

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

ปริมาณแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของ
ข้าวสายพันธุ์ต่างๆ

Anthocyanin content and antioxidant activity of various rice cultivars



นางสาววิพัชย์ อารีกุล
นางสาวนิพัชชาชาติสุวรรณ

RCH
SB
191
R5
ว 329 ป
ค. 1

ตงพู่.....
เลขทะเบียน 116103
วันเดือนปี 2 พ.ค. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. 12717816
i.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยในการศึกษาครั้งนี้ และขอขอบคุณ รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม ดร.ระจิตร สุวพานิช ดร.ประมวถ ศรีกาหลง และ ผศ.ดร.พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล ผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขรายงานวิจัยฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์มาก นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดสุรินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างข้าวบางส่วนสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณหน่วยผลิตวัคซีนและสารชีวภาพ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพด้านการแพทย์และสาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือสำหรับการทดลอง และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานและใช้เครื่องมือ

คณะผู้วิจัย
มกราคม 2553

ชื่อโครงการ: ปริมาณแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน
ของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ

Anthocyanin content and antioxidant activity of various rice cultivars

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก เงินงบประมาณแผ่นดิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ประจำปี 2552 จำนวนเงิน 280,400 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2551 ถึง กันยายน 2552

รายชื่อผู้ดำเนินการวิจัย นางสาววิพัชย์ อารีกุล และนางสาวนิพัชชา ชาติสุวรรณ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

โทรศัพท์/โทรสาร: 02-329-8526, 02-3298527

บทคัดย่อ

การวัดพารามิเตอร์สีของตัวอย่างข้าวผงจำนวน 51 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องวัดสีในระบบ
CIELAB และวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญในสารสกัดจากข้าว ได้แก่ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด
ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu รวมถึงปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ด้วย
วิธีสเปกโตรโฟโตเมตรีและโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงตามลำดับ นอกจากนี้ยัง
วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันจำนวน 3 วิธี ได้แก่ วิธี ferric reducing antioxidant
power (FRAP), วิธี 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazolone-6-sulphonic acid) diammonium salt
(ABTS^{•+}) radical cation และวิธี oxygen radical absorbance capacity (ORAC) จากการแบ่ง
ประเภทข้าวตามสีเบื้องต้นสามารถแบ่งข้าวออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้าวมีสี (กลุ่มข้าวสีแดง ข้าวสี
ม่วง และข้าวเหนียวดำ) และข้าวไม่มีสี (กลุ่มข้าวกล้องและข้าวขัดขาว) ซึ่งพารามิเตอร์สี (L^* , a^* ,
 b^* , ฮิวจ์ และค่าความแตกต่างของสี (ΔE)) ของข้าวทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
ข้าวไม่มีสีมีค่า a^* ต่ำ แต่มีค่า L^* และ b^* สูง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกลุ่มอื่น นอกจากนี้ ยังพบ
ความแตกต่างอย่างมากของพารามิเตอร์สีแต่ละพารามิเตอร์ในกลุ่มข้าวเดียวกัน แสดงให้เห็นถึง
ผลของปัจจัยจากสายพันธุ์และระดับการขัดสี ผลการทดลองสอดคล้องกับการวิเคราะห์สมบัติทาง
เคมีที่ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และ
ความสามารถในการต้านออกซิเดชันอยู่ในช่วงกว้างอย่างเด่นชัด สารสกัดจากข้าวมีสี มีปริมาณ
ฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และความสามารถในการ
ต้านออกซิเดชันสูงกว่าสารสกัดจากข้าวที่ไม่มีสี และในตัวอย่างข้าวทั้งหมด กลุ่มข้าวเหนียวดำมี
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และ
ความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างพารามิเตอร์สี มีความสัมพันธ์กันทั้งเชิงบวก และเชิงลบในระดับดีถึงดีมาก แต่ไม่พบความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่าง ค่า a^* กับ b^* และค่า a^* กับ C^* ($p < 0.01$) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี มีความสัมพันธ์กันเชิงบวกในช่วง 0.572-0.943 ($p < 0.01$) แสดงให้เห็นว่า สารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานินเป็นสารที่มีบทบาทในการต้านออกซิเดชัน นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของพารามิเตอร์สีทั้งหมด มีความสัมพันธ์กันตั้งแต่ระดับต่ำถึงระดับสูงทั้งในเชิงบวกและเชิงลบ แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ($p < 0.01$) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของพารามิเตอร์สีในการบ่งชี้สารสำคัญในข้าว

การจัดกลุ่มข้าวโดยใช้พารามิเตอร์สีและสมบัติทางเคมี ด้วยเทคนิค chemometric จำนวน 2 เทคนิค คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) และการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster analysis, CA) พบว่า วิธีการทั้งสอง สามารถนำมาใช้ในการจำแนกความแตกต่างของกลุ่มข้าวมีสีและกลุ่มข้าวไม่มีสีได้ ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มข้าวที่ทดสอบได้เป็น 3 กลุ่มหลักที่มีสมาชิกแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ในการจัดกลุ่มข้าวมีสี วิธีการวิเคราะห์กลุ่มไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของกลุ่มข้าวมีสีได้เทียบเท่าวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ขั้นตอนการหุงสุกมีผลให้เกิดการสูญเสียสารสำคัญในสารสกัดข้าวที่ผ่านการคัดเลือก 12 สายพันธุ์และข้าวขัดขาว โดยพบการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และไฮยานิดิน-3-กลูโคไซด์สูงกว่าการสูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวมีสี และข้าวไม่มีสีก็พบการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเช่นกัน แต่กลับมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด การสูญเสียความสามารถในการต้านออกซิเดชันจากทั้ง 3 วิธีนั้นคล้ายคลึงกับที่พบในสารสำคัญ แต่พบว่าข้าวบางสายพันธุ์มีค่า FRAP และ ABTS^{•+} เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มข้าวไม่มีสี อย่างไรก็ตาม แม้ว่าข้าวมีสีที่หุงสุกนั้นมีการสูญเสียปริมาณสารสำคัญมากกว่า แต่ยังคงตรวจพบปริมาณสารสำคัญสูงกว่าข้าวไม่มีสีที่หุงสุกอีกด้วย

Abstract

Color parameters with colorimeter in CIELAB of fifty-one powdered rice cultivars were evaluated. In addition, the active constituents in rice extracts were also determined for total polyphenol content (TPC), anthocyanin (TAC), cyanidin-3-glucoside (cy-3-glu), antioxidant activities. The TPC was measured by Folin – Ciocalteu reagent method while TAC and cy-3-glu were determined by spectrophotometric method and HPLC, respectively. The antioxidant activities were assessed using three different assays; ferric reducing antioxidant power (FRAP), 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazolyl-6-sulphonic acid) diammonium salt (ABTS^{•+}) radical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cation and oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assays. From preliminary color observation, rice were classified into 2 groups; pigmented (red, purple and glutinous black rice) and non-pigmented rice (brown and polished white rice). Both groups showed significant differences in color parameters (L^* , a^* , b^* , hue and color difference (ΔE)). Non pigmented rice had lower value of a^* but higher value of L^* and b^* compared with another. Moreover, a great difference of each color parameter with in the same groups was observed indicating the effect of cultivars and degree of milling. The same observation was found in chemical properties in which TPC, TAC, cy-3-glu and antioxidant activities significantly varied. The extracts from pigmented rice dramatically exhibited higher TPC, TAC, cy-3-glu and antioxidant activities than did the non-pigmented varieties. Among them, glutinous dark rice (GDR) had the highest levels of TPC, TAC, cy-3-glu and exhibited the greatest antioxidant activities.

Correlation coefficients (r) of color parameters showed negative and positive ranging between good and excellent correlation but no correlation were observed in a^* and b^* or a^* and C^o ($p < 0.01$). Positive correlations of TPC, TAC, cy-3-glu and three antioxidant activities were determined with range of 0.572-0.943 ($p < 0.01$). These correlations indicated that TPC and TAC were responsible for the antioxidant activities. Furthermore, all color parameters also showed poor to good in positive and negative correlation except no correlation between a^* and TAC ($p < 0.01$). These results revealed the potential color parameters to indicate their active constituents.

The classification of rice cultivars using color parameters and chemical properties were evaluated by two different chemometric methods: (i) principal component analysis (PCA), (ii) the cluster analysis (CA). Two methods were both successful to distinguish clusters of different pigmented and non-pigmented rice cultivars, which allowed the tested rice cultivars to be classified into three major groups with slightly difference members. However CA showed less performance to differentiate among pigmented rice cultivar compared to PCA.

Cooking process affected on the loss (%) of active constituents of twelve selected rice cultivars and polished white rice was also investigated. The higher losses in TAC and cy-3-glu contents of pigmented rice were observed than TPC. The reduction of TAC in non-pigmented rice was found but a significant increase of TPC was surprisingly observed. The decrease in three antioxidant activities were similar to other active constituents but some rice exhibited higher in FRAP and ABTS⁺, particularly in non pigmented rice. Even though, the higher loss of active constituents was observed in cooked pigmented rice, their active constituents were higher than those in cooked non-pigmented rice

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	IX
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข้าว.....	4
2.2 ด้.....	8
2.3 สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่พบในข้าว.....	14
2.4 อนุมูลอิสระและสารต้านออกซิเดชัน.....	20
2.5 การเปลี่ยนแปลงและการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานิน.....	27
2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	29
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	35
3.1 วัสดุอุปกรณ์.....	35
3.2 สถานที่ดำเนินงาน.....	39
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	45
4.1 สมบัติทางเคมี-กายภาพ.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 คำสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	62
4.3 การจัดกลุ่มข้าว.....	69
4.4 ผลของการหุงสุกต่อสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	84
บทที่ 5	
สรุปผลการทดลอง.....	93
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	93
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
บรรณานุกรม.....	96
ภาคผนวก.....	107
ภาคผนวก ก.....	108
ภาคผนวก ข.....	113
ภาคผนวก ค.....	117
ภาคผนวก ง.....	121

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว.....	4
2.2	ชนิดของแอนโทไซยานินที่พบในพืช.....	16
3.1	ชนิดข้าว พันธุ์ข้าว และแหล่งเพาะปลูก.....	35
4.1	ค่าเฉลี่ยและช่วงค่าของ พารามิเตอร์สีในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ.....	46
4.2	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์.....	51
4.3	ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ.....	58
4.4	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สีต่างๆ.....	62
4.5	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ.....	64
4.6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน 3 วิธี.....	67
4.7	ค่าไอเกินและเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์สีต่างๆ.....	70
4.8	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Communalities) ขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์สี.....	71
4.9	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Communalities) ขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางเคมี.....	76
4.10	ค่าไอเกินและเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางเคมี-กายภาพ.....	78
4.11	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Communalities) ขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางเคมี-กายภาพ.....	79
4.12	การเปรียบเทียบกลุ่มข้าวที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA และเทคนิค CA.....	83
4.13	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของข้าวบางสายพันธุ์.....	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.14	ความสามารถในการต้านออกซิเดชันและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของข้าว บางสายพันธุ์ภายหลังการหุง.....	89
ก1	ค่าพารามิเตอร์สีต่างๆ.....	109



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของเม็ดข้าว.....	7
2.2	คลื่นความถี่ต่าง ๆ ของแสงสีที่มองเห็น.....	8
2.3	พฤติกรรมกระสะท้อนของแสงที่ตกกระทบวัตถุทึบแสง.....	9
2.4	พฤติกรรมการส่องผ่านของแสงของวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส.....	9
2.5	ไดอะแกรมสีในระบบ CIELAB มองในระนาบ 2 มิติ.....	12
2.6	ไดอะแกรมสีในระบบ CIELAB ในรูป 3 มิติ.....	12
2.7	ค่าความแตกต่างของสีในระบบ CIELAB.....	13
2.8	สูตรโครงสร้างแอนโทไซยานิน.....	15
2.9	โครงสร้างที่มีบทบาทสำคัญในการต้านออกซิเดชันของสารประกอบ ฟีนอลิก; ฟลาโวนอยด์ <i>ortho</i> -diphenolic (A), 2-3 คอนจูเกต (conjugate) กับ 4-oxo (B), หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C ₃ และ C ₅ (C).....	22
2.10	ปฏิกิริยาการทำลายอนุมูล ABTS ^{•+} ของสารต้านออกซิเดชัน.....	24
2.11	ปฏิกิริยาของ FRAP assay.....	25
2.12	ไดอะแกรมแสดงหลักการของ ORAC assay.....	26
2.13	กราฟแสดงอัตราการลดลงของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์.....	26
4.1	ค่า Hue angle (h°) ของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ.....	49
4.2	Loading plot ขององค์ประกอบหลัก 1 และ 2 ของพารามิเตอร์สี.....	72
4.3	การจัดกลุ่มของข้าวสายพันธุ์ต่างๆโดยใช้พารามิเตอร์สีด้วยเทคนิค PCA.....	72
4.4	เดินโคโรแกรมของข้าวสายพันธุ์ต่างๆที่ใช้พารามิเตอร์สี ในการจัดกลุ่ม.....	74
4.5	เดินโคโรแกรมของข้าวสายพันธุ์ต่างๆที่ใช้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน 3 วิธีในการจัดกลุ่ม....	77
4.6	Loading plot ขององค์ประกอบหลัก 1 และ 2 ของทุกพารามิเตอร์.....	80
4.7	การจัดกลุ่มข้าวสายพันธุ์ต่างๆโดยใช้ทุกพารามิเตอร์.....	80
4.8	เดินโคโรแกรมของข้าวสายพันธุ์ต่างๆที่ใช้ทุกพารามิเตอร์.....	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ค 1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแกลลิกและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร.....	118
ค 2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีฟีนอลและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร.....	118
ค 3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีฟีนอลและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร.....	119
ค 4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีฟีนอลกับพื้นที่ใต้กราฟ ค่าที่ excitation และ emission ที่ 485 และ 535 นาโนเมตร.....	118
ง 1	กราฟมาตรฐานของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ในการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC.....	122
ง 2	โครมาโตแกรมสารสกัดข้าว GDR_11	122

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

คำย่อ	คำอธิบาย
AAPH	2,2'-azo-bis-(2-amino-propane)dihydrochloride
ABTS	2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)
ABTS ⁺	Radical cation ABTS ⁺ scavenging activity
AUC	พื้นที่ใต้กราฟ
BR	ข้าวกล้อง
CA	Cluster analysis
C ^o	โครมา
ΔE	ค่าความแตกต่างของสี
DPPH	2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical
dry wt	น้ำหนักแห้ง
FA	Factor analysis
Fe ²⁺	เฟอร์รัส
Fe ³⁺	เฟอร์ริก
FRAP	Ferric reducing antioxidant potential
g	กรัม
GBR	ข้าวเหนียวขาว
GDR	ข้าวเหนียวดำ
h ^o	ฮิวจ์
HPLC	โครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง
mg TE	มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์
mm	มิลลิเมตร
μm	ไมโครเมตร
net AUC	ค่าความแตกต่างของพื้นที่ใต้กราฟ
ORAC	Oxygen radical absorbance capacity
PCA	Principal component analysis
PR	ข้าวสีม่วง
r	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

คำย่อ	คำอธิบาย
RR	ซีวสีแดง
TEAC	Trolox equivalent antioxidant capacity
TPTZ	2,4,6-tripyridyl-s-triazine
v/v	ปริมาตรต่อปริมาตร
w/v	น้ำหนักต่อปริมาตร



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ข้าวเป็นแหล่งอาหารหลักของประเทศไทย และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ อีกทั้งยังทำให้เกิดการสร้างงานตั้งแต่ ภาคการเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ใช้ข้าวหรือผลิตภัณฑ์จากข้าวเป็นส่วนประกอบ รวมถึงอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ ดังนั้น ข้าวจึงเป็นพืชที่มีความสำคัญอย่างมากต่อประเทศไทย นอกเหนือจากข้าวจะเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตแล้ว ข้าวยังมีคุณค่าทางโภชนาการอื่นๆ ได้แก่ ธาตุเหล็ก แคลเซียม ฟอสฟอรัส ไนอะซิน และวิตามินต่างๆ เช่น วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง วิตามินอี เป็นต้น อีกทั้งยังประกอบด้วยสารสำคัญทางพฤกษเคมี ที่สำคัญหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน โทโคฟีรอล โทโคไตรอีนอล กรดเฟอรูลิก กรดพารา-คูมาริก กรดควานิลลิก เบต้า-แคโรทีน และ สารสำคัญอื่นๆ อีกด้วย (Hu และคณะ, 2003; Lambert และ Delcour, 2008) สารสำคัญทางพฤกษเคมี ที่พบในข้าวนี้ จะสะสมอยู่บริเวณ เพอริคาร์ป และอัลลูโรนของเมล็ดพืชเท่านั้น (Hu และคณะ, 2003; Abdel-Aal และ คณะ, 2006) ซึ่งสมบัติที่สำคัญของสารกลุ่มนี้ที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน คือ สมบัติเชิงโภชนเภสัช โดยเฉพาะการทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่ช่วยยับยั้งกระบวนการเกิดออกซิเดชันอันเป็นสาเหตุของโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดแข็งตัว โรคมะเร็ง และอื่นๆ เนื่องจากสารสำคัญทางพฤกษเคมีสามารถเข้าทำปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ทำปฏิกิริยาหรือทำลายอนุมูลอิสระโดยตรง ลดการเกิดสารประกอบเปอร์ออกไซด์ และกระตุ้นการทำงานของระบบเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งออกซิเดชันในร่างกาย เป็นต้น (Li และคณะ, 2005) นอกจากนี้ สารสำคัญทางพฤกษเคมีบางชนิดยังเป็นรงควัตถุที่สำคัญในข้าวได้แก่ แอนโทไซยานิน และเบต้า-แคโรทีน ซึ่งความเข้มของสีจะแปรผันตามปริมาณของรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบในข้าว ดังนั้น สีของข้าวจึงอาจเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณค่าทางโภชนเภสัชได้

