การกำหนดส่วนประกอบแร่ธาตุและลักษณะของข้าวไทย
ด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปร

พจนา พจนวิชัยกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มิถุนายน 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ พจนา พจนวิชัยกุล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิดาการ สายธนู)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุภัทร เมฆพายัพ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ดร.กิตติมา พฤกภูษณ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิดาการ สายธนู)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุภัทร เมฆพายัพ)

.....กรรมการ

(ดร. วาสินี พงษ์ประยูร)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ มหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 20 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.กิดาการ สายธนู อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุภัทร เมฆพายัพ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และ ดร.วาสินี พงษ์ประยูร กรรมการสอบ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้องตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติมา พฤกภูษณ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไขและวิจารณ์ผลงาน ทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวไทย ซึ่งใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ จึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อโสภณ พจนวิชัยกุล คุณแม่จิราพร พจนวิชัยกุล และพี่น้องทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทีแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

พจนา พจนวิชัยกุล

58910005: สาขาวิชา: สถิติ; วท.ม. (สถิติ)
คำสำคัญ: ข้าวพันธุ์พื้นเมือง/ ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์/ การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม/ การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก

พจนา พจนวิชัยกุล: การกำหนดส่วนประกอบแร่ธาตุและลักษณะของข้าวไทยด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปร (DETERMINATION OF MINERAL COMPOSITION AND CHARACTERISTIC OF THAI RICE WITH MULTIVARIATE ANALYSIS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: กิดาการ สายธนู, Ph.D., จตุภัทร เมพายัพ, ปร.ด. 127 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวไทยทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ทั้งหมดจำนวน 14 สายพันธุ์ ด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มและการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก ผลการวิจัยพบว่าสามารถจัดกลุ่มข้าวไทยได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 เป็นข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมจำนวน 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์กข15 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 และข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี ซึ่งเป็นกลุ่มข้าวที่มีลักษณะเมล็ดข้าวนุ่มและเหนียวเมื่อผ่านการหุงต้ม กลุ่มที่ 2 เป็นข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูงจำนวน 4 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ซึ่งเป็นกลุ่มข้าวที่มีลักษณะเมล็ดข้าวร่วนและค่อนข้างแข็งเมื่อผ่านการหุงต้ม และกลุ่มที่ 3 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ข้าวพันธุ์นางพญา 132 ข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี ข้าวพันธุ์ เล็บนกปัตตานี และข้าวพันธุ์สังข์หยด ซึ่งเป็นกลุ่มข้าวที่มีสารอาหารค่อนข้างสูง

นอกจากนี้เมื่อศึกษาส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ทั้งหมดจำนวน 8 สายพันธุ์ พบว่าสามารถจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 เป็นข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ข้าวพันธุ์กข31 และข้าวพันธุ์กข6 และกลุ่มที่ 2 คือข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่ ข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด และข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอ และพบว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองเป็นพันธุ์ที่มีส่วนประกอบแร่ธาตุค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

58910005: MAJOR: STATISTICS; M.Sc. (STATISTICS)
KEYWORDS: LOCAL RICE / COMMERCIAL RICE / CLUSTER ANALYSIS/ PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

PHODJANA PHODJANAWICHAIKUL: DETERMINATION OF MINERAL COMPOSITION AND CHARACTERISTIC OF THAI RICE WITH MULTIVARIATE ANALYSIS. ADVISORY COMMITTEE: KIDAKAN SAITHANU, Ph.D., JATUPAT MEKPARYUP, Ph.D. 127 P. 2017.

This research was objective to study physical characteristics, chemical properties and chemical compositions of 14 Thai rice varieties for both local and commercial rice with cluster analysis and principal component analysis. The results of research revealed cluster analysis was able to divide all Thai rice into 3 clusters. Cluster 1 showed 5 commercial rice of fragrant rice with soft and sticky cooked grains. (RD15, Khao Dawk Mali 105, Pathum Thani 1, Khlong Luang 1 and Hawm Suphan Buri). Cluster 2 showed 4 commercial rice with high amylase, loose and hard cooked grains. (Pathum Thani 60, Suphan Buri 60, Suphan Buri 1 and Suphan Buri 90). Cluster 3 showed 5 local rice with high nutrients (Chiang Phatthalung, Nahng Payah 132, Plai Ngahm Prachin Buri, Leb Nok Pattani and Sangyod).

Furthermore, the mineral composition of 8 varieties for germinated brown rice of local rice and brown rice of commercial rice were then studied. It revealed cluster analysis was capable to separate all germinated brown rice of local rice and brown rice of commercial rice into 2 clusters. Cluster 1 showed 5 brown rice of commercial rice (Pathum Thani1, Khao Dawk Mali 105, Chai Nat 1, RD31 and RD6) and Cluster 2 showed 3 germinated brown rice of local rice (Niaw Dum Chor Mai Phi, Niaw Daeng Kam Rad and Niaw Dum Mor). In addition, the germinated brown rice of local rice had higher minerals composition than brown rice of commercial rice.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ซ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

สมมุติฐานงานวิจัย..... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 4

ขอบเขตของการวิจัย..... 5

2 เอกสารงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 7

เอกสารที่เกี่ยวข้อง..... 7

ลักษณะของข้าว..... 7

ประเภทของข้าว..... 10

คุณภาพของข้าว..... 33

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 53

งานวิจัยในประเทศไทย..... 53

งานวิจัยต่างประเทศ..... 59

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 67

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม..... 67

การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก..... 70

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรสำหรับประชากรสองกลุ่ม..... 72

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรสำหรับประชากรหลายกลุ่ม..... 74

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 76

การวิเคราะห์ข้อมูล..... 78

4 ผลการวิจัย..... 80

ผลการทดสอบไคกำลังสอง..... 80

ผลการใช้สถิติเชิงพรรณนาศึกษาลักษณะทั่วไปของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์..... 84

ผลการทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สันสำหรับตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี..... 90

ผลการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม และการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักสำหรับจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์..... 99

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี..... 102

ผลการใช้สถิติเชิงพรรณนาศึกษาลักษณะทั่วไปของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ 107

ผลการทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สันสำหรับตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ..... 111

ผลการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มและการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักสำหรับจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ 112

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ..... 115

5 อภิปรายและสรุปผล..... 119

อภิปรายและสรุปผล..... 119

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ..... 121

บรรณานุกรม..... 123

ประวัติย่อของผู้วิจัย..... 127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	การประเมินขนาดและความยาวของเมล็ดข้าวกล้องจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์..	34
2-2	การประเมินขนาดและความยาวของเมล็ดข้าวกล้องจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ.....	34
2-3	การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารจากกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา.....	35
2-4	การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าวกล้องจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ .....…..…..…	35
2-5	การประเมินรูปร่างและขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารจาก Webb, B. D.	36
2-6	ลักษณะการเป็นท้องไข่ของข้าว ……...……..……...……	37
2-7	การประเมินการเป็นท้องไข่ของข้าว ……...……..……...……	38
2-8	การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลส……...……..……..……....	40
2-9	ระยะทางที่แป้งไหลของแป้งสุกแต่ละประเภทจากสำนักวิจัย และพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์…..…...……..……..……..……..……..……	41
2-10	ระยะทางที่แป้งไหลของแป้งสุกแต่ละประเภทจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ ……..…..	41
2-11	ระดับการสลายเมล็ดในด่าง……..……..…...……..……..……..……..……	42
2-12	การประเมินค่าการสลายเมล็ดในด่างและอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน ……..……	42
2-13	การประเมินระดับอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันและระดับค่าการสลายเมล็ดในด่าง	43
2-14	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำ และแกลบ ที่ความชื้น 14% ……..……..…...……..……..……..……..……..……	50
2-15	ปริมาณแร่ธาตุในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำ และแกลบ ที่ความชื้น 14%.....	53
4-1	ค่าสถิติไคกำลังสองและค่าพีของการทดสอบไคกำลังสอง……...…..…..…	81
4-2	สถิติเชิงพรรณนาสำหรับตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์……..……..……	85
4-3	สถิติเชิงพรรณนาสำหรับตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์.....	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-4	สถิติเชิงพรรณนาสำหรับตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์	89
4-5	ค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันและค่าพีของการทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สัน	91
4-6	ค่าเฉพาะ สัดส่วนความแปรผัน และสัดส่วนความแปรผันสะสมของแต่ละส่วนประกอบหลัก	100
4-7	สถิติเชิงพรรณนาสำหรับตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์	108
4-8	ค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันและค่าพีของการทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สัน	111
4-9	ค่าเฉพาะ สัดส่วนความแปรผัน และสัดส่วนความแปรผันสะสมของแต่ละส่วนประกอบหลัก	113

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ส่วนประกอบของข้าวเปลือก	8
2-2	ส่วนประกอบของข้าวกล้อง	9
2-3	ลักษณะข้าวพันธุ์สังข์หยด	10
2-4	ลักษณะข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17	11
2-5	ลักษณะข้าวพันธุ์ดอกพะยอม	11
2-6	ลักษณะข้าวพันธุ์กู้เมืองหลวง	12
2-7	ลักษณะข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง	12
2-8	ลักษณะข้าวพันธุ์นางพญา 132	13
2-9	ลักษณะข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี	13
2-10	ลักษณะข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานี	14
2-11	ลักษณะข้าวพันธุ์เล็บมือนาง 111	14
2-12	ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวดำชุมแพ	15
2-13	ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่	15
2-14	ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด	16
2-15	ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอ	16
2-16	ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวลืมผัว	17
2-17	ลักษณะข้าวพันธุ์หอมนิล	17
2-18	ลักษณะข้าวพันธุ์หอมกระดังงา	18
2-19	ลักษณะข้าวพันธุ์กข15	19
2-20	ลักษณะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	19
2-21	ลักษณะข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1	20
2-22	ลักษณะข้าวพันธุ์คลองหลวง 1	20
2-23	ลักษณะข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี	21
2-24	ลักษณะข้าวพันธุ์กข7	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-25	ลักษณะข้าวพันธุ์กข23	22
2-26	ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2	23
2-27	ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60	24
2-28	ลักษณะข้าวพันธุ์หันตรา 60	24
2-29	ลักษณะข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	25
2-30	ลักษณะข้าวพันธุ์ชัยนาท 2	25
2-31	ลักษณะข้าวพันธุ์ชุมแพ 60	26
2-32	ลักษณะข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60	27
2-33	ลักษณะข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 1	27
2-34	ลักษณะข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 2	28
2-35	ลักษณะข้าวพันธุ์พัทลุง	28
2-36	ลักษณะข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2	29
2-37	ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1	29
2-38	ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90	30
2-39	ลักษณะข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123	31
2-40	ลักษณะข้าวพันธุ์อยุธยา 1	31
2-41	ลักษณะข้าวพันธุ์กข6	32
2-42	ลักษณะข้าวพันธุ์กข31	32
2-43	ลักษณะการเป็นท้องไข่	37
2-44	สีข้าวกล้อง	39
2-45	สีเปลือกเมล็ด	39
2-46	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำแป้งกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา	45
2-47	โครงสร้างโมเลกุลของวิตามินอี	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-1	เดนโดแกรมสำหรับการจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์	99
4-2	สกรีพลอตสำหรับการจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์.....	101
4-3	แผนภาพคะแนนสำหรับการจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์	101
4-4	กราฟระหว่าง $\chi^2_{p,\frac{(j-0.5)}{n}}$ และ $d^2_{(j)}$	103
4-5	แผนภาพกล่องของปริมาณแคลเซียมระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์.....	108
4-6	แผนภาพกล่องของปริมาณเหล็กระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์.....	109
4-7	แผนภาพกล่องของปริมาณสังกะสีระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์.....	109
4-8	แผนภาพกล่องของปริมาณวิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอลระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์.....	110
4-9	แผนภาพกล่องของปริมาณวิตามินอี แกรมมาโทโคฟีรอลระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์.....	110
4-10	เดนโดแกรมสำหรับการจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์.....	112
4-11	สกรีพลอตสำหรับการจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์.....	114
4-12	แผนภาพคะแนนสำหรับการจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์	114

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นธัญพืชซึ่งถูกจัดว่าเป็นอาหารที่สำคัญเนื่องจากมีคนเป็นจำนวนมากเกินกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักหรืออาจใช้ข้าวในการประกอบเป็นอาหารทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน รวมถึงมีการแปรรูปข้าวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ได้อีกมากมายในท้องตลาด นอกจากนี้ข้าวยังจัดเป็นพืชทางเศรษฐกิจที่ใช้ในการค้าขายทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ พื้นที่ทางการเกษตรมากมายทั่วโลกจึงมีการปลูกข้าว ทวีปเอเชียเป็นทวีปที่มีการเพาะปลูกข้าวมากที่สุด ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในทวีปเอเชียที่เป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญโดยมีพื้นที่การเพาะปลูกข้าวมากถึง 65 ล้านไร่ (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2560) เพื่อใช้ในการบริโภคภายในประเทศและมีการส่งออกข้าวเป็นจำนวนมากหลายล้านตันต่อปี ประเทศไทยจึงมีการส่งออกข้าวอยู่ในลำดับต้น ๆ ของโลก ปัจจุบันมีประเทศที่ส่งออกข้าวซึ่งเป็นคู่แข่งทางการค้าข้าวที่สำคัญของประเทศไทยอยู่หลายประเทศ เช่น ประเทศเวียดนาม บราซิล และอินเดีย เป็นต้น โดยในปี พ.ศ. 2559 พบว่าประเทศไทยมีการส่งออกข้าวเป็นอันดับสองของโลกประมาณ 9.88 ล้านตัน รองมาจากประเทศอินเดียที่มีการส่งออกข้าวประมาณ 10.43 ล้านตัน (Arunmas, 2017) ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการแข่งขันทางการตลาดระหว่างประเทศมากขึ้น ประเทศไทยจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์ข้าวอยู่ตลอดเวลาทำให้มีข้าวเกิดขึ้นมากมายหลายสายพันธุ์ เช่น ข้าวกข1 ข้าวกข21 ข้าวกข23 และข้าวกข63 เป็นต้น ซึ่งข้าวเหล่านี้เป็นข้าวพันธุ์ที่ให้ผลผลิตค่อนข้างสูงและยังไม่ได้มีการจดสิทธิบัตรพันธุ์ข้าวที่คิดค้นออกมา นอกจากนี้ในการผลิตและปรับปรุงข้าวในสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้วยังขาดเครื่องมือและเทคโนโลยีที่จะนำมาช่วยในการผลิต

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นหน่วยงานที่ให้ความรู้เกี่ยวกับข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย ได้ทำการแบ่งข้าวในประเทศไทยออกเป็น 2 สายพันธุ์ (วิชา ธิติประเสริฐ และคณะ, 2544) ดังนี้

1. ข้าวพันธุ์พื้นเมือง (Local rice) เป็นข้าวที่ปลูกเฉพาะถิ่น และเป็นข้าวที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงแต่มีปลูกมากในบางท้องถิ่น พันธุ์ข้าวเหล่านี้ยังมีความแปรผันอยู่มาก เนื่องจากเกษตรกรอาจปลูกไว้ตามความต้องการของตนเอง จึงเป็นข้าวที่มีคุณภาพเมล็ดดีหรือทนทานต่อสภาพแวดล้อม เช่น ข้าวสังข์หยด เป็นต้น

2. ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ (Commercial rice) เป็นข้าวพันธุ์ดีที่ผ่านการคัดเลือก พัฒนาหรือปรับปรุงพันธุ์มาแล้ว จึงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ทำให้เมล็ดมีคุณภาพค่อนข้างดี เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ จึงมีการปลูกกันอย่างกว้างขวาง เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นต้น

ปัจจุบันมีการนำการวิเคราะห์ทางสถิติมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวเป็นจำนวนมาก แต่เป็นการใช้เพียงแค่สถิติพื้นฐาน คือสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) โดยใช้การวิเคราะห์ตัวแปรเดียว (Univariate analysis) ซึ่งในการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทยนั้นต้องอาศัยตัวแปรเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ตัวแปรคุณลักษณะทางกายภาพ ตัวแปรคุณสมบัติทางเคมี ตัวแปรองค์ประกอบทางเคมี และตัวแปรส่วนประกอบแร่ธาตุ เป็นต้น จึงต้องใช้การวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) ซึ่งงานวิจัยภายในประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวไทย โดยใช้การวิเคราะห์หลายตัวแปรนั้นยังคงมีอยู่อย่างจำกัด

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการศึกษาลักษณะพันธุ์ข้าวไทย โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และส่วนประกอบแร่ธาตุ ของพันธุ์ข้าวไทยโดยประยุกต์เทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปร ด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal component analysis) เพื่อจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทย นอกจากนี้ผู้วิจัยยังศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และส่วนประกอบแร่ธาตุของพันธุ์ข้าวไทย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ข้าวไทยซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับเกษตรกรในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการเพาะปลูก อีกทั้งยังเป็นประโยชน์สำหรับนักวิจัยในการศึกษาคุณลักษณะและคุณภาพของข้าวไทยต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวไทยทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

2. เพื่อทำการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทย โดยใช้การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม และการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก

สมมุติฐานงานวิจัย

ตัวแปรที่คาดว่าสามารถใช้ในการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทยออกเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์โดยใช้การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มและการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักมีดังนี้

1. ตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics) ได้แก่

1.1 ความยาวเมล็ดเปลือกข้าว (Grain length)

1.2 ความกว้างเมล็ดเปลือกข้าว (Grain breadth)

1.3 ความหนาเมล็ดเปลือกข้าว (Grain thickness)

1.4 ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice length)

1.5 ความกว้างเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice breadth)

1.6 ความหนาเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice thickness)

1.7 รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice shape)

1.8 การเป็นท้องไข่ (Chalky grain)

1.9 น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก (1000-grain weight)

1.10 สีข้าวกล้อง (Brown rice color)

1.11 สีเปลือกเมล็ด (Hull color)

2. ตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) ได้แก่

2.1 ปริมาณอมิโลส (Amylose content)

2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

2.3 ค่าการสลายเมล็ดในด่าง (Alkali)

2.4 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (Elongation ratio)

2.5 อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (Parting temperature)

2.6 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization temperature)

2.7 ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity)

2.8 ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95$^{\circ}C$ (Final viscosity at 95$^{\circ}C$)

2.9 ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50$^{\circ}C$ (Final viscosity at 50$^{\circ}C$)

2.10 ค่าการคืนตัวของแป้ง (Set back)

2.11 ค่าความคงตัวของแป้ง (Consistency)

2.12 ค่าเบรกดาวน์ (Break down)

3. ตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ได้แก่

3.1 พลังงาน (Energy)

3.2 ความชื้น (Moisture)

3.3 โปรตีน (Protein)

3.4 ไขมัน (Fat)

3.5 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

3.6 แป้ง (Starch)

3.7 เส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber)

3.8 กากใย (Crude fiber)

3.9 เถ้า (Ash)

4. ตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ (Mineral composition) ได้แก่

4.1 แคลเซียม (Calcium)

4.2 เหล็ก (Iron)

4.3 สังกะสี (Zinc)

4.4 วิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล (Vitamin E alpha-tocopherol)

4.5 วิตามินอี แกมมาโทโคฟีรอล (Vitamin E gamma-tocopherol)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวไทยทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

2. สามารถทำการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทย โดยใช้การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม และการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักได้

3. เป็นองค์ความรู้พื้นฐานเพื่อใช้ประกอบเป็นแนวทางในการพัฒนา และปรับปรุงพันธุ์ข้าวไทยต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

ผู้วิจัยทำการเก็บและรวบรวมข้อมูลพันธุ์ข้าวไทยจากสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ดังนี้

1. ศึกษาข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ข้าวพันธุ์นางพญา 132 ข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี ข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานี และข้าวพันธุ์สังข์หยด

และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 9 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์กข15 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 ข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 (รังสิต เสิ่งหะพันธุ์ และคณะ, 2552) โดยพิจารณาจาก

1.1 คุณลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics) ได้แก่

1.1.1 ความยาวเมล็ดเปลือกข้าว (Grain length)

1.1.2 ความกว้างเมล็ดเปลือกข้าว (Grain breadth)

1.1.3 ความหนาเมล็ดเปลือกข้าว (Grain thickness)

1.1.4 ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice length)

1.1.5 ความกว้างเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice breadth)

1.1.6 ความหนาเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice thickness)

1.1.7 รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice shape)

1.1.8 การเป็นท้องไข่ (Chalky grain)

1.1.9 น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก (1000-grain weight)

1.1.10 สีข้าวกล้อง (Brown rice color)

1.1.11 สีเปลือกเมล็ด (Hull color)

1.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) ได้แก่

1.2.1 ปริมาณอมิโลส (Amylose content)

1.2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

1.2.3 ค่าการสลายเมล็ดในด่าง (Alkali)

1.2.4 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (Elongation ratio)

1.2.5 อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (Parting temperature)

1.2.6 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization temperature)

1.2.7 ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity)

1.2.8 ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ (Final viscosity at 95 $^{\circ}C$)

1.2.9 ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}C$ (Final viscosity at 50 $^{\circ}C$)

1.2.10 ค่าการคืนตัวของแป้ง (Set back)

1.2.11 ค่าความคงตัวของแป้ง (Consistency)

1.2.12 ค่าเบรกดาวน์ (Break down)

1.3 องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ได้แก่

1.3.1 พลังงาน (Energy)

1.3.2 ความชื้น (Moisture)

1.3.3 โปรตีน (Protein)

1.3.4 ไขมัน (Fat)

1.3.5 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

1.3.6 แป้ง (Starch)

1.3.7 เส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber)

1.3.8 กากใย (Crude fiber)

1.3.9 เถ้า (Ash)

2. ศึกษาข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่ ข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด และข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอ

และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ข้าวพันธุ์กข31 และข้าวพันธุ์กข6 โดยพิจารณาจากส่วนประกอบแร่ธาตุ (Mineral composition) (ภคินี อัครเวสสะพงศ์ และคณะ, 2555) ได้แก่

1. แคลเซียม (Calcium)

2. เหล็ก (Iron)

3. สังกะสี (Zinc)

4. วิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล (Vitamin E alpha-tocopherol)

5. วิตามินอี แกมมาโทโคฟีรอล (Vitamin E gamma-tocopherol)

บทที่ 2
เอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทยจากข้อมูลที่แสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และส่วนประกอบแร่ธาตุ ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก จึงประยุกต์การวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยศึกษาจากเอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะของข้าว

ข้าวเป็นพืชพวกหญ้าวงศ์กรามิเนเอ (Gramineae family) จัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีลักษณะสำคัญคือสามารถปรับตัวได้ดีในทุก ๆ สภาพแวดล้อม และมีวิวัฒนาการสูงสุด ส่วนประกอบของต้นข้าวแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ราก (Root) รากของต้นข้าวเป็นรากฝอยที่ไม่ได้หยั่งลึกลงไหลในดิน ส่วนใหญ่จะเป็นรากที่แตกแขนงออกอยู่ใต้ผิวดินจึงทำหน้าที่ยึดต้นข้าวไม่ให้ล้มและดูดซึมอาหารจากดินขึ้นไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของต้น

2. ลำต้น (Clump) ลำต้นของข้าวมีลักษณะเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งออกเป็นปล้อง ๆ โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง ความยาวของปล้องแต่ละปล้องแตกต่างกัน ปล้องที่โคนต้นจะสั้นและหนากว่าปล้องที่อยู่ส่วนปลายของลำต้น ลำต้นจะทำหน้าที่ในการพยุงใบ ดอก และรวง

3. ใบข้าว (Leaf) ใบของข้าวแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ กาบใบทำหน้าที่ห่อหุ้มต้นข้าวและแผ่นใบซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของข้าว โดยทั้งสองส่วนนี้จะถูกเชื่อมติดกันด้วยข้อต่อของใบข้าวที่มีเขี้ยวกันแมลง (Auricle) และเยื่อกันน้ำฝน (Ligule) ติดอยู่ด้วย

4. รวงข้าว (Panicle) เป็นส่วนช่อดอกของต้นข้าวที่อยู่บริเวณข้อของปล้องอันสุดท้ายของต้นข้าว มีลักษณะเป็นก้านอันใหญ่ต่อจากข้อด้านบนของคอรวง (Panicle base) รวงข้าวจะมีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละสายพันธุ์ ลักษณะของรวงข้าวที่ให้ผลผลิตสูงจะมีข้อแขนงที่หนึ่งและแขนงที่สองค่อนข้างถี่ ทำให้มีดอกต่อรวงมาก ผลผลิตข้าวจึงมากขึ้นตามไปด้วย

5. ดอกข้าว (Spikelet) การผสมพันธุ์ของดอกข้าวส่วนใหญ่จะมีการผสมพันธุ์ได้ด้วยตัวเอง เนื่องจากเป็นดอกสมบูรณ์เพศคือมีเกสรตัวผู้ และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน

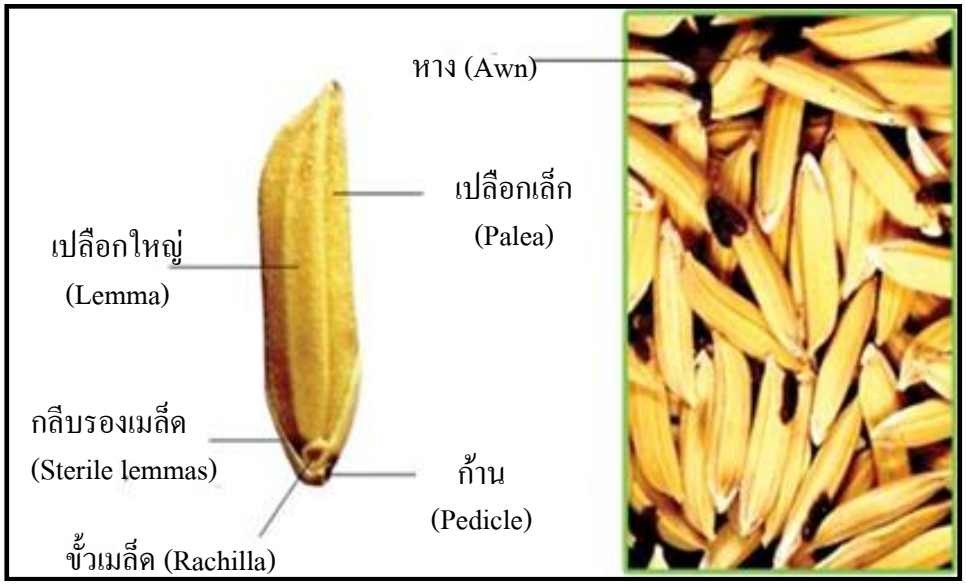
6. เมล็ดข้าว (Rice grain) เกิดขึ้นจากการผสมเกสรของดอกข้าว เป็นส่วนที่สามารถนำเอาไปเพาะปลูกเพื่อให้เจริญเติบโตได้ และมีส่วนประกอบของแป้งที่สามารถนำมาบริโภคได้ เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

1. แกลบ (Rice husk) เป็นส่วนที่หุ้มเมล็ดข้าวไว้ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (Lemma) เปลือกเล็ก (Palea) ขน (Pubescence) หาง (Awn) ขั้วเมล็ด (Rachilla) และกลีบรองเมล็ด (Sterile lemmas) ที่เชื่อมต่อกับก้าน (Pedicle)

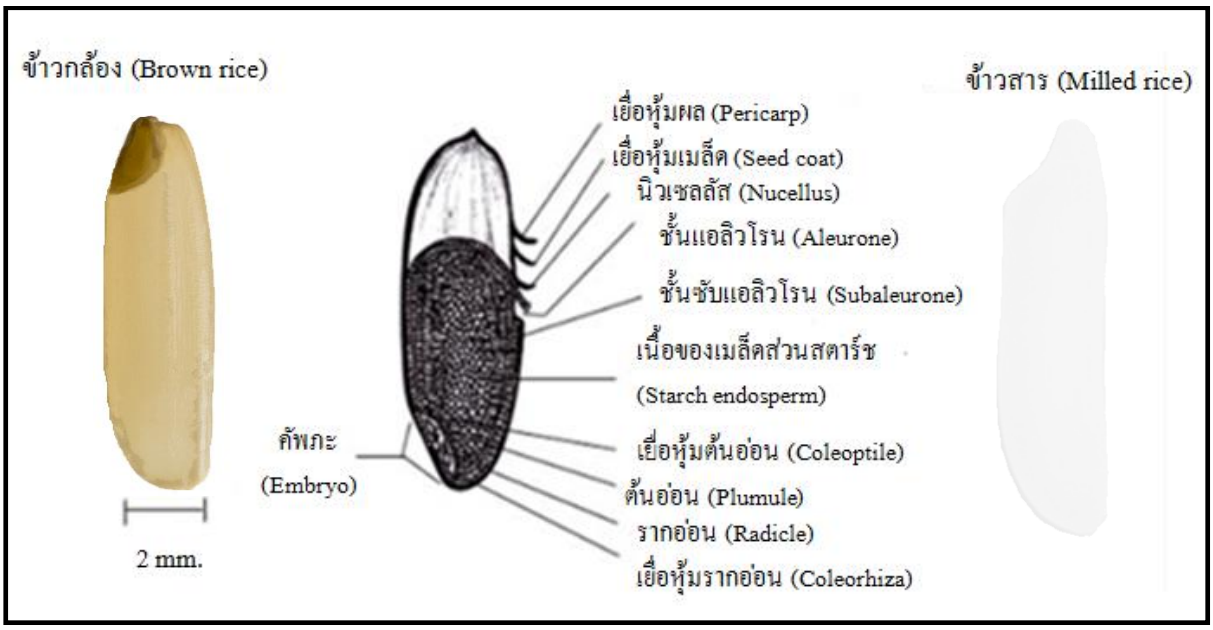
2. ข้าวกล้อง (Brown rice) เป็นส่วนของผลแท้ซึ่งประกอบด้วย เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) นิวเซลลัส (Nucellus) และชั้นซับแอลิวโรน (Subaleurone)

นอกจากนี้พบว่าเมื่อนำข้าวกล้องไปแช่น้ำจนมีเนื้อสีขาวงอกออกมาจากเมล็ดข้าวกล้อง เราจะเรียกว่า ข้าวกล้องงอก (Germinated brown rice)

โครงสร้างและส่วนประกอบของข้าวเปลือกและข้าวกล้องแสดงได้ดังภาพที่ 2-1 และภาพที่ 2-2 ตามลำดับ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-1 ส่วนประกอบของข้าวเปลือก



ภาพที่ 2-2 ส่วนประกอบของข้าวกล้อง

ข้าวที่พบอยู่ในปัจจุบันนี้มีอยู่ด้วยกันหลายสายพันธุ์ แต่ข้าวที่นิยมบริโภคกันเป็นข้าวในตระกูลออไรซา แกลเบอร์ริมา (*Oryza glaberrima*) และออไรซา ซาไทวา (*Oryza sativa*) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. อินดิคา (*Indica*) เป็นข้าวเจ้าที่มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว มีลำต้นสูง ซึ่งเป็นข้าวที่นิยมปลูกในทวีปเอเชียที่เป็นเขตมรสุม เช่น ประเทศจีน เวียดนาม ไทย อินโดนีเซีย อินเดีย พม่า ปากีสถาน และศรีลังกา เป็นต้น

2. จาปอนิคา (*Japonica*) เป็นข้าวเหนียวที่มีลักษณะเมล็ดป้อม กลมรี มีลำต้นเตี้ย ซึ่งเป็นข้าวที่นิยมปลูกในเขตอบอุ่นและเขตหนาว เช่น ประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลี และไต้หวัน เป็นต้น

3. จาวานิคา (*Javanica*) เป็นข้าวที่มีลักษณะเมล็ดป้อมใหญ่ ซึ่งเป็นข้าวที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์อินดิคาและจาปอนิคา ประเทศที่นิยมปลูกข้าวพันธุ์นี้ เช่น ประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน และญี่ปุ่น เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์นี้ไม่ค่อยนิยมปลูกกันมากนัก เนื่องจากเป็นข้าวที่ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ

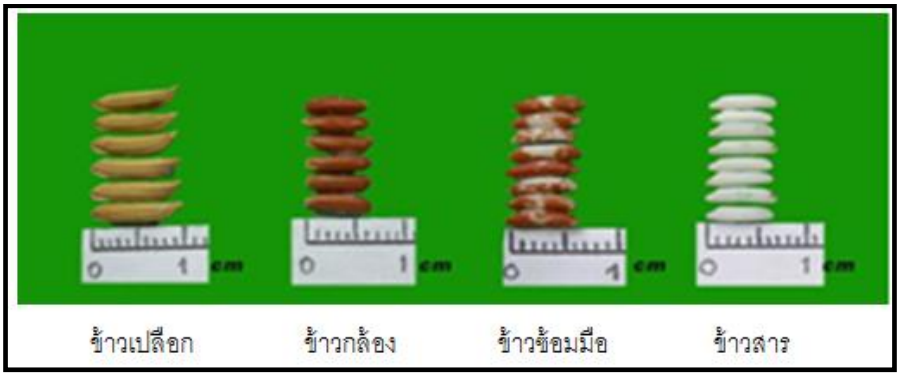
ประเภทของข้าว

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์เป็นหน่วยงานที่ให้ความรู้เกี่ยวกับข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย ได้ทำการแบ่งข้าวไทยออกเป็น 2 สายพันธุ์ ดังนี้

1. ข้าวพันธุ์พื้นเมือง (Local rice) เป็นข้าวที่ปลูกเฉพาะถิ่น และเป็นข้าวที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงแต่มีปลูกมากในบางท้องถิ่น พันธุ์ข้าวเหล่านี้ยังมีความแปรผันอยู่มาก เนื่องจากเกษตรกรอาจปลูกไว้ตามความต้องการของตนเอง จึงเป็นข้าวที่มีคุณภาพเมล็ดดีหรือทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ได้แก่

1.1 ข้าวพันธุ์สังข์หยด

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกดั้งเดิมในจังหวัดพัทลุงและปลูกได้ผลดี เมื่อปลูกที่พัทลุงเท่านั้น ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์สังข์หยดคือมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง เมล็ดข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะนุ่มเล็กน้อย และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ลักษณะข้าวพันธุ์สังข์หยดแสดงได้ดังภาพที่ 2-3 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-3 ลักษณะข้าวพันธุ์สังข์หยด

