัวสาย (a*)

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	12.0080	
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	12.3640	
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5		14.3040
Sig.		.096	1.000

ค่าความเป็นสีเหลืองของเมล็ดบัวสาย (b*)

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	15.0300	
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		22.0780
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5		22.2180
Sig.		1.000	.609

ปริมาณเมล็ดบัวสายขนาดโตกว่า 1 มิลลิเมตร

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	80.4542	
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5	81.1140	
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		90.9335
Sig.		.137	1.000

การพองตัวของเมล็ดบัวสายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05
		1
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	90.00
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5	98.33
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	115.00
Sig.		.298

การพองตัวของเมล็ดบัวสายในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05
		1
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	455.0000
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	485.0000
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5	538.3340
Sig.		.078

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณคุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย

รายการ		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความชื้น	Between groups	3.263	2	1.631	32.685	.000
	Within groups	.599	12	.050		
	Total	3.862	14			
โปรตีน	Between groups	3.823	2	1.911	51.167	.000
	Within groups	.448	12	.037		
	Total	4.271	14			
ไขมัน	Between groups	.169	2	.084	52.377	.000
	Within groups	.019	12	.002		
	Total	.188	14			
คาร์โบไฮ-	Between groups	7.997	2	3.998	68.040	.000
เดรต	Within groups	.705	12	.059		
	Total	8.702	14			

ตารางที่ 14 (ต่อ)

รายการ		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
เยื่อใย	Between groups	.897	2	.449	5.239	.023
	Within groups	1.028	12	.086		
	Within groups	.011	12	.001		
	Total	.031	14			
เถ้า	Between groups	.020	2	.010	10.293	.002
	Within groups	.011	12	.001		
	Total	.031	14			
แคลเซียม	Between groups	123534.5	2	61767.251	295.102	.000
	Within groups	2511.696	12	209.308		
	Total	126046.1	14			
ฟอสฟอรัส	Between groups	29.859	2	14.929	62.049	.000
	Within groups	2.887	12	.241		
	Total	32.746	14			
เหล็ก	Between groups	238.449	2	119.225	71.108	.000
	Within groups	20.120	12	1.677		
	Total	258.569	14			
พลังงาน	Between groups	.039	2	.020	5.449	.021
	Within groups	.043	12	.004		
	Total	.082	14			

ความชื้น

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5	1.585600		
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		2.148000	
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5			2.728000
Sig.		1.000	1.000	1.000

โปรตีน

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5	9.424000		
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		10.218000	
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5			10.642000
Sig.		1.000	1.000	1.000

ไขมัน

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	1.214000		
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		1.294000	
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5			1.468000
Sig.		1.000	1.000	1.000

คาร์โบไฮเดรต

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	82.318000		
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		82.866000	
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5			84.066400
Sig.		1.000	1.000	1.000

เยื่อใย

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	2.222000	
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5		2.690000
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		2.780000
Sig.		1.000	.636

เถ้า

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	.742000	
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5	.766000	
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		.828000
Sig.		.243	1.000

แคลเซียม

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5	226.4800		
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		312.4800	
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5			447.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000

ฟอสฟอรัส

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	15.1160		
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5		15.8320	
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5			18.4020
Sig.		1.000	1.000	1.000

เหล็ก

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	63.1000		
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		69.6800	
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5			72.6400
Sig.		1.000	1.000	1.000

พลังงาน

Duncan

แหล่งเมล็ดบัวสาย	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
ดอกสีขาวปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5	3.834120	
ดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก	5	3.897940	3.897940
ดอกสีม่วงปนชมพูจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	5		3.959320
Sig.		.118	.132

การหาปริมาณผลผลิตของเมล็ดบัวสาย (Yields)

การหาปริมาณผลผลิตของเมล็ดบัวสาย ทำได้โดยแบ่งผลสดบัวสายเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 12 ผล ซึ่งมีขนาดเล็กใหญ่ปนกัน ทำตามขั้นตอนการผลิตเมล็ดบัวสายชั่งน้ำหนักผลสดและน้ำหนักผลผลิตเมล็ดบัวสาย ได้ผลแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณผลผลิตของเมล็ดบัวสายต่อ 100 กรัม

กลุ่มที่	เมล็ดสดต่อผลสด	เมล็ดแห้งต่อผลสด	เมล็ดบัวสายต่อผลสด	เมล็ตบัวสายต่อเมล็ดแห้ง
1	55.00	23.34	17.14	73.44
2	53.75	22.30	16.21	72.68
3	53.80	22.58	16.99	75.25
4	55.05	23.42	17.76	75.84
5	54.64	22.98	16.89	73.50
เฉลี่ย	54.45	22.92	17.00	74.14
S.D.	0.63	0.48	0.56	1.34

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณผลผลิตเมล็ดบัวสายสดโดยน้ำหนักจากผลสดของบัวสายดอกสีขาวปนชมพู เฉลี่ยร้อยละ 54.45±0.63 ผลผลิตเมล็ดบัวสายแห้งไม่กะเทาะเปลือกต่อผลสดเฉลี่ยร้อยละ 22.92±0.48 ผลผลิตเมล็ดบัวสายแห้งกะเทาะเปลือกต่อผลสดเฉลี่ย 16.9989±0.56 และ