สี เป็นดัชนีทางกายภาพที่แสดงถึงคุณภาพของวัตถุดิบทางการเกษตรและผลิตภัณฑ์ ในประเทศไทยมีข้าวหลากหลายสายพันธุ์ ทั้งที่ปลูกในเชิงพาณิชย์และการอนุรักษ์พันธุ์ ซึ่งข้าวมีสีต่างๆ ตั้งแต่ สีเหลืองอ่อน จนถึง สีแดง-สีดำ รงควัตถุในข้าวที่สำคัญได้แก่ แอนโทไซยานิน เบต้า-แคโรทีน และลูทีน เป็นต้น (Hu และ คณะ, 2003; Lambert และ Delcour, 2008) ความแตกต่างของสีและความเข้มของสีของสายพันธุ์ข้าวต่างๆ เหล่านี้ อาจใช้บ่งบอกปริมาณสารพฤกษเคมี หรืออีกนัยหนึ่งคือ สมบัติเชิงโภชนเภสัชที่สำคัญได้ ชนิดและปริมาณของรงควัตถุในข้าวขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ สภาพะในการเพาะปลูก สภาพะที่ใช้ในการสกัด และตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Zhou และ คณะ, 2004; Moore และคณะ, 2006) นอกจากนี้ ยังสามารถใช้พารามิเตอร์สี่ ปริมาณสารสำคัญ และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ในการจัดกลุ่มข้าวได้อีกด้วย

การสูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน พบตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว สภาพการเก็บรักษา การแปรรูป โดยเฉพาะระดับการขัดสี (Mpopfu และคณะ, 2006; Siebenhandl และคณะ, 2007) สำหรับประเทศไทยนิยมบริโภคในลักษณะข้าวหุงสุก ซึ่งขั้นตอนการหุงด้วยความร้อน และวิธีการหุง อาจเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งต่อการสูญเสียสารสำคัญในข้าว (Xu และ Chang, 2009 b; Hiemori และคณะ, 2009) โดยเฉพาะข้าวเหนียวที่ต้องผ่านการแช่ค้างคืน ก่อนนำมาผ่านความร้อน อาจเกิดการสูญเสียมากกว่าข้าวเจ้า ที่สามารถหุงได้เลย

องค์ความรู้ในส่วนของคุณภาพฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของข้าวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทยนี้ ยังอยู่ในวงจำกัดของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวเศรษฐกิจและข้าวพื้นเมืองบางสายพันธุ์ ดังนั้น การศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้งก่อนและหลังการหุง ตลอดจนการหาความสัมพันธ์ค่าสีกับปริมาณสารสำคัญในข้าวพันธุ์ต่างๆ อาจทำให้ได้ข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองที่มีศักยภาพสูง ในการเพิ่มมูลค่าของข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าวที่จะพัฒนาให้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ รวมถึงการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวพื้นเมืองให้เป็นข้าวสายพันธุ์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ องค์ความรู้ที่เกิดขึ้น สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ประโยชน์ทางด้านพฤกษเคมีของข้าวและเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาพารามิเตอร์สี่ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 51 สายพันธุ์

1.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สี่ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน รวมถึงการจัดกลุ่มข้าวด้วยวิธีการทางสถิติ

1.2.3 ศึกษาผลของการหุงสุกต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันในข้าวที่คัดเลือกบางสายพันธุ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาพารามิเตอร์สี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ 3 วิธี ได้แก่ วิธี ferric reducing antioxidative potential (FRAP) วิธี radical cation ABTS⁺ scavenging activity (ABTS⁺) และ วิธี oxygen radical absorbance capacity (ORAC) ในข้าวเจ้าและข้าวเหนียวสายพันธุ์ต่างๆ 50 สายพันธุ์ทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมืองและที่จำหน่ายตามห้างสรรพสินค้า โดยเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สี สารสำคัญและความสามารถในการต้านออกซิเดชันแต่ละวิธี รวมถึงจำแนกกลุ่มข้าวด้วยเทคนิควิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) และเทคนิควิเคราะห์กลุ่ม (Cluster analysis, CA) จากนั้น ทำการคัดเลือกข้าวจำนวน 12 สายพันธุ์มาศึกษาผลของการหุงสุกต่อการสูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน เพื่อเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาว



บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกในตระกูลหญ้า (Family) *Gramineae* สกุล (Genus) *Oryza* พบแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันพบ สายพันธุ์ (species) ต่างๆ ทั้งสิ้น 24 สายพันธุ์ โดยเป็นข้าวที่ปลูกเพื่อการบริโภค 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) นอกจากนั้นเป็นข้าวป่า หรือข้าวที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งจะกระจัดกระจายอยู่ตามที่ต่างๆ และมีเอกลักษณ์เฉพาะคือ มีหางข้าว (awn) ยาว แกลบมีสีดำเป็นส่วนใหญ่ และ เมล็ดแก่จะหลุดร่วงง่าย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

ข้าวประกอบด้วยองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามิน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว (กรัมต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง))

	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	แร่ธาตุ
ข้าวเปลือก	71.2	9.1	2.2	10.2	1.2
ข้าวกล้อง	83.2	11.0	2.7	1.2	1.8
ข้าวขัดขาว	88.9	9.8	0.5	0.3	0.6

ที่มา: คัดแปลงจาก รติดา โอสถานนท์ (2544)

2.1.1.1 คาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบหลักที่พบมากที่สุด มีประมาณ 77-89 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง คาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุด คือ สตาร์ช รองลงมาคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

สตาร์ช เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสและเป็นโฮโมพอลิเมอร์แซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืช แบ่งเป็น อะไมโลส และอะไมโลเพกติน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

- อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4' โกลโคซิดิก มีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ และโมเลกุลของอะไมโลสเป็นสายตรงมีโอกาสจับกับอะไมโลสโมเลกุลอื่นได้ ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นตาข่ายขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อะไมโลเพคติน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเช่นเดียวกับ อะไมโลส แต่มีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4' ไกลโคซิดิก และเป็นกิ่งก้านด้วยพันธะ α -1, 6' ไกลโคซิดิก

2.1.3.2 โปรตีน เป็นองค์ประกอบหลักที่พบรองจากคาร์โบไฮเดรต ซึ่งข้าวแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของโปรตีนที่แตกต่างกัน

2.1.3.3 ไขมัน ปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบในข้าวแสดงดังตารางที่ 2.1 เห็นได้ว่า ปริมาณไขมันในแต่ละชนิดข้าวและส่วนของเมล็ดข้าวมีปริมาณที่แตกต่างกัน พบในส่วน ของคัพภะมากที่สุด

2.1.3.4 วิตามินและแร่ธาตุ ข้าวส่วนใหญ่เป็นแหล่งสำคัญของวิตามินและแร่ธาตุ โดยส่วนใหญ่สะสมอยู่ในส่วนของรำข้าว ที่ประกอบด้วย เยื่อหุ้มข้าวกล้องเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด และจมูกข้าว วิตามินที่พบ ได้แก่ วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง และวิตามินอี เป็นต้น (พระจันทร์ กันยา, 2542)

2.1.2 ชนิดของข้าว

ข้าวสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนก เช่น

2.1.2.1 การจำแนกตามสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาทั่วไป (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

สามารถแบ่งเป็น 3 พวก (subspecies) คือ

1.) อินดิกา (indica) เป็นข้าวเมล็ดยาวเรียว เจริญเติบโตได้ดีในบริเวณเขตร้อน เช่น ประเทศศรีลังกา อินเดีย และ ไทย เป็นต้น

2.) จาปอนิกา (japonica) เป็นข้าวเมล็ดสั้นป้อม มีเปอร์เซ็นต์อะไมโลสต่ำ เจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น เช่น ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี และ ยุโรปตอนใต้ เป็นต้น

3.) จาวานิกา (javanica) เป็นข้าวต้นสูง เมล็ดใหญ่ป้อม ส่วนใหญ่เพาะปลูกในประเทศอินโดนีเซียเท่านั้น

สำหรับประเทศไทยนิยมปลูกข้าวอินดิกาที่มีเมล็ดยาว ซึ่งเป็นพวกที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมทั้งที่เป็นสายพันธุ์พื้นเมืองและสายพันธุ์ที่ปรับปรุงพันธุ์ใหม่ รวมทั้งสิ้นประมาณ 3,500 พันธุ์ ประกอบด้วยข้าวป่า ข้าวพื้นเมือง และข้าวที่ผสมโดยมนุษย์ขึ้นมาใหม่.

2.1.2.2 การจำแนกตามสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด (ทรงเชาว์ อินสมพันธ์, 2531)

1.) ข้าวเจ้า (non-glutinous rice) เป็นข้าวที่ประกอบด้วยแป้งประเภท starch endosperm 90 เปอร์เซ็นต์ แบ่งออกเป็น อะไมโลเพคติน (พอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันเป็นโซ่กิ่ง) ประมาณ 70-90 เปอร์เซ็นต์ และ อะไมโลส (พอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันแบบ โซ่ตรง) ประมาณ 10-30 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวสารมีสีขาวใส ทำให้สุกได้ด้วยวิธีการหุงหรือหนึ่ง ได้ข้าวที่มีสีขาวขุ่นและไม่เกาะตัวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ข้าวเหนียว (glutinous rice หรือ waxy rice) เป็นข้าวที่ประกอบด้วย อะไมโลเพคตินเกือบทั้งหมด หรือประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นอะไมโลสเพียงเล็กน้อย หรือไม่มีเลย เมล็ดข้าวสารมีสีขาวขุ่น ทำให้สุกด้วยการนึ่งแล้วจะได้ข้าวที่เหนียวที่มีสีขาวใสและ เกาะตัวกันแน่น

อัตราส่วนของ อะไมโลเพคติน และ อะไมโลสในเมล็ดข้าวสารนั้น เป็น ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน โดยข้าวเจ้า มีอะไมโลสสูง จะคุดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวเหนียวที่มีอะไมโลส ต่ำ ทำให้ข้าวสุกมีลักษณะสีขาวขุ่น ทึบแสง และร่วน ส่วนข้าวเหนียวจะคุดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวเจ้า ข้าวสุกจะมีลักษณะใส เหนียวและนุ่มกว่า (ทรงเชาว์ อินสมพันธ์, 2531)

นอกจากนี้ ชนิดของข้าวยังสามารถแบ่งตามลักษณะอื่นๆได้อีก เช่น สภาพภูมิประเทศและวิธีการปลูก ปฏิกริยาต่อช่วงแสง ขนาดและรูปร่างของเมล็ด เป็นต้น

2.1.3 โครงสร้างของข้าวกล้อง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) มีดังนี้

2.1.3.1 แกลบ (hull หรือ husk) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มข้าวกล้อง หรือผลทั้งหมด มีลักษณะเป็นเปลือกแข็ง ผิวหยาบ แยกเป็นสองฝาประกบกันห่อหุ้มข้าวกล้องตามแนวยาว เรียกว่า เปลือกฝาใหญ่ (lemma) และเปลือกฝาเล็ก (palea) ขอบเปลือกทั้ง 2 ฝา มีลักษณะเป็นตะขอเกี่ยวกัน ทำให้สามารถควบคุมรูปร่างและขนาดของเมล็ดข้าว

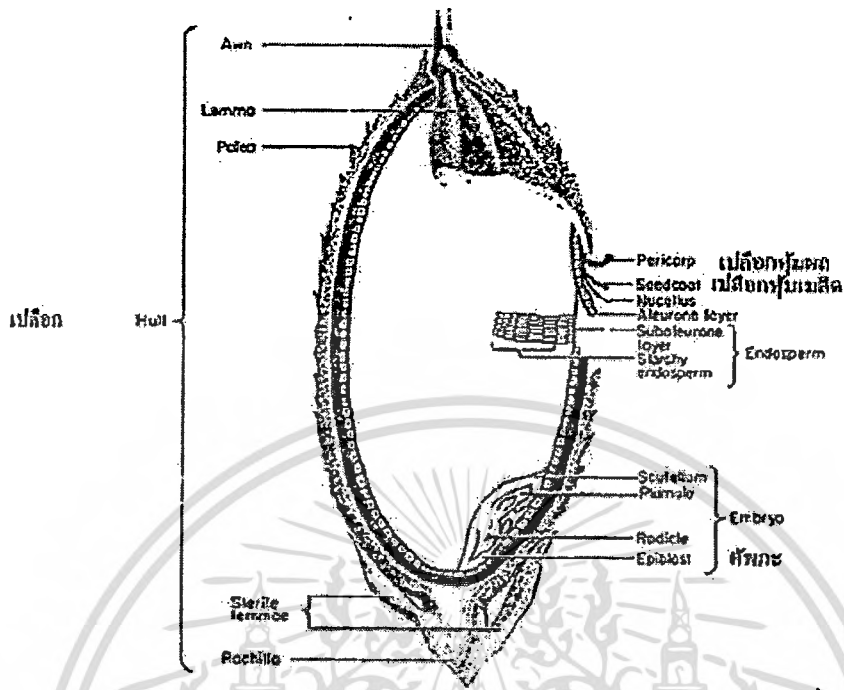
2.1.3.2 เยื่อหุ้มข้าวกล้อง (caryopsis coat) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่ เยื่อหุ้มชั้นนอก (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) และเยื่อคั่น (nucellus) ในเยื่อหุ้มกลุ่มนี้มีรงควัตถุที่มีสีต่างๆ จึงทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ เช่น ขาวแดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงหรือเกือบดำ ซึ่งข้าวกล้องที่มีสีม่วงหรือเกือบดำจะประกอบด้วยสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) สะสมอยู่

2.1.3.3 เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) เป็นเยื่อหุ้มชั้นในที่อยู่ถัดจากเยื่อคั่น และเป็นเนื้อเยื่อชนิดเดียวกับเนื้อเมล็ด (endosperm) เซลล์ของเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นชั้นที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบด้วย โปรตีนและไขมัน

2.1.3.4 ส่วนที่เป็นแป้ง (starchy endosperm) หรือส่วนที่รู้จักกันดีคือ ข้าวสาร เป็นส่วนที่อยู่ชั้นในสุดของเมล็ด พบประมาณร้อยละ 80 ของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ และมีโปรตีนเล็กน้อย

2.1.3.5 กัฟพะ (embryo) เป็นส่วนที่ติดอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งทางด้านท้องของเมล็ด กัฟพะจะเป็นส่วนที่เจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป จึงประกอบด้วย ต้นอ่อน (plumule) และรากอ่อน (radicle) เป็นต้น ภายในมีสารอาหารหลายชนิด ยกเว้น แป้ง

โครงสร้างของเมล็ดข้าวดังที่กล่าวมาแล้วสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 2.1



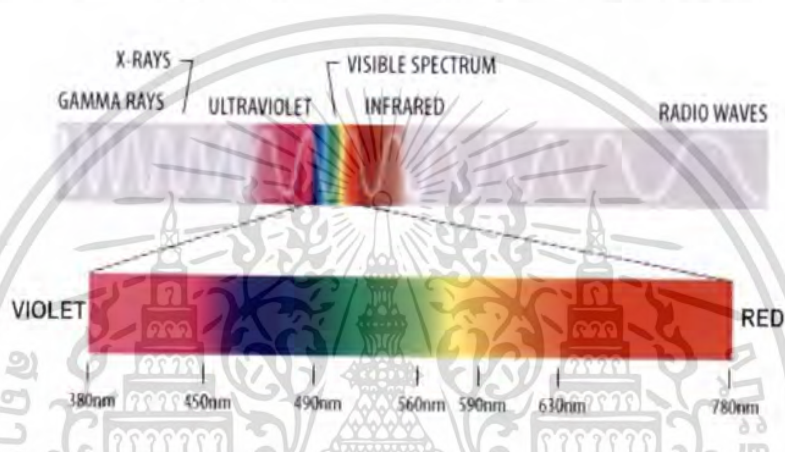
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล (2547)