1.2 ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ชนะการประกวดในปี พ.ศ. 2499 จากนั้นจึงนำไปปลูกตามสถานีทดลองข้าวต่าง ๆ ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 คือ มีลักษณะแตกกอดี ต้นสูง เก็บเกี่ยวง่าย นอกจากนี้ยังมีลักษณะคุณภาพการสีที่ดีจึงได้เมล็ดข้าวสารที่มีลักษณะใส ลักษณะข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 แสดงได้ดังภาพที่ 2-4 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-4 ลักษณะข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17

1.3 ข้าวพันธุ์ดอกพะยอม

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในภาคใต้ โดยทำการปลูกเปรียบเทียบในสถานีทดลองข้าวภาคใต้ ในปี พ.ศ. 2502 ถึงปี พ.ศ. 2521 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ดอกพะยอม คือ มีลักษณะคอรวงยาว มีเมล็ดเรียวยาว เมล็ดข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะนุ่ม และมีกลิ่นหอม นอกจากนี้ยังต้านทานโรคไหม้ โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคใบขีดสีน้ำตาล ลักษณะข้าวพันธุ์ดอกพะยอม แสดงได้ดังภาพที่ 2-5 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-5 ลักษณะข้าวพันธุ์ดอกพะยอม

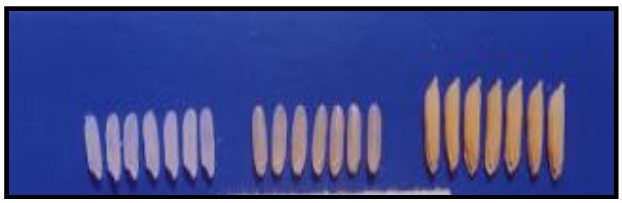
1.4 ข้าวพันธุ์กู้เมืองหลวง

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในภาคใต้ ซึ่งมีลักษณะเด่นคือ ทนแล้งได้ดี คอรวงยาว ท้องไข่มาก ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วน และแข็ง นอกจากนี้ยังต้านทานต่อโรคไหม้ โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคใบขีดสีน้ำตาล ลักษณะข้าวพันธุ์กู้เมืองหลวง แสดงได้ดังภาพที่ 2-6 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-6 ลักษณะข้าวพันธุ์กู้เมืองหลวง

1.5 ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในภาคใต้โดย เกษตรกรอำเภอป่าบอน จังหวัดพัทลุง ได้นำข้าวพันธุ์นี้จากอำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง ไปปลูกที่ตำบลบ้านใหม่ อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา เป็นครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2517 และได้มีการเก็บรวบรวมพันธุ์และคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีที่สถานีทดลองข้าวปัตตานี ในปี พ.ศ. 2530 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง คือ มีลำต้นสูง คอรวงยาว รวงยาวปานกลาง การแตกระแง้ค่อนข้างถี่ เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ท้องไข่ปานกลาง ลักษณะข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง แสดงได้ดังภาพที่ 2-7 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-7 ลักษณะข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

1.6 ข้าวพันธุ์นางพญา 132

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ได้มาจากอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ในปี พ.ศ. 2493 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์นางพญา 132 คือ มีคอรวงยาว ลำต้นสูง และแข็งไม่ล้มง่าย แตกกอดี รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ข้าวเปลือกสีฟาง ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วน และแข็ง ลักษณะข้าวพันธุ์นางพญา 132 แสดงได้ดังภาพที่ 2-8 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-8 ลักษณะข้าวพันธุ์นางพญา 132

1.7 ข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี

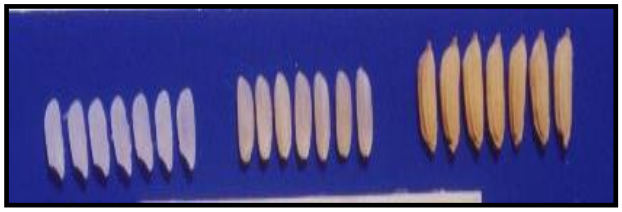
เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ได้มาจากการรวบรวมของนายเพิ่มศักดิ์ สุภาพรเหมินทร์ ซึ่งเป็นนักวิชาการเกษตรศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี ตำบลประจันตคาม อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี ในปี พ.ศ. 2523 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี คือ ทนแล้งได้ดี คอรวงยาว การแตกระแง้ถี่ ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะนุ่ม และเหนียว นอกจากนี้ยังต้านทานโรคไหม้ได้ดีเมื่ออยู่ในระยะต้นกล้า ลักษณะข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี แสดงได้ดังภาพที่ 2-9 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-9 ลักษณะข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี

1.8 ข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานี

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่นิยมปลูกในภาคใต้โดยนักวิชาการที่สถานีทดลองข้าวปัตตานีได้ทำการคัดเลือกพันธุ์ในปี พ.ศ. 2527 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานีคือ ลำต้นสูง คอรวง

ยาว รวงยาวแน่น การแตกระแง้ถี่ คุณภาพการสีดี ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วน และนุ่ม ลักษณะข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานี แสดงได้ดังภาพที่ 2-10 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-10 ลักษณะข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานี

1.9 ข้าวพันธุ์เล็บมือนาง 111

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ได้มาจากการรวบรวมของ นายสุรศักดิ์ แสงสวาสดิ์ ที่อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แล้วทำการคัดเลือกพันธุ์ข้าวมาปลูกที่สถานีทดลองข้าวหันตรา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในปี พ.ศ. 2493 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เล็บมือนาง 111 คือ ทนแล้ง และทนต่อสภาพดินเปรี้ยวได้ดี ลำต้นสูง แตกกอปานกลาง รวงใหญ่ เมล็ดร่วงง่าย ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วน และแข็ง นอกจากนี้ยังต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล ลักษณะข้าวพันธุ์เล็บมือนาง 111 แสดงได้ดังภาพที่ 2-11 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-11 ลักษณะข้าวพันธุ์เล็บมือนาง 111

1.10 ข้าวพันธุ์เหนียวดำชุมแพ

เป็นข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมืองอำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เหนียวดำชุมแพ คือ ต้นข้าวมีลักษณะทรงกอตั้ง ลำต้นข้าวแข็งไม่ล้มง่าย คอรวงยาว รวงยาว ท้องไข่น้อย รูปร่างเมล็ดค่อนข้างป้อม คุณภาพการขัดสีปานกลาง เมล็ดข้าวกล้องมีสีม่วงดำ ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวดำชุมแพ แสดงได้ดังภาพที่ 2-12 (นิธิศ แสงอรุณ และคณะ, 2553)

ภาพที่ 2-12 ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวดำชุมแพ

1.11 ข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่

เป็นข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ที่เกษตรกรนิยมปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่ คือ ลำต้นข้าวค่อนข้างแข็ง คอรวงยาว ลักษณะรวงแน่นปานกลาง ท้องไข่น้อย นอกจากนี้ยังต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่ แสดงได้ดังภาพที่ 2-13 (นิธิศ แสงอรุณ และคณะ, 2553)

ภาพที่ 2-13 ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่

1.12 ข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด

เป็นข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ที่เกษตรกรนิยมปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด คือ ต้นข้าวมีลักษณะทรงกอตั้ง ลำต้นข้าวแข็งไม่ล้มง่าย คอรวงยาว ลักษณะรวงค่อนข้างแน่น ข้าวกล้องสีแดง รูปร่างเมล็ดค่อนข้างป้อม คุณภาพการขัดสีต่ำ ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด แสดงได้ดังภาพที่ 2-14 (นิธิศ แสงอรุณ และคณะ, 2553)

ภาพที่ 2-14 ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด

1.13 ข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอ

เป็นข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ที่เกษตรกรนิยมปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอคือ ต้นข้าวมีลักษณะทรงกอตั้ง ลำต้นข้าวค่อนข้างแข็ง การแตกระแง้ปานกลาง รูปร่างเมล็ดค่อนข้างป้อม ข้าวกล้องสีดำ คุณภาพการขัดสีดีมาก ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอ แสดงได้ดังภาพที่ 2-15 (นิธิศ แสงอรุณ และคณะ, 2553)

ภาพที่ 2-15 ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอ

1.14 ข้าวพันธุ์เหนียวลืมผัว

เป็นข้าวเหนียวพันธุ์พื้นเมืองที่เกิดจากศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกได้ทำการเก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวเหนียวนาปีของชาวม้ง จังหวัดตาก มาทำการปลูกเปรียบเทียบกับแหล่งปลูกดั้งเดิมเพื่อคัดเลือกพันธุ์บริสุทธิ์ ในปี พ.ศ. 2534 ถึงปี พ.ศ. 2538 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เหนียวลืมผัว คือ ทนแล้ง ต้นข้าวมีลักษณะทรงกอตั้ง ลำต้นแข็งไม่ล้มง่าย คอรวงยาว ลักษณะรวงข้าวแน่น คุณภาพการขัดสีข้าวดีได้ข้าวเต็มเมล็ด ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะนุ่มเหนียว และมีกลิ่นหอม มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวลืมผัว แสดงได้ดังภาพที่ 2-16 (เกร็ดความรู้, 2559)

ภาพที่ 2-16 ลักษณะข้าวพันธุ์เหนียวลืมผัว

1.15 ข้าวพันธุ์หอมนิล

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งมีลักษณะเด่น คือ มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น แตกกอได้ดี มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว เมล็ดข้าวกล้องมีสีม่วงดำ ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะนุ่มเหนียวและมีกลิ่นหอม มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ลักษณะข้าวพันธุ์หอมนิล แสดงได้ดังภาพที่ 2-17 (Organicricefarm, 2559)

ภาพที่ 2-17 ลักษณะข้าวพันธุ์หอมนิล

1.16 ข้าวพันธุ์หอมกระดังงา

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ ซึ่งมีลักษณะเด่น คือ ลำต้นค่อนข้างแข็ง ลักษณะทรงกอตั้ง คอรวงยาว รวงยาว การแตกระแง้ถี่ เมล็ดข้าวกล้องมีสีแดง ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะนุ่มเล็กน้อย ลักษณะข้าวพันธุ์หอมกระดังงา แสดงได้ดังภาพที่ 2-18 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-18 ลักษณะข้าวพันธุ์หอมกระดังงา

2. ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ (Commercial rice) เป็นข้าวพันธุ์ดีที่ผ่านการคัดเลือก พัฒนาหรือปรับปรุงพันธุ์มาแล้ว จึงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ทำให้เมล็ดมีคุณภาพค่อนข้างดี เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ จึงมีการปลูกกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่

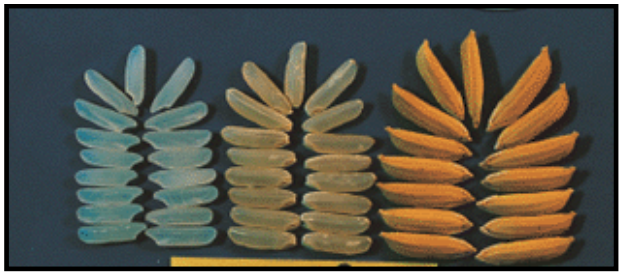
2.1 ข้าวพันธุ์กข15

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้เกิดจากการปรับปรุงพันธุ์จากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยการฉายรังสีแกมมาอาบเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในปี พ.ศ. 2508 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์กข15 คือ สามารถทนแล้งได้ดีพอสมควร สามารถเก็บเกี่ยวได้ไว เมล็ดข้าวใส เรียวยาว มีคุณภาพการขัดสีที่ดี เมล็ดข้าวที่ผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะนุ่ม และมีกลิ่นหอม ลักษณะข้าวพันธุ์กข15 แสดงได้ดังภาพที่ 2-19 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-19 ลักษณะข้าวพันธุ์กข15

2.2 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการคัดเลือกพันธุ์บริสุทธิ์ แล้วนำไปทดลองปลูกเปรียบเทียบกับพันธุ์พื้นเมือง ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 คือ สามารถทนแล้งได้ดีพอสมควร ทนต่อสภาพดินเปรี้ยวและเค็ม เมล็ดข้าวใส มีคุณภาพการขัดสีที่ดี เมล็ดข้าวที่ผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะนุ่ม และมีกลิ่นหอม ลักษณะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แสดงได้ดังภาพที่ 2-20 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-20 ลักษณะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

2.3 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์ BKNA6-18-3-2 และข้าวพันธุ์ PTT85061-86-3-2-1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูกในปี พ.ศ. 2533 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 คือ ให้ผลผลิตสูง มีคุณภาพเมล็ดคล้ายข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และ

ต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง ลักษณะข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แสดงได้ดังภาพที่ 2-21 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-21 ลักษณะข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

2.4 ข้าวพันธุ์คลองหลวง 1

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์นางมลเอส-4 และข้าวพันธุ์ไออาร์841-85-1-1-2 ที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูกในปี พ.ศ. 2540 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์คลองหลวง 1คือ เป็นข้าวเจ้าหอม รูปร่างเมล็ดยาวเรียว ท้องไข่น้อย และคุณสมบัติในการหุงต้มคล้ายข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ค่อนข้างต้านทานเพลี้ยกระโดดหลังขาว โรคไหม้ และโรคขอบใบแห้ง ลักษณะข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 แสดงได้ดังภาพที่ 2-22 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-22 ลักษณะข้าวพันธุ์คลองหลวง 1

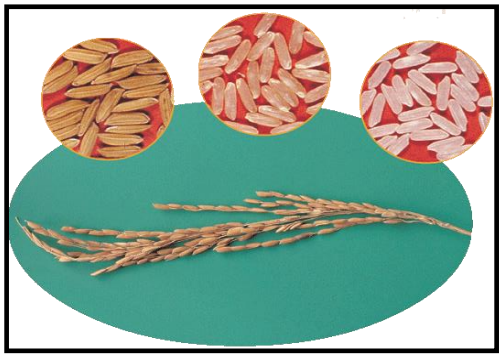
2.5 ข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าว 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์ SPR84177-8-2-2-2-1 ข้าวพันธุ์ SPR85091-13-1-1-4 และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูกในปี พ.ศ. 2532 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี คือ ลักษณะเมล็ดและคุณภาพหุงต้มข้าวที่ผ่านการหุงต้มแล้วจะมีลักษณะนุ่มเหนียว และมีกลิ่นหอมคล้ายข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ค่อนข้างต้านทานเพลี้ยกระโดดหลังขาว และโรคขอบใบแห้ง ลักษณะข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี แสดงได้ดังภาพที่2-23 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-23 ลักษณะข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี

2.6 ข้าวพันธุ์กข7

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าว 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์ซี4-63 ข้าวพันธุ์เก้ารวง 88 และข้าวพันธุ์ซิกาดีส ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูกในปี พ.ศ. 2510 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์กข7 คือ แตกกอดี ต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย คอรวงยาว นวดง่าย เป็นที่นิยมของชาวนาภาคใต้ที่เกี่ยวข้าวด้วยแกระ ทนดินเปรี้ยวได้พอสมควร ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง และโรคใบสีส้มปานกลาง ลักษณะข้าวพันธุ์กข7 แสดงได้ดังภาพที่ 2-24 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-24 ลักษณะข้าวพันธุ์กข7

2.7 ข้าวพันธุ์กข23

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าว 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์กข7 ข้าวพันธุ์ไออาร์32 และข้าวพันธุ์กข1 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูกในปี พ.ศ. 2521 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์นี้คือ ข้าวที่ให้ผลผลิตสูง แตกกอดี ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้งและโรคใบหงิก ลักษณะข้าวพันธุ์กข23 แสดงได้ดังภาพที่ 2-25 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-25 ลักษณะข้าวพันธุ์กข23

2.8 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์กข23 และข้าวพันธุ์ไออาร์60 ที่สถานีทดลองปลูกข้าวที่สุพรรณบุรี โดยทำการผสมพันธุ์และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2526 ซึ่งลักษณะเด่นของข้าวสุพรรณบุรี 2 คือ มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ทรงกอตั้ง คอรวงยาว การแตกระแง้ถี่ มีคุณภาพการสีที่ดี เมล็ดข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วน และนุ่ม ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 แสดงได้ดังภาพที่ 2-26 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-26 ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2

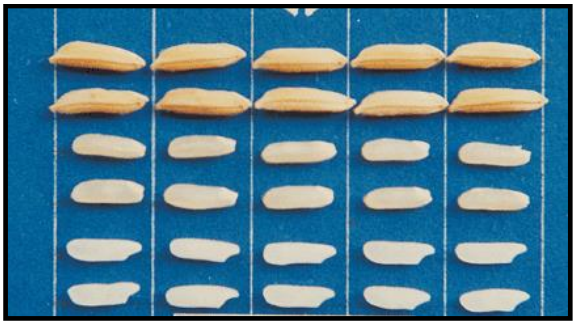
2.9 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าว 3 สายพันธุ์คือข้าวพันธุ์เหลืองทองนาปรัง ข้าวพันธุ์ซี4-63 และข้าวพันธุ์ไออาร์48 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2523 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 คือ ให้ผลผลิตสูง ทรงกอตั้ง คอรวงสั้น การแตกระแง้ถี่ เมล็ดข้าวท้องไข่น้อย มีคุณภาพเมล็ดดี และคุณภาพการขัดสีที่ดี ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและนุ่ม ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 แสดงได้ดังภาพที่ 2-27 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-27 ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60

2.10 ข้าวพันธุ์หันตรา 60

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์ขาวนางเนย 11 และข้าวพันธุ์ซี4-63 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี โดยทำการผสมพันธุ์และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2515 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์หันตรา 60 คือ รวงยาว การแตกระแง้ถี่ เมล็ดข้าวเรียวยาว ท้องไข่น้อย มีคุณภาพเมล็ดดี ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและนุ่ม ลักษณะข้าวพันธุ์หันตรา 60 แสดงได้ดังภาพที่ 2-28 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-28 ลักษณะข้าวพันธุ์หันตรา 60

2.11 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

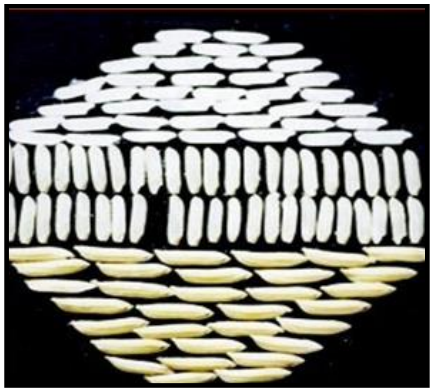
เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าว 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์ IR13146-158-1 ข้าวพันธุ์ IR15314-43-2-3-3 และข้าวพันธุ์ BKN6995-16-1-1-2 ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2525 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 คือ ให้ผลผลิตสูง คอรวงสั้น รวงยาว การแตกระแง้ค่อนข้างถี่ ท้องไข่น้อย

ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและแข็ง ลักษณะข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แสดงได้ดังภาพที่ 2-29 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-29 ลักษณะข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

2.12 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 2

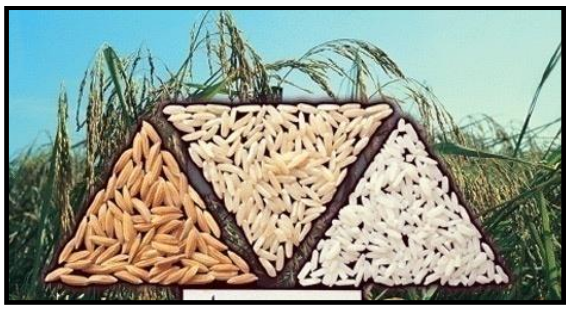
เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์หอมพม่า และข้าวพันธุ์ IR11418-19-2-3 ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาทโดยทำการผสมพันธุ์และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2530 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 คือ คอรวงยาว รวงแน่น ปานกลาง การแตกระแง้ค่อนข้างถี่ ท้องไข่น้อย ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วน และมีกลิ่นหอม ลักษณะข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 แสดงได้ดังภาพที่ 2-30 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-30 ลักษณะข้าวพันธุ์ชัยนาท 2

2.13 ข้าวพันธุ์ชุมแพ 60

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์กำผาย 41 และข้าวพันธุ์เหลืองทอง 78 ที่สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง จังหวัดชียงใหม่ โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2504 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ชุมแพ 60 คือ ให้ผลผลิตสูง กอตั้งตรง แตกกอดี ต้นแข็งไม่ล้มง่าย ใบแคบยาว ใบธงตก รวงและคอรวงยาว เมล็ดเรียวยาว ร่วงยาก มีท้องไข่ปานกลาง ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและแข็ง ลักษณะข้าวพันธุ์ชุมแพ 60 แสดงได้ดังภาพที่ 2-31 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-31 ลักษณะข้าวพันธุ์ชุมแพ 60

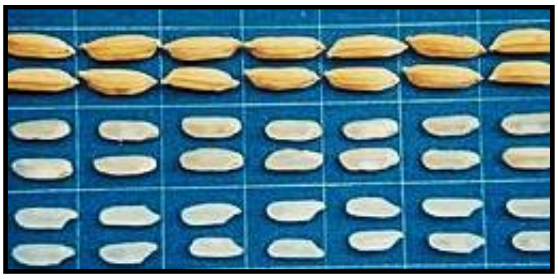
2.14 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 70 และข้าวพันธุ์ไชนีส 345 ที่สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูกในสถานีทดลองข้าวภาคกลางในปี พ.ศ. 2501 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 คือ คอรวงยาว เมล็ดเรียวยาว ท้องไข่น้อย มีคุณภาพเมล็ดดีและมีคุณภาพการขัดสีที่ดี นอกจากนี้ยังต้านทานโรคกาบใบเน่า และโรคใบหงิก ลักษณะข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 แสดงได้ดังภาพที่ 2-32 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-32 ลักษณะข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60

2.15 ข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 1

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการสร้างคู่ผสมรวม โดยรวมเมล็ดพันธุ์ผสมต่าง ๆ ที่เหลือจากการทดสอบแล้วปลูกจนได้พันธุ์ที่ดีในปี พ.ศ. 2519 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 1 คือ ทนต่อสภาพการจมน้ำ มีคุณภาพการขัดสีที่ดี เป็นข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูง คอรวงยาว การแตกระแง้ถี่ นอกจากนี้ยังต้านทานโรคไหม้ได้ดีเมื่ออยู่ในระยะกล้า ลักษณะข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 1 แสดงได้ดังภาพที่ 2-33 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

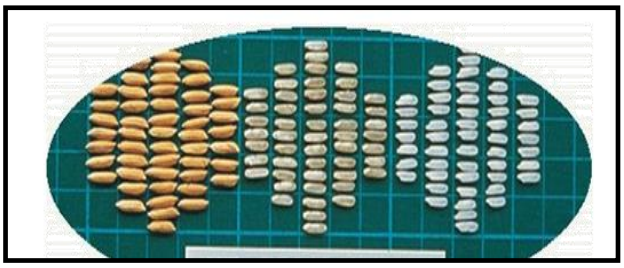


ภาพที่ 2-33 ลักษณะข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 1

2.16 ข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 2

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการสร้างผสมพันธุ์ระหว่างข้าวพันธุ์ BKNFR80086 และข้าวพันธุ์ HTAFR80038 ที่สถานีทดลองข้าวหันตรา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2524 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 2 คือ มีต้นที่เตี้ย ค่อนข้างทนทานต่อดินเปรี้ยว ทนต่อสภาพการจมน้ำ คอรวงสั้น เมล็ดร่วงปานกลาง ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและแข็ง นอกจากนี้ยังต้านทานโรคไหม้

และโรคใบแข็ง ลักษณะข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 2 แสดงได้ดังภาพที่ 2-34 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-34 ลักษณะข้าวพันธุ์ปราจีนบุรี 2

2.17 ข้าวพันธุ์พัทลุง

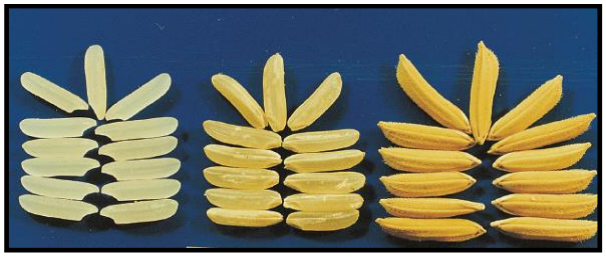
เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าว 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ข้าวพันธุ์ RP2243-7-4 และข้าวพันธุ์ IR52280-117-1-1-3 ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาทโดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2535 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์พัทลุง คือ ให้ผลผลิตสูง ต้นข้าวแข็งไม่ล้มง่าย คอรวงสั้น รวงแน่น การแตกระแง้ถี่ ปานกลาง ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและแข็ง ลักษณะข้าวพันธุ์พัทลุง แสดงได้ดังภาพที่ 2-35 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-35 ลักษณะข้าวพันธุ์พัทลุง

2.18 ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าว 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์ CNTLR81122 ข้าวพันธุ์ SPRLR81041-195-2-1 และข้าวพันธุ์ไออาร์ 56 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกโดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2533 ถึงปี พ.ศ. 2534

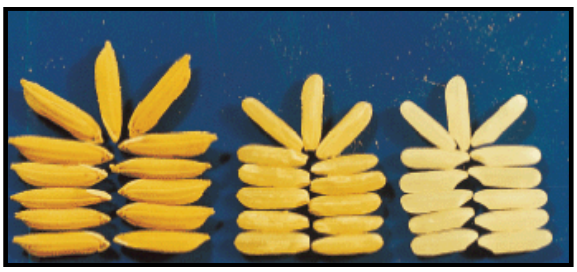
ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 คือ ให้ผลผลิตสูง คอรวงสั้น การแตกระแง้ถี่ มีคุณภาพการขัดสีที่ดี ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและแข็ง นอกจากนี้ยังต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ลักษณะข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 แสดงได้ดังภาพที่ 2-36 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-36 ลักษณะข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

2.19 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างลูกผสมของข้าว 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์ IR25393-57-2-3 ข้าวพันธุ์กข23 และข้าวพันธุ์ IR27316-96-3-2-2 กับลูกผสมของข้าว 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์ SPRLR77205-3-2-1-1 และข้าวพันธุ์ SPRLR79134-51-2-2 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2528 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 คือ ให้ผลผลิตสูง ลำต้นแข็งไม่ล้มง่าย คอรวงยาว รวงค่อนข้างแน่น ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและแข็ง นอกจากนี้ยังต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง และโรคใบหงิก ซึ่งลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 แสดงได้ดังภาพที่ 2-37 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-37 ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

2.20 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างลูกผสมของข้าวพันธุ์กข21 และข้าวพันธุ์ IR4422-98-3-6-1 กับลูกผสมของข้าวพันธุ์กข11 และข้าวพันธุ์กข23 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2524 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 คือ ลำต้นแข็ง คอรวงยาว รวงยาว เมล็ดเรียวยาว ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วน และแข็ง นอกจากนี้ยังต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง และโรคใบหงิก ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 แสดงได้ดังภาพที่ 2-38 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-38 ลักษณะข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90

2.21 ข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการเกษตรของเกษตรกรอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ปลูกคัดเลือกจนได้พันธุ์บริสุทธิ์ที่สถานีทดลองข้าวทุกภาค โดยทำการคัดเลือกพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2498 ถึงปี พ.ศ. 2499 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123 คือ ให้ผลผลิตปานกลาง คอรวงยาว เมล็ดเรียวยาว มีคุณภาพการขัดสีที่ดี ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและแข็ง นอกจากนี้ยังต้านทานโรคขอบใบแห้งและโรคใบหงิก ลักษณะข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123 แสดงได้ดังภาพที่ 2-39 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-39 ลักษณะข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123

2.22 ข้าวพันธุ์อยุธยา 1

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์อู่ตะเภา และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่สถานีทดลองข้าวหันตรา จังหวัดพระนครศรี-อยุธยา โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2528 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์อยุธยา 1 คือ ทนต่อดินเปรี้ยว ต้นข้าวมีลักษณะทรงกอตั้ง รวงและคอรวงยาว การแตกระแง้ถี่ ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะร่วนและค่อนข้างแข็ง ลักษณะข้าวพันธุ์อยุธยา 1 แสดงได้ดังภาพที่ 2-40 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-40 ลักษณะข้าวพันธุ์อยุธยา 1

2.23 ข้าวพันธุ์กข6

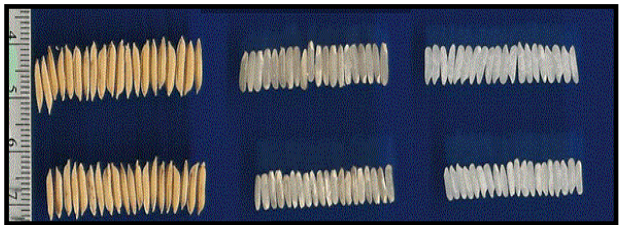
เป็นข้าวเหนียวที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเหนียวสายพันธุ์นี้ได้มาจากการอาบรังสี-แกมมาของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่สถานีทดลองข้าวบางเขน กรุงเทพมหานคร และสถานีทดลองข้าวพิมาย จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการคัดเลือกพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2520 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์กข6 คือ ให้ผลผลิตดี ทนแล้งสูง ลำต้นข้าวแข็งปานกลาง รวงและคอรวงยาว ข้าวกล้องเมื่อผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะเหนียวนุ่มและมีกลิ่นหอม นอกจากนี้ยังต้านทานโรค

ใบจุดสีน้ำตาล ลักษณะข้าวพันธุ์กข6 แสดงได้ดังภาพที่ 2-41 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-41 ลักษณะข้าวพันธุ์กข6

2.24 ข้าวพันธุ์กข31

เป็นข้าวเจ้าที่นิยมปลูกเพื่อการพาณิชย์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์นี้ได้มาจากการผสมระหว่างข้าวพันธุ์ SPR85163-5-1-1-2 และข้าวพันธุ์ IR54017-131-1-3-2 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี โดยทำการผสมพันธุ์ และนำไปปลูก ในปี พ.ศ. 2536 แล้วทำการปลูกเปรียบเทียบในศูนย์วิจัยข้าวต่าง ๆ ได้แก่ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี ศูนย์วิจัยข้าวฉะเชิงเทรา ศูนย์วิจัยข้าวราชบุรี และศูนย์วิจัยข้าวคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ในปี พ.ศ. 2549 ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์กข31 คือ ต้นข้าวมีลักษณะทรงกอตั้ง ลำต้นข้าวแข็งไม่ล้มง่าย รวงและคอรวงยาว ท้องไข่น้อย นอกจากนี้ยังต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาลและโรคเมล็ดด่าง ลักษณะข้าวพันธุ์กข31 แสดงได้ดังภาพที่ 2-42 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)



ภาพที่ 2-42 ลักษณะข้าวพันธุ์กข31

คุณภาพของข้าว

การค้าข้าวเพื่อการพาณิชย์ส่วนใหญ่แล้วมักจะมีการขายและบริโภคข้าวในรูปของเมล็ดข้าวที่หุงต้มทั้งเมล็ด ซึ่งปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินคุณภาพของข้าว รวมถึงคุณลักษณะที่ใช้เป็นตัวกำหนดหรือบ่งบอกคุณภาพของข้าวแบ่งออกได้เป็น 4 ด้านดังนี้

1. คุณลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics)

คุณลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวเป็นลักษณะของเมล็ดข้าวที่ปรากฏ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตาโดยการชั่ง ตวง หรือวัด นอกจากนี้คุณลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวยังสามารถใช้ในการจำแนกคุณภาพของข้าวในการซื้อขายข้าวได้อีกด้วย ซึ่งคุณลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวพิจารณาได้จาก

1.1 รูปร่างและขนาดเมล็ด (Grain size and shape)

รูปร่างและขนาดของเมล็ดข้าว เป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว ซึ่งลักษณะสำคัญที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคุณภาพของข้าวเพื่อการค้าขายข้าว รวมถึงใช้ในการพิจารณาปรับปรุงพันธุ์ข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) มีดังนี้

1. ความยาวเมล็ด (Grain length) คือ ระยะทางจากปลายยอดสุดของเมล็ดจนถึงโคนเมล็ด

2. ความกว้างเมล็ด (Grain width) คือ ระยะทางส่วนที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่จนถึงเปลือกเล็ก

3. ความหนาเมล็ด (Grain thickness) คือ ระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง

4. รูปร่างเมล็ด (Grain shape) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าว

ประเทศไทยพิจารณาพิจารณารูปร่างและขนาดเมล็ดของข้าวโดยใช้เกณฑ์การประเมินขนาดและความยาวของเมล็ดข้าวกล้องจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2-1 (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2539)

ตารางที่ 2-1 การประเมินขนาดและความยาวของเมล็ดข้าวกล้องจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ขนาดของเมล็ดข้าวกล้อง	ความยาวของเมล็ดข้าวกล้อง (มิลลิเมตร)
สั้น	< 5.50
ค่อนข้างสั้น	5.51-6.10
ปานกลาง	6.101-6.609
ค่อนข้างยาว	6.610-7.059
ยาว	7.06-7.50
ยาวมาก	> 7.50

ส่วนต่างประเทศพิจารณารูปร่างและขนาดเมล็ดของข้าวโดยใช้เกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. เกณฑ์สำหรับการประเมินขนาดและความยาวของเมล็ดข้าวกล้องจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International Rice Research Institute: IRRI) ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2-2 (IRRI, 2013)

ตารางที่ 2-2 การประเมินขนาดและความยาวของเมล็ดข้าวกล้องจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ

ขนาดของเมล็ดข้าวกล้อง	ความยาวของเมล็ดข้าวกล้อง (มิลลิเมตร)
สั้น	< 5.50
ปานกลาง	5.51-6.60
ยาว	6.61-7.50
ยาวมาก	> 7.50

2. เกณฑ์การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารจากกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture: USDA) ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2-3 (USDA, 1982)

ตารางที่ 2-3 การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารจากกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา

รูปร่าง	อัตราส่วนความยาว/ความกว้างของเมล็ดข้าวเปลือก	อัตราส่วนความยาว/ความกว้างของเมล็ดข้าวกล้อง	อัตราส่วนความยาว/ความกว้างของเมล็ดข้าวสาร
ป้อม	≤ 2.2	≤ 2.0	≤ 1.9
ปานกลาง	2.3-3.3	2.1-3.0	2.0-2.9
เรียว	≥ 3.4	≥ 3.1	≥ 3.0

3. เกณฑ์การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าวกล้องจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2-4 (IRRI, 2013)

ตารางที่ 2-4 การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าวกล้องจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ

รูปร่าง	อัตราส่วนความยาว/ความกว้างเมล็ดข้าวกล้อง
ป้อม	< 1.1
หนา	1.1-2.0
ปานกลาง	2.1-3.0
เรียว	> 3.0

4. เกณฑ์การประเมินรูปร่างและขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารจาก Webb, B. D. ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2-5 (Webb, 1991)

ตารางที่ 2-5 การประเมินรูปร่างและขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารจาก Webb, B. D.