ผลผลิตเมล็ดบัวสายกะเทาะเปลือกต่อเมล็ดบัวสายแห้งเฉลี่ย 74.14±1.34 นั่นคือการผลิตจากผลสด ของเมล็ดบัวสายได้ผลผลิต เฉลี่ยร้อยละ 17.00

บทสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดบัวสาย

1. นางหนูเสริม เพชรสงค์. (20 พฤษภาคม 2552). บ้านเลขที่ 59 หมู่ 8 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. ผลิตเมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีขาวปนชมพู จากแหล่งน้ำทั่วไป ตั้งแต่รุ่นแม่ และปี 2537-2540 ได้ขุดบ่อปลูกบัวสายดอกสีขาวปนชมพู จำนวน 3 บ่อ ขนาด 5 ไร่, 4 ไร่ และ 2 ไร่ ได้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 70-80 กิโลกรัมต่อปี

2. นายทวี เหมทานนท์. (23 มิถุนายน 2552). บ้านเลขที่ 119 หมู่ 4 ตำบลขนาบนาก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. ปี 2550 ผลิตเมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีชมพูม่วงปนขาว จากแหล่งน้ำทั่วไป ปีละ 1 กิโลกรัม ในระยะ 2 ปีที่ผ่านมาไม่ได้ทำเพราะแหล่งน้ำแห้งแล้ง และขาดแคลนพันธุ์บัว

3. นางบุญศรี แก้วสาระ. (7 พฤศจิกายน 2554). บ้านเลขที่ 47 หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. ผลิตเมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีขาวปนชมพู จากแหล่งน้ำทั่วไป ตั้งแต่ปี 2537 ได้ผลผลิต 6-8 กิโลกรัม ปัจจุบันไม่ได้ทำเพราะแหล่งน้ำแห้งแล้ง และขาดแคลนพันธุ์บัว

4. นางห้วย จิรสูตรสกุล. (8 พฤศจิกายน 2554). บ้านเลขที่ - หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. ผลิตเมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีขาวปนชมพูจากบ่อปลูก ขนาด 1 ไร่ ตั้งแต่ ปี 2540 ได้ผลผลิต 5-7 กิโลกรัม ปัจจุบันไม่ได้ทำเพราะบ่อแห้งขาดแคลนน้ำจืด และขาดแคลนพันธุ์บัว

5. นายสมศักดิ์ ฉิมปากแพรก. (9 พฤศจิกายน 2554). บ้านเลขที่ - หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. ผลิตเมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีขาวปนชมพู จากแหล่งน้ำทั่วไป ตั้งแต่ปี 2549 ได้ผลผลิต 4-6 กิโลกรัม ปัจจุบันไม่ได้ทำเพราะแหล่งน้ำแห้งแล้ง และขาดแคลนพันธุ์บัว

6. นางจำลอง ฉิมปากแพรก. (12 พฤศจิกายน 2554). บ้านเลขที่ - หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. ผลิตเมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีขาวปนชมพู จากแหล่งน้ำทั่วไป ตั้งแต่ปี 2539 ได้ผลผลิต 5-6 กิโลกรัม ปัจจุบันไม่ได้ทำเพราะแหล่งน้ำแห้งแล้ง และขาดแคลนพันธุ์บัว

7. นายสมควร ฉิมปากแพรก. (12 พฤศจิกายน 2554). บ้านเลขที่ - หมู่ 1 ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. นครศรีธรรมราช. ผลิตเมล็ดบัวสายจากบัวสายดอกสีขาว

ปนชมพู จากแหล่งน้ำทั่วไป ตั้งแต่ปี 2540 ได้ผลผลิต 3-5 กิโลกรัม ปัจจุบันไม่ได้ทำเพราะแหล่งน้ำแห้งแล้ง และขาดแคลนพันธุ์บัว

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวยุวดี วัฒนสุนทร

วันเดือนปีเกิด 10 กุมภาพันธ์ 2503

สถานที่เกิด นครศรีธรรมราช

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 019 ถนนพานิชสัมพันธ์ อำเภอปากพนัง
จังหวัดนครศรีธรรมราช 80140

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน ครูชำนาญการ คศ. 2 โรงเรียนอินทร์ธานีวิทยาคม ตำบลปากแพรก
อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80140

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2515	ป.4 โรงเรียนเทศบาลปากพนัง 2 อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80140
พ.ศ. 2518	ป.7 โรงเรียนปากพนัง(ประถมศึกษาตอนปลาย) อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80140
พ.ศ. 2520	ม.ศ.3 โรงเรียนสตรีปากพนัง อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80140
พ.ศ. 2522	ม.ศ. 5 โรงเรียนปากพนัง อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80140
พ.ศ. 2525	วท.บ (ศึกษาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทั่วไป) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี

การนำเสนอวิทยานิพนธ์

ยุวดี วัฒนสุนทร สุมาลี เลี่ยมทอง และศุภวรรณ พรหมเพรา. (2553). คุณค่าทางอาหารของเมล็ดบัวสาย (Nymphaea lotus Linn.) **ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36 (วทท. 36)** ระหว่างวันที่ 26-28 ตุลาคม 2553 (หน้าที่ 194) ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์