ข้าวเป็นอาหารหลักของประเทศ และเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศ รวมทั้งเป็นแหล่งส่งออกข้าวที่มากที่สุดของโลก จึงเป็นศูนย์กลางของการศึกษาวิจัยพันธุ์ข้าวของโลก ประเทศไทยนิยมปลูกข้าวสายพันธุ์อินดิกา โดยเฉพาะในบริเวณที่ราบลุ่ม และกระจายพื้นที่การเพาะปลูกไปทั่วประเทศ ซึ่งข้าวเหนียวนิยมเพาะปลูกกันมากในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขณะที่ข้าวเจ้าเพาะปลูกมากในภาคกลางและภาคใต้ (มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2553 (ออนไลน์)) การปรับปรุงพันธุ์ข้าวของไทยนั้นได้ทำมานานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในแต่ละสภาพพื้นที่ เช่น พันธุ์ข้าวนาสวน ข้าวไร่ ข้าวขึ้นน้ำ ข้าวน้ำลึก พบทั้งชนิดข้าวเจ้าและข้าวเหนียว และเป็นพันธุ์ที่ปลูกเฉพาะนาปีและปลูกได้ตลอดปี พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกส่วนใหญ่เป็นข้าวเจ้าที่ไม่มีสี ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวชัยนาท 1 และข้าวปทุมธานี 60 เป็นต้น (กรมการข้าว, 2553 (ออนไลน์)) ส่วนข้าวมีสีนั้น เช่น ข้าวสีแดงนั้น พันธุ์ที่นิยมปลูกไว้บริโภค ได้แก่ ข้าวมันปู ข้าวจีบ และ ข้าวสังข์หยด ที่นิยมเพาะปลูกในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ภาคใต้ ตามลำดับ (นักวิชาการเกษตร, 2546) ส่วนข้าวมีสีสายพันธุ์อื่นๆ เช่น ข้าวสีนิล และข้าวกำ เป็นต้น ปัจจุบันผู้บริโภคได้เริ่มให้ความสนใจการบริโภคข้าวมีสีมากขึ้น เนื่องจาก ประกอบด้วยสารอาหารและสารสำคัญทางพฤกษเคมีสูงกว่าข้าวขัดขาว หรือข้าวกล้องโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สี

แสงในช่วงที่ตามองเห็น เป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่อยู่ในช่วงคลื่นประมาณ 380-780 นาโนเมตร (ภาพที่ 2.2) ซึ่งในแต่ละช่วงคลื่น จะมองเห็นสีได้แตกต่างกัน เช่น น้ำเงิน เหลือง และแดง จะอยู่ในช่วงคลื่น 450-490, 560-590 และ 630-780 นาโนเมตร ตามลำดับ คุณสมบัติเชิงแสงนี้มีความสำคัญมากต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค โดยปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นวัตถุที่มีสีต่างๆ ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุ และผู้สังเกต ซึ่งปัจจัยหลักเหล่านี้ มีผลต่อการปรากฏสีวัตถุ เช่น การใช้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน หรือแสงฟลูออเรสเซนต์ จะทำให้สีที่มองเห็นมีความแตกต่างกัน เป็นต้น ดังจะได้กล่าวในลำดับถัดไป



ภาพที่ 2.2 คลื่นความถี่ต่างๆ ของแสงสีที่มองเห็น

ที่มา: วัฒนาพร เชื้อนสุวรรณ (มปป.)

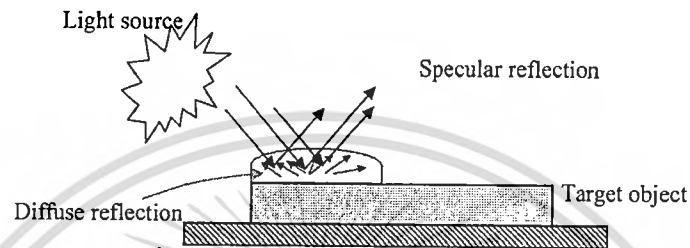
2.2.1 คุณสมบัติของแสง (จิตุพงษ์ วาฤทธิ์, มปป.)

พฤติกรรมของแสงจะแตกต่างกันตามคุณสมบัติของวัตถุที่แสงส่องผ่าน หรือตกกระทบ ซึ่งได้แก่

2.2.1.1 การดูดกลืน (Absorption) หมายถึง พฤติกรรมที่การดูดกลืนแสงของวัตถุ โดยวัตถุจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ได้แตกต่างกัน ความยาวคลื่นที่ไม่ถูกดูดกลืนจะสะท้อนออก ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีที่ความยาวคลื่นนั้นๆ เช่น วัตถุไม่ดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นระหว่าง 630-780 นาโนเมตร ก็จะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีแดง สำหรับพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนรูป ซึ่งมักเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน

2.2.1.2 การสะท้อน (Reflection) หมายถึง พฤติกรรมที่แสงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนออกจากวัตถุ โดยไม่เปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นแสงนั้นๆ ลักษณะของการสะท้อน แบ่งออกเป็น 2 แบบ (ภาพที่ 2.3) การสะท้อนแสงแบบเสมือนจริง (Specular reflection) เป็นการสะท้อนแสงกลับจากวัตถุที่เหมือนและมีขนาดใกล้เคียงกับแสงตกกระทบ บนวัตถุทึบแสง (opaque material) ที่มีพื้นผิวเรียบเป็นมันวาว แต่มีทิศทางตรงข้าม ซึ่งมุมที่แสงตกกระทบวัตถุเท่ากับมุมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์นิตานการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

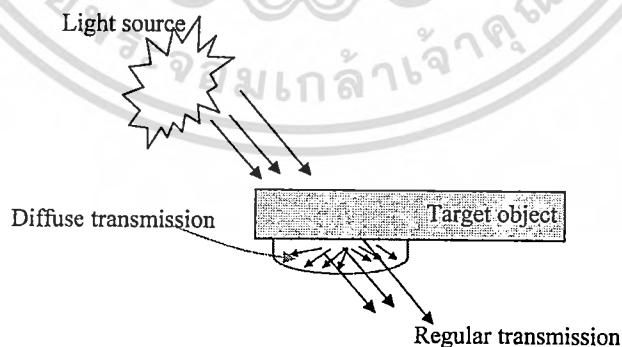
สะท้อน และจะสะท้อนออกเป็นลำแสง ตามลักษณะรูปแบบที่ตกกระทบ ส่วนแบบที่ 2 การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse reflection) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบวัตถุที่พื้นผิวไม่เรียบ ขรุขระ และด้าน เป็นการสะท้อนแสงที่บริเวณผิวจากวัตถุไปทุกทิศทางมีทิศทางไม่แน่นอน และมีขนาดเล็กกว่าแสงที่ตกกระทบมาก ซึ่งการสะท้อนแสงแบบกระจายเป็นส่วนของการสะท้อนที่ใช้ในการวัดเคลสี



ภาพที่ 2.3 พฤติกรรมการสะท้อนของแสงที่ตกกระทบวัตถุที่บดแสง
ที่มา: จาคูพงศ์ วาฤทธิ์ (มปป.)

โดยทั่วไปแล้ว วัสดุส่วนใหญ่จะมีลักษณะการสะท้อนที่ผสมผสานกันระหว่างการสะท้อนแบบเสมือนจริง กับการสะท้อนแบบกระจาย

2.2.1.3 การส่องผ่าน (Transmission) หมายถึง พฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนด้านหนึ่งของวัตถุแล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นเฉพาะกับตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่านได้ ลักษณะของการส่องผ่านขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเช่น ลักษณะพื้นผิว ความหนา รูปทรง และคุณลักษณะเฉพาะของวัตถุ เป็นต้น ลักษณะของการส่องผ่าน แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 พฤติกรรมการส่องผ่านของแสงของวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส
ที่มา: จาคูพงศ์ วาฤทธิ์ (มปป.)

การส่องผ่านของแสงมี 2 รูปแบบคือ การส่องผ่านแบบปกติ (Regular transmission) และ ส่องผ่านแบบกระจาย (Diffuse transmission) ถ้าวัตถุโปร่งแสงหรือมีความขุ่นตัวกลางยอมให้แสงผ่าน แต่ไม่สามารถมองผ่านไปยังอีกด้าน ซึ่งแสงที่ส่องผ่านวัสดุจะเปลี่ยนแปลงทิศทางไม่แน่นอน และเกิดเป็นแสงแบบกระจาย (scatter wide) การส่องผ่านแบบปกติของวัตถุโปร่งแสงจะน้อยกว่าวัตถุโปร่งใส ส่วนวัตถุโปร่งใสตัวกลางยอมให้แสงผ่าน สามารถมองผ่านแล้วเห็นภาพไปยังอีกด้านอย่างชัดเจน การวัดสีของวัตถุโปร่งแสง หรือวัตถุโปร่งใสนี้จะวัดที่ diffuse transmission ลักษณะเดียวกับการวัดสีแบบหลักการสะท้อนของแสง (จากพุงส์ วาฤทธิ, มปป.)

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็น การมองเห็นสีประกอบด้วยปัจจัยที่สำคัญ 3 ปัจจัย คือ

2.2.2.1 แหล่งกำเนิดแสง (light source) (ภักนัย ทองทีอัมพร, 2550) แบ่งเป็น

1.) แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ ได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแสงสีขาว ที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400-780 นาโนเมตร โดยเมื่อแสงผ่านปริซึมแสงสีขาวนี้จะแยกออกเป็นแถบสีต่างๆกัน 7 สี แต่แสงแดดในแต่ละสภาวะมีการกระจายพลังงาน (Spectral Energy Distribution, SED) ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับ ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ฤดู และช่วงเวลาของแสง (เช้า สาย บ่าย และเย็น) ดังนั้น การมองเห็นสีจากแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติในแต่ละสภาวะ จะทำให้มองเห็นสีที่แตกต่างกัน

2.) แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ เนื่องจากแสงตามธรรมชาติไม่สามารถควบคุมได้ การใช้เครื่องวัดสีจึงจำเป็นต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ เพื่อให้มีความสม่ำเสมอของแสง เพราะแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันจะมีผลให้การมองเห็นสีที่ต่างกัน นอกจากนี้ ในระบบมาตรฐานการวัดสีได้กำหนดมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงไว้ ซึ่งขึ้นกับการใช้งานต่างๆ โดยที่นิยมใช้กันมากได้แก่

Illuminant C ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอดไฟที่ใช้แทนแสงเหนือ (north sky daylight) (Color temperature ประมาณ 6,800 องศาเคลวิน) และ Illuminant D เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เทียบเท่าแสงแดดตอนเที่ยงวัน ได้แก่ D₆₅ (6,500 องศาเคลวิน) และ D₇₅ (7,500 องศาเคลวิน) เป็นแสงที่ได้จากหลอดไฟที่ใช้แทนแสงธรรมชาติตอนครีမ်ฝนหรือมีดหม่น โดยส่วนใหญ่นิยมวัดสีด้วยแหล่งกำเนิดแสงแบบ D₆₅ (วิชิตดา จันทราพรชัย, 2550)

2.2.2.2 วัตถุ (object) (วิชิตดา จันทราพรชัย, 2550) วัตถุที่มอง (specimen) จะเกิดการสะท้อนของแสงที่ทำให้เกิดสีของวัตถุแตกต่างกันไปตามลักษณะหรือชนิดของวัตถุ เช่น วัตถุทึบแสง โลหะ วัตถุโปร่งแสง และวัตถุโปร่งใส ซึ่งวัตถุทึบแสงและโลหะจะวัดสีโดยอาศัยหลักการสะท้อนของแสง ส่วนวัตถุโปร่งใสและโปร่งแสงจะวัดสีโดยอาศัยทั้งหลักการสะท้อนและการส่องผ่านของแสง

2.2.2.3 ผู้สังเกตการณ์ (observer) (วิชญูดา จันทราพรชัย, 2550) เมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุและสะท้อนเข้าตาผู้สังเกตการณ์เส้นประสาทที่ตาจะส่งสัญญาณไปยังเรตินาที่ประกอบด้วยเซลล์ 2 ประเภท คือ เซลล์รูปแท่ง (rod cells) และเซลล์รูปโคน (cone cells) ที่มีความไวต่อแสงที่แตกต่างกัน โดยเซลล์รูปแท่งจะไวต่อความสว่าง และมักใช้ในเวลามองในช่วงเวลากลางคืน ส่วนเซลล์รูปโคนจะแบ่งย่อย ตามความไวต่อแสงสีต่างๆ เป็น 3 ชนิดคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ดังนั้น การมองเห็นจึงเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างเซลล์ทั้ง 2 ชนิด

2.2.3 ระบบการวัดสี

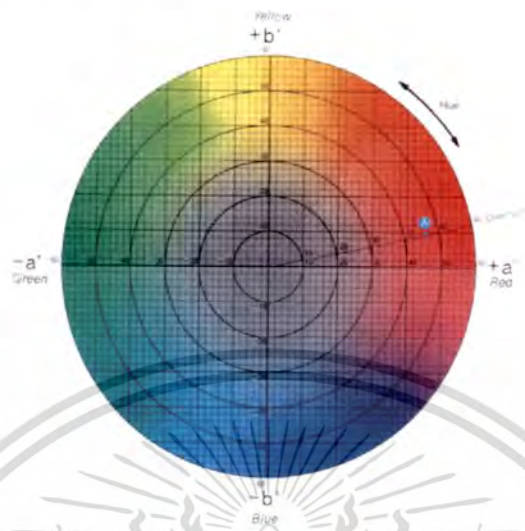
สีเป็นลักษณะปรากฏที่สำคัญในการบ่งชี้และควบคุมคุณภาพของสินค้า อย่างไรก็ตาม การอธิบายรายละเอียดของความแตกต่างของสีนั้นสามารถทำได้ยาก นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะหรือทิศทางของแสงในการตกกระทบวัตถุ รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นสี ดังนั้นจึงมีการจัดทำระบบการวัดสี เพื่อให้เกิดมาตรฐานและความเข้าใจที่ตรงกันกันในระดับสากลได้ ซึ่งระบบการวัดสีสากลที่เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหารได้แก่

2.2.3.1 ระบบ Munsell เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาในยุคแรกๆ เป็นระบบที่ตรงกับที่สายตามนุษย์มองเห็นสีแตกต่างกันเป็นช่วงที่เท่าๆกัน โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างกับแผ่นสีมาตรฐานด้วยสายตา จึงอาจเกิดข้อผิดพลาดได้จากแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน และตัวผู้สังเกตเอง นอกจากนี้ จำนวนแผ่นเทียบสีในระบบนี้ ยังไม่ครอบคลุมจำนวนสีที่สายตามนุษย์สามารถระบุความแตกต่างได้ อีกทั้งแผ่นสีนี้จะเปลี่ยนแปลงเลขสีได้ จึงมีอายุการใช้งานอีกด้วย (ภคินัย ทองทิอัมพร, 2550)

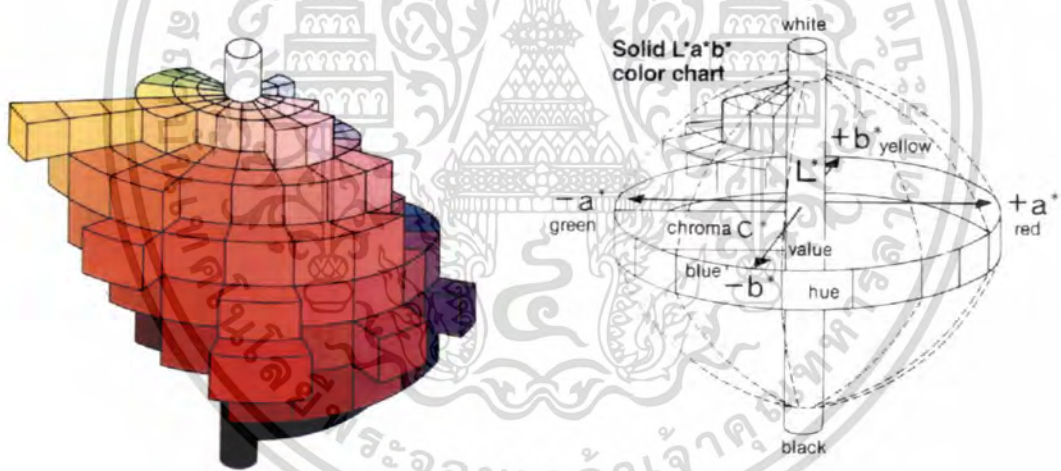
2.2.3.2 ระบบ CIE (Commission Internationale de l' Eclairage, CIE) เป็นระบบที่การวัดสี ที่จัดทำขึ้นโดยองค์กรที่รับผิดชอบในการกำหนดมาตรฐานและให้คำแนะนำเกี่ยวกับเรื่องแสง สี ในระดับนานาชาติ และยังเป็นองค์กรที่กำหนดแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน รวมถึงผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน (standard observer) ซึ่งระบบนี้เป็นการวัดด้วยเครื่องมือจึงไม่ขึ้นกับการตัดสินใจของผู้สังเกตการณ์ที่ต้องอาศัยประสบการณ์และการมองเห็นของแต่ละบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังเช่นระบบ Munsell การวัดสีระบบนี้อ่านค่าออกมาเป็นตัวเลขจึงสามารถระบุรายละเอียดได้ดีกว่า (ภคินัย ทองทิอัมพร, 2550)

ระบบ CIELAB หรือ $L^* a^* b^*$ นี้ เป็นระบบที่นิยมใช้ในการวัดค่าสีในอุตสาหกรรมหลากหลาย โดยปรับปรุงจากระบบ Hunter Lab ให้ค่าสีในวงกลมสีมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ค่า L^* หรือความสว่าง (lightness) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 โดย $L^*=0$ คือสีดำ และ $L^*=100$ คือสีขาว, ค่า a^* หมายถึงทิศทางของสีจากสีเขียว ($-a^*$) ไปยังทิศทางของสีแดง ($+a^*$) ส่วนค่า b^* หมายถึง

ทิศทางของสีจากสีน้ำเงิน ($-b^*$) ไปยังทิศทางของสีเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสีของ CIELAB แสดงได้ดังภาพที่ 2.5 และ 2.6



ภาพที่ 2.5 ไคอะแกรมสีในระบบ CIELAB มองในระนาบ 2 มิติ
ที่มา: อรัญ หาญสืบสาย (มปป.)