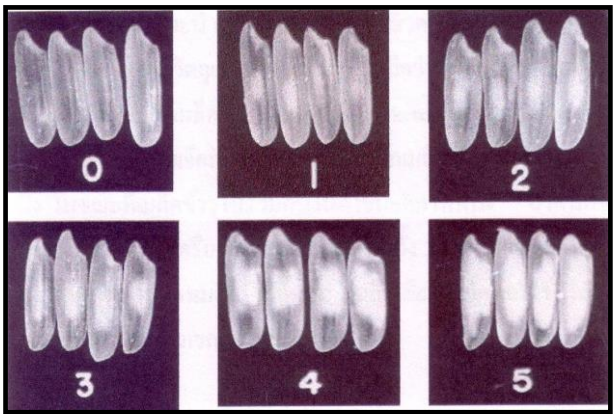
ชนิดของเมล็ด	ลักษณะของเมล็ด	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	อัตราส่วน ยาว/กว้าง	ความหนา (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเมล็ด (มิลลิกรัม/เมล็ด)
ข้าวเปลือก	สั้น	7.2-7.3	2.9-3.4	2.11-2.4	2.0-2.3	24-29
	ปานกลาง	7.8-8.4	2.9-3.2	2.51-2.8	1.9-2.2	23-25
	ยาว	8.7-9.9	2.3-2.5	3.41-4.0	1.8-2.0	21-24
ข้าวกล้อง	สั้น	5.2-5.4	2.6-3.0	1.81-2.0	1.9-2.1	20-23
	ปานกลาง	5.8-6.3	2.4-2.8	2.21-2.7	1.8-2.1	18-22
	ยาว	6.8-8.0	2.0-2.3	3.01-3.8	1.6-1.9	16-20
ข้าวสาร	สั้น	5.0-5.2	2.5-2.9	1.71-2.0	1.8-2.0	18-22
	ปานกลาง	5.4-6.0	2.3-2.7	2.11-2.6	1.7-1.9	17-21
	ยาว	6.5-7.5	1.9-2.2	3.01-3.7	1.5-1.8	15-21

1.2 การเป็นท้องไข่ (Chalky grain)

การเป็นท้องไข่ หมายถึงการเป็นจุดขุ่นขาวทึบแสงอยู่ในเนื้อของเมล็ดข้าวซึ่งเกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวม ๆ ระหว่างโปรตีน (Protein) ผลึกแป้ง (Starch granule) และกลุ่มแป้ง (Starch compound) ทำให้เกิดเป็นช่องอากาศเล็ก ๆ ภายในเมล็ดข้าวเห็นเป็นลักษณะทึบแสง โดยจุดขุ่นขาวนี้มีขนาดแตกต่างกันซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) คือ จุดขาวขุ่นตรงกลางของเนื้อเมล็ดข้าว (White center) จุดขาวขุ่นด้านข้างหรือด้านท้องของเมล็ดข้าว (White belly) ซึ่งเป็นด้านเดียวกับคัพภะ (Embryo) และจุดขาวขุ่นด้านหลังของเมล็ดข้าว (White back) ซึ่งเป็นด้านตรงข้ามกับคัพภะ

นอกจากนี้การเป็นท้องไข่จะพบได้ในเมล็ดข้าวเจ้าซึ่งเป็นข้าวที่มีอมิโลส (Amylose) เป็นองค์ประกอบของแป้งข้าว ส่วนข้าวเหนียวจะมีอมิโลเพกทิน (Amylopectin) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแป้งข้าว จึงทำให้เมล็ดข้าวเหนียว มีลักษณะขาวขุ่นทำให้ไม่เห็นลักษณะการเป็นท้องไข่ ซึ่งข้าวไทยส่วนใหญ่มีลักษณะการเป็นท้องไข่น้อย และจะเป็นข้าวท้องไข่ที่มีจุดขาวขุ่นด้านข้างหรือด้านท้องของเมล็ดข้าวซึ่งเป็นด้านเดียวกับคัพภะ ลักษณะการเป็นท้องไข่ของข้าวจะไม่เป็นที่นิยมในการซื้อขายข้าว เนื่องจากทำให้ข้าวไม่สวย และทำให้มีคุณภาพการขัดสีที่ไม่ดี การเป็นท้องไข่ของข้าวนอกจากจะถูกควบคุมด้วยลักษณะทางพันธุกรรมแล้วยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมใน

การเพาะปลูกข้าว เช่น แหล่งปลูกข้าว ฤดูกาล และอุณหภูมิ เป็นต้น ลักษณะการเป็นท้องไข่แสดงได้ดังภาพที่ 2-43 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559) และตารางที่ 2-6 (Juliano, 1985) ส่วนเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินการเป็นท้องไข่แสดงได้ดังตารางที่ 2-7 (Juliano, 1985)



ภาพที่ 2-43 ลักษณะการเป็นท้องไข่

ตารางที่ 2-6 ลักษณะการเป็นท้องไข่

ลักษณะการเป็นท้องไข่	ค่าการเป็นท้องไข่
น้อย	< 1
ปานกลาง	1-1.5
ค่อนข้างมาก	1.6-2.0
มาก	> 2

ตารางที่ 2-7 การประเมินการเป็นท้องไข่

ระดับท้องไข่	ลักษณะการเป็นท้องไข่	ร้อยละของสัดส่วนการเป็นท้องไข่ในเมล็ดข้าว
0	ไม่มีจุดขาวขุ่น	0
1	มีจุดขาวขุ่นค่อนข้างน้อย	< 10
2	มีจุดขาวขุ่นเล็กน้อย	10-20
3	มีจุดขาวขุ่นปานกลาง	20-35
4	มีจุดขาวขุ่นค่อนข้างมาก	35-50
5	มีจุดขาวขุ่นมาก	> 50

1.3 น้ำหนักเมล็ด (Grain weight)

น้ำหนักของเมล็ดข้าวเป็นองค์ประกอบของผลผลิตที่ควบคุมโดยพันธุกรรม แต่มีการแปรผันไปตามขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว การเพาะปลูก ความชื้น และสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น การพิจารณาน้ำหนักของเมล็ดข้าว แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) ดังนี้

1. น้ำหนักต่อปริมาตร (Weight per volume) เป็นการชั่งน้ำหนักของเมล็ดข้าวด้วยปริมาตรที่คงที่ เช่น กรัม/ลิตร เป็นต้น

2. น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด (Weight per grain) เป็นการชั่งน้ำหนักของเมล็ดข้าวด้วยจำนวนเมล็ดที่คงที่ เช่น กรัม/100 เมล็ด กรัม/1000 เมล็ด เป็นต้น ซึ่งการพิจารณาน้ำหนักแบบนี้เป็นเกณฑ์อย่างหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว

สำหรับน้ำหนักเมล็ดของข้าวไทยนั้นพบว่ามีน้ำหนักอยู่ในช่วง 16.20-41.68 กรัม/1000 เมล็ด (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

1.4 สีข้าวกล้อง (Brown rice color)

สีข้าวกล้องเป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าวซึ่งสีข้าวกล้องเป็นสีที่เกิดจากการกะเทาะเปลือกข้าวออกไปแล้ว สีข้าวกล้องส่วนใหญ่จะมีสีขาว บางพันธุ์มีสีน้ำตาล สีแดง หรือสีม่วงจนเกือบดำ สีทั้งหมดเหล่านี้จัดว่าเป็นสีที่มีคุณลักษณะเฉพาะและเป็นที่นิยมในการบริโภค เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ข้าวแดง และข้าวเหนียวดำ เป็นต้น ซึ่งข้าวกล้องของข้าวแดงและข้าวเหนียวดำถ้าเป็นสีล้วน ๆ จะมีราคาสูง แต่ถ้าปนข้าวขาว จะทำให้คุณภาพของข้าวและราคาซื้อขายข้าวลดลง สีข้าวกล้องแสดงได้ดังภาพที่ 2-44 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-44 สีข้าวกล้อง

1.5 สีเปลือกเมล็ด (Hull color)

สีเปลือกเมล็ดเป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว ซึ่งสีเปลือกเมล็ดข้าวที่พบมีสีขาว สีฟาง สีเหลือง สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลเข้ม สีม่วง และสีดำ พันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีควรมีเปลือกสีอ่อน เช่น สีฟาง และสีน้ำตาลอ่อน เป็นต้น เนื่องจากข้าวเปลือกที่มีสีเข้มเมื่อนำไปขัดสีข้าวแล้วจะทำให้ได้แกลบเป็นปริมาณสูง สีเปลือกเมล็ดแสดงได้ดังภาพที่ 2-45 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ภาพที่ 2-45 สีเปลือกเมล็ด

2. คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties)

คุณสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าวเป็นคุณสมบัติที่ทำให้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีคุณภาพของข้าวที่ผ่านการหุงต้มแตกต่างกัน ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าว พิจารณาได้จาก

2.1 ปริมาณอมิโลส (Amylose content)

ปริมาณอมิโลสเป็นปัจจัยที่ทำให้คุณสมบัติข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้น และทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงแตกต่างกัน แป้งข้าวประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ อมิโลส และ

อมิโลเพกทิน สัดส่วนขององค์ประกอบดังกล่าวมีผลต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวสุก ข้าวเหนียวเป็นข้าวที่มีแต่อมิโลเพกทินเป็นส่วนประกอบเกือบทั้งหมดของแป้งข้าว เมื่อข้าวผ่านการหุงต้มจึงมีลักษณะนุ่มและเหนียวมาก ส่วนข้าวเจ้าเป็นข้าวที่มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวเหนียว เมื่อนำข้าวไปผ่านการหุงต้มจึงมีลักษณะนุ่มและเหนียวลดลง ส่วนข้าวเจ้าที่มีปริมาณอมิโลสปนอยู่ในประมาณร้อยละ 25 ขึ้นไป เมื่อนำข้าวไปผ่านการหุงต้มแล้วจะมีลักษณะร่วนและแข็ง สำหรับการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลสแสดงได้ดังตารางที่ 2-8 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ตารางที่ 2-8 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลส

ประเภทข้าว	ร้อยละของปริมาณอมิโลส	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าที่มีอมิโลสต่ำ	10-19	เหนียวนุ่ม
ข้าวเจ้าที่มีอมิโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
ข้าวเจ้าที่มีอมิโลสสูง	26-35	ร่วน แข็ง

2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

ความคงตัวของแป้งสุกเป็นคุณสมบัติของแป้งที่ทำให้ข้าวสุกมีลักษณะนุ่มและแข็งแตกต่างกันความคงตัวของแป้งสุกจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของข้าวสุกเช่นเดียวกับปริมาณอมิโลส ซึ่งข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกอ่อน (Soft gel consistency) จะทำให้ข้าวสุกมีลักษณะนุ่มกว่าข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกแข็ง (Hard gel consistency) โดยความคงตัวของแป้งสุกมีค่าผกผันกับปริมาณอมิโลสในเมล็ดข้าว

นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกอ่อน จะมีปริมาณอมิโลสสูง แต่จะมีค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ค่าการคืนตัวของแป้ง (Set back) และค่าความคงตัวของแป้ง (Consistency) ต่ำกว่าข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกแข็ง การทดสอบความแข็งของแป้งสุกสามารถทดสอบได้โดยการหาความคงตัวของแป้งสุกจากการอ่านระยะทางที่แป้งไหล สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2559) แสดงระยะทางที่แป้งไหลของแป้งสุกแต่ละประเภท ไว้ดังตารางที่ 2-9 ส่วนระยะทางที่แป้งไหลของแป้งสุกแต่ละประเภทจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI, 2013) แสดงดังตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-9 ระยะทางที่แป้งไหลของแป้งสุกแต่ละประเภทจากสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ประเภทของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)
แป้งสุกแข็ง	26-40
แป้งสุกปานกลาง	41-60
แป้งสุกอ่อน	61-100

ตารางที่ 2-10 ระยะทางที่แป้งไหลของแป้งสุกแต่ละประเภทจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ

ประเภทของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)
แป้งสุกแข็ง	< 35
แป้งสุกค่อนข้างแข็ง	36-40
แป้งสุกปานกลาง	41-60
แป้งสุกค่อนข้างอ่อน	61-80
แป้งสุกอ่อน	81-100

2.3 ค่าการสลายเมล็ดในด่าง (Alkali)

ค่าการสลายเมล็ดในด่างเป็นอัตราการสลายตัวของแป้งในเมล็ดข้าว เมื่อแช่ข้าวเจ้า หรือข้าวเหนียวในสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่มีปริมาณความเข้มข้น 1.7% ในปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 23 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 $^{\circ}C$ ค่าการสลายเมล็ดในด่างจะมีค่าผกผันกับอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน โดยระดับค่าการสลายเมล็ดในด่างแสดงได้ดังตารางที่ 2-11 (รังสิต เสิ่งหะพันธุ์ และคณะ, 2552) ส่วนการประเมินค่าการสลายเมล็ดในด่างและอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชั่นแสดงได้ดังตารางที่ 2-12 (IRRI, 2013)

ตารางที่ 2-11 ระดับค่าการสลายเมล็ดในด่าง

ระดับ	ลักษณะเมล็ดข้าว
1	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
2	เมล็ดข้าวพองตัว
3	เมล็ดข้าวพองตัว และมีแป้งกระจายออกมาที่บางส่วนของเมล็ดข้าว
4	เมล็ดข้าวพองตัว และมีแป้งกระจายออกมารอบเมล็ดข้าวเป็นบริเวณกว้าง
5	เมล็ดข้าวปริทางขวางหรือทางยาว และมีแป้งกระจายออกมารอบเมล็ดข้าวเป็นบริเวณกว้าง
6	เมล็ดข้าวสลายตัวตลอดทั้งเมล็ด มีลักษณะเป็นเมือกขาวขุ่น
7	เมล็ดข้าวสลายตัวตลอดทั้งเมล็ด มีลักษณะเป็นเมือกใส

ตารางที่ 2-12 การประเมินค่าการสลายเมล็ดในด่างและอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน

ค่าการสลายเมล็ดในด่าง	อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน
สูง	ต่ำ
ปานกลาง	ปานกลาง
ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างสูง
ต่ำ	สูง

2.4 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (Elongation ratio)

อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวเป็นความสามารถในการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกระหว่างการหุงต้มซึ่งจะทำให้มีการขยายตัวของเมล็ดข้าวทุกด้านโดยเฉพาะด้านยาวซึ่งคุณลักษณะนี้เป็นคุณสมบัติพิเศษของข้าวที่จะช่วยให้เมล็ดข้าวสุกมีการขยายตัวมากขึ้น หากอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้นจะช่วยให้เมื่อหุงข้าวแล้วข้าวขึ้นหม้อดีขึ้น (งามชื่น คงเสรี, 2546) จึงทำให้ข้าวมีลักษณะนุ่มมากขึ้น แต่หากข้าวชนิดใดมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวต่ำจะทำให้ข้าวมีลักษณะค่อนข้างหยาบและแข็งกว่าข้าวที่มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสูง

นอกจากนี้เมล็ดข้าวที่มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสูงแสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์นั้นมีการขัดสีข้าวออกค่อนข้างสูง ทำให้ใช้เวลาในการหุงต้มน้อยกว่า ส่วนการคำนวณอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวคำนวณได้จากสมการของ Juliano (1985) ดังนี้

$$\text{อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสุก 10 เมล็ด}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสาร 10 เมล็ด}}$$

2.5 อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (Parting temperature)

อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชันเป็นอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Viscosity) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชันสูง จะมีค่าเบรกดาวน์ (Break down) ต่ำกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชันต่ำ

2.6 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization temperature)

อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันเป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งข้าวกลายเป็นเจล อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหุงต้ม ซึ่งข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไน-เซชันสูง จะใช้เวลาในการหุงต้มมากกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันต่ำ นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันสูงขึ้นจะทำให้ระดับค่าการสลายเมล็ดในด่างอยู่ในระดับต่ำ การประเมินระดับอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันและระดับค่าการสลายเมล็ดในด่างแสดงได้ดังตารางที่ 2-13 (รังสิต เส็งหะพันธุ์ และคณะ, 2552)

ตารางที่ 2-13 การประเมินระดับอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันและระดับค่าการสลายเมล็ดในด่าง

ระดับอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน	อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน ($^{\circ}C$)	ระดับค่าการสลายเมล็ดในด่าง
ต่ำ	< 70	6-7
ปานกลาง	70-74	4-5
สูง	> 75	1-3

2.7 ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity หรือ Maximum viscosity)

ค่าความหนืดสูงสุดเป็นค่าความข้นหนืดสูงสุด ซึ่งเกิดจากการที่เม็ดแป้งข้าวพองตัวขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น เมื่อเม็ดแป้งข้าวพองตัวเต็มที่จะเข้าใกล้กันจนทำให้มีความหนืดสูงสุด ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนืดสูงสุดได้แก่ การเก็บรักษาข้าว ปริมาณโปรตีน ปริมาณอมิโลส ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95$^{\circ}C$ (Final viscosity at 95$^{\circ}C$) ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50$^{\circ}C$ (Final viscosity at 50$^{\circ}C$) ค่าการคืนตัวของแป้ง และค่าความคงตัวของแป้ง

2.8 ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ (Final viscosity at 95 $^{\circ}C$)

ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ เป็นความหนืดของน้ำแป้งที่เกิดขึ้นจากการที่ใช้สารละลายน้ำแป้งที่มีความเข้มข้น 10 % จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 30 $^{\circ}C$ เป็นอุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.5 $^{\circ}C$ ต่อนาที แล้วเคี่ยวแป้งต่อไปที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ (รังสิต เส็งหะ-พันธุ์ และคณะ, 2552)

2.9 ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}C$ (Final viscosity at 50 $^{\circ}C$)

ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}C$ เป็นความหนืดของน้ำแป้งที่เกิดขึ้นจากการที่ใช้สารละลายน้ำแป้งที่มีความเข้มข้น 10 % จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 30 $^{\circ}C$ เป็นอุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.5 $^{\circ}C$ ต่อนาที แล้วเคี่ยวแป้งต่อไปที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ เป็นเวลานาน 20 นาที หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ ลดอุณหภูมิลง 1.5 $^{\circ}C$ ต่อนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 50 $^{\circ}C$ (รังสิต เส็งหะพันธุ์ และคณะ, 2552)

2.10 ค่าการคืนตัวของแป้ง (Set back)

ค่าการคืนตัวของแป้งเป็นผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}C$ และค่าความหนืดสูงสุด ซึ่งค่าการคืนตัวของแป้งจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกถูกทำให้เย็นลงจากที่มีความหนืดสูงสุด เนื่องจากการที่มีน้ำเข้าไปในเม็ดแป้งจนกระทั่งไม่มีน้ำอิสระในส่วนผสม เมื่อคนต่อไปเรื่อย ๆ จะพบว่าความหนืดลดลง ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากที่เม็ดแป้งถูกทำลาย จึงทำให้โมเลกุลของอมิโลสและอมิโลเพกทินกระจายออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นลงจึงเกิดการคืนตัว และอาจเรียกปรากฏการณ์นี้อีกอย่างหนึ่งว่ารีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

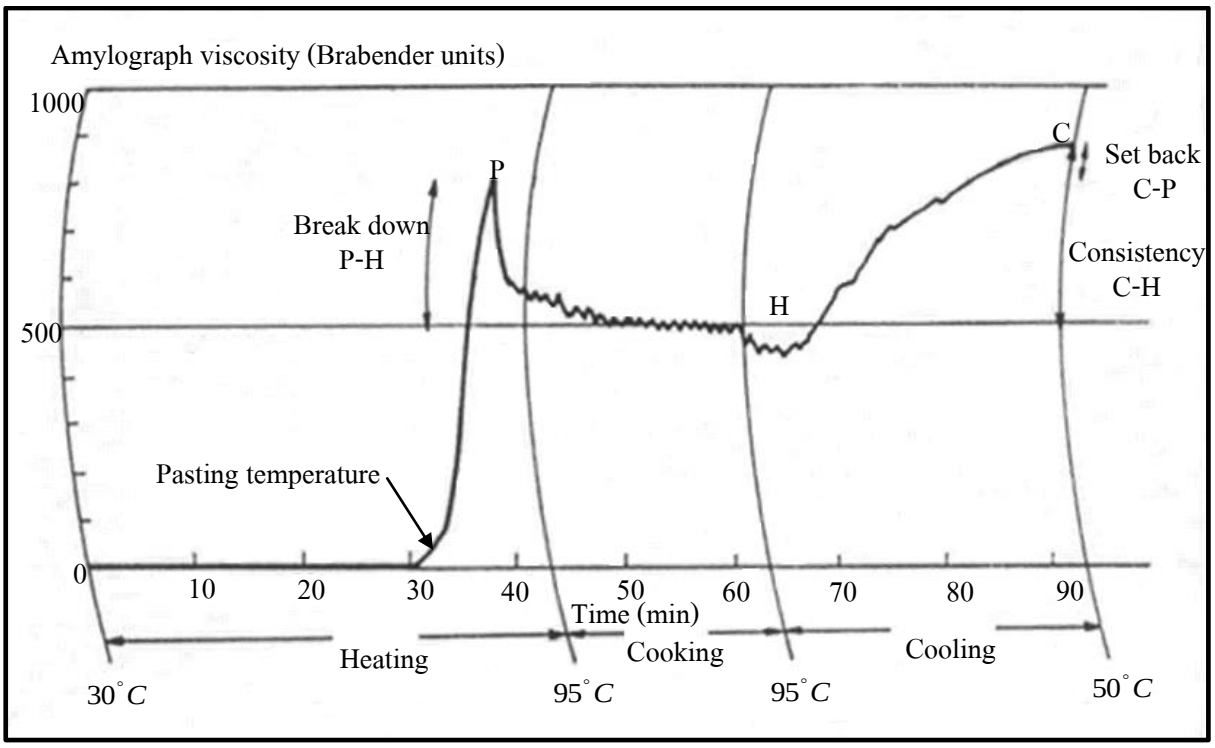
2.11 ค่าความคงตัวของแป้ง (Consistency)

ค่าความคงตัวของแป้งเป็นผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}C$ และความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ ซึ่งแสดงถึงการแข็งตัวของแป้งสุกที่เย็นลงเทียบกับแป้งสุกร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความคงตัวของแป้งเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าการคืนตัวของแป้งและปริมาณน้ำตาลอมิโลส กล่าวคือข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสูงจะมีค่าการคืนตัวของแป้งและปริมาณน้ำตาลอมิโลสสูงเช่นกัน

2.12 ค่าเบรกดาวน์ (Break down)

ค่าเบรกดาวน์เป็นผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ ซึ่งแสดงถึงความคงตัวของน้ำแป้งหลังเกิดการแตกตัวระหว่างการให้ความร้อน ถ้าค่าเบรกดาวน์ลดลงมาก แสดงว่าแป้งมีความคงตัวต่ำ จึงแตกตัวได้ง่ายในขณะให้ความร้อน ดังนั้นค่าเบรกดาวน์จึงมีค่าผกผันกับค่าความคงตัวของแป้ง

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำแป้งกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาแสดงได้ดังภาพที่ 2-46 (ปฏิบัติการเทคโนโลยีของธัญชาติ, 2559b)



ภาพที่ 2-46 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำแป้งกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา

3. องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition)

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว เป็นส่วนที่สำคัญของเมล็ดข้าวจึงมีผลต่อคุณค่าทางสารอาหารและส่งผลต่อคุณภาพของข้าวทำให้ข้าวมีลักษณะของการหุงต้ม และคุณภาพในการรับประทานแตกต่างกัน อีกทั้งยังส่งผลต่อคุณภาพของข้าวในการเก็บรักษาอีกด้วย องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวพิจารณาได้จาก

3.1 พลังงาน (Energy)

พลังงานเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าว ซึ่งได้มาจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตเกือบทั้งหมดในเมล็ดข้าว ข้าวเป็นแหล่งที่ให้พลังงานต่อร่างกายค่อนข้างสูงโดยเห็นได้จากในข้าวสุก 100 กรัม จะให้พลังงานสูงถึง 590 กิโลจูล (The rice association, 2016) และข้าวกล้องจะให้พลังงานมากกว่าข้าวขาว

3.2 ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดข้าว ปริมาณความชื้นของข้าวทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสารจึงถูกใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญในการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของเมล็ดข้าว ข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมสภาพเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งการเสื่อมสภาพของข้าวพิจารณาได้จากการที่เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวภายในก่อนนำไปขัดสี หรือการมีกลิ่นสาบ เป็นต้น ดังนั้นข้าวที่มีความชื้นสูงจะทำให้คุณภาพของเมล็ดและราคาซื้อขายข้าวต่ำลง ระดับความชื้นทั่วไปของข้าวที่เหมาะสมในการเก็บรักษาไม่ควรสูงกว่า 14% (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) ข้าวที่มีความชื้นที่เหมาะสมเมื่อนำเมล็ดข้าวไปขัดสีแล้วจะมีโอกาสที่ทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดสูงเพราะเกิดการแตกหักของเมล็ดข้าวน้อย

3.3 โปรตีน (Protein)

โปรตีนเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าว ปริมาณของโปรตีนในข้าวแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกัน ส่วนของเมล็ดข้าวที่พบโปรตีนมากคือบริเวณชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดข้าว และเนื้อเมล็ดข้าวด้านนอกซึ่งจะมีโปรตีนมากกว่าใจกลางเมล็ดข้าว ข้าวจะมีปริมาณกลูเทลิน (Glutelin) หรือเรียกว่า ออซานิน (Oryzenin) ซึ่งเป็นโปรตีนสะสมที่มีสมบัติละลายได้ในน้ำ ในปริมาณมากที่สุด และมีปริมาณโพรลามิน (Prolamin) ซึ่งเป็นโปรตีนสะสมที่มีสมบัติไม่ละลายในน้ำ ในปริมาณน้อยที่สุด จึงทำให้ข้าวเป็นอาหารที่ไม่ทำให้เกิดอาการแพ้กลูเทนสำหรับผู้บริโภคบางคน (Gluten-sensitive individual) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวพบมากในส่วนที่เป็นคัพภะประมาณร้อยละ 19-27 ของน้ำหนักคัพภะ โปรตีนที่สะสมอยู่ในเมล็ดข้าวประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิดโดยมีกรดอะมิโนลิวซีน (Leucine) มากที่สุด รองลงมาคือ วาลีน (Valine) และไลซีน (lysine) ตามลำดับ

เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว และยังทำให้เมล็ดข้าวแข็งขึ้น จึงทำให้การขัดสีออกได้ยากใช้เวลานานมากขึ้นในการหุงต้มข้าวและยังทำให้ความเหนียวของข้าวลดลงอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบอีกว่าข้าวที่มีโปรตีนสูงอาจจะมีสีคล้ำกว่าข้าวที่มี

โปรตีนต่ำ และโปรตีนยังมีความสัมพันธ์กับแป้งในข้าว โดยจะส่งผลต่อลักษณะความเหนียวนุ่ม หรือร่วนแข็ง หลังจากข้าวผ่านการหุงต้ม

3.4 ไขมัน (Fat)

ไขมันเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวซึ่งในเมล็ดข้าวจะมีไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 3 โดยพบอยู่บริเวณด้านนอกของเมล็ดข้าวมากกว่าใจกลางเมล็ดข้าว และจะพบมากที่บริเวณคัพภะ โดยประเภทของไขมันที่พบในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่ คือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) รองลงมา คือ ฟอสฟอลิพิด (Phospholipids) ไกลโคลิพิด (Glycolipids) และเทอร์พีนอยด์ (Terpenoids) ตามลำดับ ซึ่งไขมันภายนอกและภายในเม็ดแป้งเป็นไขมันประเภทโมโนแอซิล (Monoacyl) ซึ่งเป็นทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยจะเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว สำหรับไขมันภายในเม็ดแป้งยังมีไลโซเลซิทิน (Lysolecithin) และกรดไขมันอีกด้วย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556)

นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องจะมีปริมาณไขมันสูงกว่าข้าวชนิดอื่น ๆ เพราะข้าวกล้องยังมีส่วนของรำข้าวอยู่ แต่เมื่อเทียบกับอาหารชนิดอื่น ๆ แล้ว ข้าวไม่ใช่แหล่งที่อุดมไปด้วยสารอาหารจำพวกไขมัน ในแป้งข้าวเจ้าพบว่าเป็นกรดไขมันประมาณร้อยละ 30-60 ส่วนแป้งข้าวเหนียวจะมีปริมาณอมิโลสและไขมันต่ำมาก ซึ่งแป้งจากข้าวเหล่านี้เมื่อทำการปรับปรุงพันธุ์ให้มีปริมาณอมิโลสสูงแล้วจะพบว่ามีปริมาณไขมันมากขึ้นด้วย จึงแสดงให้เห็นว่าปริมาณอมิโลสแปรผันไปในทิศทางเดียวกับปริมาณไขมันในเมล็ดข้าว อีกทั้งข้าวที่ผ่านการขัดสีให้ขาวจะมีปริมาณไขมันลดลงอีกด้วย

3.5 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวซึ่งสามารถจำแนกตามโมเลกุล ได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรือโมโนแซ็กคาไรด์ (Monosaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กที่สุด เมื่อรับประทานเข้าไปในร่างกายแล้วจะถูกดูดซึมที่ลำไส้ได้เลย โดยไม่ต้องผ่านการย่อย ซึ่งน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สำคัญ ได้แก่ กลูโคส (Glucose) ฟรักโทส (Fructose) และกาแล็คโทส (Galactose)

2. น้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือไดแซ็กคาไรด์ (Disaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบ-ด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุลมารวมกัน เมื่อรับประทานเข้าไปในร่างกายแล้ว น้ำย่อยในลำไส้เล็กจะย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ออกเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อน ร่างกายจึงจะสามารถ นำไปใช้

ประโยชน์ได้ ซึ่งน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่สำคัญ ได้แก่ แล็คโทส (Lactose) ซูโครส (Sucrose) และมอลโทส (Maltose)

3. น้ำตาลโมเลกุลใหญ่ หรือพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีสูตรโครงสร้างที่ซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจำนวนมากกว่า 10 โมเลกุลขึ้นไปมารวมตัวกันโดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) ซึ่งน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ที่สำคัญ ได้แก่ แป้ง (Starch) ไกลโคเจน (Glycogen) เซลลูโลส (Cellulose) ลิกนิน (Lignin) เพกติน (Pectin) ไคติน (Chitin) อินนูลิน (Inulin) และเฮปาริน (Heparin)

นอกจากนี้ยังพบว่าคาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในด้านการเป็นแหล่งพลังงานและเป็นส่วนประกอบของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย จึงช่วยเผาผลาญไขมันในร่างกายให้เป็นไปตามปกติ อีกทั้งยังช่วยรักษาคุณค่าของโปรตีนไว้ไม่ให้ถูกเผาผลาญเป็นพลังงานอีกด้วย

3.6 แป้ง (Starch)

แป้งเป็นคาร์โบฮเดรตประเภทโพลิแซ็กคาไรด์ ที่พบมากที่สุดในเมล็ดข้าวโดยพบประมาณร้อยละ 90 จึงส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวมากที่สุด โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยโพลิเมอร์ของกลูโคส 2 ลักษณะ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) ดังนี้

1. อมิโลส เป็นน้ำตาลกลูโคสที่จัดเรียงตัวเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น (Linear chains)

2. อมิโลเพกทิน เป็นน้ำตาลกลูโคสที่จัดเรียงตัวเป็นห่วงโซ่ที่มีกิ่ง (Branched chains) โดยโมเลกุลทั้งสองจะเรียงตัวกันแน่นจนกลายเป็นเม็ดแป้งที่มีขนาด 3-5 ไมครอน ซึ่งถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่เล็กที่สุดในกลุ่มธัญพืชทั้งหมด

3.7 เส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber)

เส้นใยอาหารทั้งหมดเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวซึ่งเป็นคาร์โบไฮ-เดรตประเภทโพลิแซ็กคาไรด์ที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ในกระบวนการย่อยอาหาร เส้นใยอาหารทั้งหมดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) ประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) คิวทิน (Cutin) และแวกซ์ (Wax)

2. เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) ประกอบด้วย เพกติน (Pectin) เบต้ากลูแคน (Beta glucan) และกัม (Gum)

เส้นใยอาหารทั้งหมดมีประโยชน์อย่างมากในการช่วยบรรเทาอาการท้องผูก ป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ และควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือด โดยพบว่าข้าวกล้องจะให้เส้นใยอาหาร

ทั้งหมดสูงกว่าข้าวขาว ซึ่งในเมล็ดข้าวจะพบปริมาณของเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าปริมาณกากใย (Crude fiber)

3.8 กากใย (Crude fiber)

กากใยเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าว ซึ่งกากใยเป็นส่วนที่เหลือจากการย่อยกรดและเบสของเซลล์พืช เนื่องจากกากใยสามารถดักจับเอาน้ำมันและน้ำตาลที่กินเข้าไปมากจนเกินไปทิ้งไปเป็นกากอุจจาระ จึงส่งผลให้กากใยมีส่วนช่วยควบคุมน้ำหนักและยังสามารถช่วยควบคุมระดับไขมันและระดับน้ำตาลในเลือดไม่ให้สูงได้ นอกจากนี้กากใยยังช่วยให้ระบบการขับถ่ายดีขึ้นรวมถึงช่วยลดอาการท้องผูกได้อีกด้วย ซึ่งในข้าวกล้องพบว่ามีกากใยสูงมากกว่าข้าวขาว

3.9 เถ้า (Ash)

เถ้าเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าว โดยเถ้าเป็นส่วนของสารอนินทรีย์ เช่น ฟอสฟอรัส (Phosphorus) โพแทสเซียม (Potassium) แมงกานีส (Manganese) และซิลิคอน (Silicon) เป็นต้น ที่เหลือจากการเผาเมล็ดข้าวที่อุณหภูมิเฉพาะ ปริมาณเถ้าจะแปรผกผันกันกับปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าว ซึ่งเมล็ดข้าวที่มีคุณภาพดีควรจะมีปริมาณเถ้าน้อย

จากที่ทราบแล้วว่าระดับความชื้นทั่วไปของข้าวที่เหมาะสมในการเก็บรักษาไม่ควรสูงกว่า 14% ซึ่งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำ และแกลบ ที่ความชื้น 14% เป็นดังตารางที่ 2-14 (Juliano, 1985)

ตารางที่ 2-14 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำ และแกลบ ที่ความชื้น 14%

ประเภทข้าว	พลังงาน (กิโลจูล)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	กากใย (กรัม)	เส้นใยอาหารทั้งหมด (กรัม)	เถ้า (กรัม)
ข้าวเปลือก	1580	5.8-7.7	1.5-2.3	64-73	7.2-10.4	16.4-19.2	2.9-5.2
ข้าวกล้อง	1520-1610	7.1-8.3	1.6-2.8	73-87	0.6-1.0	2.9-3.9	1.0-1.5
ข้าวสาร	1460-1560	6.3-7.1	0.3-0.5	77-89	0.2-0.5	0.7-2.3	0.3-0.8
รำ	670-1990	11.3-14.9	15.0-19.7	34-62	7.0-11.4	24-29	6.6-9.9
แกลบ	1110-1390	2.0-2.8	0.3-0.8	22-34	34.5-45.9	66-74	13.2-21.0

4. ส่วนประกอบแร่ธาตุ (Mineral composition)

ส่วนประกอบแร่ธาตุของเมล็ดข้าวเป็นสิ่งที่บ่งบอกคุณภาพของเมล็ดข้าวในด้านสารอาหาร โดยพิจารณาได้จาก

4.1 แคลเซียม (Calcium)

แคลเซียมจัดเป็นแร่ธาตุหลักที่เป็นส่วนประกอบในร่างกายของมนุษย์ซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนากระดูกและฟัน การทำงานของหัวใจและกล้ามเนื้อ การเจริญเติบโตที่เหมาะสมของทารกในครรภ์ และการช่วยควบคุมกลไกการเป็นสื่อนำในประสาท ปัจจัยที่ส่งเสริมการดูดซึมแคลเซียม ได้แก่ วิตามินดี โดยวิตามินดีจะเป็นตัวเร่งการสังเคราะห์โปรตีนที่ผนังลำไส้ซึ่งช่วยในการดูดซึมของแคลเซียม และกรดอะมิโนช่วยให้การดูดซึมแคลเซียมได้เร็วยิ่งขึ้น

นอกจากนี้แคลเซียมยังจัดเป็นธาตุอาหารรองที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตที่สำคัญของพืชในการช่วยแบ่งเซลล์ ช่วยในการลำเลียงท่อน้ำและท่ออาหารของพืชให้แข็งแรง ช่วยในการสร้างฮอร์โมนของพืช รวมทั้งช่วยให้เซลล์พืชทำงานเป็นปกติ ปริมาณแคลเซียมที่พืชต้องการมีค่าอยู่ในช่วง 300-500 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นแคลเซียมจึงเป็นแร่ธาตุที่สำคัญในการเจริญเติบโตของข้าวด้วย และยังพบอีกด้วยว่าข้าวเหนียวสีขาวมีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด

4.2 เหล็ก (Iron)

เหล็กเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญในการสร้างเม็ดเลือดแดง การผลิตฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ไมโอโกลบิน (Myoglobin) และเอนไซม์ (Enzyme) บางชนิด เหล็กจึงมีความสำคัญกับคนทุกวัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัยที่มีการเจริญเติบโตสูง เช่น วัยทารก เป็นต้น นอกจากนี้ในหญิงวัยเจริญพันธุ์จะมีการสูญเสียเหล็กไปกับประจำเดือน ถึงแม้จะสูญเสียเหล็กในปริมาณไม่มากนักแต่เพศหญิงควรได้รับเหล็กในปริมาณมากกว่าผู้ชายวัยเดียวกัน คนปกติมีเหล็กประมาณ 3-5 กรัม โดยร้อยละ 70 ของเหล็กพบว่าอยู่ในเม็ดเลือดแดงหรือฮีโมโกลบิน ที่เหลือพบว่าอยู่ในตับ ม้าม ไขกระดูก และกล้ามเนื้อ หากพบเหล็กในรูปแบบที่เป็นอนินทรีย์สารจะเป็นรูปแบบที่เป็นพิษต่อร่างกาย ดังนั้นร่างกายจึงมีกระบวนการพิเศษในการดูดซึมและเก็บสะสมเหล็กเอาไว้ใช้ในร่างกายที่สภาวะร่างกายสามารถรักษาภาวะสมดุลของเหล็กเอาไว้ได้ แต่ในบางครั้งอาจมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดภาวะพร่องของเหล็กหรือภาวะเกินของเหล็กได้

เหล็กมักพบอยู่ในธัญพืชทั้งเมล็ด สำหรับรำข้าวพบว่ามีเหล็กปริมาณ 35 มิลลิกรัม ข้าวซ้อมมือมีเหล็กปริมาณ 3.2 มิลลิกรัม (ภคินี อัครเวสสะพงศ์ และคณะ, 2555) นอกจากนี้ยังพบอีกว่าข้าวเหนียวต่างสีจะมีปริมาณเหล็กมากที่สุด

4.3 สังกะสี (Zinc)

สังกะสีเป็นแร่ธาตุที่สำคัญต่อระบบภูมิต้านทาน ระบบเม็ดเลือดขาวและแอนติบอดี (Antibody) และการทำหน้าที่ของต่อมไทมัส ระดับของสังกะสีในเลือดยังเกี่ยวข้องกับจำนวนของเซลล์ที (T-Cell) และเซลล์เม็ดเลือดขาวซึ่งสำคัญมากต่อระบบตอบสนองของระบบภูมิต้านทานที่กำลังขาดเม็ดเลือดขาวอย่างรุนแรง ดังนั้นระดับสังกะสีที่เพียงพอจึงมีความสำคัญโดยเฉพาะในเด็กและผู้สูงอายุ นอกจากนี้แล้วสังกะสียังจำเป็นต่อการตั้งครรภ์ และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ช่วยในการสมานแผล ป้องกันการติดเชื้อ อีกทั้งยังจำเป็นต่อการขนส่งวิตามินเอไปยังจอประสาทตา ช่วยในการสร้างโปรตีน และช่วยในการสร้างกล้ามเนื้ออีกด้วย

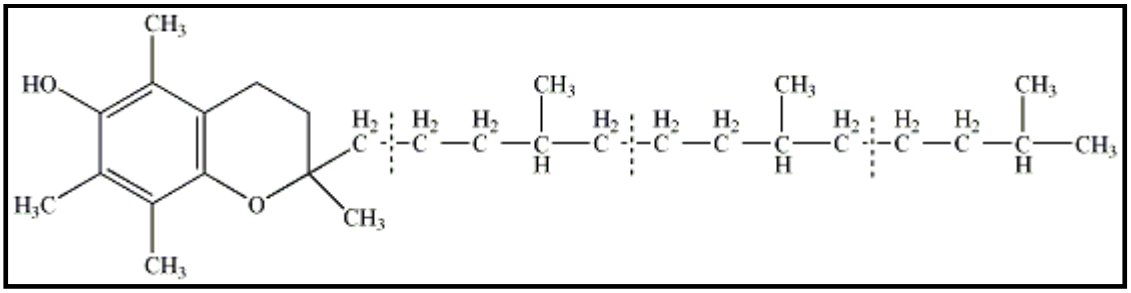
ข้าวที่มีสังกะสีมากที่สุด คือ ข้าวเหนียวต่างสี รองลงมาได้แก่ ข้าวเจ้าต่างสีที่มีปริมาณอมิโลสสูง และข้าวเจ้าขาวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ ตามลำดับ

4.4 วิตามินอี (Vitamin E)

วิตามินอีเป็นสารชีวโมเลกุลที่พบมากในพืชและสัตว์ วิตามินอีจัดเป็นสารสำคัญที่มีสรรพคุณในการเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยทำหน้าที่ปกป้องการทำงานของเซลล์และขบวนการทำงานระหว่างเซลล์ ช่วยยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของการรวมตัวระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว

ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของหลอดเลือด ช่วยรักษาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อขาจากสาเหตุการตีบตันของหลอดเลือด ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน เพิ่มจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวและแอนติบอดี บำรุงร่างกาย ช่วยรักษาโรคขาดสารอาหาร ช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ เช่น โรคความดันเลือด โรคไต และโรคมะเร็ง เป็นต้น และช่วยให้การผลิตฮอร์โมนในร่างกายมีความปรกติ โดยเฉพาะฮอร์โมนเพศรวมถึงการต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในร่างกาย ซึ่งกลไกการทำงานของวิตามินอีที่อยู่ในเซลล์จะทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในเซลล์ ทำให้ลดพิษของอนุมูลอิสระที่อาจเกิดอันตรายกับเซลล์ในร่างกาย และเปลี่ยนรูปของอนุมูลอิสระทำให้ร่างกายสามารถกำจัดสารพิษออกจากระบบต่าง ๆ ได้ดีขึ้น

โครงสร้างโมเลกุลของวิตามินอีประกอบด้วยส่วนของวงแหวนโครแมน (Chroman ring) ซึ่งเป็นส่วนที่ออกฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) โดยส่วนหางของโทโคฟีรอล (Tocopherol) เป็นหมู่พิทิล (Phytyl group) ในขณะที่ส่วนหางของโทโคไทรอีนอล (Tocotrienol) เป็นหมู่พอลีไอโซพีนอด์ย (Polyisophenoid group) ซึ่งทำหน้าที่ฝังตัวและยึดเหนี่ยวกับกรดไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ และลิโปโปรตีน (Lipoprotein) แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ตำแหน่งของหมู่เมทิล (Methyl group, -CH3) ในวงแหวนโครแมน แสดงได้ดังภาพที่ 2-5 (Siamchemi, 2559)



ภาพที่ 2-47 โครงสร้างโมเลกุลของวิตามินอี

โทโคฟีรอลเป็นน้ำมันเหลวที่มีสีเหลืองสามารถคงทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงที่สุดถึง 100 $^{\circ}C$ ได้ ในอาหารที่รับประทานเข้าไปประมาณร้อยละ 50-85 ของวิตามินอีจะถูกดูดซึมเข้าทางเดินกระเพาะอาหารและลำไส้ ซึ่งวิตามินอีจะเข้าสู่กระแสเลือดผ่านทางน้ำเหลือง วิตามินอีจะถูกสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อทุกชนิด วิตามินอีในกลุ่มโทโคฟีรอล แบ่งออกเป็น 4 ชนิดดังนี้

1. อัลฟาโทโคฟีรอล (Alpha-tocopherol)
2. แกมมาโทโคฟีรอล (Gamma-tocopherol)

3. เบต้าโทโคฟีรอล (Beta-tocopherol)

4. เดลต้าโทโคฟีรอล (Delta-tocopherol)

โดยที่วิตามินอีชนิดอัลฟาโทโคฟีรอล เป็นชนิดที่สำคัญที่สุดเนื่องจากเป็นชนิดที่พบมากที่สุด และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดในกลุ่มโทโคฟีรอล

สำหรับปริมาณแร่ธาตุในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำ และแกลบ ที่ความชื้น 14% แสดงได้ดังตารางที่ 2-15 (Juliano, 1985)

ตารางที่ 2-15 ปริมาณแร่ธาตุในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำ และแกลบ ที่ความชื้น 14%

ประเภทข้าว	แคลเซียม (มิลลิกรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)	สังกะสี (มิลลิกรัม)	วิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล (มิลลิกรัม)
ข้าวเปลือก	10-80	1.4-6.0	1.7-3.1	0.90-2.00
ข้าวกล้อง	10-50	0.2-5.2	0.6-2.8	0.90-2.50
ข้าวสาร	10-30	0.2-2.8	0.6-2.3	0.075-0.30
รำ	30-120	8.6-43.0	4.3-25.8	2.60-13.3
แกลบ	60-130	3.9-9.5	0.9-4.0	0

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของข้าวไทยด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. งานวิจัยในประเทศไทย

พรพรรณ กอมนชัย, พิสิฏฐ์ ธรรมวิถี, นันทวัน เทอดไทย และวาสินี จันทร์นวล (2553) จัดกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม (Cluster analysis) และกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความชอบของผู้บริโภคในการบริโภคข้าวหอมมะลิไทยด้วยการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ คุณลักษณะทางกายภาพ และคะแนนความชอบในการบริโภคข้าวหอมมะลิไทยจำนวน 8 ยี่ห้อ ได้แก่ เบญจรงค์ (BJ) บัวทิพย์ (BT) อิ่มทิพย์ (ET) หงส์ทอง (HT) เกษตร (KS) มาบุญครอง (MK) ฉัตรทอง (RU) และธนานันต์ (TN)

ผลการศึกษาพบว่าสามารถจัดกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มที่ 1 เป็นข้าวหอมมะลิที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้ง ได้แก่ ข้าวหอมมะลิยี่ห้อเบญจรงค์ (BJ) อิ่มทิพย์ (ET) เกษตร (KS) และธนานันต์ (TN)

2. กลุ่มที่ 2 เป็นข้าวหอมมะลิที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง โดยมีความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวของแป้งสูง แต่มีค่าความหนืดสูงสุด และค่าเบรกดาวน์ต่ำ ได้แก่ ข้าวหอมมะลิยี่ห้อบัวทิพย์ (BT)

3. กลุ่มที่ 3 เป็นข้าวหอมมะลิที่หุงสุกแล้วมีสีขาว มีความแข็ง และเหนียว ได้แก่ ข้าวหอมมะลิยี่ห้อหงส์ทอง (HT) มาบุญครอง (MK) และฉัตรทอง (RU)

สำหรับการจัดกลุ่มตัวแปรที่บ่งบอกคุณภาพของข้าวหอมมะลิด้วยการวิเคราะห์ปัจจัย ซึ่งมีการถอดปัจจัย (Factor extraction) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal component analysis) พบว่าสามารถจัดกลุ่มตัวแปรได้เป็น 4 ปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัยที่ 1 (F_1) ประกอบด้วยความชื้น โปรตีน ความหนืดต่ำสุด อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (Peak temperature) อุณหภูมิที่จุดสุดท้าย (Conclusion temperature) ค่า L* อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว ความแข็ง การเกาะติดกัน (Cohesiveness) ดัชนีความยืดหยุ่น (Springiness index) และการเคี้ยว (Chewiness) ซึ่งปัจจัยที่ 1 นี้สามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้ร้อยละ 39.39

2. ปัจจัยที่ 2 (F_2) ประกอบด้วย ความหนืดสูงสุด ค่าเบรกดาวน์ ความหนืดสุดท้าย ค่าการคืนตัวของแป้ง พลังงานเอนทัลปี (Enthalpy) ในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้ง ค่า C* ค่า h และความเหนียวติดแน่น (Adhesiveness) ซึ่งปัจจัยที่ 2 นี้สามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้ร้อยละ 34.92

3. ปัจจัยที่ 3 (F_3) เป็นความคงตัวของแป้งสุก ซึ่งปัจจัยที่ 3 นี้สามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้ร้อยละ 9.47

4. ปัจจัยที่ 4 (F_4) เป็นปริมาณอมิโลส ซึ่งปัจจัยที่ 4 นี้สามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้ร้อยละ 7.89

จากนั้นนำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยที่ได้นี้ไปใช้เป็นตัวแปรอิสระเพื่อทำนายค่าคะแนนความชอบโดยรวมด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ซึ่งจะได้สมการถดถอยของการทำนายค่าคะแนนความชอบโดยรวม $(\hat{Y})$ เป็นดังนี้

$$\hat{Y} = 0.344F_1 + 0.848F_2 - 0.120F_3 - 0.245F_4$$

จากสมการถดถอยที่ได้พบว่าปัจจัยที่ 2 (F_2) มีค่าสัมประสิทธิ์มากที่สุด จึงแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ 2 มีอิทธิพลต่อคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวหอมมะลิไทยมากที่สุด ซึ่งคุณลักษณะของข้าวหอมมะลิไทยที่ผู้บริโภคชอบ คือ ใช้อุณหภูมิสูงในการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง มีค่าเบรกดาวน์สูง มีค่าการคืนตัวของแป้งต่ำ ใช้พลังงานเอนทัลปีในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งสูง เมื่อนำข้าวหอมมะลิไปหุงสุกจะมีค่า C* น้อย แต่ค่า h และความเหนียวติดแน่นสูง ดังนั้นลักษณะข้าวหอมมะลิไทยหุงสุกที่ผู้บริโภคต้องการจึงเป็นข้าวสีขาวและมีความเหนียว นอกจากนี้ยังพบอีกว่าผู้บริโภคชอบข้าวหอมมะลิไทยในกลุ่มที่ 3 ซึ่งได้แก่ ข้าวหอมมะลิยี่ห้อหงส์ทอง (HT) มาบุญครอง (MK) และฉัตรทอง (RU) มากที่สุด เนื่องจากเป็นข้าวสีขาวและมีความเหนียวมากกว่าข้าวหอมมะลิยี่ห้ออื่น ๆ

อารีรัตน์ อิ่มศิลป์, ปิยรัตน์ สิริธัญกิจ และรจนา ประสิทธิ์ (2556) ศึกษาการจัดกลุ่มตัวอย่างพันธุ์ข้าวไทย และสร้างสมการจำแนกกลุ่มของพันธุ์ข้าวไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากกลุ่มข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสปานกลาง และข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูง ด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรด (Infrared spectroscopy) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal component analysis) จากข้าวไทยจำนวน 60 ตัวอย่าง ดังนี้

1. ข้าวหอมมะลิ จำนวน 50 ตัวอย่าง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 11 ตัวอย่าง และข้าวพันธุ์กข15 จำนวน 39 ตัวอย่าง

2. ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์พิษณุโลก 1

3. ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสปานกลาง จำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60

4. ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูง จำนวน 5 ตัวอย่าง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 ข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123 ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60

ผลการศึกษาการจัดกลุ่มของพันธุ์ข้าวไทย ซึ่งแสดงด้วยแผนภาพคะแนน (Score plot) ของการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักพบว่าควรจะเลือกใช้ส่วนประกอบหลักจำนวน 2 ส่วนประกอบ ซึ่งสามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 91 โดยสามารถจัดกลุ่มตัวอย่างพันธุ์ข้าวไทยได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มข้าวหอมมะลิ

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มข้าวที่มีปริมาณอมิโลสปานกลาง

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูง

และเมื่อทำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดบางส่วน (Partial least square) พบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายการจำแนกกลุ่มข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มอื่น คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน ที่ช่วงจำนวนคลื่น 10,000-4,000 เซนติเมตร ซึ่งสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมให้เป็นตัวแปรใหม่ได้ 5 ปัจจัย โดยมีค่า $R^2_{cal} = 0.79$, $R^2_{val} = 0.17$, $RMSE_{cal} = 0.69$, $RMSE_{val} = 0.21$ และความถูกต้องในการจำแนกมีค่าร้อยละ 66.46%

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสามารถจำแนกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ออกจากกลุ่มข้าวหอมมะลิได้ ซึ่งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวที่อยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ แต่ไม่สามารถจำแนกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ออกจากกลุ่มข้าวหอมมะลิได้ เนื่องจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่นำมาใช้ในการศึกษามีอายุในการเก็บรักษาไม่เกิน 4 เดือน จึงมีค่าความคงตัวของแป้งสุกต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ส่งผลให้มีคุณสมบัติความหนืดใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิ จึงทำให้ไม่สามารถจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวพันธุ์ชัยนาท1ได้

ปัญญา มาดี และคณะ (2557) ประเมินอาการผิดปรกติของใบและต้นกล้าที่เกิดจากภาวะเครียดจากความเค็มและความแล้งของข้าวไทยพันธุ์พื้นเมือง โดยเปรียบเทียบพันธุ์มาตรฐานในด้านการทนเค็มและการทนแล้งจากตัวอย่างข้าวไทยพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 45 สายพันธุ์ ด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม ซึ่งอธิบายผลการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพเดนโดแกรม (Dendrogram) สำหรับการบันทึกข้อมูลในกลุ่มความเครียดเค็มจะบันทึกความผิดปกติของใบตามเกณฑ์มาตรฐานและร้อยละของการรอดชีวิตภายหลังที่ได้รับความเครียดนาน 10 และ 15 วัน ส่วนในกลุ่มความเครียดแล้งจะบันทึกความผิดปรกติของใบตามเกณฑ์มาตรฐานและร้อยละของการรอดชีวิตภายหลังที่ได้รับความเครียดนาน 27 และ 42 วัน ผลการศึกษาพบว่าสามารถจัดกลุ่มอาการผิดปรกติของใบและต้นกล้าของข้าวไทยพันธุ์พื้นเมืองได้เป็น 5 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ทนทั้งความเครียดเค็มและความเครียดแล้ง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Gs.No.004 ข้าวพันธุ์ Gs.No.006 ข้าวพันธุ์ Gs.No.043 ข้าวพันธุ์ LLR006 ข้าวพันธุ์ LLR012 ข้าวพันธุ์LLR030 ข้าวพันธุ์ LLR069 ข้าวพันธุ์ LLR081 ข้าวพันธุ์ KKU-GL-BL-11-001 ข้าวพันธุ์ Pokkali ข้าวพันธุ์ IR62266 ข้าวพันธุ์ IR57514 และข้าวพันธุ์ CT9993

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ทนความเครียดเค็มและความเครียดแล้งได้ปานกลาง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Gs.no.003 ข้าวพันธุ์ Gs.No.005 ข้าวพันธุ์ Gs.No.034 ข้าวพันธุ์ Gs.No.035 ข้าวพันธุ์ Gs.No.038 ข้าวพันธุ์ Gs.No.09475 ข้าวพันธุ์ Gs.No.87090 ข้าวพันธุ์ LLR005 ข้าวพันธุ์ LLR009 ข้าวพันธุ์ LLR022 ข้าวพันธุ์ LLR026 ข้าวพันธุ์ LLR027 ข้าวพันธุ์ LLR065 ข้าวพันธุ์ LLR086 ข้าวพันธุ์ LLR092 ข้าวพันธุ์ LLR095 ข้าวพันธุ์ LLR098 ข้าวพันธุ์ LLR109 และข้าวพันธุ์ LLR117

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่ทนความเครียดแล้งปานกลางแต่ไม่ทนต่อความเค็ม ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Gs.No.010 ข้าวพันธุ์ Gs.No.039 ข้าวพันธุ์ Gs.No.00621 และข้าวพันธุ์ Gs.No.21427

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มที่ทนความเครียดแล้งปานกลางแต่ไม่ทนต่อความเค็มมาก ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Gs.No.009 ข้าวพันธุ์ LLR039 ข้าวพันธุ์ LLR079 ข้าวพันธุ์ LLR089 และ ข้าวพันธุ์ LLR097

กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มที่ไม่ทนต่อทั้งความเครียดแล้งและความเครียดเค็มมาก ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Gs.No.011 ข้าวพันธุ์ LLR104 ข้าวพันธุ์ LLR106 และข้าวพันธุ์ IR29

อุไรวรรณ วัฒนกุล, วัฒนา วัฒนกุล และพีระพงษ์ พึ่งแย้ม (2558) ศึกษาและเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และส่วนประกอบแร่ธาตุระหว่างข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งจากข้าวพันธุ์สังข์หยดพัทลุงที่ปลูกนอกฤดูกาล โดยพิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. ตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความยาวเมล็ดข้าว ความกว้างเมล็ดข้าว ความหนาเมล็ดข้าว รูปร่างเมล็ดข้าว และน้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก

2. ตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก และระยะเวลาในการหุงต้ม

3. ตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า

4. ตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ ได้แก่ ปริมาณฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ปริมาณแทนนิน (Tannin) ปริมาณฟีนอลิก (Phenolic) สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Antioxidant activity DPPH) และวิตามินบี1 (Vitamin B1)

ผลการศึกษาเมื่อใช้การทดสอบของดันแคน (Duncan’s test) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรแต่ละคู่พบว่า

1. ความยาวเมล็ดข้าว ความกว้างเมล็ดข้าว ความหนาเมล็ดข้าว และน้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือกระหว่างข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่ง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่รูปร่างเมล็ดข้าวระหว่างข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2. ปริมาณอมิโลส และความคงตัวของแป้งสุกระหว่างข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะเวลาในการหุงต้มระหว่างข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3. ปริมาณความชื้น ไขมัน และเถ้าระหว่างข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่ง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณโปรตีนระหว่างข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4. ปริมาณฟลาโวนอยด์ ปริมาณแทนนิน ปริมาณฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH และวิตามินบี1 ระหว่างข้าวกล้อง และข้าวกล้องนึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

นอกจากนี้เมื่อนำข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งไปผ่านการหุงต้มเพื่อศึกษาปริมาณความชื้นและไขมันพบว่าทั้งข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งมีความชื้นและไขมันสูงกว่าในเมล็ดข้าวดิบ ซึ่งเมื่อปริมาณความชื้นและไขมันสูงขึ้นแล้วจะส่งผลให้ปริมาณโปรตีนและเถ้าลดต่ำลง อีกทั้งยังพบอีกว่าปริมาณโปรตีน ปริมาณฟลาโวนอยด์ ปริมาณแทนนิน ปริมาณฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH และวิตามินบี1 ในข้าวกล้องนึ่งมีค่าสูงกว่าข้าวกล้อง สำหรับในเรื่องของระยะเวลาในการหุงต้มพบว่าข้าวกล้องนึ่งใช้ระยะเวลาในการหุงต้มน้อยกว่าข้าวกล้อง

บุญหงษ์ จงคิด และวุฒิชัย แตงทอง (2559) ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าวพันธุ์หอมธรรมศาสตร์และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยพิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. ตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความยาวเมล็ดเปลือกข้าว ความกว้างเมล็ดเปลือกข้าว ความหนาเมล็ดเปลือกข้าว ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง ความกว้างเมล็ดข้าวกล้อง ความหนาเมล็ดข้าวกล้อง ความยาวเมล็ดข้าวสาร ความกว้างเมล็ดข้าวสาร ความหนาเมล็ดข้าวสาร น้ำหนัก 100 เมล็ดข้าวเปลือก และการเป็นท้องไข่

2. ตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอมิโลส ค่าการสลายเมล็ดในด่าง อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน ความคงตัวแป้งสุก ระยะทางน้ำแป้งไหล อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว กลิ่นหอมของเมล็ดข้าวและปริมาณสารความหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในข้าวสาร

ผลการศึกษาเมื่อใช้สถิติเชิงพรรณนา และการทดสอบของดันแคนเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรระหว่างข้าวพันธุ์หอมธรรมศาสตร์และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า คุณลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าข้าวพันธุ์หอมธรรมศาสตร์และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว น้ำหนักเมล็ดข้าวดี มีท้องไข่น้อย และมีลักษณะนุ่มและหอมเมื่อผ่านการหุงต้มซึ่งแสดงถึงมีคุณภาพในการหุงต้มและการรับประทาน

2. งานวิจัยต่างประเทศ

Diako, Sakyi-Dawson, Bediako-Amoa, Saalia and Manful (2011**)** ศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของข้าวระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวนำเข้าของประเทศกานา เนื่องจากประชาชนในประเทศกานามีการบริโภคข้าวนำเข้ามากกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมือง รัฐบาลจึงต้องการส่งเสริมให้ประชาชนหันมาบริโภคข้าวพันธุ์พื้นเมืองให้มากขึ้น จึงได้ทำการจัดกลุ่มข้าวทั้งหมดจำนวน 6 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Ex-Baika ข้าวพันธุ์ Ex-Hohoe ข้าวพันธุ์ Jusmine 85 และข้าวพันธุ์ Marshall และข้าวนำเข้า จำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Royal Feast และข้าวพันธุ์ Saltana ด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มและการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก โดยพิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. ตัวแปรแสดงคุณลักษณะการหุงต้ม (Cooking characteristics) ได้แก่ เวลาต่ำสุดในการหุงต้ม (Minimum cooking time) อัตราการดูดซับน้ำ (Water uptake ratio) อัตราการยืดตัวของเมล็ด-ข้าว และปริมาณน้ำตาลอมิโลส

2. ตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และกากใย

3. ตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ ได้แก่ เหล็ก สังกะสี โพแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส กำมะถัน แมงกานีส และแคลเซียม

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแล้วอธิบายด้วยแผนภาพเดนโดแกรม พบว่าสามารถจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์ ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Ex-Baika ข้าวพันธุ์ Marshall และข้าวพันธุ์ Jusmine 85

กลุ่มที่ 2 ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Ex-Hohoe

กลุ่มที่ 3 ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Saltana และข้าวพันธุ์ Royal Feat

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก พบว่าควรจะเลือกใช้ส่วนประกอบหลักจำนวน 2 ส่วนประกอบ ซึ่งสามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้

ร้อยละ 88.2 และสามารถจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์ได้เป็น 3 กลุ่ม ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นอีกว่า

1. ข้าวนำเข้าใช้เวลาในการหุงต้มน้อยที่สุด ขณะที่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองใช้เวลาในการหุงต้มมากที่สุด อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวทางด้านยาวของข้าวนำเข้าสูงกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมือง ส่วนในเรื่องของอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวพบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดสูงกว่าข้าวนำเข้า ดังนั้นข้าวนำเข้าจึงใช้เวลาในการหุงต้มน้อยกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมือง

2. ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีปริมาณแร่ธาตุเกือบทุกตัวสูงมากกว่าข้าวนำเข้า

3. ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีร้อยละของความชื้น โปรตีน และไขมัน สูงกว่าข้าวนำเข้า ส่วนข้าวพันธุ์ Ex-Hohoe มีร้อยละของเถ้าและกากใยสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ

4. ส่วนข้าวพันธุ์ Jusmine 85 และ Ex-hohoe มีปริมาณน้ำตาลอมิโลสสูงที่สุดเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น ๆ

5. ข้าวพันธุ์ Ex-hohoe จะถูกจัดกลุ่มแยกออกไปจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองอื่น ๆ เนื่องจากมีปริมาณของแมงกานีส เถ้า กากใย และฟอสฟอรัส สูงกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองอื่น ๆ

Garcia et al. (2011) ศึกษาการประเมินค่าคุณภาพการหุงต้มของข้าวด้วยคุณลักษณะโครงสร้างพื้นฐาน (Texture) และลักษณะความเหนียวของข้าวนาสวน (Lowland rice) และข้าวนาไร่ (Upland rice) จำนวนอย่างละ 5 สายพันธุ์ของประเทศบราซิล ได้แก่

1. ข้าวนาไร่ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ BRS Primavera ข้าวพันธุ์ Pepita ข้าวพันธุ์ BRS Monarca ข้าวพันธุ์ BRS Sertaneja และข้าวพันธุ์ BRS MG Curringa

2. ข้าวนาสวน ได้แก่ ข้าวพันธุ์ BRA 01305 ข้าวพันธุ์ BRS Tropical ข้าวพันธุ์ BRS Alvorada ข้าวพันธุ์ IRGA 417 และข้าวพันธุ์ SCS BRS Piracema

ด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มโดยพิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. ตัวแปรแสดงการวิเคราะห์ประสาทสัมผัส (Sensory analysis) ได้แก่ คุณลักษณะโครงสร้างพื้นฐาน และลักษณะความเหนียว

2. ตัวแปรแสดงการทดสอบการหุงต้ม (Cooking test) ได้แก่ ปริมาณอมิโลส อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน และความหนืด

3. ตัวแปรแสดงการวิเคราะห์ความหนืดยิ่งยวด (Rapid visco analysis) ได้แก่ ค่าการคืนตัวของแป้ง และค่าเบรกดาวน์

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม ซึ่งมีวิธีการเชื่อมของวาร์ด (Ward's linkage) โดยพิจารณาจากตัวแปรทั้งหมดพบว่าสามารถทำการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวทั้ง 10 สายพันธุ์ได้

เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 เป็นข้าวนาไร่จำนวน 5 สายพันธุ์ และกลุ่มที่ 2 เป็นข้าวนาสวนจำนวน 5 สายพันธุ์

และเมื่อทำการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ประสาทสัมผัส ปริมาณอมิโลส อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน และการวิเคราะห์ความหนืดยิ่งยวด พบว่ามีข้าวที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมากที่สุดดังนี้

1. ข้าวพันธุ์ BRS Primavera และ BRS Sertaneja
2. ข้าวพันธุ์ Pepita ข้าวพันธุ์ SCS BRS Piracema และข้าวพันธุ์ BRA 01305
3. ข้าวพันธุ์ BRS Alvorada และข้าวพันธุ์ IRGA 417

นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นอีกว่า ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำเมื่อนำข้าวไปผ่านการหุงต้มจะส่งผลให้ข้าวมีลักษณะนุ่มและเหนียวกว่าข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูง ส่วนข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันสูงจะใช้น้ำในการหุงต้มและใช้ระยะเวลาในการหุงต้มที่มากกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันต่ำ ส่วนข้าวพันธุ์ใดที่มีค่าการคืนตัวของแป้งต่ำ จะมีปริมาณน้ำตาลอมิโลเพกทินสูงกว่าข้าวที่มีค่าการคืนตัวของแป้งสูง

Moukoumbi et al. (2011) ศึกษาและเปรียบเทียบความแปรผันของคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวนาสวนจำนวน 60 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มของประเทศแอฟริกาด้วยการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก และการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพ ที่ใช้ในการจำแนกข้าวแต่ละพันธุ์จำนวน 11 ลักษณะ ดังนี้