ภาพที่ 2.6 ไคอะแกรมสีในระบบ CIELAB ในรูป 3 มิติ
ที่มา: อรัญ หาญสืบสาย (มปป.)

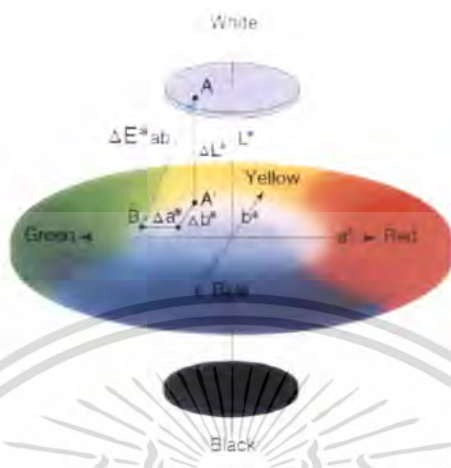
นอกจากการรายงานค่าสีแบบ $L^*a^*b^*$ แล้ว ยังสามารถรายงานในรูปแบบอื่นๆ โดยการคำนวณจากค่า L^*a^* และ b^* ดังนี้

Hue-angle (h'') เป็นค่ามุมมองของสีในระนาบ 2 มิติ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-360 องศา ได้จากการคำนวณจากสูตร $h'' = \tan^{-1}(b^*/a^*)$

โครมา (C'') เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มของสีในทิศทาง a และ b รวมกัน ได้จากการคำนวณจากสูตร $C'' = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการระบุค่าความแตกต่าง (color difference, ΔE) ระหว่างสี 2 นั้น สามารถคำนวณได้จากความแตกต่างหรือระยะห่างของ L^* , a^* และ b^* กับตัวอย่างมาตรฐานหรือสีมาตรฐาน (ภาพที่ 2.7) โดยการคำนวณจากสูตร $\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$



ภาพที่ 2.7 ค่าความแตกต่างของสีในระบบ CIELAB: จุด A คือ สีเป้าหมาย, จุด B คือ สีตัวอย่าง
ที่มา: อริญ ชาญสืบสาย (มปป.)

2.2.4 สีในข้าว

สีและความเข้มของสีในเมล็ดธัญพืชมีความแตกต่างกัน เช่น สีเหลือง น้ำตาล แดง ม่วง และดำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ชนิดและปริมาณของรงควัตถุที่มีอยู่ในเมล็ดธัญพืช รวมถึงความแตกต่างของสายพันธุ์ การเพาะปลูก ความอ่อนแก่ และระยะเวลาการออก (Adom และ Liu, 2002; Knievel และคณะ, 2009) สุพิศ สมนโต (2547) รายงานว่าข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่มีสีดำมีค่า L^* อยู่ระหว่าง 62.94-74.96 และมีค่าต่ำกว่าข้าวเหนียวขาวที่มีค่าอยู่ระหว่าง 87.25-88.23 นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวสีดำมีค่า a^* สูงกว่าข้าวเหนียวขาว ในขณะที่ค่า b^* ต่ำกว่า โดยมีค่าเท่ากับ 0.65-4.80 และ 2.31-3.98 ตามลำดับ ส่วนข้าวเหนียวขาวมีค่าอยู่ระหว่าง 1.38-1.48 และ 7.44-7.50 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจาก สายพันธุ์ หรือ พันธุกรรมของข้าวที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการสร้างรงควัตถุที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณจึงส่งผลต่อการปรากฏสีที่แตกต่างกัน

ส่วนรายงานการวิจัยที่ผ่านมาในต่างประเทศ เช่น Goffman และ Bergman (2004) ได้แบ่งสีของรำข้าวออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สีแดง สีม่วง และสีน้ำตาลอ่อน อีกทั้งยังพบความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันอีกด้วย ต่อมา Bellido และ Beta (2009) ได้รายงานว่ ลักษณะสีที่ปรากฏของข้าวบาร์เลย์สีม่วง-ดำที่ผ่านการปรับปรุงสายพันธุ์ จากประเทศแคนาดา ขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของข้าว และความอ่อนแก่ของข้าว ที่จะส่งผลต่อการสังเคราะห์ทั้งชนิดและปริมาณแอนโทไซยานินในเชื้อหุ้มเนื้อเมล็ด และในปีเดียวกัน Knievel และคณะ รายงานผลของพันธุกรรมในข้าวสาลีสีน้ำเงินและสีม่วง 6 สายพันธุ์ว่า ค่า L^* , a^* และ b^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างข้าวสาลีสีน้ำเงินและสีม่วงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าข้าวสาลีในกลุ่มนี้เดียวกัน เช่น สีน้ำเงินมีค่า $L^* a^*$ และ b^* ที่ใกล้เคียงกัน แต่เป็นคนละสายพันธุ์กัน

2.3 สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่พบในข้าว

สารประกอบฟีนอลิก จัดเป็นสารประกอบทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่ถูกสร้างขึ้นโดยมีโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกันไป เช่น ใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ปกป้องพืชจากการติดเชื้อหรือถูกทำลายโดยแมลง คึงดูดแมลงในการผสมเกสรดอกไม้ และทำให้เกิดสีและกลิ่นรสในผักและผลไม้สดด้วย โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิกจะพบในผัก ผลไม้และธัญพืช บริเวณผิวชั้นนอกเป็นส่วนใหญ่ เช่น เปลือก เยื่อหุ้มเมล็ด เป็นต้น โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วย วงแหวนอะโรมาติก อาจมีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่หรือมากกว่า มาเกาะอยู่ มีโครงสร้างตั้งแต่โมเลกุลอย่างง่ายไปจนถึงโครงสร้างที่เป็นโพลีเมอร์ (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545; Bravo, 1998)

2.3.1 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

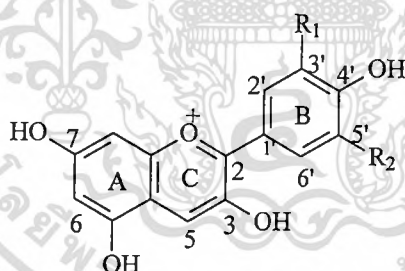
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดนั้นวิเคราะห์ได้จากการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล โดยปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ นอกจากจะเกิดจากการที่สารประกอบฟีนอลิกเข้าทำปฏิกิริยาแล้ว ยังอาจเกิดจากการเข้าทำปฏิกิริยาของสารประกอบรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น น้ำตาล โปรตีน และกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ เป็นต้น

การศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวและธัญพืช มีรายงานจากงานวิจัย Goffman และ Bergman (2004) ได้รายงานปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าว (*Oryza sativa* L.) ที่มีสีทั้ง 17 สายพันธุ์ (น้ำตาล แดง และม่วง) ไว้ในช่วง 3.1-45.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยข้าวที่มีสีเข้ม (สีม่วง) มีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด ส่วนข้าวที่มีสีอ่อน (สีน้ำตาล) มีปริมาณต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบในรายงานของเพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ที่รายงานปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวเจ้ากล้องลูกผสม (45 สายพันธุ์) และข้าวเหนียวมีสี (6 สายพันธุ์) ว่ามีปริมาณแตกต่างกัน โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 276.15 และ 406.46 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ต่อมา อชิตยา โรจนสโรช (2551) ได้วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวเหนียวดำ (7 สายพันธุ์) สีนิล (7 สายพันธุ์) และข้าวแดง (7 สายพันธุ์) รวมจำนวนทั้งหมด 21 สายพันธุ์ พบว่าข้าวเหนียวดำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (119.3 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) รองลงมาคือ ข้าวแดงและข้าวสีนิลตามลำดับ

2.3.2 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่พบในผัก ผลไม้ และเนื้อเยื่อของพืช (Stintzing และคณะ, 2002) รวมทั้งพบในรัฐพืชชนิดต่างๆ ที่มีสีแดงถึงดำ โดยพบอยู่บริเวณเยื่อหุ้มชั้นนอก (pericarp) และเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) ของธัญพืช (Hu และคณะ, 2003; Abdel-Aal และคณะ, 2006) แอนโทไซยานินเป็นสารที่ไม่มีพิษ สามารถละลายน้ำได้ แต่ไม่ละลายในสารละลายที่ไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล (non-hydroxyl solvent) เช่น อีเทอร์ อะซิโตน คลอโรฟอร์ม และเบนซีน (Rodriguez-Saona และ Wrolstad, 2001)

แอนโทไซยานิน เป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีโครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุล คือ ส่วนที่เป็น อะไกลโคน (aglycone) หรือแอนโทไซยานิดิน (ภาพที่ 2.8) ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก A ที่เชื่อมต่อกับวงแหวนเฮเทอโรไซคลิก C (heterocyclic ring) ซึ่งมีออกซิเจนรวมอยู่ด้วย (วงแหวนเบนโซไพแรน 2 วง) และเชื่อมต่อกับพันธะ C-C กับวงแหวนอะโรมาติก B (วงแหวนฟีนิล) (Castañeda-Ovando และ คณะ, 2009) เป็นอนุพันธ์ของเกลือฟลิวเวียม (flavylium salt) ปกติอะไกลโคนที่อยู่ในรูปอิสระ (free aglycone) จะพบในอาหารและพืชน้อยมาก ยกเว้น ในผลิตภัณฑ์ที่เกิดการสลายตัว (degradation) ของรงควัตถุนี้ ซึ่งโครงสร้างของแอนโทไซยานินที่พบในธรรมชาติ มักเชื่อมต่อกับโมเลกุลของน้ำตาล 1 หรือ 2 โมเลกุล น้ำตาลที่พบมาก มี 5 ชนิด คือ กลูโคส แรมโนส กาแลกโตส ไซโรส และ อะราบิโนส (Harborne และ Williams, 2001)



ภาพที่ 2.8 สูตรโครงสร้างแอนโทไซยานิน

ที่มา : Stintzing และ Carle (2004)

ความแตกต่างของแอนโทไซยานิน ขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล ชนิด จำนวน หรือ ตำแหน่งของน้ำตาลที่มาเกาะกับโมเลกุล และจำนวนของกรดอะลิฟาติก หรือ อะโรมาติก ที่มาเกาะกับโมเลกุลของน้ำตาลภายในโมเลกุลแอนโทไซยานิน อย่างไรก็ตาม ในพืชนั้น พบแอนโทไซยานินที่มีปริมาณสูงเพียง 6 ชนิดเท่านั้น คือ พีลาร์โกนินิดิน (Pelargonidin, Pg), พีโอนินิดิน (Peonidin, Pn), ไซยานิดิน (Cyanidin, Cy), มัลวิดิน (Malvidin, Mv), พีตุนิดิน (Petunidin, Pt) และเดลฟินิดิน (Delphinidin, Dp) โดยโครงสร้างของแอนโทไซยานินชนิดต่างๆ ที่พบในธรรมชาติ แสดงดังตารางที่ 2.2 (Escribano-Bailón และคณะ, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ชนิดของแอนโทไซยานินที่พบในพืช

ชนิดของแอนโทไซยานิน	หมู่แทนที่	
	R ₁	R ₂
เคลฟีนิคิน	OH	OH
พีคูนิคิน	OCH ₃	H
ไซยานิดิน	OH	H
ฟีลาร์โกนิคิน	H	H
พีโอนิดิน	OCH ₃	H
มัลวิดิน	OCH ₃	OCH ₃

ที่มา : Stintzing และ Carle (2004)

ปริมาณของแอนโทไซยานินที่พบในข้าวและธัญพืช ได้มีรายงานจากงานวิจัยของ Abdel-Aal และ Hucl (1999) ที่พบว่าในข้าวสีน้ำเงินมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 0.157 มิลลิกรัมต่อกรัม ต่อมาในปี 2006 Abdel-Aal และคณะ ได้รายงานว่ ธัญพืชที่มีสีตั้งแต่สีแดงจนถึงดำ สามารถตรวจพบแอนโทไซยานินในช่วงที่กว้าง (0.007-3.276 มิลลิกรัมต่อกรัม) ซึ่งธัญพืชแต่ละชนิดที่มีสีที่แตกต่างกันจะมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดแตกต่างกัน นอกจากนี้ธัญพืชที่มีสีเข้มหรือน้ำเงินถึงดำ ตรวจพบปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่าธัญพืชที่มีสีอ่อน นอกจากนี้ยังพบรายงานของ สุพิศา สมโต (2547) ที่รายงานไว้ว่า ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่มีสี มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่าข้าวที่ไม่มีสี โดยข้าวเจ้าไร่น้ำแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงสุด (310.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง)) ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่มีสีพันธุ์อื่นๆนั้นมีปริมาณต่ำกว่ามาก อยู่ระหว่าง 15.13-104.33 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) และตรวจไม่พบข้าวเหนียวขาว

ชนิดของแอนโทไซยานินมีรายงานจาก Ryu และคณะ (1998) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของแอนโทไซยานินในข้าวเจ้าสีดำ 9 สายพันธุ์ (Jawangdo, Sanghaehyeolla, Hongmi, Heugjinmi, Suwon #405, Suwon #415, Suwon #420, Suwon #425 และ Kilimheugmi) ด้วยเทคนิค HPLC ตรวจพบแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบอยู่ 2 ชนิด หลักๆ คือ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) และ พีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ (peonidin-3-glucoside) ซึ่งสอดคล้องกับ การทดลองของ Hu และคณะ (2003) ที่ได้ศึกษาองค์ประกอบของแอนโทไซยานินที่พบในข้าวสีดำ (*Oryza sativa L. indica*) ทั้งเมล็ดและส่วนของเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) ด้วยวิธี HPLC เช่นกัน ว่าประกอบด้วยไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และ พีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นส่วนใหญ่ อีกทั้งการทดลองของ Yawadio และคณะ (2007) พบว่า ในข้าวสีดำและข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลี้อง (*Oryza sativa* L. japonica) ประกอบด้วย cyanidin-3-O-β-glucoside และ peonidin-3-O-β-glucoside สำหรับชนิดของแอนโทไซยานินในสายพันธุ์ข้าว (*Oryza sativa* L.) ของประเทศไทย นั้น เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ได้ศึกษา ชนิดของแอนโทไซยานิน ในข้าวที่มีสีพันธุ์ผสมทั้ง ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว พบว่า ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวพันธุ์ผสมที่มีสีนั้นตรวจพบแอนโทไซยานิน 2 ชนิด คือ ไชยานิดินและพีโอนิดิน