1. ความยาวใบ (Leaf length)
2. ความกว้างใบ (Leaf width)
3. ความสูงของต้นเมื่อออกรวง (Plant height at maturity)
4. ความสมบูรณ์ของดอกข้าว (Spikelet fertility)
5. การแตกระแง้ต่อรวงข้าวระยะแรก (Panicle primary branching)
6. การแตกระแง้ต่อรวงข้าวระยะที่สอง (Panicle secondary branching)
7. จำนวนกอทั้งหมดต่อต้น (Number of panicles per plant)
8. ความยาวเมล็ดเปลือกข้าว (Grain length)
9. ความหนาเมล็ดเปลือกข้าว (Grain thickness)
10. การออกรวง (Maturity)
11. การแตกกอวันที่ 60 (Tillering 60 DAS)

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก ในการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวนาสวน พบว่าควรจะเลือกใช้ส่วนประกอบหลักจำนวน 2 ส่วนประกอบซึ่งสามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้ร้อยละ 55.742 และเมื่อทำการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มซึ่งพิจารณาด้วยแผนภาพเดนโดแกรมพบว่าสามารถทำการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวทั้งหมดได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มข้าวนาสวนที่ปลูกได้ดีในที่ลุ่มของประเทศแอฟริกา โดยเป็นข้าวที่มีลักษณะใบสั้นและชิด ความสูงของต้นเมื่อออกรวงค่อนข้างสั้น ดอกข้าวสมบูรณ์ การแตกระแง้ต่อรวงข้าวระยะแรกค่อนข้างน้อย การแตกระแง้ต่อรวงข้าวระยะที่สองค่อนข้างมาก จำนวนกอทั้งหมดต่อต้นสูง เมล็ดข้าวยาว ออกรวงปานกลาง และเมื่อปลูกข้าวไป 60 วัน จะมีการแตกกอดี

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มข้าวนาสวนที่สามารถปลูกได้ดีทั้งในที่ดอนและที่ลุ่มของประเทศแอฟริกา โดยเป็นข้าวที่มีลักษณะใบยาวปานกลางและใหญ่ ความสูงของต้นเมื่อออกรวงปานกลาง ดอกข้าวสมบูรณ์ การแตกระแง้ต่อรวงข้าวระยะแรกปานกลาง การแตกระแง้ต่อรวงข้าวระยะที่สองค่อนข้างมาก จำนวนกอทั้งหมดต่อต้นสูง เมล็ดข้าวยาว ออกรวงปานกลาง และเมื่อปลูกข้าวไป 60 วัน จะมีการแตกกอปานกลาง

กลุ่มที่ 3 เป็นข้าวสายพันธุ์ที่มีคุณลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ต้นแบบแอฟริกัน ได้แก่ ข้าวพันธุ์ TOG5675 ข้าวพันธุ์ TOG5674 ข้าวพันธุ์ IG10 และ ข้าวพันธุ์ SHAWHONโดยเป็นข้าวที่มีลักษณะใบยาวและแคบ ความสูงของต้นเมื่อออกรวงสูง ดอกข้าวสมบูรณ์ การแตกระแง้ต่อรวงข้าวระยะแรกปานกลาง การแตกระแง้ต่อรวงข้าวระยะที่สองค่อนข้างสูงมาก จำนวนกอทั้งหมดต่อต้นสูง เมล็ดข้าวยาว ออกรวงปานกลาง และเมื่อปลูกข้าวไป 60 วัน จะมีการแตกกอปานกลาง

Tehrim, Pervaiz, Mirza, Rabbani and Masood (2012) ศึกษาประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรม และทำการจัดกลุ่มข้าวระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ทั้งหมดจำนวน 68 สายพันธุ์ของประเทศปากีสถานด้วยการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก และการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวของประเทศปากีสถาน โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวจำนวน 18 ลักษณะ ดังนี้

1. จำนวนวันออกดอก (Days to flowering)
2. จำนวนวันออกรวง (Days to maturity)
3. ความยาวใบ (Leaf length)
4. ความกว้างใบ (Leaf width)

5. พื้นที่ของใบ (Leaf area)

6. ความสูงของต้น (Plant height)

7. จำนวนกอทั้งหมดต่อต้น (Total tillers/plant)

8. ผลผลิตกอทั้งหมดต่อต้น (Productive tillers/plant)

9. ความยาวรวงข้าว (Panicle length)

10. การแตกระแง้ต่อรวงข้าว (Branches/panicle)

11. เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด (Seed setting % age)

12. ผลผลิตข้าวต่อต้น (Grain yield/plant)

13. ผลผลิตฟางต่อต้น (Straw yield/plant)

14. ดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvest index)

15. น้ำหนัก 100 เมล็ดข้าวเปลือก (100-grain weight)

16. ความยาวเมล็ดเปลือกข้าว (Grain length)

17. ความกว้างเมล็ดเปลือกข้าว (Grain breadth)

18. อัตราความยาวต่อความกว้างของเมล็ด (Grain length/ Grain breadth)

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก ในการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ พบว่าควรจะเลือกใช้ส่วนประกอบหลักจำนวน 3 ส่วนประกอบซึ่งสามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลได้ทั้งหมดร้อยละ 63.59 และเมื่อทำการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม โดยพิจารณาจากแผนภาพเดนโดแกรม พบว่าสามารถทำการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวทั้งหมดได้เป็น 8 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน12 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Basmati 370 (Pak) ข้าวพันธุ์ Basmati 370a (India) ข้าวพันธุ์ Basmati 370 b (Pak) ข้าวพันธุ์ Basmati 370c (India) ข้าวพันธุ์ Mahlar 346 (Pak) ข้าวพันธุ์ Dokri basmati (Pak) ข้าวพันธุ์ Palman suffaid (Pak) ข้าวพันธุ์ Kahmir basmati (Pak) ข้าวพันธุ์ Shaheen basmati (Pak) ข้าวพันธุ์ Kasalath (India) ข้าวพันธุ์ Deradhun basmati1 (N) และข้าวพันธุ์ Ranbir basmati (India)

กลุ่มที่ 2 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Muskhan (Pak) ข้าวพันธุ์ Jajai-77 (Pak) ข้าวพันธุ์ Basmati-370d (Pak) ข้าวพันธุ์ Rachna basmati (Pak) และข้าวพันธุ์ Basmati 217 (India)

กลุ่มที่ 3 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 31 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Sathra(Pak) ข้าวพันธุ์ Basmati c622 (Pak) ข้าวพันธุ์ Basmati 385 (Pak) ข้าวพันธุ์ Lateefy (Pak) ข้าวพันธุ์ Pusa basmati1(India) ข้าวพันธุ์ KS282 (Pak) ข้าวพันธุ์ PK386 (Pak)

ข้าวพันธุ์ Dr83 (Pak) ข้าวพันธุ์ Kangni (Pak) ข้าวพันธุ์ Torh (Pak) ข้าวพันธุ์ Sonahri kangni (Pak) ข้าวพันธุ์ IR8(Pak) ข้าวพันธุ์ IR6(Pak) ข้าวพันธุ์ Shua 92 (Pak) ข้าวพันธุ์ KSK-133 (Pak) ข้าวพันธุ์ Purple marker (Pak) ข้าวพันธุ์ Swat1 (Pak) ข้าวพันธุ์ Swat 2 (Pak) ข้าวพันธุ์ Azucena (phillip) ข้าวพันธุ์ Basmati 2000 (Pak) ข้าวพันธุ์ Khushboo-95 (Pak) ข้าวพันธุ์ Sada hayat (Pak) ข้าวพันธุ์ Pakhal (Pak) ข้าวพันธุ์ DR-92 (Pak) ข้าวพันธุ์ Dr-82 (Pak) ข้าวพันธุ์ Kharai ganga (Pak) ข้าวพันธุ์ IR36 (Phillip) ข้าวพันธุ์ Shadab (Pak) ข้าวพันธุ์ Shhandar (Pak) ข้าวพันธุ์ Shahkar (Pak) และข้าวพันธุ์ Sarshar (Pak)

กลุ่มที่ 4 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Pak23710 (Pak) ข้าวพันธุ์ JP5 (Pak) ข้าวพันธุ์ Kinmaze (J) ข้าวพันธุ์ Nipponbare (J) ข้าวพันธุ์ Dilrosh 97 (Pak) และข้าวพันธุ์ Fakhre malaknd (Pak)

กลุ่มที่ 5 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 1 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ NIAB-IR9 (Pak)

กลุ่มที่ 6 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Jhona 349 (Pak) ข้าวพันธุ์ Basmati pak (Pak) ข้าวพันธุ์ Basmati-198 (Pak) ข้าวพันธุ์ Super basmati (Pak) ข้าวพันธุ์ Kanwal-95 (Pak) ข้าวพันธุ์ Punjab basmati 1 (India) ข้าวพันธุ์ Mahak (Pak) และข้าวพันธุ์ Super basmati (India)

กลุ่มที่ 7 เป็นข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 1 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Deradhun basmati 2 (India)

กลุ่มที่ 8 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Sugdesi ratrera (Pak) ข้าวพันธุ์ Sonahri sugdesi (Pak) ข้าวพันธุ์ Sugdesi bengalo (Pak) และข้าวพันธุ์ Sugdesi sadagulab (Pak)

นอกจากนี้ยังสามารถทำการจัดกลุ่มข้าวทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 8 กลุ่ม ดังกล่าวนี้ออกได้เป็น 4 สายพันธุ์ คือ

สายพันธุ์ที่ 1 ประกอบด้วยข้าวทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์กลุ่มที่ 1 2 และ 3 โดยลักษณะของข้าวสายพันธุ์นี้จะมีความยาวรวงข้าวสูงที่สุด มีผลผลิตข้าวต่ำสุด ผลผลิตฟางและดัชนีการเก็บเกี่ยวปานกลาง เมล็ดข้าวยาว อัตราความยาวต่อความกว้างของเมล็ดค่อนข้างสูง และออกดอกและออกรวงช้า

สายพันธุ์ที่ 2 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์กลุ่มที่ 4 โดยลักษณะของข้าวสายพันธุ์นี้จะมีวันออกดอกและวันออกรวงสั้นที่สุด ความสูงของต้นเตี้ยที่สุด ดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงที่สุด เมล็ดข้าวหนาและสั้น และความยาวรวงสั้นที่สุด

สายพันธุ์ที่ 3 ประกอบด้วยข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์กลุ่มที่ 5 และ 6

โดยลักษณะของข้าวสายพันธุ์นี้จะมีใบเล็กที่สุด ผลผลิตกอต่อต้นสูงที่สุด ผลผลิตข้าวสูงที่สุด และเมล็ดข้าวยาวที่สุด

สายพันธุ์ที่ 4 ประกอบด้วยข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์กลุ่มที่ 7 และ 8 โดยลักษณะของข้าวสายพันธุ์นี้จะมีวันออกดอกและวันออกรวงมากที่สุด ความยาวรวงข้าวสั้น ผลผลิตข้าวต่อต้นและดัชนีการเก็บเกี่ยวต่ำที่สุด

นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นอีกว่าคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวที่แตกต่างกันไม่ได้ขึ้นอยู่กับสถานที่ปลูกข้าว แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว ส่วนคุณภาพในการรับประทานพบว่าเมล็ดข้าวที่ปรากฏและปริมาณสารอาหาร สามารถปรับปรุงได้โดยการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของคุณลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ และความแปรผันของฟีโนไทป์ (Phenotype)

Da Silva et al. (2013) ศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ของประเทศบราซิลระหว่างข้าวกล้อง (Brown rice) ข้าวนึ่ง (Parboiled rice) และข้าวขาว (White rice) โดยทำการกำหนดและประเมินค่าส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าว เพื่อจัดกลุ่มข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ทั้งหมดจำนวน 19 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นข้าวกล้องจำนวน 6 สายพันธุ์ ด้วยการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก และการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม ข้าวนึ่งจำนวน 7 สายพันธุ์ และข้าวขาวจำนวน 6 สายพันธุ์ โดยพิจารณาจากแร่ธาตุทั้งหมดจำนวน 9 ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และสตรอนเทียม

สำหรับการกำหนดแร่ธาตุต่าง ๆ ในเมล็ดข้าวจะใช้เครื่อง ICP-OES ซึ่งความถูกต้องของข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องนี้สามารถยืนยันได้จากเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับแป้งข้าวเจ้าของสถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Institute of Standard and Technology) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก ควรจะเลือกใช้ส่วนประกอบหลักจำนวน 2 ส่วนประกอบ ซึ่งสามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 88.9 และเมื่อทำการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มด้วยการเชื่อมของวาร์ดพบว่า

1. สามารถจัดกลุ่มข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ของประเทศบราซิลได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มข้าวกล้อง กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มข้าวนึ่ง และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มข้าวขาว

2. ข้าวกล้องเป็นข้าวที่อุดมไปด้วยแร่ธาตุมากกว่าข้าวนึ่งและข้าวขาว

3. ข้าวนึ่งมีปริมาณของเหล็ก แมกนีเซียม สตรอนเตรียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัสสูงมากกว่าข้าวขาว

4. ข้าวขาวมีปริมาณของแคลเซียม โซเดียม สังกะสี และแมงกานีส สูงมากกว่าข้าวนึ่ง

5. สามารถแบ่งกลุ่มข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ทั้ง 19 สายพันธุ์นี้ให้ละเอียดได้อีกโดยแบ่งเป็นข้าวดิบและข้าวที่ผ่านการหุงต้ม

6. ข้าวขาวดิบและข้าวที่ผ่านการหุงต้มมีปริมาณแร่ธาตุแตกต่างกัน

7. ข้าวเมื่อนำไปผ่านการหุงต้มจะมีปริมาณแร่ธาตุที่ลดลงมากกว่าข้าวดิบ

Govarethinam (2014) ศึกษาการกำหนดและเปรียบเทียบความเข้มข้นของแร่ธาตุทั้งหมดจำนวน 8 ธาตุ ได้แก่ โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมงกานีส เหล็ก ทองแดง และสังกะสีด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม และการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และการทดสอบที (T-test) โดยทำการกำหนดแร่ธาตุด้วยใช้เครื่อง ICP-MS ซึ่งศึกษาจากข้าวขาว และข้าวกล้องทั้งหมดจำนวน 8 สายพันธุ์ ของประเทศมาเลเซีย ดังนี้

1. ข้าวกล้องจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์BRA ข้าวพันธุ์BRB และข้าวพันธุ์BRC

2. ข้าวขาวจำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์WRA ข้าวพันธุ์WRB ข้าวพันธุ์WRC ข้าวพันธุ์WRD และ ข้าวพันธุ์WRE

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มด้วยการเชื่อมของวาร์ดพบว่าสามารถทำการจัดกลุ่มข้าวได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นข้าวกล้องจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์BRA ข้าวพันธุ์BRB และข้าวพันธุ์BRC

กลุ่มที่ 2 เป็นข้าวขาวจำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์WRA ข้าวพันธุ์WRB ข้าวพันธุ์WRC ข้าวพันธุ์WRD และข้าวพันธุ์WRE

และเมื่อใช้การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักโดยพิจารณาจากแผนภาพคะแนน (Score plot) และแผนภาพไบพลอต (Biplot) พบว่าควรจะเลือกใช้ส่วนประกอบหลักจำนวน 2 ส่วนประกอบ ซึ่งสามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 87.31 ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าสามารถทำการจัดกลุ่มข้าวของประเทศมาเลเซียได้เป็น 2 กลุ่มซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน และการทดสอบที พบว่าข้าวกล้องและข้าวขาวมีปริมาณแร่ธาตุแตกต่างกัน โดยข้าวกล้องจะมีปริมาณของโซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมงกานีส เหล็ก ทองแดง และสังกะสี มากกว่าข้าวขาว เนื่องจากข้าวกล้องเป็นข้าวที่ยังไม่ผ่านการขัดเอาผิวชั้นนอกของเมล็ดข้าวออก จึงทำให้ข้าวกล้องมีปริมาณแร่ธาตุสูงกว่าข้าวขาว ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าเมื่อนำข้าวไปผ่านกระบวนการขัดสีแล้วจะทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าว

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของข้าวไทยด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปรมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม (Cluster analysis)

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มเป็นเทคนิคที่ใช้ในการจัดกลุ่มวัตถุ หรือตัวแปรที่ไม่ทราบมาก่อนว่าควรจัดวัตถุ หรือตัวแปรออกเป็นกี่กลุ่ม โดยในการจัดกลุ่มวัตถุ หรือตัวแปรจะพิจารณาจากความคล้าย (Similarity) หรือความต่าง (Dissimilarity) หรือระยะทาง (Distance) ซึ่งวัตถุหรือตัวแปรที่มีความคล้ายกันมากจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ส่วนวัตถุหรือตัวแปรที่มีความต่างกันมากจะถูกจัดให้อยู่คนละกลุ่ม

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1. การแบ่งกลุ่มของวัตถุ (Cluster of objects) เป็นการจัดค่าสังเกตที่มีลักษณะคล้ายกันไว้ให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยที่ไม่ทราบว่ามีวัตถุอยู่ทั้งหมดกี่กลุ่ม

2. การแบ่งกลุ่มของตัวแปร (Cluster of variables) เป็นการจัดตัวแปรที่มีลักษณะคล้ายกันหรือใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

3. การแบ่งกลุ่ม K-Mean (Cluster K-mean) เป็นการจัดค่าสังเกตหรือตัวแปรที่มีลักษณะคล้ายกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน โดยวิธีการแบ่งกลุ่มแบบนี้จะใช้ได้ดีเมื่อทราบมาอย่างคร่าว ๆ แล้วว่าจะจัดข้อมูลทั้งหมดออกเป็นกี่กลุ่ม ซึ่งการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มนี้จะเป็นการรวมวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรให้ไปอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง โดยเลือกกลุ่มที่วัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปร นั้นมีระยะทางจากค่ากลางของกลุ่มน้อยที่สุด แล้วคำนวณค่ากลางของกลุ่มใหม่ และจะทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งค่ากลางของกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลง หรือครบจำนวนรอบตามที่กำหนดไว้

ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม มีดังนี้

1. วิธีเชิงลำดับชั้น (Hierarchical method)

วิธีเชิงลำดับชั้นเป็นการจัดกลุ่มแบบเป็นขั้นตอน โดยเมื่อนำวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรใดไว้ในกลุ่มใดแล้ว จะไม่มีการย้ายวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรนั้นไปไว้กลุ่มอื่น ๆ อีก ซึ่งพิจารณาได้จากวิธี 2 วิธี ดังนี้

1.1 การรวมกลุ่ม (Agglomeration) เป็นการพิจารณาโดยเริ่มต้นจากการที่มีวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรที่แตกต่างกันทั้งหมด จากนั้นจึงค่อย ๆ ทำการรวมกลุ่มวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรที่มีลักษณะคล้ายกันให้อยู่กลุ่มเดียวกันจนกระทั่งถึงขั้นตอนสุดท้ายที่สามารถรวมกลุ่มวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรให้เหลืออยู่เพียงหนึ่งกลุ่ม

1.2 การแบ่งกลุ่ม (Division) เป็นการพิจารณาโดยเริ่มต้นจากการที่มีวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรทุกตัวอยู่ในกลุ่มเดียวกันทั้งหมดจากนั้นจึงค่อย ๆ แยกวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรออกเป็น 2 กลุ่ม จนกระทั่งถึงขั้นตอนสุดท้ายที่สามารถจัดกลุ่มวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรจนได้จำนวนกลุ่มทั้งหมดเท่ากับจำนวนวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรที่มีอยู่ตั้งแต่ตอนเริ่มต้น

2. วิธีไม่เชิงลำดับชั้น (Nonhierarchical method)

วิธีไม่เชิงลำดับชั้น เป็นการจัดกลุ่มที่มีการรวมกลุ่ม และแบ่งกลุ่มของวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรอยู่ตลอดเวลา ซึ่งพิจารณาจากศูนย์กลางกลุ่มของวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรที่เป็นค่าสังเกตใหม่ที่มีลักษณะคล้ายกันก็สามารถจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ จากนั้นจะคำนวณหาค่าศูนย์กลางของกลุ่มใหม่ แล้วทำการจัดวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรที่มีลักษณะคล้ายกันเข้าไปในกลุ่มต่อไป

การวัดระยะทาง (Distance measures)

การวัดระยะทางเป็นการคำนวณหาระยะทางหรือความคล้ายระหว่างวัตถุ 2 วัตถุใด ๆ โดยกำหนดให้ระยะทางระหว่างวัตถุ $\mathbf{X}_i$ และ $\mathbf{X}_j$ มีค่าเป็น d_{ij} ซึ่งสามารถคำนวณระยะทางระหว่างวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรได้ 5 วิธี (กิดาการ สายธนู, 2555) ดังนี้

1. ระยะทางยุคลิด (Euclidean distance) คำนวณได้จาก

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_j (\mathbf{X}_{ik} - \mathbf{X}_{jk})^2}$$

2. ระยะทางแมนฮัททัน (Manhathan distance) คำนวณได้จาก

$$d_{ij} = \sum_j | \mathbf{X}_{ik} - \mathbf{X}_{jk} |$$

3. ระยะทางเพียร์สัน (Peason distance) คำนวณได้จาก

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_k (\mathbf{X}_{ik} - \mathbf{X}_{jk})^2}{V(k)}}$$

โดยที่ $V(k)$ คือความแปรปรวนของวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรที่ k

4. ระยะทางกำลังสองของยุคลิด (Square euclidean distance) คำนวณได้จาก

$$d_{ij} = \sum_{j} (\mathbf{X}_{ik} - \mathbf{X}_{jk})^2$$

5. ระยะทางกำลังสองของเพียร์สัน (Square peason distance) คำนวณได้จาก

$$d_{ij} = \frac{\sum_{k} (\mathbf{X}_{ik} - \mathbf{X}_{jk})^2}{V(k)}$$

โดยที่ $V(k)$ คือความแปรปรวนของวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรที่ k

สำหรับวิธีการเชื่อม (Linkage method) ระหว่างวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรใด ๆ แบ่งออกได้เป็น 5 วิธีดังนี้

1. การเชื่อมเชิงเดียว (Single linkage) เป็นการรวมกลุ่มวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรเข้าไว้ด้วยกัน โดยพิจารณาจากความคล้ายกันมากที่สุด หรือมีความต่างกันระหว่างวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรน้อยที่สุด

2. การเชื่อมบริบูรณ์ (Complete linkage) เป็นการรวมกลุ่มวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรเข้าไว้ด้วยกัน โดยพิจารณาจากความคล้ายกันน้อยที่สุด หรือมีความต่างกันระหว่างวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรมากที่สุด

3. การเชื่อมเฉลี่ย (Average linkage) เป็นการรวมกลุ่มวัตถุ สิ่งของหรือตัวแปรเข้าไว้ด้วยกัน โดยพิจารณาจากการหาค่าเฉลี่ยของระยะทางระหว่างวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรต่าง ๆ

4. การเชื่อมมัธยฐาน (Median linkage) เป็นการรวมกลุ่มวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปร โดยพิจารณาใช้มัธยฐานเป็นค่ากลางของกลุ่ม จึงทำให้ทุกกลุ่มมีน้ำหนักหรือความสำคัญเท่ากันไม่ว่ากลุ่มนั้นจะมีขนาดใหญ่หรือเล็ก

5. การเชื่อมของวาร์ด (Ward's linkage) เป็นการเชื่อมที่พิจารณาให้มีระยะทางผลรวมกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนระหว่างระยะทางจากวัตถุ สิ่งของ หรือตัวแปรไปที่ค่าเฉลี่ย (Centroid หรือ Mean) ของกลุ่มนั้น จึงเป็นการพิจารณาการรวมกลุ่มที่ทำให้ผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสองของกลุ่มใหม่มีค่าต่ำสุด

การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal component analysis)

การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก เป็นการสร้างตัวแปรใหม่ให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นของตัวแปรเดิมจำนวน p ตัว $(X_1, X_2, ..., X_p)$ หรืออาจกล่าวว่าให้อยู่ในรูปของส่วนประกอบหลักที่ i (i th Principal component: PC_i) หรือใน ซึ่งสมการที่ได้นี้ยังคงมีข้อมูลของตัวแปรเดิมอยู่ทั้งหมด และจำนวนของตัวแปรใหม่ที่ได้จะต้องมีค่าน้อยกว่าจำนวนตัวแปรเดิม ($i = 1, 2, ..., p$) แนวคิดของการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักอยู่บนพื้นฐานการพิจารณาความแปรปรวนของข้อมูล หากความแปรปรวนของส่วนประกอบหลักใดมีค่าน้อยมากแล้วจะสามารถตัดส่วนประกอบหลักนั้นทิ้งไปได้

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก มีดังนี้

1. แปลงค่าของตัวแปร $X_1, X_2, ..., X_p$ ให้เป็นค่ามาตรฐาน (Standardized) $Z_1, Z_2, ..., Z_p$ หรือคำนวณค่าเมทริกซ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่าง R ในการประมาณค่าเมทริกซ์สหสัมพันธ์ของประชากร ρ ที่ไม่ทราบค่า เพื่อแก้ปัญหาเรื่องหน่วยของข้อมูลที่แตกต่างกัน

2. หาค่าเฉพาะ (Eigenvalue: $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_p$) และเวกเตอร์เฉพาะ (Eigenvector: $a_1, a_2, ..., a_p$ ที่สอดคล้องกัน โดยที่ λ_i เป็นความแปรปรวนของส่วนประกอบหลัก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าเฉพาะของสหสัมพันธ์ของประชากร ρ โดยที่ $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq ... \geq \lambda_p \geq 0$ และ a_i เป็นสัมประสิทธิ์ของส่วนประกอบหลัก ซึ่งใช้ในการคำนวณจากเวกเตอร์เฉพาะของสหสัมพันธ์ของประชากร ρ

3. สร้างส่วนประกอบหลักที่ i หรือ PC_i ได้จาก

$$PC_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + ... + a_{ip}X_p$$

โดยที่ส่วนประกอบหลักที่ 1 นี้จะมีค่าความแปรผันมากที่สุด
$\left(Var(PC_1) \geq Var(PC_2) \geq ... \geq Var(PC_p)\right)$

สำหรับสัดส่วนความแปรผันของส่วนประกอบที่ i คำนวณได้จาก

$$\frac{\text{ค่าเฉพาะที่ } i}{\text{ผลรวมของค่าเฉพาะทั้งหมด}} = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + ... + \lambda_p}$$

4. เลือกจำนวนส่วนประกอบหลักที่เหมาะสมซึ่งมีหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา 2 แบบ คือ

4.1 การใช้กราฟสกรีพลอต (Scree plot)

สกรีพลอต เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉพาะที่ i (λ_i) และจำนวนส่วนประกอบหลักที่ i $(i = 1, 2, ..., p)$ โดยจะพิจารณาเลือกจำนวนส่วนประกอบหลักที่เหมาะสมได้จากส่วนประกอบหลักที่อยู่ตรงโค้งที่มีการหักศอกของกราฟ

4.2 การใช้ค่าเฉพาะ

พิจารณาเลือกจำนวนส่วนประกอบหลักที่เหมาะสมได้จากค่าเฉพาะที่มีค่ามากกว่า 1 หรือมีค่าใกล้เคียงกับ 1

5. คำนวณคะแนนของส่วนประกอบหลักที่ i (Principal component score) ใด ๆ เมื่อทราบลักษณะหรือตัวแปรของค่าสังเกตได้จาก

$$\text{คะแนนของ } PC_i = a_{i1}\left(\frac{X_1 - \mu_1}{\sigma_{11}}\right) + a_{i2}\left(\frac{X_2 - \mu_2}{\sigma_{22}}\right) + ... + a_{ip}\left(\frac{X_p - \mu_p}{\sigma_{pp}}\right)$$
$$= a_{i1}Z_1 + a_{i2}Z_2 + ... + a_{ip}Z_p$$

หากไม่ทราบค่า μ_i และ σ_{ii} จะประมาณค่าได้ด้วย $\bar{X}_i$ และ s_{ii} ตามลำดับดังนี้

$$\text{คะแนนของ } PC_i = a_{i1}\left(\frac{X_1 - \bar{X}_1}{s_{11}}\right) + a_{i2}\left(\frac{X_2 - \bar{X}_2}{s_{22}}\right) + ... + a_{ip}\left(\frac{X_p - \bar{X}_p}{s_{pp}}\right)$$
$$= a_{i1}z_1 + a_{i2}z_2 + ... + a_{ip}z_p$$

โดยที่ μ_i คือค่าเฉลี่ยประชากรของตัวแปรที่ i

σ_{ii} คือความแปรปรวนประชากรของตัวแปรที่ i

$\bar{X}_i$ คือค่าเฉลี่ยตัวอย่างของตัวแปรที่ i

s_{ii} คือความแปรปรวนตัวอย่างของตัวแปรที่ i

สำหรับการประยุกต์คะแนนของส่วนประกอบหลักนั้นสามารถนำไปใช้กับแผนภาพคะแนน (Score plot) ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบหลักที่ i และส่วนประกอบหลักที่ j ได้โดยที่ $i \neq j$; $i, j = 1, 2, ..., p$

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรสำหรับประชากรสองกลุ่ม (Comparisons of multivariate means for two populations)

ในการเปรียบเทียบผลต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไประหว่างประชากรสองกลุ่มนั้นมีสมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$H_0 : \boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2 = 0$$

$$H_1 : \boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2 \neq 0$$

โดยพิจารณาได้ 2 กรณี (กิดาการ สายธนู, 2555) ดังนี้

1. เมื่อประชากรทั้งสองกลุ่มมีเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวระหว่างตัวแปรเท่ากัน $(\boldsymbol{\Sigma}_1 = \boldsymbol{\Sigma}_2)$ ภายใต้ H_0 เป็นจริง จะได้สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือโฮเทลลิงทีสแควร์ (Hotelling T square: T^2) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$T^2 = \left[\left(\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2\right) - \left(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2\right)\right]' \left[\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)\mathbf{S}_{pooled}\right]^{-1} \left[\left(\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2\right) - \left(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2\right)\right]$$

2. เมื่อประชากรทั้งสองกลุ่มมีความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวระหว่างตัวแปรไม่เท่ากัน $(\boldsymbol{\Sigma}_1 \neq \boldsymbol{\Sigma}_2)$ ภายใต้ H_0 เป็นจริง จะได้สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือโฮเทลลิงทีสแควร์ (Hotelling T square: T^2) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$T^2 = \left[\left(\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2\right) - \left(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2\right)\right]' \left[\frac{1}{n_1}\mathbf{S}_1 + \frac{1}{n_2}\mathbf{S}_2\right]^{-1} \left[\left(\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2\right) - \left(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2\right)\right]$$

เมื่อ n_1 คือ จำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ 1

n_2 คือ จำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ 2

$\boldsymbol{\mu}_1$ คือ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยประชากรกลุ่มที่ 1

$\boldsymbol{\mu}_2$ คือ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยประชากรกลุ่มที่ 2

$\bar{\mathbf{x}}_1$ คือ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ซึ่ง $\bar{\mathbf{x}}_1 = \frac{1}{n_1}\sum_{j=1}^{n_1}\mathbf{x}_{1j}$

$\bar{\mathbf{x}}_2$ คือ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ซึ่ง $\bar{\mathbf{x}}_2 = \frac{1}{n_2}\sum_{j=1}^{n_2}\mathbf{x}_{2j}$

$\mathbf{S}_{pooled}$ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวทั้งหมด

ซึ่ง $\mathbf{S}_{pooled} = \frac{(n_1 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}\mathbf{S}_1 + \frac{(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}\mathbf{S}_2$

$\mathbf{S}_1$ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวอย่างกลุ่มที่ 1

ซึ่ง $\mathbf{S}_1 = \frac{1}{n_1 - 1}\sum_{j=1}^{n_1}\left(\mathbf{x}_{1j} - \bar{\mathbf{x}}_1\right)\left(\mathbf{x}_{1j} - \bar{\mathbf{x}}_1\right)'$

$\mathbf{S}_2$ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวอย่างกลุ่มที่ 2

ซึ่ง $\mathbf{S}_2 = \frac{1}{n_2 - 1}\sum_{j=1}^{n_1}\left(\mathbf{x}_{2j} - \bar{\mathbf{x}}_2\right)\left(\mathbf{x}_{2j} - \bar{\mathbf{x}}_2\right)'$

โดยจะตัดสินใจปฏิเสธ H_0 เมื่อ $T^2 > \frac{\left(n_1 + n_2 - 2\right)p}{\left(n_1 + n_2 - p - 1\right)}F_{1-\alpha;(p,n_1+n_2-p-1)}$

ซึ่ง F เป็นการแจกแจงเอฟที่มีองศาเสรีเป็น p และ $n_1 + n_2 - p - 1$ และ α เป็นระดับนัยสำคัญ

ถ้า $n_1 - p$ และ $n_2 - p$ มีขนาดใหญ่ จะตัดสินใจปฏิเสธ H_0 เมื่อ $T^2 > \chi^2_{1-\alpha;p}$ ซึ่ง χ^2 เป็นการแจกแจงไคกำลังสองที่มีองศาเสรีเป็น p และ α เป็นระดับนัยสำคัญ

สำหรับการทดสอบความเท่ากันของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวระหว่างประชากร k กลุ่มนั้นมีสมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ

$H_0 : \mathbf{\Sigma}_1 = \mathbf{\Sigma}_2 = ...\mathbf{\Sigma}_k$

H_0 : มี $\mathbf{\Sigma}_l$ อย่างน้อย 1 กลุ่มที่มีค่าไม่เท่ากับกลุ่มอื่น

โดยที่ $\mathbf{\Sigma}_i$ เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของประชากรกลุ่มที่ i ภายใต้ H_0 เป็นจริง จะได้การทดสอบของบ็อกซ์เอ็ม (Box's M test) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$M = \frac{\left|\mathbf{S}_1\right|^{\frac{n_1-1}{2}}\left|\mathbf{S}_2\right|^{\frac{n_2-1}{2}}...\left|\mathbf{S}_k\right|^{\frac{n_k-1}{2}}}{\left|\mathbf{S}_p\right|^{\frac{n_1+n_2+...+n_k-k}{2}}}$$

หรือ

$$\ln\left(M\right) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k}\left(n_i - 1\right)\ln\left|\mathbf{S}_i\right| - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k}\left(n_i - k\right)\ln\left|\mathbf{S}_p\right|$$

เมื่อ k เป็นจำนวนกลุ่มประชากร

n_i เป็นจำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ i

$\left|\mathbf{S}_i\right|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวอย่างกลุ่มที่ i

$|S_p|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวทั้งหมด

ส่วนสถิติที่ใช้ในการประเมินค่าคือ สถิติไคกำลังสอง (χ^2) สามารถคำนวณได้จาก

$$\chi^2 = -2(1-c_1)\ln(M)$$

โดยจะตัดสินใจปฏิเสธ H_0 เมื่อ $\chi^2 > \chi^2_{1-\alpha;a_1}$

โดยที่ $c_1 = \dfrac{(k+1)(2p^2+3p-1)}{6k(N-k)(p+1)}$ และองศาเสรี $a_1 = \dfrac{1}{2}(k-1)\,p(p+1)$

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรสำหรับประชากรหลายกลุ่ม (Comparisons of multivariate means for several populations)

ในการเปรียบเทียบความเท่ากันระหว่างผลต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไป สำหรับประชากรมากกว่าสองกลุ่ม นั้นมีสมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ

$H_0 : \boldsymbol{\tau}_1 = \boldsymbol{\tau}_2 = ... = \boldsymbol{\tau}_g = 0$

H_1 : มี $\boldsymbol{\tau}_l$ อย่างน้อย 1 กลุ่ม $(l = 1,2,...,g)$ ที่มีค่าไม่เท่ากับกลุ่มอื่น

ซึ่งพิจารณาได้จากตัวแบบ

$$\mathbf{X}_{lj} = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\tau}_l + \mathbf{e}_{lj} \; ; j = 1,2,...,n_l \text{ และ } l = 1,2,...,g$$

โดยที่ $\boldsymbol{\mu}$ เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยรวม

$\boldsymbol{\tau}_l$ เป็นเวกเตอร์แสดงผลเนื่องมาจากทรีทเมนต์ของประชากรกลุ่มที่ l

$\mathbf{e}_{lj}$ เป็นเวกเตอร์แสดงผลเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนสุ่มของประชากรกลุ่มที่ l และเป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระกันโดยมีการแจกแจงแบบ $N_p(\mathbf{0},\boldsymbol{\Sigma})$

ซึ่งเวกเตอร์ $\mathbf{x}_{lj}$ สามารถเขียนแยกส่วนประกอบได้เป็น

$$\mathbf{x}_{lj} = \bar{\mathbf{x}} + (\bar{\mathbf{x}}_l - \bar{\mathbf{x}}) + (\mathbf{x}_{lj} - \bar{\mathbf{x}}_l)$$

โดยที่ $\bar{\mathbf{x}}$ เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยรวมซึ่งเป็นค่าประมาณของ $\boldsymbol{\mu}$

$\bar{\mathbf{x}}_l$ เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยขอกลุ่มตัวอย่างที่ l

$\bar{\mathbf{x}}_l - \bar{\mathbf{x}}$ เป็นค่าประมาณของ $\boldsymbol{\tau}_l$

$\mathbf{x}_{lj} - \bar{\mathbf{x}}_l$ เป็นเวกเตอร์ส่วนเหลือ ซึ่งเป็นค่าประมาณของ $\mathbf{e}_{lj}$

ภายใต้ H_0 เป็นจริง จะได้สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือสถิติวิลค์แลมป์ดา (Wilk's lambda: $\boldsymbol{\Lambda}^*$) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\boldsymbol{\Lambda}^* = \frac{|\mathbf{W}|}{|\mathbf{B}+\mathbf{W}|}$$

เมื่อ p คือ จำนวนตัวแปร

g คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

$\mathbf{W}$ คือ เมทริกซ์ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Within or Error Sum Square Matrix) ซึ่ง $\mathbf{W} = \sum_{l=1}^{g}\sum_{j=1}^{n_l}\left(\mathbf{x}_{lj} - \bar{\mathbf{x}}_l\right)\left(\mathbf{x}_{lj} - \bar{\mathbf{x}}_l\right)'$ หรือ $\mathbf{W} = \sum_{l=1}^{g}\left(n_l - 1\right)\mathbf{S}_l$ เมื่อ S_l คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวอย่างกลุ่มที่ l

$\mathbf{B}$ คือ เมทริกซ์ผลรวมกำลังสองของสมมุติฐาน (Between or Hypothesis Sum Square Matrix) ซึ่ง $\mathbf{B} = \sum_{l=1}^{g} n_l\left(\bar{\mathbf{x}}_l - \bar{\mathbf{x}}\right)\left(\bar{\mathbf{x}}_l - \bar{\mathbf{x}}\right)'$ เมื่อ n_l คือ จำนวนตัวอย่างในกลุ่มที่ l

โดยจะตัดสินใจปฏิเสธ H_0 เมื่อ $\left(\frac{\sum n_i - p - 2}{p}\right)\left(\frac{1-\sqrt{\Lambda^*}}{\sqrt{\Lambda^*}}\right) > F_{1-\alpha;\left(2p,2\left(\sum n_l - p - 2\right)\right)}$

ซึ่ง F เป็นการแจกแจงเอฟที่มีองศาเสรีเป็น $2p$ และ $2\left(\sum n_l - p - 2\right)$และ

α เป็นระดับนัยสำคัญ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของข้าวไทยด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปร โดยพิจารณาจากข้อมูลที่แสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และส่วนประกอบแร่ธาตุ ของพันธุ์ข้าวไทยทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งมีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลข้าวไทยซึ่งเก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวไทยจากสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ดังนี้

1. ศึกษาข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ข้าวพันธุ์นางพญา 132 ข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี ข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานี และข้าวพันธุ์สังข์หยด

และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 9 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์กข15 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 ข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 โดยพิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1.1 ตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics) ได้แก่

1.1.1 ความยาวเมล็ดเปลือกข้าว (Grain length) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

1.1.2 ความกว้างเมล็ดเปลือกข้าว (Grain breadth) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

1.1.3 ความหนาเมล็ดเปลือกข้าว (Grain thickness) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

1.1.4 ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice length) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

1.1.5 ความกว้างเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice breadth) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

1.1.6 ความหนาเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice thickness) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

1.1.7 รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice shape)

1.1.8 การเป็นท้องไข่ (Chalky grain)

1.1.9 น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก (1000-grain weight) มีหน่วยเป็นกรัม (g)

1.1.10 สีข้าวกล้อง (Brown rice color)

1.1.11 สีเปลือกเมล็ด (Hull color)

1.2 ตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) ได้แก่

1.2.1 ปริมาณอมิโลส (Amylose content) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

1.2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

1.2.3 ค่าการสลายเมล็ดในด่าง (Alkali)

1.2.4 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (Elongation ratio) มีหน่วยเป็นเท่า (time)

1.2.5 อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (Parting temperature: PT) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

1.2.6 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization temperature: GT) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

1.2.7 ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity: PV) มีหน่วยเป็นบราเบนเดอร์ ยูนิต (B.U.)

1.2.8 ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}C$ (Final viscosity at 95 $^{\circ}C$: F95 $^{\circ}C$) มีหน่วยเป็นบราเบนเดอร์ ยูนิต (B.U.)

1.2.9 ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}C$ (Final viscosity at 50 $^{\circ}C$: F50 $^{\circ}C$) มีหน่วยเป็นบราเบนเดอร์ ยูนิต (B.U.)

1.2.10 ค่าการคืนตัวของแป้ง (Set back: SB) มีหน่วยเป็นบราเบนเดอร์ ยูนิต (B.U.)

1.2.11 ค่าความคงตัวของแป้ง (Consistency: CC) มีหน่วยเป็นบราเบนเดอร์ ยูนิต (B.U.)

1.2.12 ค่าเบรกดาวน์ (Break down: BD) มีหน่วยเป็นบราเบนเดอร์ ยูนิต (B.U.)

1.3 ตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ได้แก่

1.3.1 พลังงาน (Energy) มีหน่วยเป็นกิโลแคล (Kcal)

1.3.2 ความชื้น (Moisture) มีหน่วยเป็นกรัมต่อร้อยกรัม ($g/100g$)

1.3.3 โปรตีน (Protein) มีหน่วยเป็นกรัมต่อร้อยกรัม ($g/100g$)

1.3.4 ไขมัน (Fat) มีหน่วยเป็นกรัมต่อร้อยกรัม ($g/100g$)

1.3.5 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) มีหน่วยเป็นกรัมต่อร้อยกรัม ($g/100g$)

1.3.6 แป้ง (Starch) มีหน่วยเป็นกรัมต่อร้อยกรัม ($g/100g$)

1.3.7 เส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) มีหน่วยเป็นกรัมต่อร้อยกรัม ($g/100g$)

1.3.8 กากใย (Crude fiber) มีหน่วยเป็นกรัมต่อร้อยกรัม ($g/100g$)

1.3.9 เถ้า (Ash) มีหน่วยเป็นกรัมต่อร้อยกรัม ($g/100g$)

2. ศึกษาข้าวกล้องงอกจากพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อ-ไม้ไผ่ ข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด และข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอ

และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ข้าวพันธุ์กข31 และข้าวพันธุ์กข6 โดยพิจารณาจากตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ (Mineral composition) ดังนี้

1. แคลเซียม (Calcium) มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อกรัม ($\mu g/g$)

2. เหล็ก (Iron) มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อกรัม ($\mu g/g$)

3. สังกะสี (Zinc) มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อกรัม ($\mu g/g$)

4. วิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล (Vitamin E alpha-tocopherol) มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อร้อยกรัม ($\mu g/100g$)

5. วิตามินอี แกมมาโทโคฟีรอล (Vitamin E gamma-tocopherol) มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อร้อยกรัม ($\mu g/100g$)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาการกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของข้าวไทยด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปร โดยใช้โปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 17 (MINITAB Version 17) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. ศึกษาจากตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ ตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมี และตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมี ด้วย

1.1 การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-square test) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสีข้าวกล้อง และสีเปลือกเมล็ด ซึ่งเป็นตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพกับตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมี ตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมี และตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพที่เหลือ

1.2 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) คือ ค่าเฉลี่ย (Average) ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error: SE) และสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of variation: CV)

เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

1.3 การทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

1.4 การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม (Cluster analysis) และการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal component analysis) เพื่อจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

1.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรสำหรับประชากรหลายกลุ่ม (Comparisons of multivariate means for several populations) โดยใช้สถิติวิลค์แลมป์ดา เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม (Fragrant rice) และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง

2. ศึกษาจากตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ ด้วย

2.1 สถิติเชิงพรรณนา คือ ค่าเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์การแปรผัน พร้อมทั้งสร้างแผนภาพกล่อง (Box-plot) เพื่อศึกษาการกระจายของข้อมูลส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

2.2 การทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สัน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

2.3 การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม และการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก เพื่อจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

2.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรสำหรับประชากรสองกลุ่ม (Comparisons of multivariate means for two populations) โดยใช้สถิติโฮเทลลิงทีสแควร์ เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของข้าวไทยด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปร โดยพิจารณาจากข้อมูลที่แสดงคุณลักษณะชิงพาณิชย์ทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และส่วนประกอบแร่ธาตุ ของพันธุ์ข้าวไทยทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการศึกษาจากตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งพิจารณาได้จาก

1.1 ผลการทดสอบไคกำลังสอง

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสีข้าวกล้อง และสีเปลือกเมล็ด ซึ่งเป็นตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพกับตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมี ตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมี และตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพที่เหลือ พบว่าสีข้าวกล้อง และสีเปลือกเมล็ดไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรใด ๆ เลย ซึ่งจะเห็นได้จากค่าพี (P-value) ทุกตัวที่แสดงในตารางที่ 4-1 มีค่ามากกว่า 0.05 (P-value>0.05) จึงทำการตัดตัวแปรสีข้าวกล้องและสีเปลือกเมล็ดทิ้งเพื่อเป็นการลดจำนวนตัวแปรลงทำให้เหลือแต่ตัวแปรเชิงปริมาณที่จะใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป จำนวน 30 ตัว

ตารางที่ 4-1 ค่าสถิติไคกำลังสองและค่าพีของการทดสอบไคกำลังสอง

ตัวแปร	สีข้าวกล้อง	สีเปลือกเมล็ด
คุณลักษณะทางกายภาพ		
ความยาวเมล็ดเปลือกข้าว	1.938 (0.164)	1.938 (0.164)
ความกว้างเมล็ดเปลือกข้าว	2.692 (0.101)	2.692 (0.101)
ความหนาเมล็ดเปลือกข้าว	1.077 (0.299)	1.077 (0.299)
ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง	0.598 (0.439)	0.598 (0.439)
ความกว้างเมล็ดข้าวกล้อง	2.982 (0.084)	0.083 (0.773)
ความหนาเมล็ดข้าวกล้อง	0.598 (0.439)	0.598 (0.439)
รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง	0.431 (0.512)	2.692 (0.101)
การเป็นท้องไข่	0.294 (0.588)	0.522 (0.470)
น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก	0.431 (0.512)	0.431 (0.512)
สีข้าวกล้อง	- -	0.083 (0.773)
สีเปลือกเมล็ด	0.083 (0.773)	- -

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

ตัวแปร	สีข้าวกล้อง	สีเปลือกเมล็ด
คุณสมบัติทางเคมี		
ปริมาณอมิโลส	1.436 (0.231)	0.808 (0.369)
ความคงตัวของแป้งสุก	0.598 (0.439)	0.598 (0.439)
ค่าการสลายเมล็ดในด่าง	2.982 (0.084)	0.083 (0.773)
อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว	1.077 (0.299)	1.077 (0.299)
อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน	1.077 (0.299)	1.077 (0.299)
อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน	2.982 (0.084)	0.083 (0.773)
ค่าความหนืดสูงสุด	1.436 (0.231)	0.808 (0.369)
ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95$^{\circ}C$	0.598 (0.439)	0.598 (0.439)
ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50$^{\circ}C$	0.431 (0.512)	0.431 (0.512)
ค่าการคืนตัวของแป้ง	2.692 (0.101)	0.431 (0.512)
ค่าความคงตัวของแป้ง	1.938 (0.164)	0.598 (0.439)
ค่าเบรกดาวน์	0.179 (0.672)	0.179 (0.672)

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

ตัวแปร	สีข้าวกล้อง	สีเปลือกเมล็ด
องค์ประกอบทางเคมี		
พลังงาน	1.938 (0.164)	1.938 (0.164)
ความชื้น	1.077 (0.299)	1.077 (0.299)
โปรตีน	0.083 (0.773)	0.083 (0.773)
ไขมัน	0.083 (0.773)	2.982 (0.084)
คาร์โบไฮเดรต	1.077 (0.299)	1.077 (0.299)
แป้ง	0.083 (0.773)	0.083 (0.773)
เส้นใยอาหารทั้งหมด	1.122 (0.290)	0.179 (0.672)
กากใย	1.436 (0.231)	1.436 (0.231)
เถ้า	1.938 (0.164)	1.938 (0.164)

*p-value < 0.05

1.2 ผลการใช้สถิติเชิงพรรณนาศึกษาลักษณะทั่วไปของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

เมื่อใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-2 พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีค่าเฉลี่ยของการเป็นท้องไข่ (1.1250) มากที่สุด แต่ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม มีค่าเฉลี่ยของความยาวเมล็ดเปลือกข้าว (10.8010 มิลลิเมตร) ความกว้างเมล็ดเปลือกข้าว (2.6213 มิลลิเมตร) ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง (7.5783 มิลลิเมตร) และรูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง (3.5153) มากที่สุด ในขณะที่ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง จะมีค่าเฉลี่ยของความหนาเมล็ดเปลือกข้าว (2.0625 มิลลิเมตร) ความกว้างเมล็ดข้าวกล้อง (2.2050 มิลลิเมตร) ความหนาเมล็ดข้าวกล้อง (2.2050 มิลลิเมตร) และน้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก (29.9600 กรัม) มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของการเป็นท้องไข่ของข้าวพันธุ์พื้นเมือง (80.28%) ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม (60.61%) และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง (22.96%) มีค่ามากกว่าตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพในด้านอื่น ๆ

ตารางที่ 4-2 สถิติเชิงพรรณนาสำหรับตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

ตัวแปร	ข้าวพันธุ์พื้นเมือง			ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์					
				ข้าวที่เป็นข้าวเจ้าหอม			ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง		
	Average	**SE.**	**CV.**	**Average**	**SE.**	**CV.**	**Average**	**SE.**	**CV.**
ความยาวเมล็ดเปลือกข้าว	9.1920	0.3270	7.96	**10.8010**	0.0346	0.72	10.3050	0.0841	1.63
ความกว้างเมล็ดเปลือกข้าว	2.3650	0.0645	6.10	**2.6213**	0.0464	3.96	2.5850	0.0433	3.35
ความหนาเมล็ดเปลือกข้าว	1.8310	0.0184	2.25	2.0146	0.0171	1.90	**2.0625**	0.0155	1.50
ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง	6.5440	0.2580	8.81	**7.5783**	0.0424	1.25	7.3525	0.0958	2.61
ความกว้างเมล็ดข้าวกล้อง	2.0300	0.0683	7.52	2.1566	0.0144	1.49	**2.2050**	0.0126	1.14
ความหนาเมล็ดข้าวกล้อง	1.6300	0.0194	2.67	1.7611	0.0182	2.31	**1.8875**	0.0320	3.39
รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง	3.2340	0.1440	9.92	**3.5153**	0.0225	1.43	3.3325	0.0461	2.77
การเป็นท้องไข่	**1.1250**	0.4040	**80.28**	0.1456	0.0395	**60.61**	0.9650	0.1110	**22.96**
น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก	20.4000	1.5900	17.43	28.5000	0.4230	3.32	**29.9600**	0.7690	5.13

เมื่อใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (71.62 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (68.62 องศาเซลเซียส) ค่าความหนืดสูงสุด (1041 บราเบนเดอร์ ยูนิต) ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ $95^{\circ}C$ (559 บราเบนเดอร์ ยูนิต) ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ $50^{\circ}C$ (1112 บราเบนเดอร์ ยูนิต) และค่าความคงตัวของแป้ง (552.5 บราเบนเดอร์ ยูนิต) มากที่สุด แต่ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม มีค่าเฉลี่ยของความคงตัวของแป้งสุก (77.39 มิลลิเมตร) ค่าการสลายเมล็ดในด่าง (6.9) อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (1.7014 เท่า) และค่าเบรกดาวน์ (556.3 บราเบนเดอร์ ยูนิต) มากที่สุด ในขณะที่ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง พบว่ามีค่าเฉลี่ยของปริมาณอมิโลส (26.25 %) และค่าการคืนตัวของแป้ง (285 บราเบนเดอร์ ยูนิต) มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าการคืนตัวของแป้งของข้าวพันธุ์พื้นเมือง (364.65%) ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม (-42.11%) และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง (75.83%) มีค่ามากกว่าตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมีในด้านอื่น ๆ จะเห็นว่าข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมจะมีค่าเฉลี่ย และสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าการคืนตัวของแป้งน้อยที่สุด ทำให้ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมมีลักษณะนุ่มและเหนียวมากกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ

ตารางที่ 4-3 สถิติเชิงพรรณนาสำหรับตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

ตัวแปร	ข้าวพันธุ์พื้นเมือง			ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์					
				ข้าวที่เป็นข้าวเจ้าหอม			ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง		
	Average	SE.	CV.	Average	SE.	CV.	Average	SE.	CV.
ปริมาณอมิโลส	25.0900	1.8300	16.33	16.8960	0.4150	5.49	**26.2500**	1.3000	9.94
ความคงตัวของแป้งสุก	66.3000	6.2700	21.13	**77.3900**	1.4000	4.06	59.3000	11.4000	38.62
ค่าการสลายเมล็ดในด่าง	5.0200	0.5000	22.26	**6.9000**	0.0775	2.51	6.3000	0.5700	18.10
อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว	1.6960	0.0292	3.85	**1.7014**	0.0251	3.30	1.6300	0.0365	4.48
อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน	**71.6200**	0.5270	1.65	66.5420	0.9160	3.08	70.0300	1.6300	4.66
อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน	**68.6200**	0.5270	1.72	63.5420	0.9160	3.22	67.0300	1.6300	4.8
ค่าความหนืดสูงสุด	**1041.0000**	41.7000	8.95	1015.9000	34.8000	7.65	738.0000	108.0000	29.34
ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95$^{\circ}C$	**559.0000**	52.7000	21.09	460.1000	22.6000	10.97	498.8000	48.9000	19.62
ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50$^{\circ}C$	**1112.000**	127.0000	25.51	769.5000	36.7000	10.65	1022.5000	90.5000	17.70
ค่าการคืนตัวของแป้ง	71.0000	115.0000	**364.65**	-245.1000	46.1000	**-42.11**	**285.0000**	108.0000	**75.83**
ค่าความคงตัวของแป้ง	**552.5000**	75.1000	30.39	347.8000	36.4000	23.37	523.8000	60.4000	23.06
ค่าเบรกดาวน์	478.0000	50.2000	23.47	**556.3000**	35.7000	14.34	238.8000	69.4000	58.15

เมื่อใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-4 พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีค่าเฉลี่ยของพลังงาน (361.0200 กิโลแคล) คาร์โบไฮเดรต (77.8970 กรัมต่อร้อยกรัม) เส้นใยอาหารทั้งหมด (3.7080 กรัมต่อร้อยกรัม) กากใย (0.8920 กรัมต่อร้อยกรัม) และเถ้า (1.3250 กรัมต่อร้อยกรัม) มากที่สุด แต่ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมมีค่าเฉลี่ยของไขมัน (2.3564 กรัมต่อร้อยกรัม) และแป้ง (67.1390 กรัมต่อร้อยกรัม) มากที่สุด ในขณะที่ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง จะมีค่าเฉลี่ยของความชื้น (12.8780 กรัมต่อร้อยกรัม) และโปรตีน (7.7550 กรัมต่อร้อยกรัม) มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของเส้นใยอาหารทั้งหมดของข้าวพันธุ์พื้นเมือง (14.80%) ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม (19.62%) และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง (31.77%) มีค่ามากกว่าตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมีในด้านอื่น ๆ

ตารางที่ 4-4 สถิติเชิงพรรณนาสำหรับตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

ตัวแปร	ข้าวพันธุ์พื้นเมือง			ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์					
				ข้าวที่เป็นข้าวเจ้าหอม			ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง		
	Average	SE.	CV.	Average	SE.	CV.	Average	SE.	CV.
พลังงาน	**361.0200**	0.7540	0.47	358.0400	0.8910	0.56	353.4300	0.3900	0.22
ความชื้น	11.1760	0.0434	0.87	12.1970	0.2700	4.95	**12.8780**	0.1440	2.24
โปรตีน	7.3970	0.2140	6.47	7.4220	0.2990	9.00	**7.7550**	0.2550	6.59
ไขมัน	2.2050	0.1260	12.77	**2.3564**	0.0447	4.25	1.9925	0.0613	6.15
คาร์โบไฮเดรต	**77.8970**	0.2250	0.65	76.7860	0.2930	0.85	76.1200	0.2860	0.7
แป้ง	63.2900	1.1800	4.17	**67.1390**	0.5740	1.91	66.9570	0.5620	1.68
เส้นใยอาหารทั้งหมด	**3.7080**	0.2450	**14.80**	3.1470	0.2760	**19.62**	2.9850	0.4740	**31.77**
กากใย	**0.8920**	0.0359	8.99	0.7329	0.0476	14.52	0.6850	0.0194	5.65
เถ้า	**1.3250**	0.0320	5.40	1.2380	0.0369	6.66	1.2550	0.0589	9.39

1.3 ผลการทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สันสำหรับตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-5 พบว่าตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีหลายคู่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตัวแปรรายคู่ที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันมีดังนี้

1. อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน และอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันสูงมาก (≈ 1)

2. ความยาวเมล็ดเปลือกข้าว และความยาวเมล็ดข้าวกล้อง มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.974

3. น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก และความหนาเมล็ดเปลือกข้าว มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.960

4. ความหนาเมล็ดเปลือกข้าว และความหนาเมล็ดข้าวกล้อง มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.929

5. ค่าความคงตัวของแป้ง และความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ $50^{\circ}C$ มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.919

6. น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก และความยาวเมล็ดข้าวกล้อง มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.914

7. ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ $95^{\circ}C$ และความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ $50^{\circ}C$ มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.904

และตัวแปรรายคู่ที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามมีดังนี้

1. พลังงาน และความชื้น มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ -0.932

2. รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง และการเป็นท้องไข่ มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ -0.918

ตารางที่ 4-5 ค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันและค่าพีของการทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สัน

Variable	Grain length	Grain breadth	Grain thickness	Brown rice length	Brown rice breadth	Brown rice thickness	Brown rice shape	Chalky grain	1000 grain weight	Amylose content	Gel consistency	Alkali	Elongation ratio	PT
Grain breadth	0.677 (0.008*)													
Grain thickness	0.838 (0.000*)	0.787 (0.001*)												
Brown rice length	**0.974 (0.000*)**	0.722 (0.004*)	0.839 (0.000*)											
Brown rice breadth	0.534 (0.049*)	0.824 (0.000*)	0.713 (0.004*)	0.623 (0.017*)										
Brown rice thickness	0.690 (0.006*)	0.617 (0.019*)	**0.929 (0.000*)**	0.710 (0.004*)	0.613 (0.020*)									
Brown rice shape	0.761 (0.002*)	0.174 (0.552)	0.433 (0.122)	0.717 (0.004*)	-0.097 (0.741)	0.363 (0.203)								

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

Variable	Grain length	Grain breadth	Grain thickness	Brown rice length	Brown rice breadth	Brown rice thickness	Brown rice shape	Chalky grain	1000 grain weight	Amylose content	Gel consistency	Alkali	Elongation ratio	PT
Chalky grain	-0.774 (0.001*)	-0.235 (0.419)	-0.403 (0.153)	-0.708 (0.005*)	0.014 (0.962)	-0.216 (0.457)	**-0.918 (0.000*)**							
1000 grain weight	0.879 (0.000*)	0.794 (0.001*)	**0.960 (0.000*)**	**0.914 (0.000*)**	0.804 (0.001*)	0.884 (0.000*)	0.448 (0.108)	-0.422 (0.133)						
Amylose content	-0.540 (0.046*)	-0.124 (0.674)	-0.206 (0.481)	-0.440 (0.116)	0.154 (0.599)	-0.025 (0.932)	-0.684 (0.007*)	0.681 (0.007*)	-0.209 (0.474)					
Gel consistency	0.102 (0.728)	-0.027 (0.926)	-0.013 (0.964)	-0.007 (0.980)	-0.007 (0.981)	-0.207 (0.477)	-0.004 (0.989)	-0.223 (0.443)	-0.052 (0.859)	-0.398 (0.159)				
Alkali	0.524 (0.055)	0.752 (0.002*)	0.548 (0.042*)	0.553 (0.040*)	0.607 (0.021*)	0.427 (0.128)	0.137 (0.641)	-0.099 (0.737)	0.600 (0.023*)	-0.267 (0.356)	-0.222 (0.446)			
Elongation ratio	0.015 (0.960)	0.077 (0.794)	-0.267 (0.356)	0.017 (0.953)	-0.176 (0.547)	-0.369 (0.194)	0.169 (0.564)	-0.260 (0.369)	-0.231 (0.428)	-0.198 (0.498)	0.272 (0.347)	-0.035 (0.906)		

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

Variable	Grain length	Grain breadth	Grain thickness	Brown rice length	Brown rice breadth	Brown rice thickness	Brown rice shape	Chalky grain	1000 grain weight	Amylose content	Gel consistency	Alkali	Elongation ratio	PT
PT	-0.628 (0.016*)	-0.411 (0.144)	-0.382 (0.178)	-0.613 (0.020*)	-0.348 (0.223)	-0.239 (0.410)	-0.443 (0.113)	0.411 (0.144)	-0.502 (0.067)	0.570 (0.034*)	-0.112 (0.703)	-0.739 (0.003*)	-0.098 (0.739)	
GT	-0.628 (0.016*)	-0.411 (0.144)	-0.382 (0.178)	-0.613 (0.020*)	-0.348 (0.223)	-0.239 (0.410)	-0.443 (0.113)	0.411 (0.144)	-0.502 (0.067)	0.570 (0.034*)	-0.112 (0.703)	-0.739 (0.003*)	-0.098 (0.739)	**1.000 (0.000*)**
PV	-0.048 (0.871)	-0.167 (0.568)	-0.432 (0.123)	-0.070 (0.812)	-0.337 (0.238)	-0.521 (0.056)	0.209 (0.473)	-0.279 (0.334)	-0.343 (0.230)	-0.394 (0.163)	-0.068 (0.817)	-0.115 (0.696)	0.363 (0.202)	0.061 (0.836)
F95°C	-0.226 (0.438)	0.066 (0.822)	-0.249 (0.390)	-0.142 (0.628)	0.032 (0.914)	-0.168 (0.566)	-0.204 (0.485)	0.193 (0.507)	-0.187 (0.522)	0.529 (0.052)	-0.618 (0.018*)	-0.007 (0.981)	0.122 (0.678)	0.373 (0.189)
F50°C	-0.354 (0.215)	-0.038 (0.896)	-0.283 (0.327)	-0.239 (0.411)	0.050 (0.864)	-0.138 (0.639)	-0.342 (0.231)	0.367 (0.197)	-0.213 (0.466)	0.777 (0.001*)	-0.658 (0.011*)	-0.095 (0.747)	0.086 (0.769)	0.399 (0.157)
SB	-0.263 (0.363)	0.074 (0.800)	0.039 (0.894)	-0.154 (0.600)	0.257 (0.375)	0.217 (0.456)	-0.418 (0.137)	0.482 (0.081)	0.042 (0.887)	0.896 (0.000*)	-0.504 (0.066)	-0.004 (0.988)	-0.159 (0.587)	0.292 (0.311)

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

Variable	Grain length	Grain breadth	Grain thickness	Brown rice length	Brown rice breadth	Brown rice thickness	Brown rice shape	Chalky grain	1000 grain weight	Amylose content	Gel consistency	Alkali	Elongation ratio	PT
SB	-0.263 (0.363)	0.074 (0.800)	0.039 (0.894)	-0.154 (0.600)	0.257 (0.375)	0.217 (0.456)	-0.418 (0.137)	0.482 (0.081)	0.042 (0.887)	0.896 (0.000*)	-0.504 (0.066)	-0.004 (0.988)	-0.159 (0.587)	0.292 (0.311)
CC	-0.328 (0.252)	-0.030 (0.919)	-0.245 (0.398)	-0.207 (0.478)	0.069 (0.815)	-0.100 (0.733)	-0.323 (0.261)	0.367 (0.197)	-0.177 (0.544)	0.801 (0.001*)	-0.580 (0.030*)	-0.069 (0.815)	0.124 (0.674)	0.247 (0.395)
BD	0.095 (0.746)	-0.212 (0.467)	-0.316 (0.271)	0.023 (0.937)	-0.380 (0.180)	-0.461 (0.097)	0.363 (0.202)	-0.433 (0.122)	-0.253 (0.382)	-0.735 (0.003*)	0.268 (0.354)	-0.112 (0.704)	0.319 (0.267)	-0.156 (0.595)
Energy	-0.475 (0.086)	-0.414 (0.141)	-0.736 (0.003*)	-0.545 (0.044*)	-0.648 (0.012*)	-0.773 (0.001*)	-0.129 (0.660)	0.073 (0.805)	-0.753 (0.002*)	-0.125 (0.669)	0.211 (0.470)	-0.402 (0.155)	0.506 (0.065)	0.261 (0.367)
Moisture	0.563 (0.036*)	0.451 (0.105)	0.757 (0.002*)	0.587 (0.027*)	0.614 (0.020*)	0.723 (0.003*)	0.205 (0.482)	-0.184 (0.528)	0.764 (0.001*)	-0.074 (0.801)	-0.077 (0.792)	0.483 (0.080)	-0.399 (0.158)	-0.410 (0.146)
Protein	0.243 (0.403)	0.152 (0.605)	0.332 (0.247)	0.323 (0.261)	0.294 (0.308)	0.399 (0.158)	0.155 (0.596)	-0.039 (0.895)	0.380 (0.180)	0.111 (0.705)	0.074 (0.802)	-0.045 (0.878)	-0.257 (0.374)	-0.180 (0.537)

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

Variable	Grain length	Grain breadth	Grain thickness	Brown rice length	Brown rice breadth	Brown rice thickness	Brown rice shape	Chalky grain	1000 grain weight	Amylose content	Gel consistency	Alkali	Elongation ratio	PT
Fat	0.036 (0.903)	-0.015 (0.960)	-0.228 (0.433)	-0.072 (0.806)	-0.275 (0.342)	-0.424 (0.131)	0.129 (0.660)	-0.260 (0.369)	-0.243 (0.402)	-0.490 (0.075)	0.380 (0.181)	0.058 (0.843)	0.588 (0.027*)	-0.249 (0.390)
Carbohydrate	-0.611 (0.020*)	-0.471 (0.089)	-0.761 (0.002*)	-0.663 (0.010*)	-0.629 (0.016*)	-0.725 (0.003*)	-0.286 (0.321)	0.238 (0.412)	-0.797 (0.001*)	0.093 (0.751)	-0.059 (0.841)	-0.385 (0.174)	0.297 (0.303)	0.494 (0.073)
Starch	0.353 (0.215)	0.525 (0.054)	0.543 (0.045*)	0.282 (0.328)	0.390 (0.168)	0.415 (0.140)	-0.004 (0.990)	-0.044 (0.882)	0.431 (0.124)	-0.269 (0.352)	0.174 (0.553)	0.590 (0.026*)	-0.023 (0.937)	-0.355 (0.212)
Total dietary fiber	-0.391 (0.167)	-0.332 (0.246)	-0.491 (0.075)	-0.319 (0.266)	-0.553 (0.040*)	-0.433 (0.122)	0.087 (0.768)	0.028 (0.925)	-0.498 (0.070)	-0.061 (0.836)	-0.239 (0.410)	-0.166 (0.572)	0.417 (0.138)	0.129 (0.659)
Crude fiber	-0.612 (0.020*)	-0.499 (0.069)	-0.725 (0.003*)	-0.589 (0.027*)	-0.554 (0.040*)	-0.614 (0.020*)	-0.253 (0.382)	0.300 (0.298)	-0.707 (0.005*)	0.125 (0.669)	-0.054 (0.855)	-0.343 (0.230)	0.267 (0.357)	0.379 (0.181)
Ash	-0.317 (0.269)	-0.077 (0.794)	-0.368 (0.196)	-0.207 (0.478)	-0.098 (0.740)	-0.341 (0.232)	-0.163 (0.578)	0.107 (0.717)	-0.316 (0.272)	0.293 (0.310)	-0.121 (0.680)	-0.238 (0.412)	0.547 (0.043*)	0.322 (0.262)