ในธัญพืชชนิดอื่นๆ ก็ตรวจพบแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบด้วยเช่นกัน ในข้าวสีดำ และข้าวสีแดงสามารถพบไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เป็นองค์ประกอบที่มากที่สุด ส่วนในข้าวโพดสี น้ำเงิน, ชมพู, ม่วงและแดง พบ พีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ เป็นหลัก (Abdel-Aal และคณะ, 2006) ในปี 2007 Hu และคณะ รายงานว่า ข้าวสาลีสีน้ำเงิน (*Triticum aestivum* L.cv. Hedong Wumai) ประกอบด้วย ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์เป็นองค์ประกอบหลักเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบแอนโทไซยานินชนิดอื่นที่เป็นองค์ประกอบในข้าวสาลี สีน้ำเงิน ได้แก่ ไชยานิดิน-3-กาแลคโตไซด์, ฟิลาโรโกนิน-3-กลูโคไซด์และพีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ และในปีถัดมา Hosseinian และคณะ (2008) ทำการศึกษาชนิดแอนโทไซยานินที่สามารถพบได้ในข้าวสาลีสีม่วงทั่วไปและที่ผ่านการให้ความร้อน (heat stress) ตรวจพบ แอนโทไซยานิน 13 ชนิด โดยพบ ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และ พีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ เป็นสารประกอบในกลุ่มแอนโทไซยานินที่สามารถพบได้โดยทั่วไปในข้าว และธัญพืชที่มีสีแดง-ดำ

2.3.3 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณและชนิดสารประกอบฟีนอลิก

2.3.3.1 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในพืชผัก ผลไม้ ธัญพืชและเครื่องดื่มนิยมวัดด้วย ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลในตัวอย่างโดยรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ซึ่งไม่มีการระบุชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในตัวอย่าง และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดนั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่ดีกับความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปฏิกริยาจะอาศัยการเคลื่อนย้าย อิเลคตรอนจากหมู่ฟีนอลิก (phenolic group) เพื่อรีดิวซ์โมลิบเดต (molybdates, Mo(VI)) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของรีเอเจนต์ Folin-Ciocalteu ในสถานะที่เป็นค่าจะถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูปของ (Mo(V)) ดังปฏิกริยาที่แสดงไว้ดังนี้ (Prior และคณะ, 2005)



สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจะคำนวณ โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก หรือสารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข หรืออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีวิเคราะห์แอนโธไซยานินในกลุ่มรัฐพืช ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ตามวิธีของ Abdel-Aal และ Hucl (1999) โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นนำค่าที่วัดได้แทนค่าในสมการ วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วสำหรับการหาปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดในรัฐพืชที่มีสี โดยปกติแล้ว แอนโธไซยานินที่สกัดจากผัก ผลไม้หรือรัฐพืชจะประกอบด้วยแอนโธไซยานินเพียงชนิดเดียว หรือ หลายชนิด อีกทั้งยังมีสารอื่นๆ ในสารสกัดด้วย แต่แอนโธไซยานินแต่ละชนิดนั้นจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในช่วง 500-535 นาโนเมตร

2.3.3.2 การวิเคราะห์ด้วยโครมาโทกราฟี

ปัจจุบันการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารที่สนใจนิยมใช้เทคนิค

โครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography: HPLC) (Robbins, 2003) ซึ่งอาศัยหลักการของ เฟสเคลื่อนที่ หรือของเหลวที่ความดันสูงจะเกิดแรงพา (impelling force) สารผสมที่สนใจในตัวอย่าง เคลื่อนที่ผ่านเฟสคงที่ (stationary phase) ซึ่งเฟสคงที่ที่จะสร้างแรงหน่วง (retention force) ต่อสารชนิดต่างๆ ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประจุ ความจำเพาะ (specificity) การดูดซับ (adsorption) และการละลาย (solubility) ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของสารผ่านเฟสคงที่แตกต่างกัน จึงสามารถแยกสารผสมออกจากกันในคอลัมน์ โดยสารแต่ละชนิดจะเคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์ในเวลาที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงผ่านเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (detector) เพื่อตรวจวัดสัญญาณในรูปสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเวลาและความเข้มของสัญญาณของสารแต่ละตัวจะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณ ที่แสดงผลในรูปที่เรียกว่า โครมาโทแกรม (chromatogram) ประกอบด้วยพีก (peaks) ของสารต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของสารผสม (ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, 2544) โดยทั่วไป สารประกอบฟีนอลิกช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการตรวจวัดอยู่ในช่วงที่กว้าง ซึ่งการเลือกความยาวคลื่นมาใช้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของสารประกอบ

การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นการวัดที่ให้ค่าโดยรวมของสารที่สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนั้นๆ ซึ่งไม่ใช่เฉพาะสารที่สนใจเท่านั้น แต่อาจมีสารอื่นๆ รวมด้วย จึงไม่สามารถให้ค่าเชิงปริมาณของสารชนิดใดชนิดหนึ่งหรือสารที่สนใจได้อย่างเฉพาะเจาะจง (Tsao และ Yang, 2003) เช่น ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด วิธีนี้ส่วนใหญ่ให้ค่าปริมาณสารสำคัญที่สนใจสูงเกินกว่าค่าจริง ซึ่งการเกิดสีของปฏิกิริยานั้นอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอื่นๆ เช่น โมเลกุลของน้ำตาล โปรตีน กรดอะมิโน วิตามินซี เป็นต้น (Escarp และ González, 2001) แต่การใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นวิธีที่สะดวก ไม่ยุ่งยาก และราคาถูกลง ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารที่มีปริมาณต่ำในระดับ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม อย่างเฉพาะเจาะจง จึงเหมาะการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณที่แน่นอนของสารประกอบในตัวอย่างนั้นๆ (ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, 2544)

2.3.4 ผลของสายพันธุ์และสภาวะ/พื้นที่ในการเพาะปลูกต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

การศึกษาถึงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและองค์ประกอบต่างๆ ของข้าวและธัญพืช สายพันธุ์ต่างๆที่เป็นพันธุ์เศรษฐกิจ ทั้งในทวีปเอเชีย ยุโรปและอเมริกา พบว่า ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและองค์ประกอบแตกต่างกันออกไป เช่น เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ได้รายงานปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในข้าวที่มีสีพันธุ์ผสม ว่าข้าวหอมนิลพันธุ์ลูกผสม 45 สายพันธุ์ และมาจากต่างพื้นที่การเพาะปลูก มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 77.86-850.50 และ 0.66-279.05 มิลลิกรัมต่อ 100กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงค่าที่กว้าง จากการศึกษาี้สามารถสรุปได้ว่า สายพันธุ์และพื้นที่การเพาะปลูกที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

Suttajit และคณะ (2006) ได้รายงานถึงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวไทยพันธุ์ลูกผสมจำนวน 49 สายพันธุ์ ว่ามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของข้าว โดย ข้าวสีดามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ต่อมา Chotimarkorn และคณะ (2008) ได้วิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในรำข้าวไทย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 60 สุพรรณบุรี 90 ชัยนาท 1 และ กข 13 โดยตรวจพบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด(3.2 มิลลิกรัม ต่อกรัม) ในข้าวปทุมธานี 60 อีกทั้งยังพบว่าในรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์มีปริมาณสารสำคัญ เช่น สารประกอบฟีนอลิก โทโคฟีรอล และ โทโคไตรอีนอล เป็นต้น แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของข้าว นอกจากนี้ Butsat และ Siriamornpun (2010) ได้ศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในเปลือก รำ และข้าวกล้องของข้าวหอมมะลิ105 ที่เพาะปลูกในพื้นที่สุวรรณภูมิ, โพนไสย และ เกษตรวิสัย พบว่า พื้นที่การเพาะปลูกส่งผลให้ข้าวมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ข้าวกล้องที่เพาะปลูกในพื้นที่สุวรรณภูมิ มีปริมาณที่น้อยกว่าอีก 2 พื้นที่

สำหรับรายงานในต่างประเทศ Kong และ Lee (2009) ได้วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวดำ 2 สายพันธุ์ (*O. sativa* L. cv. *Heuginjubyeo* และ *O. sativa* L. *Heugkwangbyeo*) พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวทั้งเมล็ดสายพันธุ์ *Heuginjubyeo* มีปริมาณสารทั้งสอง สูงกว่าสายพันธุ์ *Heuginjubyeo* ส่วนในธัญพืชชนิดอื่นๆ Moore และคณะ (2006) รายงานไว้ในรำข้าวสาลี 20 สายพันธุ์ ที่มาจากต่างพื้นที่เพาะปลูกและสภาวะในการเพาะปลูกแตกต่างกัน มีผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในแต่ละตัวอย่าง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2-4 มิลลิกรัมต่อกรัม นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น แหล่งเพาะปลูก วิธีการเพาะปลูก สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ปริมาณและช่วงเวลาของแสงแดด และวิธีการให้น้ำ/ปุ๋ย ล้วนส่งผลต่อปริมาณสารสำคัญ (Moore และคณะ, 2006; Siebenhandl และคณะ, 2007; Li และคณะ, 2008)

2.4 อนุมูลอิสระและสารต้านออกซิเดชัน

2.4.1 อนุมูลอิสระ (สุวดี โลวีกรณ, 2549)

อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลหรืออะตอมที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอย่างน้อย 1 ตัว โคจรรอบวงนอกสุด ซึ่งเกิดจากการแตกออกของพันธะระหว่างอะตอมและทำให้มีอิเล็กตรอนเดี่ยวคงเหลือตามปกติ อนุมูลอิสระจะมีอายุสั้นมาก ประมาณ 1 หรือ 10^{-3} - 10^{-10} วินาที แต่อนุมูลอิสระมีความเสถียรต่ำและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง จึงทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่อยู่รอบๆ โดยรับหรือให้อิเล็กตรอน โมเลกุลข้างเคียงเพื่อให้เกิดความเสถียร ส่วนโมเลกุลข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่ไม่เสถียรและไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป จึงเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) อนุมูลอิสระสามารถเกิดขึ้นได้เองเมื่อร่างกายได้รับสารอินทรีย์บางอย่าง โดยโมเลกุลของสารตั้งต้นถูกกระตุ้นด้วยความร้อนและ/หรือได้รับอิเล็กตรอนจากสารรีดิวซ์ หรือถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และการเกิดอนุมูลอิสระเพียง 1 ตัว สามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้อีกเป็นจำนวนมาก

2.4.2 สารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชัน คือ สารประกอบที่ต่อต้านการเกิดออกซิเดชันอันเป็นสาเหตุของการเกิดอนุมูลอิสระ โดยทางตรงและทางอ้อม ส่วนใหญ่ สารต้านอนุมูลอิสระอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่ช่วยในการทำงานของเอนไซม์ โดยอาศัยความสามารถในการรับหรือให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียร และไม่ทำปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปได้ (ไมตรี สุททจิตต์ และ ศิริวรรณ สุททจิตต์, 2545 ก)

2.4.2.1 ประเภทของสารต้านออกซิเดชัน ที่พบในธรรมชาติแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (Frankel และ Mayer, 2000) ดังนี้

- 1.) สารต้านออกซิเดชัน ในกลุ่มของเอนไซม์ที่สร้างได้ในเซลล์ร่างกาย ได้แก่ คะตาเลส (catalase), ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) เป็นต้น
- 2.) สารต้านออกซิเดชัน ในกลุ่มของวิตามิน ได้แก่ วิตามินอี (ในถั่ว ธัญพืช ข้าว ข้าวกล้อง และงา เป็นต้น) และวิตามินซี (ในผักและผลไม้)
- 3.) สารต้านออกซิเดชัน ในกลุ่มของแร่ธาตุ ได้แก่ ซีลีเนียม และสังกะสี
- 4.) สารต้านออกซิเดชัน ในกลุ่มของสารพฤกษเคมี (phytochemical) ได้แก่ แคโรทีน ไกลโคปีน แซนโทฟิล แทนนิน และ ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น

สารที่มีสมบัติในการต้านออกซิเดชันในข้าว (Adom และ Liu, 2002) ประกอบด้วย สารในกลุ่ม แร่ธาตุ กลุ่มของวิตามินอี เช่น โทโคฟีรอล และโทโคไตรอีนอล และกลุ่มของสารพฤกษเคมี เช่น กรดฟีนอลิก และ แอนโทไซยานิน เป็นต้น

2.4.2.2 กลไกการต้านออกซิเดชัน

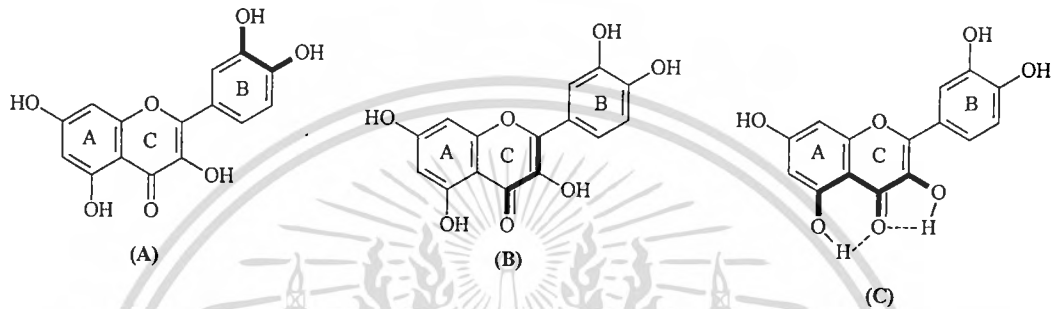
ในปัจจุบันสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติในกลุ่มของสารพฤกษเคมี โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกจากพืช ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในแง่ของการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคต่าง ๆ โดยทั่วไป สารต้านออกซิเดชันจะให้อิเล็กตรอน (e^-) หรือไฮโดรเจนอะตอม (H^\cdot) แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้นเพื่อทำลายอนุมูลอิสระ หรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดออกซิเดชัน (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545) โดยสารต้านออกซิเดชันเองจะไม่เปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ เมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระแล้ว

สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกต่างๆ เช่น ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน และสารประกอบอื่นๆ เช่น วิตามินซี และ วิตามินอี เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันและได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก จึงได้มีการศึกษาถึงความสามารถ สมบัติ รวมถึงกลไกการต้านออกซิเดชันของสารกลุ่มนี้ โดยกลไกที่สำคัญของการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกนั้น มีดังนี้ (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545; โอภา วัชรระคุปต์, 2549)

1. การให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนโดยตรง ซึ่งความสามารถในการต้านออกซิเดชันขึ้นอยู่กับศักยภาพการรีดักชันและการลดการเกิดอนุมูลเปอร์ออกซิล
2. การจับโลหะ ตำแหน่งของโมเลกุลของสารที่จับกับโลหะได้ หรือ สารที่มีโครงสร้างแบบ *ortho*-diphenolic ซึ่งมีประสิทธิภาพการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยสามารถจับกับทองแดง
3. การกำจัดเปอร์ออกซีไนไตรท์ (*peroxynitrite*) ซึ่งเป็นออกไซด์ที่เป็นพิษ และมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง สารประกอบนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์กับไนตริกออกไซด์ สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้โดยการกำจัดกำจัดเปอร์ออกซีไนไตรท์
4. การกำจัดอนุมูลลิปิดเปอร์ออกซิล (*lipid peroxy*) โดยยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ โครงสร้างที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการยับยั้งปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ที่มีโครงสร้างจำเพาะในการให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลลิปิดเปอร์ออกซิล โดยสารในกลุ่มนี้ต้องสามารถละลายได้ในไขมัน เช่น คาเทชิน ที่สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันชนิด LDL ได้

ความสามารถในการต้านออกซิเดชันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลบนโครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์ ซึ่งโครงสร้างที่มีบทบาทสำคัญในการต้านออกซิเดชันมี 3 แบบ (ภาพที่ 2.9) (Rice-Evans และคณะ, 1997; Soobrattee และคณะ, 2005) ดังนี้

1. โครงสร้างแบบ *ortho*-diphenolic หรือ catechol (ตำแหน่ง 3' และ 4' ที่วง B) เป็นโครงสร้างที่มีบทบาทมากที่สุดในการต้านออกซิเดชัน
2. พันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 คอนจูเกต (conjugate) กับ 4-oxo
3. หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C_3 และ C_5 ในวง C



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างที่มีบทบาทในการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก; ฟลาโวนอยด์ *ortho*-diphenolic (A), 2-3 คอนจูเกต (conjugate) กับ 4-oxo (B), หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C_3 และ C_5 (C)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Soobrattee และคณะ (2005)

ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มกรดฟีนอลิก และ เอสเทอร์ของกรดฟีนอลิก ขึ้นอยู่กับจำนวนและตำแหน่งของหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลบนโครงสร้าง หากจำนวนของหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้น เช่น กรดแกลลิกที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ ทำให้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันดีที่สุด อีกทั้งยังพบว่า โครงสร้างหลักของกรดฟีนอลิกก็มีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันเช่นกัน โดยโครงสร้างแบบกรดไฮดรอกซีซินนามิกจะมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดีกว่า เนื่องจาก การแทรกหมู่เอทิลีน ($-\text{CH}=\text{CH}-$) ระหว่างวงฟีนิลและหมู่คาร์บอกซิลิกทำให้มีสมบัติในการให้อิเลคตรอนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ การมีหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง *p*- ทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าที่ตำแหน่ง *o*- หรือ *m*- เนื่องจากตำแหน่ง *p*- นั้นสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมได้ดีกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้น สารกลุ่มไฮดรอกซีซินนามิกจึงมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดีกว่าสารกลุ่มไฮดรอกซีเบนโซอิก (โสภา วัชรคุปต์ และ คณะ, 2549; Soobrattee และ คณะ, 2005)

2.4.3 สารต้านออกซิเดชันในข้าว

การศึกษาสมบัติของสารต้านออกซิเดชันในข้าว ได้มีรายงานในปี 2003 โดย Hu และคณะ ได้ศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของแอนโทไซยานินในข้าวดำ (*Oryza sativa L. indica*) พบว่าแอนโทไซยานินมีสมบัติในการยับยั้งการทำลาย DNA และ LDL ต่อมา Iqbal และคณะ (2005) ได้ศึกษาสมบัติในการต้านออกซิเดชันและส่วนประกอบในรำข้าวในประเทศปากีสถานจำนวน 5 ชนิด พบว่า ความสามารถในการต้านออกซิเดชันจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆ 3 วิธี (DPPH radical, ABTS radical cation และ conjugated dienes) ในตัวอย่างรำข้าว Super kernel นั้น มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงสุด รองลงมาคือ รำข้าว Super 2000, Super Basmati, Super 386 และ Super fine ตามลำดับ ทั้งนี้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของรำข้าวขึ้นอยู่กับสภาวะและระยะเวลาในการปลูก โดยรำข้าว Super kernel ได้จากเมล็ดข้าวที่ใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตนาน และมีการให้น้ำน้อยนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่ารำข้าวที่ได้จากเมล็ดข้าวที่ใช้ระยะเวลาสั้นและให้น้ำมาก

ไมตรี สุทธิจิตต์และศิริวรรณ สุทธิจิตต์ (2547 ข) ได้รายงานถึงค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ในเมล็ดข้าวสาร 8 ตัวอย่าง และรำข้าว 2 ตัวอย่าง โดยพบว่า ข้าวหอมมะลิแดง มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด (4.512 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) และตรวจไม่พบในข้าวเหนียวขาว ในปีเดียวกัน สุพิศา สมโต ได้รายงานการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในแป้งข้าว 8 สายพันธุ์ ด้วยวิธี ABTS⁺ พบว่า แป้งจากข้าวพันธุ์เก่าไร้สีน้ำตาลมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้มากที่สุด (133.52 มิลลิโมลาร์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) ต่อมา เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ได้ศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันในข้าวที่มีสีพันธุ์ลูกผสม พบว่า ข้าวเหนียวมีสีพันธุ์ลูกผสมมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันดีที่สุด จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP และ H-ORAC โดยมีค่าเท่ากับ 19.80 และ 51.82 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) จากนั้นในปี 2551 อติทยา โรจนสโรช ได้วิเคราะห์ ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในข้าวดำ ข้าวแดง และ ข้าวเหนียวดำ รวม 21 ชนิด ด้วยวิธี ORAC และ vanillin assay โดยพบว่า ข้าวเหนียวดำมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด (1.074 และ 0.166 มิลลิโมลาร์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ) รองลงมาคือ ข้าวแดง และข้าวดำ/สีน้ำตาล ตามลำดับ ซึ่งข้าวทั้งสามชนิดมีค่าสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกัน ประมาณ 2.4 และ 5.7 เท่า ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี ORAC และ vanillin assay ตามลำดับ

Chotimarkom และคณะ (2008) พบว่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันในรำข้าวไทย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ 105 ปทุมธานี 60 ชัยนาท 1 กข 13 และสุพรรณบุรี 90 นั้นมีความแตกต่างกัน โดยรำข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 60 มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิ 105 ต่อมา Busat และ Siriamompun (2010) ได้รายงานถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP ใน เปลือก รำ และจมูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าว ของข้าวหอมมะลิ105 ที่เพาะปลูกในพื้นที่สุวรรณภูมิ, โพนไสย และ เกษตรวิสัย พบว่า รำ จาก ทั้ง 3 พื้นที่การเพาะปลูกนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 2 วิธีสูงสุดซึ่งไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่า พื้นที่การเพาะปลูกที่ต่างกัน อาจมีผลต่อปริมาณสารสำคัญและความสามารถในการต้านออกซิเดชันหรือไม่ก็ได้

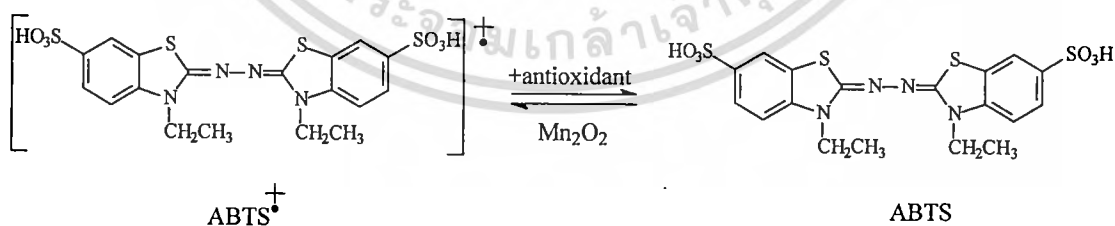
2.4.4 วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของตัวอย่างสารสกัดจากพืช มี ปัจจัยหลายประการที่มีอิทธิพลต่อสมบัติในการต้านออกซิเดชัน เช่น สภาพการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันและสภาวะทางกายภาพของสารตั้งต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ ความสามารถในการกระจายตัวในเฟสของน้ำมันและน้ำของสารต้านออกซิเดชัน เป็นต้น จากอิทธิพลของปัจจัย เหล่านี้ ทำให้ไม่สามารถใช้เพียงวิธีใดเพียงวิธีหนึ่งในการตรวจสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันของ สารใดๆ

วิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของอาหารหรือ สารประกอบต่างๆ มีหลายวิธี (Prior และคณะ, 2005) สำหรับวิธีที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

2.4.4.1 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS⁺) assay

วิธี ABTS เป็นวิธีที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของ สารตัวอย่าง สารต้านออกซิเดชันจะทำลายอนุมูล ABTS⁺ ผ่านกลไกการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน ส่งผลให้สารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวของอนุมูล ABTS⁺ เป็นไม่มีสีของสารประกอบ ABTS (ภาพ ที่ 2.10) จึงสามารถวัดการลดลงของสีเขียว หรือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ภายหลังจากทำปฏิกิริยา 6 นาที โดยใช้ โทรลอคซ์เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งความสามารถในการต้าน ออกซิเดชันแสดงในรูป Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) วิธีนี้เป็นวิธีที่ทนค่าความ เป็นกรด-ด่าง (pH) ในช่วงกว้าง สะดวกรวดเร็ว

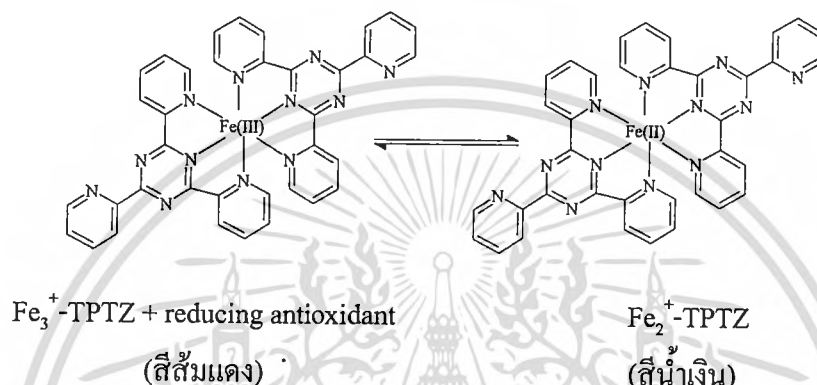


ภาพที่ 2.10 ปฏิกิริยาการทำลายอนุมูล ABTS⁺ ของสารต้านออกซิเดชัน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Huang และ คณะ (2005)

2.4.4.2 The ferric reducing ability of antioxidant power (FRAP) assay

FRAP assay เป็นวิธีการทดสอบโดยตรงเพื่อวัดความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันทั้งหมด (total antioxidant power) โดยวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันภายใต้สภาวะความเป็นกรด สารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyltriazine (Fe^{III} -TPTZ) จะถูกรีดิวซ์ได้เป็น Ferrous (Fe^{II} -TPTZ) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน (ภาพที่ 2.11) จึงสามารถวัดการเพิ่มขึ้นของสีนี้ ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ภายหลังจากการทำปฏิกิริยา 8 นาที (Benzie และ Strain, 1996)



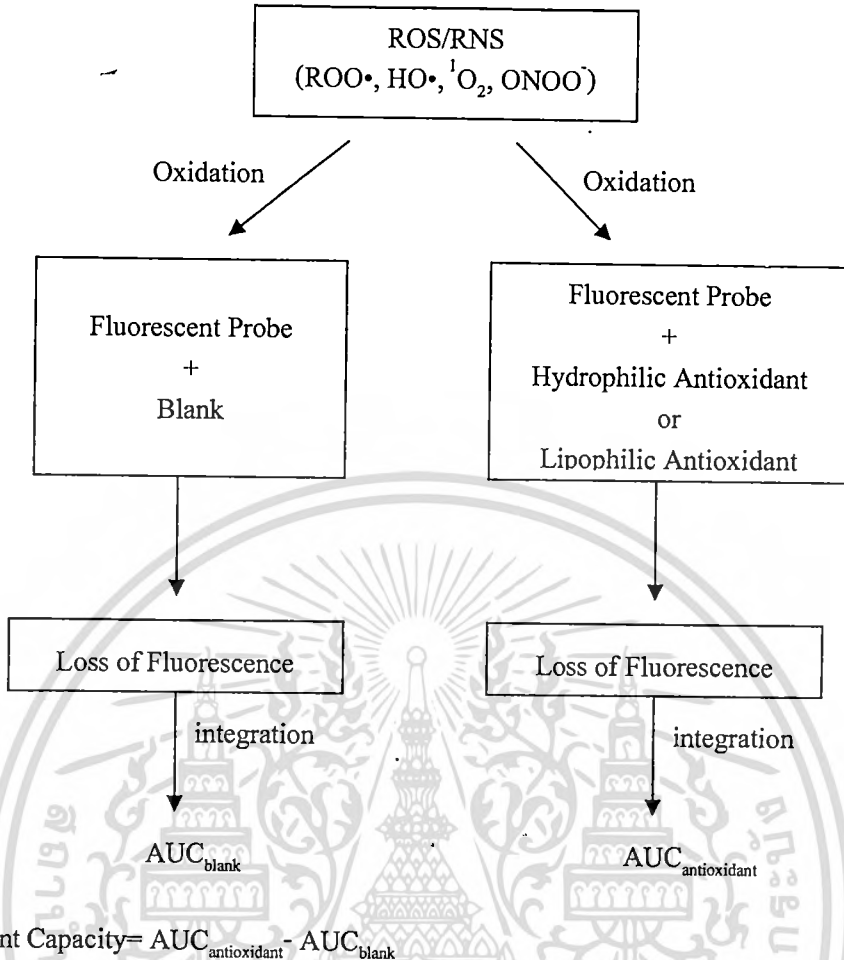
ภาพที่ 2.11 ปฏิกิริยาของ FRAP assay

ที่มา: Prior และคณะ (2005)

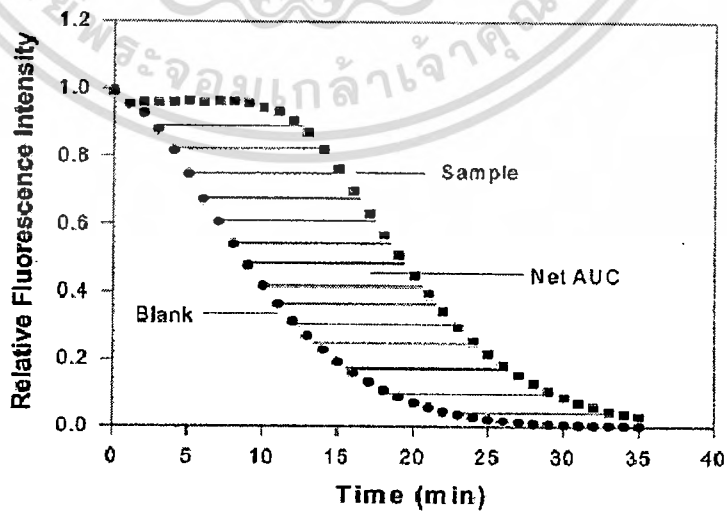
ดังนั้นหากสารใดให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยน Fe^{III} -TPTZ ไปเป็น Fe^{II} -TPTZ ได้ แสดงว่าสารนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ได้ดี โดยความสามารถในการต้านออกซิเดชันอาจเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ ไทโรลอคซ์ หรือสารต้านออกซิเดชันอื่นๆ

2.4.4.3 Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) assay

2,2'-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH) จะสลายตัวอย่างต่อเนื่องและเกิดเป็นอนุมูลอิสระประเภทเปอร์ออกซิล ซึ่งอัตราการเกิดอนุมูลอิสระนี้สามารถควบคุมให้คงที่โดยอุณหภูมิ ส่วน ฟลูออเรสซิน (fluorescein) เป็นสารประกอบที่เรืองแสงได้ และสมบัตินี้จะสูญเสียไปเมื่อถูกออกซิไดซ์ ดังนั้น ในระบบที่ประกอบด้วย AAPH และ ฟลูออเรสซิน จะพบการลดลงของความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์ของฟลูออเรสซิน เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ AAPH (Dávalos และคณะ, 2004) โดยหลักการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ แสดงดังภาพที่ 2.12 และ 2.13



ภาพที่ 2.12 ไดอะแกรมแสดงหลักการของ ORAC assay
ที่มา: Huang และคณะ (2002)



ภาพที่ 2.13 กราฟแสดงอัตราการลดลงของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์
ที่มา: Huang และคณะ (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการนี้จะติดตามอัตราการลดลงของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์และนำมาคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ ซึ่งความแตกต่างของพื้นที่ใต้กราฟของระบบที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ และตัวควบคุม (ไม่มีสารต้านอนุมูลอิสระ) จะบ่งบอกถึงความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟลูออเรสซิน

2.5 การเปลี่ยนแปลงและการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน

2.5.1 พีเอช

แอนโทไซยานินที่พบในพืชส่วนใหญ่มี 6 ชนิด และมีโครงสร้างที่แตกต่างกันจาก hydroxylation และ methylation ทำให้มีสีต่างกัน โดยทั่วไป hydroxylation ทำให้ความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงสูงสุดเพิ่มขึ้น (bathochromic shift) ในทางตรงกันข้าม methylation ทำให้เกิดความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงสูงสุดลดลง (hypsochromic shift) อย่างไรก็ตาม ในพืชที่แม้ว่าจะพบอะไกลโคนในปริมาณที่น้อยมาก แต่การเกิด glycosylation ที่ตำแหน่ง C3 จะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง (hypochromic shift) และยังส่งผลให้ แอนโทไซยานินมีความเสถียรสูงขึ้นและเพิ่มความสามารถในการละลายอีกด้วย การเพิ่มสารประกอบ aliphatic หรือ aromatic compound ในโครงสร้างของแอนโทไซยานิน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีได้อย่างชัดเจน แต่การเพิ่ม 5-glycosylation จะให้สีแดง-ม่วง ในพีเอชระหว่าง 4 - 6 อย่างไรก็ตาม ในสารละลายที่มีความเป็นกรดสูง แอนโทไซยานินให้สีแดง แต่จะไม่เสถียรและมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง แต่เมื่อเพิ่มพีเอชขึ้น และจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีหรือเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำเงิน (Stintzing และ Carle, 2004)

สุพิสา สมโต (2547) ที่ได้ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินจากสารสกัดแป้งข้าวเจ้าดำพันธุ์หอมนิล พบว่า การเก็บสารสกัดในสภาวะที่เป็นกรดที่อุณหภูมิห้องช่วยเพิ่มความเสถียรและชะลออัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้แอนโทไซยานินมีความคงตัวที่ดี ส่วนการเก็บเป็นระยะเวลานาน ทำให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวจึงมีเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