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

Variable	GT	PV	F95°C	F50°C	SB	CC	BD	Energy	Moisture	Protein	Fat	Carbohydrate	Starch	Total dietary fiber	Crude fiber
PV	0.061 (0.836)														
F95°C	0.373 (0.189)	0.409 (0.147)													
F50°C	0.399 (0.157)	0.091 (0.758)	**0.904** **(0.000*)**												
SB	0.292 (0.311)	-0.560 (0.037*)	0.492 (0.074)	0.774 (0.001*)											
CC	0.247 (0.395)	-0.137 (0.641)	0.730 (0.003*)	**0.919** **(0.000*)**	0.851 (0.000*)										
BD	-0.156 (0.595)	0.860 (0.000*)	-0.113 (0.701)	-0.410 (0.146)	-0.888 (0.000*)	-0.560 (0.037*)									

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

Variable	GT	PV	F95°C	F50°C	SB	CC	BD	Energy	Moisture	Protein	Fat	Carbohydrate	Starch	Total dietary fiber	Crude fiber
Energy	0.261 (0.367)	0.633 (0.015*)	0.258 (0.372)	0.116 (0.693)	-0.307 (0.285)	0.055 (0.852)	0.534 (0.049*)								
Moisture	-0.410 (0.146)	-0.574 (0.032*)	-0.427 (0.127)	-0.295 (0.305)	0.120 (0.682)	-0.247 (0.395)	-0.376 (0.185)	**-0.932 (0.000*)**							
Protein	-0.180 (0.537)	-0.496 (0.071)	-0.251 (0.388)	-0.099 (0.736)	0.232 (0.425)	0.165 (0.572)	-0.393 (0.164)	-0.308 (0.284)	0.130 (0.657)						
Fat	-0.249 (0.390)	0.398 (0.158)	-0.270 (0.350)	-0.336 (0.240)	-0.532 (0.050)	-0.369 (0.194)	0.575 (0.032*)	0.500 (0.069)	-0.166 (0.571)	-0.550 (0.042*)					
Carbohydrate	0.494 (0.073)	0.665 (0.010*)	0.544 (0.044*)	0.358 (0.209)	-0.125 (0.669)	0.163 (0.578)	0.410 (0.145)	0.843 (0.000*)	-0.863 (0.000*)	-0.569 (0.034*)	0.230 (0.429)				
Starch	-0.355 (0.212)	-0.316 (0.272)	-0.434 (0.121)	-0.461 (0.097)	-0.183 (0.532)	-0.446 (0.110)	-0.103 (0.726)	-0.424 (0.131)	0.626 (0.017*)	-0.334 (0.243)	0.340 (0.235)	-0.396 (0.161)			

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

Variable	GT	PV	F95°C	F50°C	SB	CC	BD	Energy	Moisture	Protein	Fat	Carbohydrate	Starch	Total dietary fiber	Crude fiber
Total dietary fiber	0.129 (0.659)	0.229 (0.431)	0.129 (0.659)	0.140 (0.633)	-0.029 (0.922)	0.224 (0.441)	0.171 (0.559)	0.363 (0.202)	-0.456 (0.101)	0.016 (0.956)	0.035 (0.906)	0.314 (0.275)	-0.376 (0.186)		
Crude fiber	0.379 (0.181)	0.408 (0.148)	0.434 (0.121)	0.345 (0.227)	0.028 (0.924)	0.235 (0.420)	0.195 (0.503)	0.641 (0.013*)	-0.788 (0.001*)	-0.180 (0.538)	-0.118 (0.687)	0.778 (0.001*)	-0.620 (0.018*)	0.575 (0.031*)	
Ash	0.322 (0.262)	0.275 (0.341)	0.440 (0.115)	0.426 (0.129)	0.180 (0.539)	0.480 (0.082)	0.044 (0.881)	0.259 (0.371)	-0.443 (0.113)	0.045 (0.880)	-0.132 (0.652)	0.293 (0.309)	-0.392 (0.166)	0.657 (0.011*)	0.444 (0.112)

*p-value < 0.05

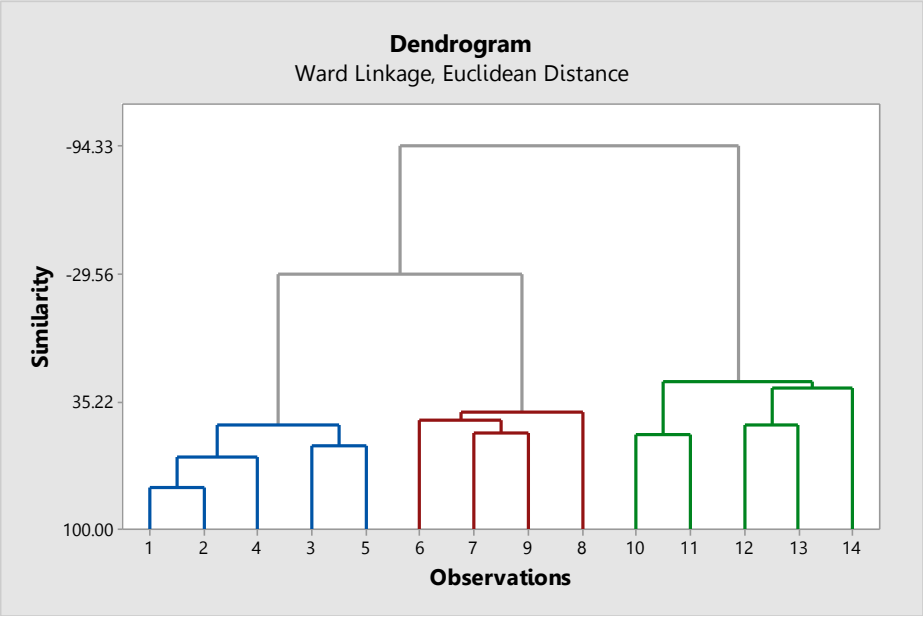
1.4 ผลการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม และการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักสำหรับจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

เมื่อใช้การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มด้วยวิธีการเชื่อมของวาร์ดเพื่อจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ทั้งหมดจำนวน 14 สายพันธุ์ ตามตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีพบว่าเดนโดแกรม ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4-1 สามารถจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมจำนวน 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์กข15 (1) ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (2) ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (3) ข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 (4) และข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี (5)

กลุ่มที่ 2 คือข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูงจำนวน 4 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 (6) ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 (7) ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (8) และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 (9)

กลุ่มที่ 3 คือข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (10) ข้าวพันธุ์นางพญา 132 (11) ข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี (12) ข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานี (13) และข้าวพันธุ์สังข์หยด (14)

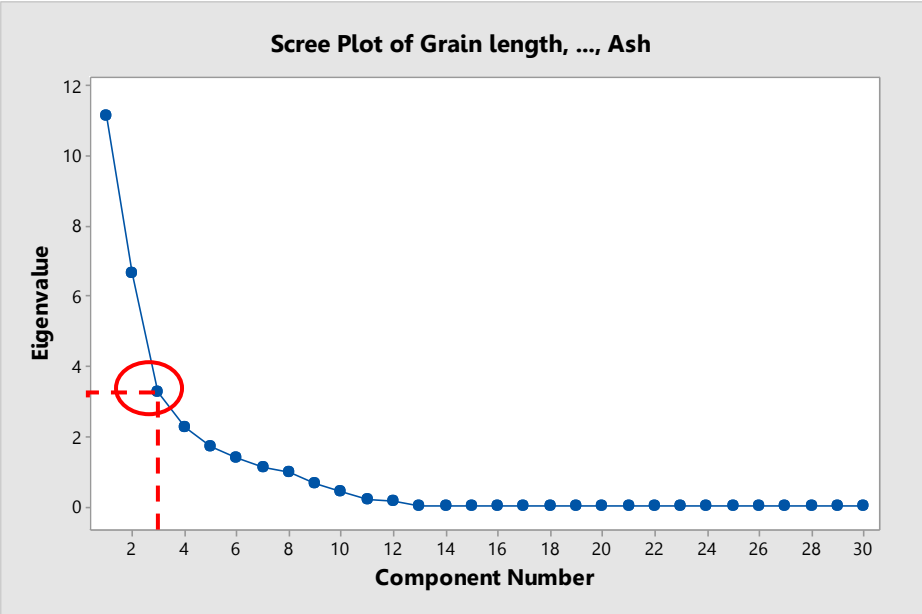


ภาพที่ 4-1 เดนโดแกรมสำหรับการจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

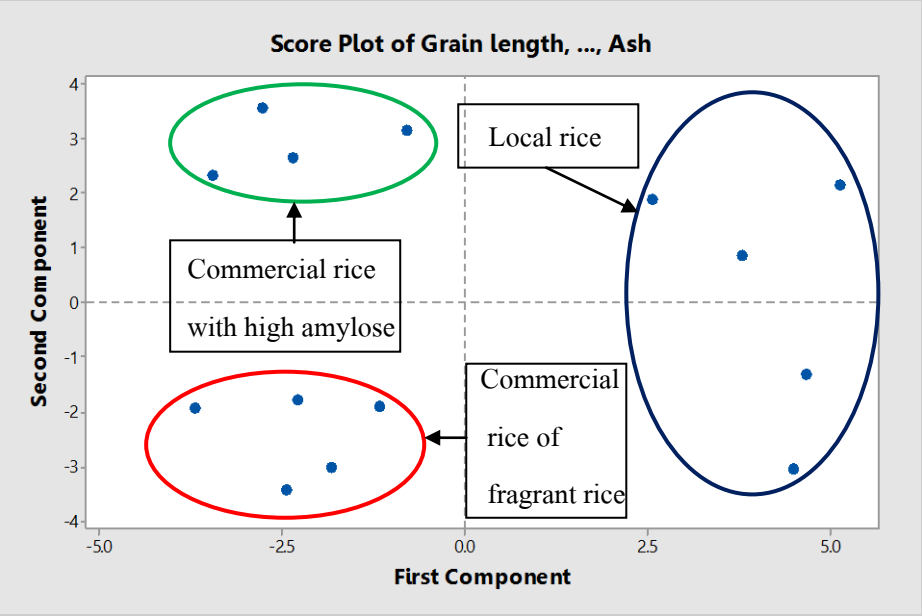
เมื่อใช้การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก เพื่อจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ทั้งหมดจำนวน 14 สายพันธุ์ ตามตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดจำนวน 30 ตัว พบว่าค่าเฉพาะ (Eigenvalue) ของส่วนประกอบหลักที่ 1 ถึงส่วนประกอบหลักที่ 8 มีค่ามากกว่า 1 หรือใกล้เคียงกับ 1 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-6 แต่เมื่อพิจารณาด้วยแผนภาพสกรีพลอต ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4-2 พบว่ากราฟมีการหักศอกที่ส่วนประกอบหลักที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับแผนภาพคะแนน (Score plot) ระหว่างส่วนประกอบหลักที่ 1 และส่วนประกอบหลักที่ 2 ที่แสดงดังภาพที่ 4-3 จึงเป็นการยืนยันได้ว่าสามารถจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์เป็น 3 กลุ่มโดยที่ส่วนประกอบหลักทั้ง 3 ส่วนประกอบที่ได้นี้ สามารถอธิบายความแปรผันทางข้อมูลทั้งหมดได้ร้อยละ 70.20

ตารางที่ 4-6 ค่าเฉพาะ สัดส่วนความแปรผัน และสัดส่วนความแปรผันสะสมของแต่ละส่วนประกอบหลัก

	PC1	**PC2**	**PC3**	**PC4**	**PC5**	**PC6**	**PC7**	**PC8**	**PC9**	**PC10**
Eigenvalue	**11.139**	**6.633**	**3.273**	**2.275**	**1.723**	**1.398**	**1.130**	**0.969**	0.643	0.422
Proportion	0.371	0.221	0.109	0.076	0.057	0.047	0.038	0.032	0.021	0.014
Cumulative	0.371	0.592	**0.702**	0.777	0.835	0.881	0.919	0.951	0.973	0.987
	PC11	**PC12**	**PC13**	**PC14**	**PC15**	**PC16**	**PC17**	**PC18**	**PC19**	**PC20**
Eigenvalue	0.196	0.165	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
Proportion	0.007	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
Cumulative	0.993	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	PC21	**PC22**	**PC23**	**PC24**	**PC25**	**PC26**	**PC27**	**PC28**	**PC29**	**PC30**
Eigenvalue	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Proportion	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Cumulative	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000



ภาพที่ 4-2 สกรีพลอตสำหรับการจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์



ภาพที่ 4-3 แผนภาพคะแนนสำหรับการจัดกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

1.5 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี

การศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ 3 ตัว (รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง การเป็นท้องไข่ และน้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก) ตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมี 4 ตัว (ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว และค่าความหนืดสูงสุด) และตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมีทั้ง 9 ตัว (พลังงาน ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แป้ง เส้นใยอาหารทั้งหมด กากใย และเถ้า) ระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูงนั้น จะต้องทำการตรวจสอบข้อสมมุติเบื้องต้นดังนี้

1. ตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระทั้ง 16 ตัว $\left(\mathbf{X}=\left[\mathbf{X}_1,\mathbf{X}_2,\mathbf{X}_3,...,\mathbf{X}_{16}\right]'\right)$ คือ

$\mathbf{X}_1$: รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice shape)

$\mathbf{X}_2$: การเป็นท้องไข่ (Chalky grain)

$\mathbf{X}_3$: น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก (1000-grain weight)

$\mathbf{X}_4$: ปริมาณอมิโลส (Amylose content)

$\mathbf{X}_5$: ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

$\mathbf{X}_6$: อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (Elongation ratio)

$\mathbf{X}_7$: ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity)

$\mathbf{X}_8$: พลังงาน (Energy)

$\mathbf{X}_9$: ความชื้น (Moisture)

$\mathbf{X}_{10}$: โปรตีน (Protein)

$\mathbf{X}_{11}$: ไขมัน (Fat)

$\mathbf{X}_{12}$: คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

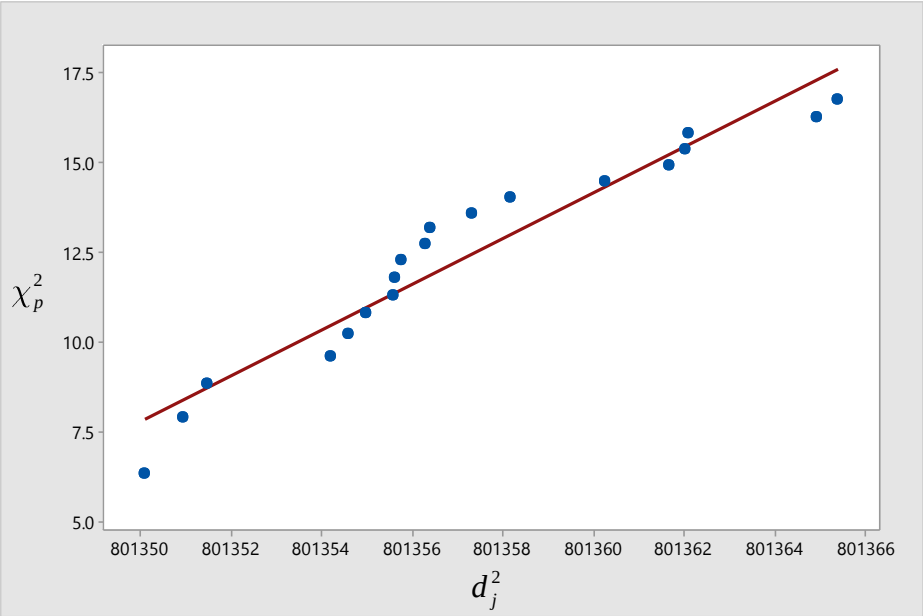
$\mathbf{X}_{13}$: แป้ง (Starch)

$\mathbf{X}_{14}$: เส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber)

$\mathbf{X}_{15}$: กากใย (Crude fiber)

$\mathbf{X}_{16}$: เถ้า (Ash)

มีการแจกแจงปรกติหลายตัวแปร นั่นคือ $\mathbf{X} \sim N_{16}\left(\boldsymbol{\mu},\boldsymbol{\Sigma}\right)$ โดยพิจารณาจากกราฟระหว่าง $\chi^2_{p,\frac{(j-0.5)}{n}}$ และ $d^2_{(j)}$ ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 กราฟระหว่าง $\chi^2_{p,\frac{(j-0.5)}{n}}$ และ $d^2_{(j)}$

จากภาพที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าจุดของข้อมูลส่วนใหญ่มีการกระจายใกล้เคียงกับเส้นตรงและพันอยู่รอบ ๆ เส้นตรงอ้างอิงแต่มีบางจุดที่อยู่ห่างจากเส้นอ้างอิงเล็กน้อยจึงอาจสรุปได้ว่า $\mathbf{X} \sim N_{16}(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$ ตัวแปรอิสระทั้ง 16 คือ รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง การเป็นท้องไข่ น้ำหนัก 1000 เมล็ด ข้าวเปลือก ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว ค่าความหนืดสูงสุด พลังงาน ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แป้ง เส้นใยอาหารทั้งหมด กากใย และเถ้า มีการแจกแจงปรกติหลายตัวแปร

2. ตรวจสอบความเท่ากันของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวระหว่างกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง ด้วยการทดสอบของบ็อกซ์เอ็ม

กำหนดให้ $\sum_1$, $\sum_2$ และ $\sum_3$ เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง ตามลำดับ ซึ่งสมมุติฐานที่ใช้ในการการทดสอบ คือ

$$H_0 : \sum_1 = \sum_2 = \sum_3$$

$$H_0 : \sum_i \neq \sum_j \qquad ; i \neq j; i, j = 1,2,3$$

ภายใต้ H_0 เป็นจริง จะได้การทดสอบของบ็อกซ์เอ็มคือ

$$M = \frac{\left|\mathbf{S}_1\right|^{\frac{n_1-1}{2}} \left|\mathbf{S}_2\right|^{\frac{n_2-1}{2}} \left|\mathbf{S}_3\right|^{\frac{n_3-1}{2}}}{\left|\mathbf{S}_p\right|^{\frac{n_1+n_2+n_3-k}{2}}}$$

เมื่อ k เป็นจำนวนกลุ่มของพันธุ์ข้าวที่พิจารณาซึ่ง $k = 3$

n_1 เป็นจำนวนตัวอย่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่ง $n_1 = 9$

n_2 เป็นจำนวนตัวอย่างข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม ซึ่ง $n_2 = 18$

n_3 เป็นจำนวนตัวอย่างข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง ซึ่ง $n_3 = 4$

$\left|\mathbf{S}_1\right|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีจากตัวอย่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งคำนวณได้ $\left|\mathbf{S}_1\right| = 9.79764 \times 10^{-31}$

$\left|\mathbf{S}_2\right|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม ซึ่งคำนวณได้ $\left|\mathbf{S}_2\right| = 6.28555 \times 10^{-20}$

$\left|\mathbf{S}_3\right|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง ซึ่งคำนวณได้ $\left|\mathbf{S}_3\right| = 9.84679 \times 10^{-48}$

$\left|\mathbf{S}_{16}\right|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวทั้งหมดของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีทั้ง 16 ตัว ซึ่งคำนวณได้ $\left|\mathbf{S}_{16}\right| = 3.770508 \times 10^{-9}$

จึงได้

$$M = \frac{\left(9.79764 \times 10^{-31}{}^{\frac{9-1}{2}}\right)\left(6.28555 \times 10^{-20}{}^{\frac{18-1}{2}}\right)\left(9.84679 \times 10^{-48}{}^{\frac{4-1}{2}}\right)}{3.770508 \times 10^{-9}{}^{\frac{9+18+4-3}{2}}}$$

หรือ

$$\ln(M) = \frac{1}{2}[((9-1)\ln(9.79764\times10^{-31}) + ((18-1)\ln(6.28555\times10^{-20})) + ((4-1)\ln(9.84679\times10^{-48}))]$$
$$-\frac{1}{2}[(9+18+4-3)\ln(3.770508\times10^{-9})] = -543.0169$$

สำหรับสถิติที่ใช้ในการประเมินค่า คือสถิติไคกำลังสอง (χ^2) คำนวณได้ดังนี้

$$\chi^2 = -2(1-c_1)\ln(M)$$

โดยที่ $c_1 = \frac{(3+1)\left(2\left(16^2\right)+3(16)-1\right)}{6(3)(31-3)(16+1)} = 0.2609711$

จึงได้

$$\chi^2 = -2(1-0.2609711)(-543.0169) = 802.6104$$

ที่องศาเสรี $a_1 = \frac{1}{2}(3-1)16(16+1) = 15$ จะได้ $\chi^2_{0.95,272} = 311.467$

เนื่องจาก $\chi^2 = 802.6104 > \chi^2_{0.95,272} = 311.467$ จึงปฏิเสธ H_0 ดังนั้นเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีทั้ง 16 ตัวระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถึงแม้ว่าเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรระหว่างประชากรมีค่าไม่เท่ากัน จะเป็นการละเมิดข้อสมมุติของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปร แต่มีงานวิจัยของ Holloway and Dunn (1967) และ Hakstian, Roed and Lind (1979) ที่แสดงให้เห็นว่าถ้าเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรระหว่างประชากรมีค่าไม่เท่ากัน จะส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูงด้วยสถิติวิลค์แลมป์ดา จะมีสมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ

$H_0 : \boldsymbol{\tau}_1 = \boldsymbol{\tau}_2 = \boldsymbol{\tau}_3 = 0$

H_1 : มี $\boldsymbol{\tau}_l$ อย่างน้อย 1 กลุ่ม $(l = 1,2,3)$ มีค่าไม่เท่ากับกลุ่มอื่น

ภายใต้ H_0 เป็นจริง จะได้สถิติวิลค์แลมป์ดา คือ

$$\Lambda^* = \frac{|\mathbf{W}|}{|\mathbf{B}+\mathbf{W}|}$$

เมื่อ p เป็นจำนวนตัวแปร ซึ่ง $p = 16$

g เป็นจำนวนกลุ่มตัวอย่าง ซึ่ง $g = 3$

n_1 เป็นจำนวนตัวอย่างของข้าวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่ง $n_1 = 9$

n_2 เป็นจำนวนตัวอย่างของข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม ซึ่ง $n_2 = 18$

n_3 เป็นจำนวนตัวอย่างของข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง ซึ่ง $n_3 = 4$

$|\mathbf{W}|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ซึ่ง $|\mathbf{W}| = -4,384,461,967$

$|\mathbf{B}+\mathbf{W}|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของผลรวมระหว่างเมทริกซ์ผลรวมกำลังสองของสมมุติฐานและเมทริกซ์ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ซึ่ง $|\mathbf{B}+\mathbf{W}| = -2.943505 \times 10^{16}$

จึงสามารถคำนวณค่าสถิติวิลค์แลมป์ดาได้ดังนี้

$$\Lambda^* = \frac{|\mathbf{W}|}{|\mathbf{B}+\mathbf{W}|} = \frac{-4,384,461,967}{-2.943505 \times 10^{16}} = 1.489538 \times 10^{-7}$$

และ $$\left(\frac{\sum n_i - p - 2}{p}\right)\left(\frac{1-\sqrt{\Lambda^*}}{\sqrt{\Lambda^*}}\right) = \left(\frac{31-16-2}{16}\right)\left(\frac{1-\sqrt{1.489538 \times 10^{-7}}}{\sqrt{1.489538 \times 10^{-7}}}\right) = 2,104.408$$

เนื่องจาก $\left(\frac{\sum n_i - p - 2}{p}\right)\left(\frac{1-\sqrt{\Lambda^*}}{\sqrt{\Lambda^*}}\right) = 2,104.408$ มีค่ามากกว่า $F_{0.95;(32,26)} = 1.88931$

จึงปฏิเสธ H_0 ซึ่งสรุปได้ว่าตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ 3 ตัว (รูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง การเป็นท้องไข่ และน้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก) ตัวแปรแสดงคุณสมบัติทางเคมี 4 ตัว (ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว และค่าความหนืดสูงสุด) และตัวแปรแสดงองค์ประกอบทางเคมีทั้ง 9 ตัว (พลังงาน ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แป้ง เส้นใยอาหารทั้งหมด กากใย และเถ้า) ระหว่างข้าวทั้ง 3 กลุ่ม คือ ข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่

เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละตัวแปรระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง พบว่าค่าพีของการทดสอบค่าเฉลี่ยของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง ทุกตัวมีค่าน้อยกว่า 0.05 (P-value<0.05) จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของรูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง การเป็นท้องไข่ น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว ค่าความหนืดสูงสุด พลังงาน ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แป้ง เส้นใยอาหารทั้งหมด กากใย และเถ้าระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. ผลการศึกษาตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุซึ่งพิจารณาได้จาก

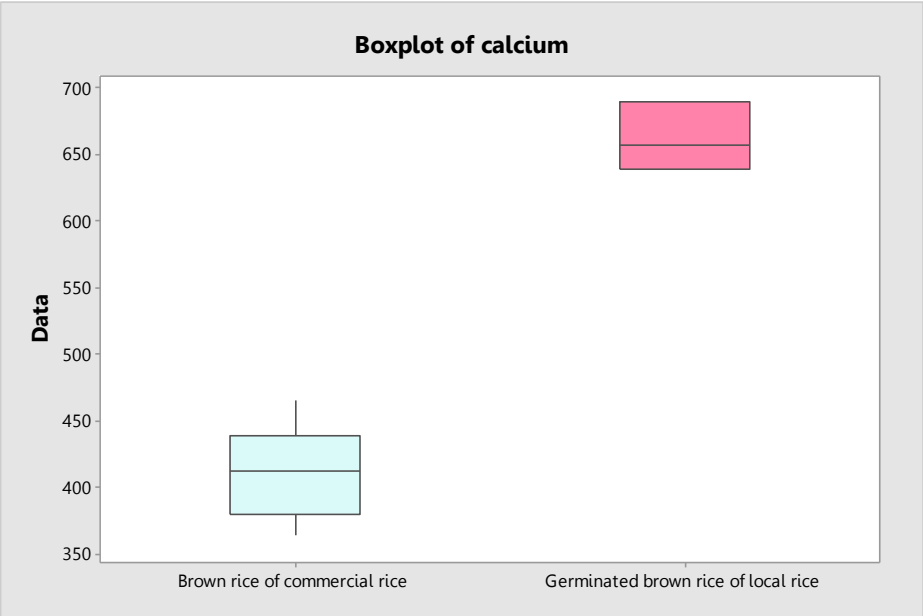
2.1 ผลการใช้สถิติเชิงพรรณนาศึกษาลักษณะทั่วไปของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

เมื่อใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-7 พบว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีค่าเฉลี่ยของแคลเซียม (661.7000 ไมโครกรัมต่อกรัม) เหล็ก (14.1000 ไมโครกรัมต่อกรัม) สังกะสี (22.1330 ไมโครกรัมต่อกรัม) และวิตามินอี อัลฟาโท-โคฟีรอล (4.3430 ไมโครกรัมต่อร้อยกรัม) สูงกว่าข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ในขณะที่ข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จะมีค่าเฉลี่ยของวิตามินอี แกรมมาโทโคฟีรอล (1.3990 ไมโครกรัมต่อร้อยกรัม) สูงกว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง นอกจากนี้ยังพบอีกว่ามีสัมประสิทธิ์การแปรผันของวิตามินอี แกมมาโทโคฟีรอลของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง (46.26%) และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ (69.73%) มีค่ามากกว่าตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุในด้านอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของวิตามินอี แกมมาโทโคฟีรอลของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

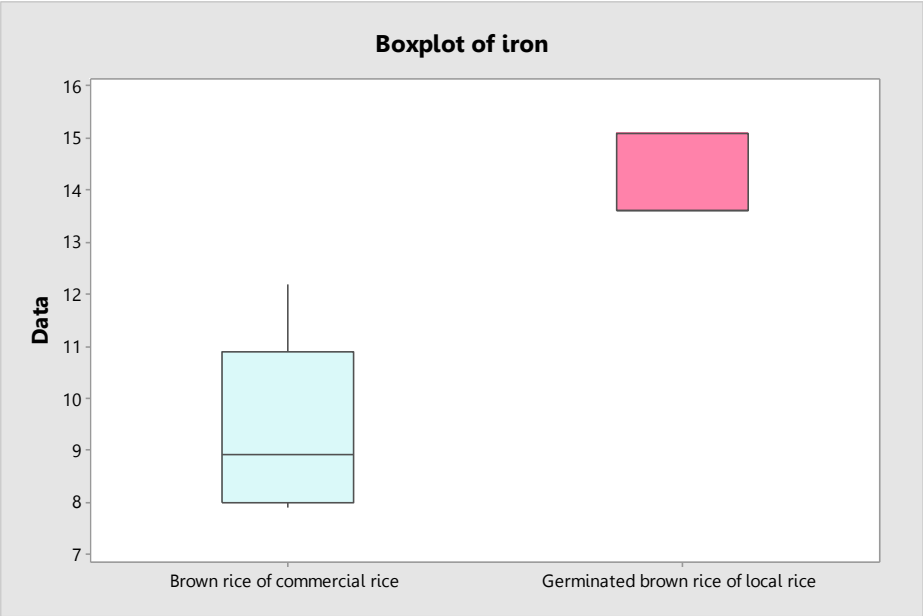
ตารางที่ 4-7 สถิติเชิงพรรณนาสำหรับตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

ตัวแปร	ข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง			ข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์		
	Average	SE.	CV.	Average	SE.	CV.
แคลเซียม	**661.7000**	14.6000	3.83	409.7000	16.5000	9.01
เหล็ก	**14.1000**	0.5000	6.14	9.3500	0.7740	18.51
สังกะสี	**22.1330**	0.6890	5.39	15.4000	1.6400	23.60
วิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล	**4.3430**	0.7830	31.24	1.7710	0.3610	45.57
วิตามินอี แกมมาโทโคฟีรอล	0.9770	0.2610	**46.26**	**1.3990**	0.4360	**69.73**

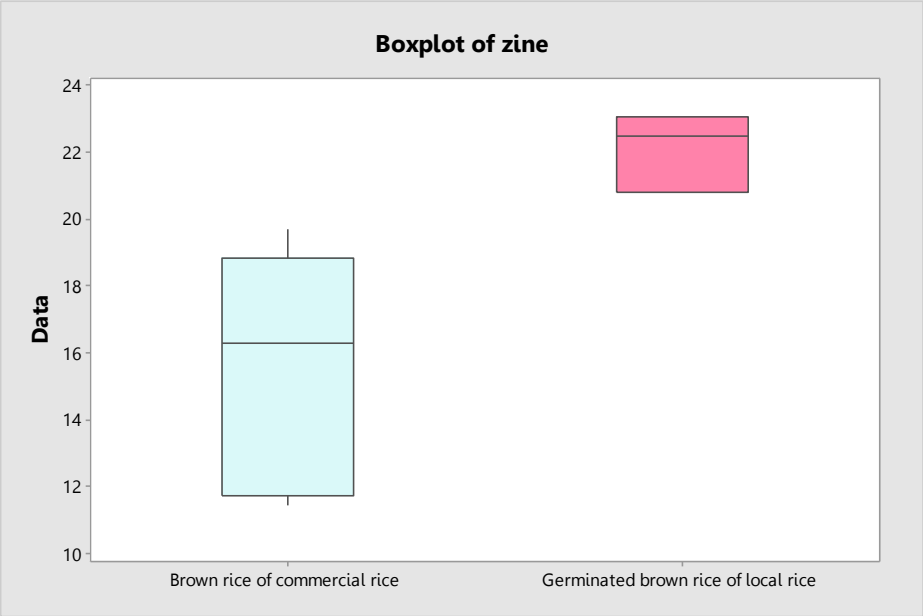
เมื่อใช้แผนภาพกล่องแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุทั้ง 5 ตัว ได้แก่ แคลเซียม เหล็ก สังกะสี วิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล และวิตามินอี แกมมา-โทโคฟีรอล ระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4-4 ถึงภาพที่ 4-8 ตามลำดับ



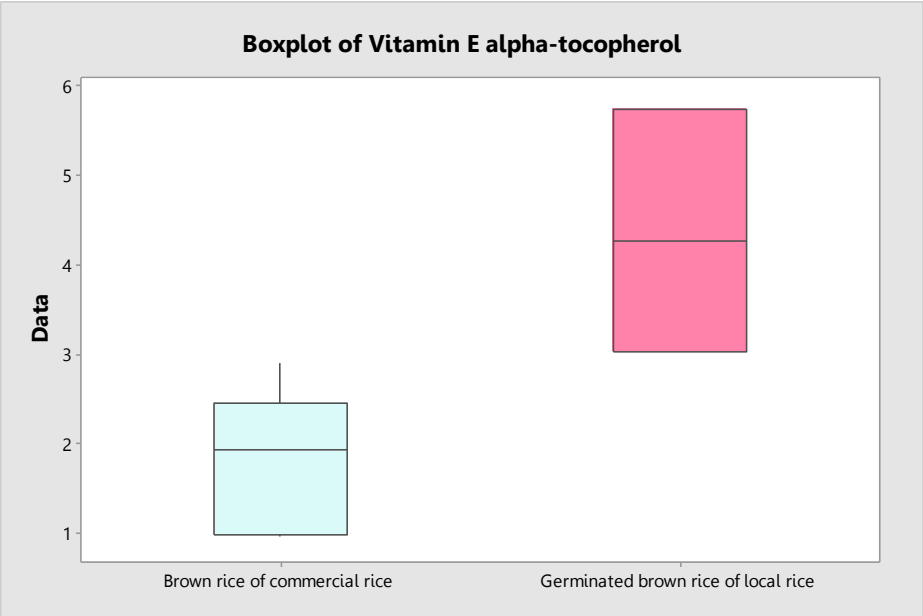
ภาพที่ 4-5 แผนภาพกล่องของปริมาณแคลเซียมระหว่างข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์และข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง



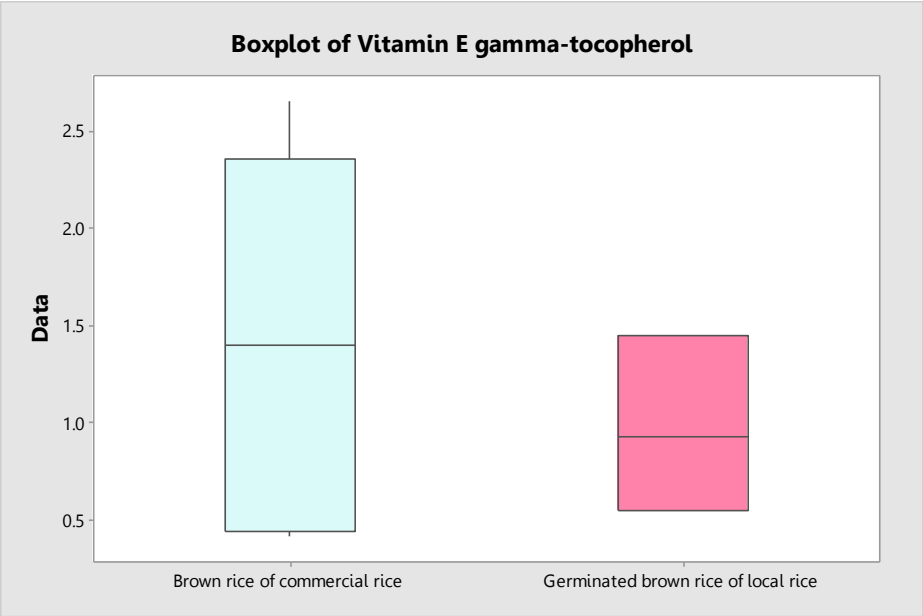
ภาพที่ 4-6 แผนภาพกล่องของปริมาณเหล็กระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์



ภาพที่ 4-7 แผนภาพกล่องของปริมาณสังกะสีระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์



ภาพที่ 4-8 แผนภาพกล่องของปริมาณวิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอลระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์



ภาพที่ 4-9 แผนภาพกล่องของปริมาณวิตามินอี แกรมมาโทโคฟีรอลระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

จากภาพที่ 4-4 ถึงภาพที่ 4-8 พบว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีปริมาณแคลเซียม เหล็ก สังกะสี และวิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอลที่สูงกว่าข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ แต่ข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จะมีปริมาณของวิตามินอี แกมมาโทโคฟีรอลที่สูงกว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง

2.2 ผลการทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สันสำหรับตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-8 พบว่าตัวแปรหลายคู่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวแปรรายคู่ที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันโดยมีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันค่อนข้างสูง ได้แก่

1. แคลเซียมและเหล็กมีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.936
2. เหล็กและวิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.914
3. เหล็ก และวิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.828

ตารางที่ 4-8 ค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันและค่าพีของการทดสอบสหสัมพันธ์เพียร์สัน

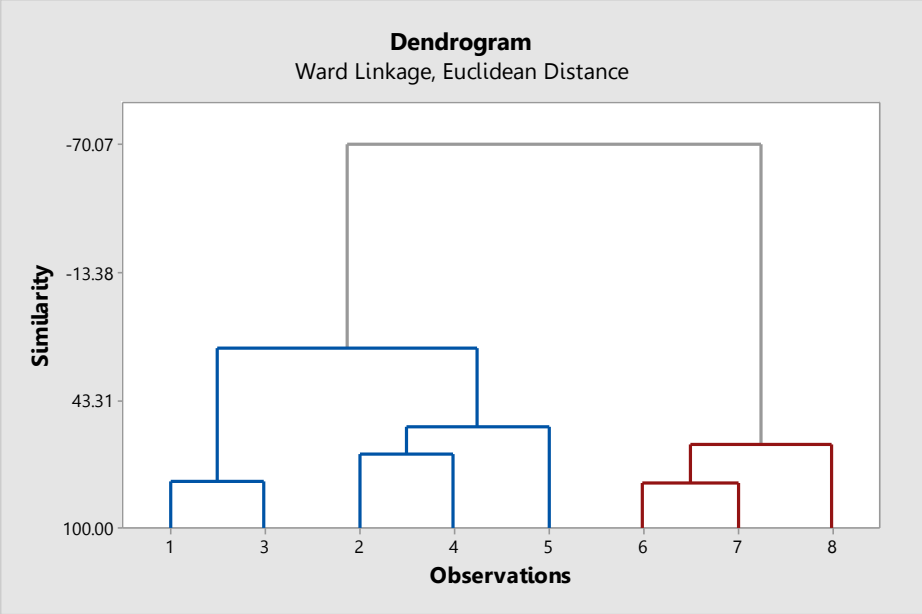
Variable	Calcium	Iron	Zinc	Vitamin E alpha-tocopherol
Iron	**0.936**			
	(0.001*)			
Zinc	0.738	0.618		
	(0.037*)	(0.103)		
Vitamin E alpha-tocopherol	**0.828**	**0.914**	0.619	
	(0.011*)	**(0.001*)**	(0.102)	
Vitamin E gamma-tocopherol	-0.328	-0.293	0.173	-0.250
	(0.428)	(0.482)	(0.682)	(0.551)

2.3 ผลการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มและการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักสำหรับจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

เมื่อใช้การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มเพื่อจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ทั้งหมดจำนวน 8 สายพันธุ์ ตามตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ พบว่าเดนโดแกรม ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4-9 สามารถทำการจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (1) ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (2) ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (3) ข้าวพันธุ์กข31 (4) และข้าวพันธุ์กข6 (5)

กลุ่มที่ 2 คือข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่ (6) ข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด (7) และข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอ (8)

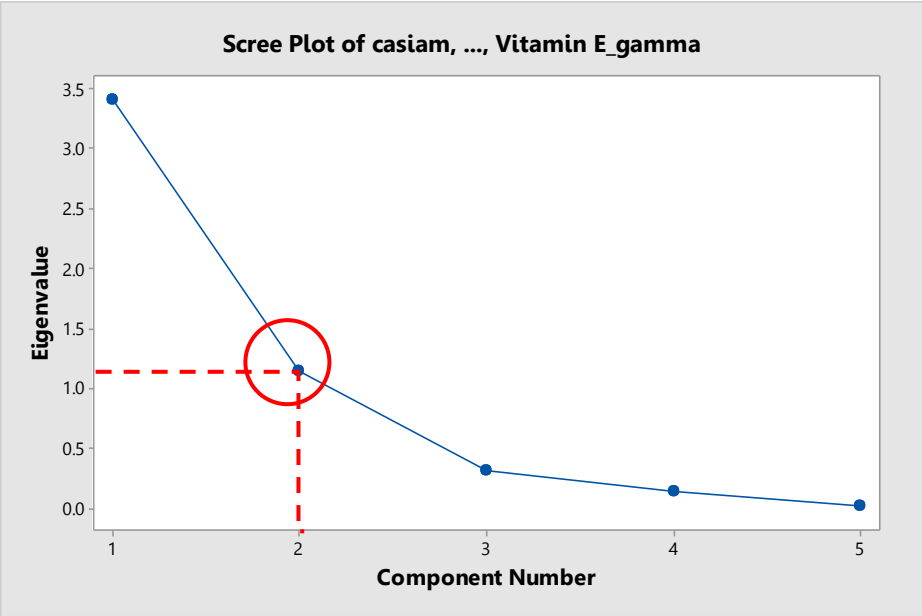


ภาพที่ 4-10 เดนโดแกรมสำหรับการจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

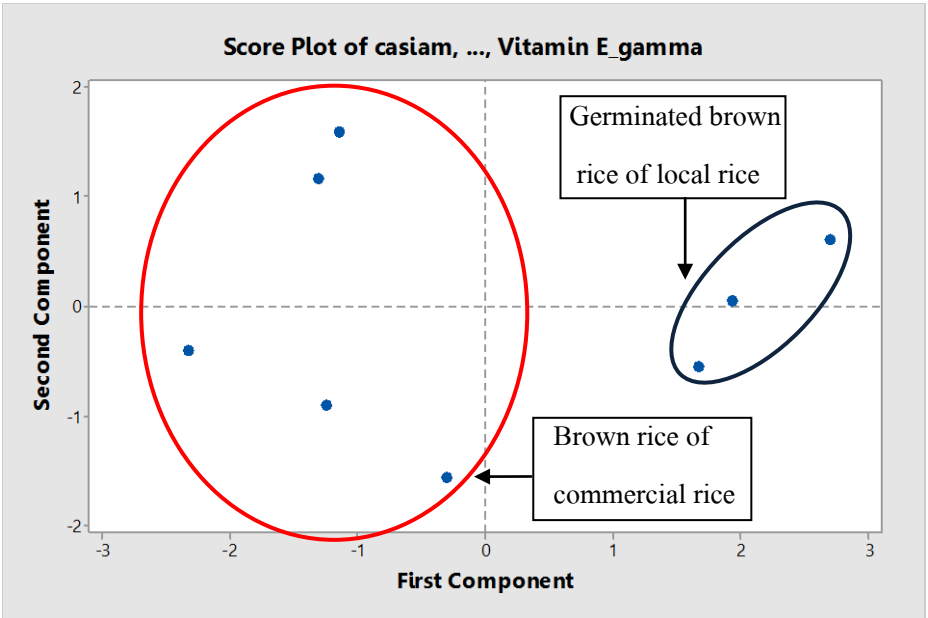
เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักเพื่อจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธ์เชิงพาณิชย์ทั้งหมดจำนวน 8 สายพันธุ์ตามตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุทั้งหมดจำนวน 5 ตัว พบว่าค่าเฉพาะของส่วนประกอบหลักที่ 1 และส่วนประกอบหลักที่ 2 มีค่ามากกว่า 1 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-9 ประกอบกับเมื่อพิจารณาด้วยแผนภาพสกรีพลอต ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4-10 พบว่ากราฟมีการหักศอกที่ส่วนประกอบหลักที่ 2 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ส่วนประกอบหลักจำนวน 2 ส่วนประกอบ ซึ่งส่วนประกอบหลักทั้ง 2 ส่วนประกอบนี้สามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 90.80 และเมื่อพิจารณาแผนภาพคะแนนระหว่างส่วนประกอบหลักที่ 1 และส่วนประกอบหลักที่ 2 ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4-11 สามารถทำการจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ได้เป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกับเมื่อพิจารณาด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม

ตารางที่ 4-9 ค่าเฉพาะ สัดส่วนความแปรผัน และสัดส่วนความแปรผันสะสมของแต่ละส่วนประกอบหลัก

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Eigenvalue	**3.4020**	**1.1400**	0.3090	0.1315	0.0175
Proportion	0.680	0.228	0.062	0.026	0.004
Cumulative	0.680	**0.908**	0.970	0.996	1.000



ภาพที่ 4-11 สกรีพลอตสำหรับการจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์



ภาพที่ 4-12 แผนภาพคะแนนสำหรับการจัดกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

2.4 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุ

การศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์นั้น จะต้องทำการทดสอบความเท่ากันของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวระหว่างกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ก่อน โดยกำหนดให้ $\sum_1$ และ $\sum_2$ เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของกลุ่มข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ตามลำดับซึ่งมีสมมุติฐานที่ใช้ในการการทดสอบ คือ

$$H_0 : \sum_1 = \sum_2$$
$$H_0 : \sum_1 \neq \sum_2$$

ภายใต้ H_0 เป็นจริง จะได้การทดสอบของบ็อกซ์เอ็มคือ

$$M = \frac{\left|\mathbf{S}_1\right|^{\frac{n_1-1}{2}} \left|\mathbf{S}_2\right|^{\frac{n_2-1}{2}}}{\left|\mathbf{S}_p\right|^{\frac{n_1+n_2-k}{2}}}$$

เมื่อ k เป็นจำนวนกลุ่มของพันธุ์ข้าวที่พิจารณาซึ่ง $k = 2$

n_1 เป็นจำนวนพันธุ์ข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่ง $n_1 = 3$

n_2 เป็นจำนวนพันธุ์ข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่ง $n_2 = 5$

$\left|\mathbf{S}_1\right|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุจากตัวอย่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งคำนวณได้ $\left|\mathbf{S}_1\right| = 8.075224 \times 10^{-35}$

$\left|\mathbf{S}_2\right|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุจากตัวอย่างข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งคำนวณได้ $\left|\mathbf{S}_2\right| = 0.5188753$

$\left|\mathbf{S}_5\right|$ เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวทั้งหมดของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุทั้ง 5 ตัว ซึ่งคำนวณได้ $\left|\mathbf{S}_5\right| = 420.9086$

จึงได้

$$M = \frac{\left(8.075224\text{x}10^{-35}{}^{\frac{3-1}{2}}\right)\left(0.5188753^{\frac{5-1}{2}}\right)}{420.9086^{\frac{5+3-2}{2}}}$$

หรือ $\ln(M) = -97.94111$

สำหรับสถิติที่ใช้ในการประเมินค่า คือสถิติไคกำลังสอง (χ^2) คำนวณได้ดังนี้

$$\chi^2 = -2(1-c_1)\ln(M)$$

โดยที่ $c_1 = \frac{(2+1)\left(2\left(5^2\right)+3(5)-1\right)}{6(2)(8-2)(5+1)} = 0.4444444$

จึงได้

$$\chi^2 = -2(1-0.4444444)(-97.94111) = 108.8235$$

ที่องศาเสรี $a_1 = \frac{1}{2}(2-1)5(5+1) = 15$ จะได้ $\chi^2_{0.95,15} = 24.9958$

เนื่องจาก $\chi^2 = 108.8235 > \chi^2_{0.95,15} = 24.9958$ จึงปฏิเสธ H_0 ดังนั้นเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุทั้ง 5 ตัวระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ด้วยสถิติโฮเทลลิงทีสแควร์ เมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวมีค่าไม่เท่ากัน

ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรส่วนประกอบแร่ธาตุระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จึงมีสมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$H_0 : \boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2 = 0$$

$$H_1 : \boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2 \neq 0$$

ภายใต้ H_0 เป็นจริง จะได้สถิติโฮเทลลิงทีสแควร์คือ

$$T^2 = \left[(\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2) - (\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2)\right]' \left[\frac{1}{n_1}\mathbf{S}_1 + \frac{1}{n_2}\mathbf{S}_2\right]^{-1} \left[(\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2) - (\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2)\right]$$

โดยที่ n_1 เป็นจำนวนพันธุ์ข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่ง $n_1 = 3$

n_2 เป็นจำนวนพันธุ์ข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่ง $n_2 = 5$

$\bar{\mathbf{x}}_1$ เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุจากตัวอย่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง ซึ่ง $\bar{\mathbf{x}}_1 = \begin{bmatrix} 661.700 \\ 14.100 \\ 22.133 \\ 4.343 \\ 0.977 \end{bmatrix}$

$\bar{\mathbf{x}}_2$ เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุจากตัวอย่างข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่ง $\bar{\mathbf{x}}_2 = \begin{bmatrix} 409.700 \\ 9.350 \\ 15.490 \\ 1.771 \\ 1.399 \end{bmatrix}$

$\boldsymbol{\mu}_1$ เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุจากประชากรข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง

$\boldsymbol{\mu}_2$ เป็นเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุจากประชากรข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

$\mathbf{S}_1$ เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุจากตัวอย่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง

ซึ่ง $\mathbf{S}_1 = \begin{bmatrix} 641.3330 & -3.5000 & -24.6333 & -20.2633 & -6.4067 \\ -3.5000 & 0.7500 & 0.7250 & 1.0475 & 0.3550 \\ -24.6330 & 0.7250 & 1.4233 & 1.5353 & 0.5047 \\ -20.2630 & 1.0475 & 1.5353 & 1.8412 & 0.6127 \\ -6.4070 & 0.3550 & 0.5047 & 0.6127 & 0.2041 \end{bmatrix}$

$\mathbf{S}_2$ เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุจากตัวอย่างข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์

$$\text{ซึ่ง } \mathbf{S}_2 = \begin{bmatrix} 1364.0500 & 60.8429 & -0.4358 & 23.6675 & -8.9033 \\ 60.8400 & 2.9956 & -1.5514 & 1.1305 & -0.4025 \\ -0.4400 & -1.5514 & 13.3697 & -0.8811 & 2.1513 \\ 23.6700 & 1.1305 & -0.8811 & 0.6513 & -0.3722 \\ -8.9000 & -0.4025 & 2.1513 & -0.3722 & 0.9521 \end{bmatrix}$$

จึงได้

$$T^2 = 414.8250$$

เนื่องจาก $T^2 = 414.8250 > 15(F_{0.95,(5,2)}) = 289.446$ จึงปฏิเสธ H_0 ซึ่งสรุปได้ว่า ตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุทั้ง 5 ตัว ได้แก่ ปริมาณแคลเซียม เหล็ก สังกะสี วิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล และวิตามินอี แกรมมาโทโคฟีรอล ระหว่างข้าวกล้องงอกจากพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากพันธุ์เชิงพาณิชย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีแคลเซียม เหล็ก สังกะสี และวิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอลสูงกว่าข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ในขณะที่ข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จะมีวิตามินอี แกรมมาโทโคฟีรอล สูงกว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาครั้งนี้เป็นการกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของข้าวไทยโดยพิจารณาจากตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และส่วนประกอบแร่ธาตุของพันธุ์ข้าวไทยทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งสามารถอภิปรายและสรุปผลได้ดังนี้

อภิปรายและสรุปผล

1. การศึกษาตัวแปรคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาพบว่าข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมมีรูปร่างเมล็ดข้าวที่เรียวยาวมากที่สุด การเป็นท้องไข่น้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมเป็นเมล็ดข้าวที่มีคุณลักษณะทางกายภาพที่ดี อีกทั้งข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมยังมีค่าการคืนตัวของแป้ง และปริมาณอมิโลสต่ำที่สุดทำให้ข้าวมีลักษณะเหนียวนุ่มเมื่อผ่านการหุงต้มจึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทำให้ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมกลายเป็นที่นิยมใช้เพาะปลูกเพื่อการค้าขาย ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับบุญหงษ์ จงคิด และวุฒิชัย แตงทอง (2559) ที่กล่าวถึงข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ว่ามีเมล็ดที่เรียวยาว การเป็นท้องไข่น้อย แต่พบว่าข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูงจะมีปริมาณอมิโลส ค่าการคืนตัวของแป้ง และโปรตีนมากที่สุดจึงส่งผลให้เมื่อนำข้าวพันธุ์นี้ไปผ่านการหุงต้มจะมีลักษณะที่ร่วนและแข็งกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีพลังงาน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหารทั้งหมด กากใย และเถ้า มากที่สุด จึงส่งผลให้ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีสารอาหารมากกว่าข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับ Diako et al. (2011) ที่กล่าวว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีสารอาหารมากกว่าข้าวนำเข้าซึ่งเป็นข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน และอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันมากที่สุดด้วยค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันซึ่งมีค่าสูงมาก (≈ 1) รองลงมาคือ ความยาวเมล็ดเปลือกข้าวและความยาวเมล็ดข้าวกล้องที่มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.974

เมื่อใช้การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มและการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักโดยพิจารณาจากตัวแปรคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบแร่ธาตุ สามารถทำการจัดกลุ่มข้าวของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ทั้งหมดจำนวน 14 สายพันธุ์ ได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 คือข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมจำนวน 5 สายพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วย ข้าวพันธุ์กข15 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์คลองหลวง 1 และข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี

กลุ่มที่ 2 คือข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูงจำนวน 4 สายพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วย ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90

กลุ่มที่ 3 คือข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 5 สายพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วย ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ข้าวพันธุ์นางพญา 132 ข้าวพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี ข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานี และข้าวพันธุ์สังข์หยด

โดยสอดคล้องกับ Diako et al. (2011) ที่สามารถจัดกลุ่มแสดงความแตกต่างระหว่างข้าวนำเข้าซึ่งเป็นข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ และข้าวพันธุ์พื้นเมืองของประเทศกานา

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงคุณลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีระหว่างข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง และข้าวพันธุ์พื้นเมือง พบว่ารูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง การเป็นท้องไข่ น้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว ค่าความหนืดสูงสุด พลังงาน ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แป้ง เส้นใยอาหารทั้งหมด กากใย และเถ้า ระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอม และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีการเป็นท้องไข่ ค่าความหนืดสูงสุด ปริมาณพลังงาน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหารทั้งหมด กากใย และเถ้าสูงที่สุด แต่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นข้าวเจ้าหอมมีรูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง ความคงตัวของแป้งสุก อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว ปริมาณไขมัน และแป้งสูงที่สุด ในขณะที่ข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ที่มีปริมาณอมิโลสค่อนข้างสูงจะมีน้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวเปลือก ปริมาณอมิโลส และโปรตีนสูงที่สุด

2. การศึกษาตัวแปรส่วนประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาพบว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีแคลเซียม เหล็ก สังกะสี และวิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล สูงกว่าข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ และพบว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีวิตามินอี แกรมมาโทโคฟีรอลที่ใกล้เคียงกับข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีปริมาณส่วนประกอบแร่ธาตุมากกว่าข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของส่วนประกอบแร่ธาตุระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์พบว่าแคลเซียม และเหล็กมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดด้วยค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.936 รองลงมาเป็นเหล็กและวิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล ที่มีค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ 0.914

เมื่อใช้การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มและการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักโดยพิจารณาจากตัวแปรส่วนประกอบแร่ธาตุสามารถทำการจัดกลุ่มข้าวของข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ทั้งหมดจำนวน 8 สายพันธุ์ ได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 คือข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จำนวน 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ข้าวพันธุ์กข31 และข้าวพันธุ์กข6

กลุ่มที่ 2 คือข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวพันธุ์เหนียวดำช่อไม้ไผ่ ข้าวพันธุ์เหนียวแดงกรามแรด และข้าวพันธุ์เหนียวดำหมอ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรของตัวแปรแสดงส่วนประกอบแร่ธาตุระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ พบว่าปริมาณแคลเซียม เหล็ก สังกะสี วิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล และวิตามินอี แกรมมาโทโคฟีรอลระหว่างข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ พบว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีแคลเซียม เหล็ก สังกะสี และวิตามินอี อัลฟาโทโคฟีรอล สูงกว่าข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ ในขณะที่ข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์จะมีวิตามินอี แกรมมา-โทโคฟีรอล สูงกว่าข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้สามารถจัดกลุ่มแสดงความแตกต่างของพันธุ์ข้าวไทยระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งสามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์เชิงพาณิชย์ เพื่อเป็นการพัฒนา และปรับปรุงพันธุ์ข้าวไทยต่อไปในอนาคตได้

2. เป็นแนวทางในการตัดสินใจสำหรับการเลือกซื้อข้าวของผู้บริโภคโดยพิจารณาถึงคุณค่าและคุณประโยชน์ของข้าวแต่ละสายพันธุ์ และสำหรับนักวิจัยในการศึกษาคุณลักษณะและคุณภาพของข้าวไทยต่อไปได้

3. เพื่อใช้ในการวางแผนและการตัดสินใจสำหรับเกษตรกรก่อนที่จะมีการปลูกข้าว ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการเลือกซื้อเมล็ดพันธุ์ก่อนนำมาทำการเพาะปลูกเนื่องจากมีการคำนึงถึงคุณลักษณะและคุณภาพของข้าวแต่ละสายพันธุ์

4. การจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทยในงานวิจัยครั้งต่อไปอาจพิจารณาเลือกพันธุ์ข้าวที่มีแหล่งปลูกในพื้นที่ของจังหวัดเดียวกันหรือภาคเดียวกัน เพื่อช่วยลดความแปรผันของพันธุ์ข้าวในการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวไทย

บรรณานุกรม

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2539). *ข้าว: ความรู้คู่ชาวนา*. ปทุมธานี: ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กิดาการ สายธนู. (2554). *สถิติเบื้องต้น*. เอกสารการสอน. ชลบุรี: ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

กิดาการ สายธนู. (2555). *การวิเคราะห์หลายตัวแปร*. ชลบุรี: ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2552). *การวิเคราะห์หลายตัวแปร* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: ธรรมสาร.

กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2554). *การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วย SPSS for Windows* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกร็ดความรู้. (2559). *ข้าวลืมผัว*. เข้าถึงได้จาก http://www.xn--2cg1cxchd0a2gzc1c5d5a.net.

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. (2559). *คาร์โบไฮเดรต*. เข้าถึงได้จาก https://ratchapark.wordpress.com.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. (2536). *คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและมาตรฐานข้าว*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

งามชื่น คงเสรี. (2546). *ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว*. กรุงเทพฯ: สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิศ แสงอรุณ, ราตรี รัตนสำเนียง, บุญนะ หนูคง, จรัญ ทับทิมทอง, จรูญ ศรีสุวรรณ, กัณธิกานต์ ปลอดปล้อง, สำเริง แซ่ตัน, ขวัญใจ คชภักดี, รุจิรา ปรีชา, โอรักษ์ ทองเด็จ, รชนิศ พานิชกิจ, กัญญา เชื้อพันธ์, สุนันทา วงศ์ปิยชน และสุนิยม ตาปราบ. (2553). ข้าวเหนียวดำมีสีพันธุ์พื้นเมืองสายพันธุ์ดีเด่นภาคใต้ ข้าวเหนียวดำช่อไม้ไผ่ (PTNC96004-49) ข้าวเหนียวดำหมอ (PTNC96051-37) ข้าวเหนียวดำต้นดำใบดำ (PTNC96071-39) และข้าวเหนียวแดงกรามแรด (PTNC96059-61). *การประชุมสัมมนาวิชาการข้าว กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคใต้ ประจำปี 2553* (หน้า 19-35). กรุงเทพฯ: สำนักวิจัย และพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

บุญหงษ์ จงคิด และวุฒิชัย แตงทอง. (2559). คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเมล็ดพันธุ์ข้าวหอมธรรมศาสตร์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5*(1), 37-42.

ปฏิบัติการเทคโนโลยีของธัญชาติ. (2559a). *บทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ*. เข้าถึงได้จาก http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY477/FY477-4.pdf

ปฏิบัติการเทคโนโลยีของธัญชาติ. (2559b). *บทปฏิบัติการที่ 4 การศึกษาความข้นหนืดของแป้งขาวด้วย เครื่องบราเบนเดอร์วิสโคกราฟ*. เข้าถึงได้จาก http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY477/FY477-4.pdf

ปัญญา มาดี, ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์, จิรวัฒน์ สนิทชน, วัฒนชัย ลั่นทม, วัฒนา พัฒนากูล และจรัญจิต เพ็งรัตน์ (2557). การประเมินความทนเค็มและทนแล้งของข้าวสีพื้นเมืองช่วงระยะต้นกล้า โดยใช้การวิเคราะห์จัดกลุ่มหลายตัวแปร. *วารสารพฤกษาศาสตร์ไทย, 6* (ฉบับพิเศษ), 211-218.

พรพรรณ กอมนชัย, พิสิฏฐ์ ธรรมวิถี, นันทวัน เทอดไทย และวาสินี จันทร์นวล (2553). คุณลักษณะข้าวหอมมะลิไทย 8 ยี่ห้อ: คุณภาพทางเคมี เคมีเชิงฟิสิกส์ และกายภาพกับคะแนนความชอบของผู้บริโภคโดยใช้แผนภาพความชอบ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 41*(1), 476-479.

ภคินี อัครเวสสะพงศ์, อังศุธรย์ วสุสัณห์, สุนันทา วงศ์ปิยชน, ปราณี มณีนิล, วัชรี สุขวิวัฒน์, สุนิยม ตาปราบ, เกรียงไกร พันธุ์วรรณ์, สมทรง โชติชื่น, กัญญา เชื้อพันธุ์, กุลศิริ กลั่นนุรักษ์, นิตยา รื่นสุข, สุทธกานต์ ใจกาวิล, อรวรรณ แย้มกิจ, กรรณนิการ์ พรหมพันธ์ใจ, สุกัญญา วงศ์พรชัย และศรีวัฒนา ทรงจิตสมบูรณ์. (2555). *การเพิ่มศักยภาพทางโภชนบำบัดในพันธุ์ข้าวไทย*. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รังสิต เส็งหะพันธุ์, กิ่งแก้ว คุณเขต, นิตยา รื่นสุข, สุนันทา วงศ์ปิยชน, สุนิยม ตาปราบ, สมทรง โชติชื่น, อภิชาต ลาวัณย์ประเสริฐ, กัญญา เชื้อพันธุ์, กรรณนิการ์ พรหมพันธ์ใจ, สุภาพร จันทร์บัวทอง, วัชรี สุวิวัฒน์ และวาสนา อินแถลง. (2552). *ข้าวโภชนาการ*. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชา ธิติประเสริฐ, มานิตย์ ใจฉกรรจ์, ทอง มากเหลือ, พิทักษ์ ทองเจือเพ็ชร์, สุพัตรา รักษาศิลป์, เอนก ดีมั่น และฉวีวรรณ วุฒิญาโณ. (2544). *ฐานข้อมูลเชื้อพันธุ์พืช : ข้าว*. กรุงเทพฯ: ชุมนุมเกษตรกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด.

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2560). *ผลผลิตข้าว*. เข้าถึงได้จาก: http://www.thairiceexporters.or.th/production.htm

สำนักวิจัย และพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2559). *องค์ความรู้เรื่องข้าว*. เข้าถึงได้จาก http://www.brrd.in.th/rkb/product/index.php.html

หน่วยสารสนเทศมะเร็ง โรงพยาบาลสงขลานครินทร์. (2559). *กากใย*. เข้าถึงได้จาก http://medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news_showpic.php?newsID =850&tyep_ID=2.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). *ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2556). *ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2559). *คุณภาพและมาตรฐานข้าวไทย*. เข้าถึงได้จาก http://www.rakbankerd.com/preview.php?id=1137&s=tblrice&w=

อารีรัตน์ อิ่มศิลป์, ปิยรัตน์ สิริธัญกิจ และรจนา ประสิทธิ์ (2556). การจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวพันธุ์อื่นด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้. *วารสารวิจัย มสด สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5*(2), 37-51.

อุไรวรรณ วัฒนกุล, วัฒนา วัฒนกุล และพีระพงษ์ พึ่งแย้ม (2558). คุณภาพทางเคมี กายภาพ และสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องและข้าวนึ่ง สังข์หยดพัทลุงที่ปลูกข้าวนอกฤดูกาล. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา " การวิจัยเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน "* (หน้า 1300-1309). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

Arunmas, P. (2017). *Rice exports could slip*. Retrieved from http://www.bangkokpost.com/business/news/1192377/rice-exports-could-slip

Da Silva, D. G., Scarminio, I. S., Anunciação, D. S., Souza, A. S., da Silva, E. G., & Ferreira, S. L. (2013). Determination of the mineral composition of Brazilian rice and evaluation using chemometric techniques. *Analytical Methods*, *5*(4), 998-1003.

Diako, C., Sakyi-Dawson, E., Bediako-Amoa, B., Saalia, F. K., & Manful, J. T. (2011). Cooking characteristics and variations in nutrient content of some new scented rice varieties in Ghana. *Annals. Food Science and Technology*, *12*(1), 39-44.

Frynn. (2559). *Carbohydrate*. Retrieved from http://frynn.com.

Garcia, D. M., Bassinello, P. Z., Ascheri, D. R. P., Ascheri, J. L. R., Trovo, J. B., & Cobucci, R. D. M. A. (2011). Cooking quality of upland and lowland rice characterized by different methods. *Food Science and Technology (Campinas)*, *31*(2), 341-348.

Govarethinam, B. (2014). *A comparative study of mineral contents in selected Malaysian brown rice and white rice/Bagirathy a/p Govarethinam*. Doctoral dissertation, University of Malaya.

Hakstian, A. R., Roed, J. C., & Lind, J. C. (1979). Two-sample T–2 procedure and the assumption of homogeneous covariance matrices. *Psychological Bulletin*, *86*(6), 1255.

Holloway, L. N., & Dunn, O. J. (1967). The robustness of hotelling's T 2. *Journal of the American Statistical Association*, *62*(317), 124-136.

International rice research institute (IRRI). (2013). *Standard evaluation system for rice* (5th ed.). Manila, Philippines: International rice research institute.

Juliano, B. O. (1985). Criteria and tests for rice grain qualities. In B. O. Juliano (Ed.), *Rice: chemistry and technology* (2nd ed.). St Paul, MN: The American Association of Cereal Chemists.

Moukoumbi, Y. D., Sie, M., Vodouhe, R., N'dri, B., Toulou, B., Ogunbayo, S. A., & Ahanchede, A. (2011). Assessing phenotypic diversity of interspecific rice varieties using agro-morphological characterization. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, *3*(5), 74-86.

Natureshop. (2559). *Crude fiber*. Retrieved from http://www.natureshop.in.th

Organicricefarm. (2559). *Red rice*. Retrieved from http://organicricefarm.com/th/red-rice/

Siamchemi. (2559). *Vitamin E*. Retrieved from http://www.siamchemi.com

Tehrim, S., Pervaiz, Z. H., Mirza, M. Y., Rabbani, M. A., & Masood, M. S. (2012). Assessment of phenotypic variability in rice (Oryza sativa L.) cultivars using multivariate analysis. *Pak. J. Bot*, *44*(3), 999-1006.

The rice association. (2016). *The energy source*. Retrieved from http://www.riceassociation.org.uk/content/1/28/the-energy-source.html

USDA. (1982). *Rice Inspection Handbook*. Federal Grain Inspection Service, Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.

Webb, B. D. (1991). Rice quality and grades. In *Rice* (pp. 508-538). Springer US.