Chethan และ Malleshi (2007) ได้รายงานการเปลี่ยนแปลงพีเอชที่มีผลต่อสารประกอบฟีนอลิกใน finger millet พบว่า พีเอชต่ำ (ความเป็นกรดสูง) ประมาณ 1-7 สารประกอบฟีนอลิกมีความคงตัวสูงกว่าที่พีเอชสูง 8-10 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก เช่น ทำให้เกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอม ความคงตัวของสารจึงลดลงสามารถสลายตัวได้ง่ายมากขึ้น

2.5.2 การขัดสี

การขัดสี เป็นกระบวนการที่ส่งผลให้ปริมาณสารสำคัญของข้าวและธัญพืช ลดลง เนื่องจากการขัดสีเป็นการขัดเอาส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดทั้งชั้นในและชั้นนอก รวมถึงส่วนที่เป็นจมูกข้าว ออกไปซึ่งเป็นส่วนที่มีสารสำคัญสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกิดการสูญเสียสารสำคัญของข้าวและธัญพืช ส่งผลต่อการสูญเสียความสามารถในการต้านออกซิเดชัน นอกจากนี้ระดับการขัดสีก็ส่งผลต่อปริมาณสารสำคัญเช่นกัน

Kong และ Lee (2009) ได้วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวดำสายพันธุ์ *O. sativa* L. cv. *Heuginjubyeo* และ *Heugkwangbyeo* พบว่าการขัดสีข้าวที่ระดับ 85 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในแต่ละส่วนของข้าวทั้งเมล็ด รำ และจมูกข้าว มีปริมาณแตกต่างกัน โดยพบในส่วนของรำสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวทั้งเมล็ดและจมูกข้าว ตามลำดับ สำหรับธัญพืชชนิดอื่นๆ นั้น ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน Liyana-Pathirana และคณะ (2006) ศึกษาผลของการขัดสีต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวสาลีสายพันธุ์ *Triticum turgidum* L. var. *durum* และ *T. aestivum* L. พบว่าข้าวกล้อง หรือข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด และการเพิ่มระดับการขัดสี มีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Madhujith และคณะ (2006) ที่ศึกษาระดับการขัดสีในข้าวบาร์เลย์สายพันธุ์ Falcon และ AC Metcalfe โดยพบว่า ส่วนที่ถูกขัดสีออกไปในครั้งแรกของข้าวบาร์เลย์ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด อยู่ในช่วง 4.16-6.26 มิลลิกรัมต่อกรัม และส่วนที่ถูกขัดสีออกไปในครั้งสุดท้าย (0.17-0.51 มิลลิกรัมต่อกรัม) ดังนั้น การขัดสี และระดับการขัดสีเป็นขั้นตอนที่ทำให้ปริมาณสารสำคัญของข้าวและธัญพืช ลดลง

2.5.3 การให้ความร้อน

การให้ความร้อน เป็นขั้นตอนหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียสารพฤษเคมีของข้าวและธัญพืช นอกเหนือจาก การทำแห้ง การขัดสี และเก็บรักษา เป็นต้น ซึ่งการหุงข้าวเป็นกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน สำหรับการบริโภคหรือใช้เป็นวัตถุดิบส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตอาหาร แต่กระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน อาจทำให้เกิด การสลายตัว และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารพฤษเคมี มีผลทำให้สมบัติต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป

เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ได้ศึกษา ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในข้าวกล้องและข้าวขัดขาวสายพันธุ์ 1000-11-2-26 พบว่า การหุงสุกทำให้ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ลดลง 25 และ 62 เปอร์เซ็นต์ในข้าวกล้อง ส่วนข้าวขัดขาว ลดลง 81 และ 51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับงานวิจัยในต่างประเทศ Hiemori และคณะ (2009) ศึกษาผลของการหุงสุกต่อ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในข้าวดำ (*O. sativa* L. *jaopnoca* var. SBR) พบว่า การหุงสุกภายใต้ความดันทำให้สูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุด รองลงมาคือ หุงโดยใช้หม้อหุงข้าวและหุงด้วยแก๊ส ตามลำดับ และยังพบว่าปริมาณกรดโปรโตคาเตอูอิกในข้าวหุงสุกเพิ่มขึ้น 2.7-3.4 เท่า อันเนื่องจากการสลายตัวของแอนโคโนไซยานิน

Li และคณะ (2007) ศึกษาผลของการอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีส่วนผสมของรำข้าวสาลี พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโคโนไซยานินทั้งหมด ลดลง 80-100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับธัญพืช Xu และ Chang (2008 a) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูป (การแช่ คั่ว การนึ่งแบบธรรมดาและแบบใช้ความดันที่ระยะเวลาต่างกัน) ต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ในพืชตระกูลถั่วฝักยาว พบว่าการนึ่งทำให้สูญเสียสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณที่ต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ และการใช้ระยะเวลาสั้นๆ ทำให้สูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพียงเล็กน้อย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Ranilla และคณะ (2009) ที่ศึกษาในถั่วบราซิล (*Phaseolus vulgaris* L.) สีดำและสีเหลือง พบว่า ขั้นตอนการแช่ ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ แต่การให้ความร้อนถั่วสายพันธุ์ Jalo Precoce ที่อุณหภูมิสูงชัน ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์

จากรายงานวิจัยต่างๆ แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบของอาหาร พิเศษ อุณหภูมิ โครงสร้างของสารประกอบ การเก็บรักษา ขั้นตอนและวิธีการหุงสุก รวมถึง วิธีการให้ความร้อน ล้วนมีผลต่อโครงสร้าง/ปริมาณ และความคงตัวของสารพฤกษเคมี

2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

2.6.1 สหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีค่ามากน้อยเพียงใดนั้น มักใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) เป็นค่าที่บ่งชี้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 2 ตัวแปร

การวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ และหาความสัมพันธ์ของตัวแปร เพื่อบ่งชี้ถึงตัวแปรอีกตัวหนึ่งนั้น ได้มีรายงานวิจัยจำนวนมาก ดังรายงานความสัมพันธ์ระหว่างสีกับองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพืช โดย Adom และ Liu (2002) ที่พบว่าสีของเมล็ดธัญพืชต่างชนิดและสายพันธุ์ที่มีสีแตกต่างกัน มีความสัมพันธ์กับปริมาณของรงควัตถุรวมถึงสารสำคัญทางพฤกษเคมีอื่นๆ ในเมล็ดธัญพืชชนิดนั้นๆ นอกจากนี้ยังปรากฏในรายงานของ Goffman และ Bergman (2004) ที่รายงานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสีของรำข้าว 17 สายพันธุ์ กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ในรำข้าว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r=0.99$) นอกจากนี้ยังได้แบ่งรำข้าวออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของสี คือ กลุ่มที่รำข้าวมีสีแดง กลุ่มสีม่วง และกลุ่มสีน้ำตาลอ่อน โดยในกลุ่มที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงที่สุดและต่ำที่สุด ได้แก่ กลุ่มที่มีสีแดงและกลุ่มสีน้ำตาลอ่อน ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่มีสีม่วงมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ต่อมา Bellido และ Beta (2009) พบว่า ปริมาณ

แอนโทไซยานินทั้งหมด มีความสัมพันธ์กับค่า L^* , a^* และ b^* ซึ่งสีที่ปรากฏในข้าวนั้น มีปัจจัยจาก พันธุกรรมของข้าว และความอ่อนแก่ของข้าวอีกด้วย ที่มีผลต่อชนิดและปริมาณของรงควัตถุใน เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด นอกจากนี้ Shen และคณะ (2009) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ สีกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของข้าวทั้งหมด (ข้าวขาวและ ข้าวแดง) พบว่าค่าพารามิเตอร์สีต่างๆ เช่น L^* , a^* , b^* , C^* และ h° มีความสัมพันธ์กันเชิงผกผันกับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (-0.271-(-0.774)) และมีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับความสามารถในการ ต้านออกซิเดชันเชิงผกผันเช่นกัน (-0.311-(-0.738))

สำหรับรายงานจากประเทศไทยนั้น เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ได้รายงานในข้าวเจ้า มีสีพันธุ์ลูกผสม จำนวน 45 สายพันธุ์ พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับ ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP และ ORAC เท่ากับ 0.960 และ 0.885 และยัง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ระหว่างไซยานิดินและฟีโอบินิดินกับความสามารถในการต้าน ออกซิเดชันด้วยวิธีทั้งสองมีค่าปานกลางถึงสูงมาก โดยอยู่ระหว่าง 0.768-0.964 ต่อมา อทิตยา โรจนสโรช (2551) รายงานค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับปริมาณ แอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวมีสี ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ สีนิลและหอมมันปู ว่ามีความสัมพันธ์กัน สูง ($r = 0.870$) ส่วนปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด กับความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วย วิธี ORAC มีความสัมพันธ์สูงมาก ($r = 0.921$) ส่วนในกลุ่มธัญพืชชนิดอื่นๆ ได้มีรายงานถึง ความสัมพันธ์เช่นกัน Dykes และคณะ (2005) รายงานความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สี (L^* , a^* และ b^*) กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของข้าวฟ่าง พบว่ามี ความสัมพันธ์ในเชิงลบ โดยค่า L^* และ b^* มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับปริมาณฟีนอลิก ทั้งหมด (-0.69 และ -0.72) แต่ค่า a^* นั้นไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (-0.15) ส่วน ความสัมพันธ์ระหว่าง b^* กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบระดับสูง (-0.85) ดังนั้นจากงานวิจัยที่ตีพิมพ์ต่างๆ จึงบ่งชี้ได้ว่า การใช้พารามิเตอร์สีเพียงอย่างเดียวสามารถ นำมาจัดแบ่งข้าวหรือธัญพืชออกเป็นกลุ่มได้ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์สีต่างๆ มีความสัมพันธ์กับ ปริมาณสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบในข้าวและธัญพืช (Dykes และ คณะ, 2005)

ปัจจุบันงานวิจัยส่วนใหญ่มักมีตัวแปรหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทดลองเป็นจำนวนมาก ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัวนั้นมีความแตกต่างกัน ตั้งแต่มีความสัมพันธ์กันมากจนถึง มีความสัมพันธ์น้อย ดังนั้น การใช้วิธีทางสถิติทั่วไป เช่น T-test F-test หรือ Univariate ที่จัดเป็น สถิติขั้นต้น ในการจัดกลุ่มตัวอย่าง จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์และการแปลผล รวมถึง อาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดได้ง่ายอีกด้วย (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551 ก)

2.6.2 การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

Chemometric อาศัยหลักทางคณิตศาสตร์ สถิติและตรรกศาสตร์ ในการจัดการและอธิบายข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Haswell, 1992; Shin และคณะ, 2010) ซึ่งวิธีวิเคราะห์ที่ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการทดลองที่ตั้งไว้ เช่น การวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster analysis, CA) การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis, FA) และการจำแนกประเภท (Discriminant analysis, DA) เป็นต้น วิธีการวิเคราะห์กลุ่ม (CA) นี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลของตัวแปรหลายตัวแปรร่วมกันทั้งในด้านความคล้ายหรือความแตกต่างของข้อมูลเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลเหล่านั้น จึงสามารถลดจำนวนตัวแปร และยังเป็น การหาความสัมพันธ์และอธิบายข้อมูลและตัวแปรเหล่านั้นในพืช ผัก ผลไม้ ชนิดต่างๆ (Johnson, 1998) ส่วนการวิเคราะห์ปัจจัย (FA) เป็นการลดจำนวนตัวแปรหรือจัดกลุ่มตัวแปร โดยใช้เทคนิคการสร้างตัวแปรหรือปัจจัยขึ้นมาใหม่เพื่อให้เหลือตัวแปรน้อยที่สุด จากการนำตัวแปรเดิมที่มีหลายตัวแปรมาจัดรวมอยู่ด้วยกัน ซึ่งตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันต้องมีความสัมพันธ์กันสูง โดยจำนวนตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นจะต้องมีจำนวนไม่เกินจำนวนตัวแปรเดิมที่มีอยู่ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551 ข)

การรวมกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือปัจจัยเดียวกัน จะทำหรือเกิดขึ้นเมื่อหลังจากทำการสกัดปัจจัยซึ่งมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ได้รับความนิยมใช้ในการสกัดปัจจัย ได้แก่ วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก/ตัวประกอบหลัก หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การวิเคราะห์ส่วนประกอบमुखสำคัญ (Principal component analysis, PCA) โดยตัวแปรหลักที่เกิดจากการสกัดปัจจัยแล้วนั้น ถ้าตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันแสดงว่ามีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นี้อาจเป็นได้ทั้งในเชิงบวก (ทิศทางเดียวกัน) หรือเชิงลบ (ทิศทางตรงกันข้าม) ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละปัจจัยแสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบมักพิจารณาจากค่า communalities และค่าไอเกน (Eigen values) และ ค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor loading) โดยค่า communalities เป็นค่าความแปรปรวนของแต่ละตัวแปร ที่แบ่งให้กับแต่ละองค์ประกอบ และเป็นส่วนที่บ่งชี้ถึงแต่ละตัวแปรขององค์ประกอบนั้นว่าสามารถใช้อธิบายร่วมกับตัวแปรอื่นได้มากน้อยเพียงใด ส่วนค่าไอเกนเป็นผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบร่วมในแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1 จึงจะถือว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่ง ๆ ที่แท้จริง สำหรับค่าน้ำหนักปัจจัยเป็นค่าน้ำหนักขององค์ประกอบแต่ละตัวแปรที่วัดในองค์ประกอบนั้นๆ ซึ่งค่าน้ำหนักขององค์ประกอบนี้สามารถอธิบายได้ถึง ความแปรปรวนร่วมระหว่างกันของตัวแปร ซึ่งคล้ายคลึงกับค่า communalities จึงทำให้ทราบถึงโครงสร้างและรูปแบบของข้อมูล และสามารถหาองค์ประกอบร่วมของแต่ละตัวได้ ซึ่งค่าน้ำหนักองค์ประกอบนี้ สามารถอธิบายได้ถึงความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรกับองค์ประกอบนั้น ที่แสดงถึงขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับองค์ประกอบ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551 ก)

ประโยชน์ของการวิเคราะห์ปัจจัย (FA) (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551 ก) มีดังนี้

1.) ลดจำนวนตัวแปร โดยการรวมตัวแปรหลาย ๆ ตัวให้อยู่ในปัจจัยเดียวกัน ปัจจัยใหม่ที่ได้ถือเป็นตัวแปรใหม่ที่สามารถหาค่าข้อมูลของปัจจัยที่สร้างขึ้นได้ เรียกว่า Factor Score แล้ว จึงสามารถนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

2.) ใช้ในการแก้ปัญหาอันเนื่องมาจากการที่ตัวแปรอิสระของเทคนิคการวิเคราะห์สมการความถดถอยมีความสัมพันธ์กัน (Multicollinearity) ซึ่งวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหานี้ คือ การรวมตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ไว้ด้วยกัน โดยการสร้างเป็นตัวแปรใหม่หรือเรียกว่า ปัจจัย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย แล้วนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความถดถอยต่อไป

3.) ทำให้เห็น โครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจากเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยจะหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรที่ละคู่แล้วรวมตัวแปรที่สัมพันธ์กันมากไว้ในปัจจัยเดียวกัน จึงสามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่อยู่ปัจจัยเดียวกันได้ จึงสามารถอธิบายความหมายของแต่ละปัจจัยได้ ตามความหมายของตัวแปรต่าง ๆ ที่อยู่ปัจจัยนั้น และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนได้

สำหรับงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยโดยสกัดปัจจัยด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) นั้น Škrbic และคณะ (2005) ได้วิเคราะห์ข้อมูลแร่ธาตุต่างๆทั้งหมด 8 ชนิด (Cu, Fe, Pb, Hg, Cd, As, Mn และ Zn) ในข้าวสาลีด้วย เทคนิค PCA พบว่าสามารถจัดองค์ประกอบหลักได้ใหม่เป็น 4 องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบทั้งหมดนี้ สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ถึง 87.2 เปอร์เซ็นต์ โดยองค์ประกอบหลักที่ 1 ประกอบด้วยแร่ธาตุที่มีอิทธิพลในข้าวสาลีได้แก่ Cu Mn และ Zn และสามารถอธิบายความแปรปรวน 32.6 เปอร์เซ็นต์ ต่อมา Shen และคณะ (2009) ได้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ จำนวน 12 พารามิเตอร์ ของตัวอย่างข้าวทั้งหมด 481 ตัวอย่างประกอบด้วยข้าวขาว สีแดง และสีดำ โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (ABTS^{•+}) พารามิเตอร์สี (L^* a^* b^* C' และ h') ขนาดของเมล็ดข้าว (ความกว้างและความยาว) อัตราส่วนของความกว้างต่อความยาว เมล็ดข้าว และน้ำหนักของเมล็ดข้าว 100 เมล็ด พบว่าสามารถจัดองค์ประกอบหลักได้ ทั้งหมด 5 องค์ประกอบที่มีค่าไอเกนมากกว่า 1 โดยองค์ประกอบหลักที่ 1 มีอิทธิพลต่อการจัดกลุ่มตัวอย่างมากที่สุด ประกอบด้วยพารามิเตอร์สี (C' และ h') และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด จึงสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ถึง 26.05 เปอร์เซ็นต์ ส่วนองค์ประกอบหลักที่ 2 อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ 19.2 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย ฟลาโวนอยด์ ค่า L^* และ a^* ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในองค์ประกอบที่ 1 สามารถระบุได้ว่าข้าวที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงจะมีสีที่ทึบในเฉดสีม่วง-แดง เนื่องจากความสัมพันธ์ของ C' และ h' เป็นแบบแปรผกผัน (0.485 และ 0.464 ตามลำดับ) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแบบแปรผกผัน (-0.481)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rodriguez-Delgado และคณะ (2002) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในการจัดกลุ่มตัวอย่างไวน์แดง 55 ตัวอย่างที่เก็บมาจากพื้นที่เพาะปลูกต่าง ๆ กัน โดยใช้ตัวแปรคือ สารประกอบฟีนอลิกชนิดต่างๆ จำนวน 15 ชนิด พบว่าสามารถจัดองค์ประกอบหลักได้ใหม่จำนวน 4 องค์ประกอบที่อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ถึง 62.4 เปอร์เซ็นต์ โดยองค์ประกอบหลักที่ 1 ประกอบด้วย คาเทชิน และอิพิคาเทชิน ส่วนองค์ประกอบหลักที่ 2 ประกอบด้วย กรดไซริงจิก และกรดวานิลลิก โดยการใช้องค์ประกอบหลักทั้ง 2 สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างได้ 3 กลุ่มด้วยกัน คือ กลุ่มไวน์แดงจากองุ่นที่เพาะปลูกใน Lanzarote island กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มไวน์จากองุ่นในตอนใต้ของ Tenerife และกลุ่มที่ 3 เป็นไวน์จากองุ่นทางตอนเหนือของ Tenerife ต่อมา Recamales และคณะ (2006) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในการจัดกลุ่มไวน์ขาวที่บ่มในระยะเวลาต่าง ๆ กัน โดยใช้ปัจจัยทางเคมี (เอทานอล ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ฟือช ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด กรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ และพารามิเตอร์สี่ (L^* a^* b^* C' และ h') พบว่าสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้ 4 องค์ประกอบที่อธิบายความแปรปรวนทั้งหมด ได้ 69.9 เปอร์เซ็นต์

Drogoudi และคณะ (2008) จัดกลุ่ม แอปเปิ้ลชนิด 29 สายพันธุ์ โดยใช้ปัจจัย ทางกายภาพ ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด น้ำตาลและแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้ทั้งหมด 6 องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบหลักแรกประกอบด้วย ระยะเวลาเก็บเกี่ยว ระยะเวลาในการเจริญเติบโต C' ซอร์บิทอล ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมและแมงกานีส ส่วนองค์ประกอบหลักที่ 2 ประกอบด้วย L^* h' ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งองค์ประกอบหลักทั้ง 2 นี้สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 50.8 เปอร์เซ็นต์

2.6.3 การวิเคราะห์ห้กลุ่ม (Cluster analysis)

การวิเคราะห์ห้กลุ่ม (Cluster analysis) เป็นการจัดหรือแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย โดยลำดับตัวแปรที่ศึกษาจากการพิจารณาจากความคล้าย (similarity) หรือความห่าง (distance) ของข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกันหรือระยะห่างใกล้เคียงกันแสดงถึง ความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้น จึงถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ส่วนข้อมูลที่มีความแตกต่างจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มอื่น ซึ่งการวิเคราะห์ห้กลุ่มนี้ไม่จำเป็นต้องทราบ ว่า กลุ่มข้อมูลอยู่กลุ่มเดียวกันหรือต่างกลุ่มกัน (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2552 ข)

ประโยชน์ของเทคนิคการวิเคราะห์ห้กลุ่ม(CA) (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551 ก) มีดังนี้

- 1.) จัดกลุ่มหน่วยวิเคราะห์ตัวอย่างหรือตัวแปร ด้วยการรวมตัวอย่างหรือตัวแปรหลาย ๆ ตัวที่มีความคล้ายหรือระยะห่างที่ใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เป็นประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ และสามารถช่วยในการตัดสินใจของผู้ทำการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ทำให้ทราบว่าคุณสมบัติบางอย่างที่มีความสัมพันธ์กัน และการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรบางตัวย่อมมีผลกระทบต่อตัวแปรอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรดังกล่าว

สำหรับงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม Patindol และคณะ (2006) ได้จัดกลุ่มสายพันธุ์ข้าวแดงด้วยสมบัติทางเคมี-กายภาพ (พารามิเตอร์สี และความชื้นหนืดของแป้ง เป็นต้น) และโครงสร้างของแป้ง (เปอร์เซ็นต์ของโซ่กิ่งในอะไมโอเพคติน) ซึ่งการใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถแบ่งกลุ่มข้าวแดง 17 สายพันธุ์ ที่เพาะปลูกในพื้นที่ต่างๆ ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Bengal มี 12 สายพันธุ์ และ Wells 5 สายพันธุ์ ต่อมา Zeng และคณะ (2009) ได้จัดกลุ่มข้าว 789 ชนิดที่เพาะปลูกในยูนนานประเทศจีน ประกอบด้วยข้าวสายพันธุ์อินดิกา จาปอนิกา ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวขาว ข้าวสีแดง ข้าวสีม่วง เป็นต้น โดยใช้แร่ธาตุ 7 ชนิด (P K Ca Mg Fe Zn และ Cu) พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มข้าวได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มข้าวสีม่วง กลุ่ม nuda/upland กลุ่มข้าวเจ้า กลุ่มข้าวแดง และกลุ่มข้าวอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยในรัฐฟิซ เช่น Lee และ คณะ (2005) ที่จัดกลุ่มข้าวโพด 248 สายพันธุ์ จากลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมี เช่น โปรตีน ไขมัน สตาร์ช ความหนาแน่น เป็นต้น ออกเป็น 7 กลุ่ม เป็นต้น

การใช้สถิติขั้นสูงในการลดจำนวนปัจจัย/ตัวแปร จัดกลุ่มตัวแปร หรือ จัดกลุ่มตัวอย่างหลายวิธีร่วมกัน สามารถให้เหตุผลในการสนับสนุนข้อมูลและยังบ่งชี้ถึงความสำคัญของตัวแปร เช่น Alonso-Salces และคณะ (2005) ได้จัดกลุ่มเครื่องดื่มไซเคอร์ จาก Basque 83 ตัวอย่าง และฝรั่งเศส 68 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 151 ตัวอย่าง โดยใช้ปัจจัยดังนี้คือ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและพารามิเตอร์สี (L^* a^* และ b^*) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก สามารถแยกไซเคอร์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ไซเคอร์จาก Basque และไซเคอร์จากฝรั่งเศส แต่การใช้เทคนิคการจัดกลุ่มแบบ Ward สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างได้ทั้งหมด 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มไซเคอร์จาก Basque 3 กลุ่ม และไซเคอร์จากฝรั่งเศส 3 กลุ่ม ซึ่งการใช้เทคนิคทั้ง 2 นี้สามารถใช้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและพารามิเตอร์สี สามารถใช้ในการจัดกลุ่มตัวแปรและกลุ่มตัวอย่างได้ และทั้ง 2 เทคนิคให้ผลที่สอดคล้องกันแต่มีรายละเอียดที่แตกต่างกัน

Cam และคณะ (2009) ได้แบ่งกลุ่มน้ำทับทิมจากผลทับทิม 8 สายพันธุ์ ด้วยปัจจัยทางเคมี สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้ 2 องค์ประกอบที่อธิบายความแปรปรวนของปัจจัยได้ถึง 93.3 เปอร์เซ็นต์ โดย องค์ประกอบหลักแรก ที่อธิบายความแปรปรวน ได้ 67.4 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยปัจจัยดังนี้ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด DPPH (วิธีที่ 1) TEAC และ anti-lipid peroxidative activity ส่วนองค์ประกอบหลักที่ 2 อธิบายความแปรปรวน ได้ 25.9 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และ DPPH (วิธีที่ 2) และเมื่อนำผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มตัวอย่างแบบเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม ร่วมกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่าแบ่งกลุ่มน้ำทับทิมออกเป็น 3 กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุคิบ

ตัวอย่างข้าวที่วิเคราะห์ เป็นตัวอย่างที่ผลิตและเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2550 รวมจำนวนทั้งสิ้น 51 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างจากห้างสรรพสินค้า จำนวน 15 ตัวอย่างและตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดฉะเชิงเทรา สกลนคร อุบลราชธานี ปราจีนบุรี สุรินทร์ จำนวน 36 ตัวอย่าง ซึ่งชนิดข้าว พันธุ์ข้าว และแหล่งเพาะปลูก แสดงดังตารางที่ 3.1 สำหรับตัวอย่างข้าวทั้งหมด เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 3.1 ชนิดข้าว พันธุ์ข้าว และแหล่งเพาะปลูก

ประเภท	กลุ่ม	ชนิด	ตัวอย่าง	พันธุ์	แหล่ง เพาะปลูก/ สถานที่ผลิต	แหล่งที่มา	
ข้าวมีสี	ข้าวเหนียวดำ	ข้าวเหนียว	GDR_1	GS.No.00621	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_2	GS.No.21427	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_3	GS.No.09475	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_4	GS.No.21629	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_5	GS.No.87090	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_6	GS.No.89038 (เก่า)	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_7	GS.No.91151	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_8	GS.No.91130 (เก่า)	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_9	GS.No.88028	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_10	GS.No.88063 (เก่า)	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	GDR_11	เหนียวดำ		นครปฐม	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเหนียว	GDR_12	เหนียวดำ		นครปฐม	ห้างสรรพสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ประเภท	กลุ่ม	ชนิด	ตัวอย่าง	พันธุ์	แหล่ง	
					เพาะปลูก/ สถานที่ผลิต	แหล่งที่มา
ข้าวมีสี	ข้าวสีม่วง	ข้าวเจ้า	PR_1	หอมนิล	เชียงใหม่	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	PR_2	หอมนิล	นครปฐม	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	PR_3	หอมนิล	กรุงเทพฯ	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	PR_4	หอมนิล	เชียงใหม่	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	PR_5	หอมคำ	สุโขทัย	ห้างสรรพสินค้า
	ข้าวสีแดง	ข้าวเจ้า	RR_1	หอมมะลิแดง	เชียงใหม่	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	RR_2	สังข์หยด	กรุงเทพฯ	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	RR_3	หอมมะลิแดง	สุโขทัย	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	RR_4	สังข์หยด	พัทลุง	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	RR_5	หอมมันปู	กรุงเทพฯ	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	RR_6	สังข์หยด	สงขลา	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	RR_7	สังข์หยด	พัทลุง	ห้างสรรพสินค้า
		ข้าวเจ้า	RR_8	หอมมะลิแดง	ยะเชิงเตรา	ศูนย์วิจัยข้าว
	ข้าวไม่มีสี	ข้าวกล้อง	ข้าวเจ้า	BR_1	เสียดเขาชะ	สุรินทร์
ข้าวเจ้า			BR_2	หนองโสน	ปราจีนบุรี	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเหนียว			BR_3	หนัก	อุบลราชธานี	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเหนียว			BR_4	หมากหอม	สกลนคร	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเหนียว			BR_5	เล็บช้าง	ปราจีนบุรี	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเหนียว			BR_6	คอแดง	สกลนคร	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเจ้า			BR_7	หนองไผ่	ปราจีนบุรี	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเจ้า			BR_8	โคกขวาง	ปราจีนบุรี	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเหนียว			BR_9	แดงหลวง	อุบลราชธานี	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเหนียว			BR_10	อีตง	สกลนคร	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเหนียว			BR_11	ข้าดำม	สกลนคร	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเหนียว			BR_12	คาหมาย	อุบลราชธานี	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเหนียว			BR_13	ข้าวเปิดน้ำ	อุบลราชธานี	ศูนย์วิจัยข้าว
ข้าวเจ้า			BR_14	หนองโปร่ง	ปราจีนบุรี	ศูนย์วิจัยข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ประเภท	กลุ่ม	ชนิด	ตัวอย่าง	พันธุ์	แหล่ง		
					เพาะปลูก/ สถานที่ผลิต	แหล่งที่มา	
ข้าวไม่เมล็ด	ข้าวกล้อง	ข้าวเหนียว	BR_15	เหลือบุญมา	อุบลราชธานี	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	BR_16	อีโบน	อุบลราชธานี	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเจ้า	BR_17	ตะเภาแก้ว 161	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	BR_18	เมืองหลวง	อุบลราชธานี	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเจ้า	BR_19	ประคูด่าง	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเจ้า	BR_20	ขาวประกวด	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	BR_21	ป้อมแก้ว	สกลนคร	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเหนียว	BR_22	พักขาม	อุบลราชธานี	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเจ้า	BR_23	นางจอย	สกลนคร	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเจ้า	BR_24	วังโสน	สุรินทร์	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวเจ้า	BR_25	ขาวตาเซ่อ	สกลนคร	ศูนย์วิจัยข้าว	
		ข้าวขัดขาว	ข้าวเจ้า	WR_1	หอมมะลิ	กรุงเทพฯ	ห้างสรรพสินค้า

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- กระดาษกรอง เบอร์ 1 (Whatman, ประเทศอังกฤษ)
- กระบอกลีดชา (นิโปร, ประเทศไทย)
- การ์ดคอลัมน์ HPLC phenomenex C18 ขนาด 4.0 x 3.0 มิลลิเมตร ขนาดของอนุภาค 5 ไมครอน (ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- คอลัมน์ phenomenex Luna 5u C18 ขนาดรูพรุน ในเม็ดคาร์บอน (pore size) ขนาด 100A ขนาดของคอลัมน์ 250 x 4.60 มิลลิเมตร ขนาดของอนุภาค 5 ไมครอน (ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- เครื่องเขย่า (Shaker) (GFL, ประเทศเยอรมัน)
- เครื่องชั่ง (2 ตำแหน่ง) (Mettler Toledo PE 3000, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)
- เครื่องชั่ง (4 ตำแหน่ง) (Sartorius TE 214, ประเทศเยอรมัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องบดละเอียด (Moulinex , ประเทศฝรั่งเศส)
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Hettich EBA 20, ประเทศเยอรมัน)
- เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) (Vortex genie 2 G-560E, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- เครื่องลิกวิด โครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (HPLC) (Agilent 1100, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) (Shimadzu UV-1700, ประเทศญี่ปุ่น)
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (Sartorius PB10, ประเทศเยอรมัน)
- เครื่องวัดสี (Minolta CR 400, ประเทศญี่ปุ่น)
- เครื่องสีข้าว (Satake, ประเทศเยอรมัน)
- เครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonics) (Crest CP1100D, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- เครื่องอ่านมัลติโหมด (Microtiter plate reader) (Multimode Detector DTX 880, Beckman coulter, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- ชุดกรองเชื้อ (Wheaton, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- ตู้บ่ม (Incubator) (Mettler INB 500, ประเทศเยอรมัน)
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Mettler UFB 400, ประเทศเยอรมัน)
- ถาดดำ 96 หลุม ก้นทึบ (96 black well microtiter plate) (Sero-Wel, Bibby Sterilin, ประเทศอังกฤษ)
- ถาดใส 96 หลุม (96 well microtiter plate) (Sero-Wel, Bibby Sterilin, ประเทศอังกฤษ)
- ปุ่มสูญญากาศ (SIBATA WJ-20, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)
- เข็กรอง PTFE 47 mm 0.2 μm (Munktell, ประเทศสวีเดน)
- เข็กรองเซลลูโลสอะซิเตต 47 mm 0.2 μm (Munktell, ประเทศสวีเดน)
- ออโตปิเปต (Auto pipette) (Eppendorf, ประเทศเยอรมัน)
- Syringe filter, PTFE 0.2 μm (Chromex, ประเทศอังกฤษ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 สารเคมี

- กรดแกดลิก ($C_6H_2(OH)_3COOH$) (Fluka, ประเทศเยอรมัน)
- กรดฟอร์มิก ($HCOOH$) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (Lab-scan, ประเทศไอร์แลนด์)
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (Carlo, ประเทศอิตาลี)
- น้ำ (เกรด HPLC) (Lab-scan, ประเทศไอร์แลนด์)
- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$) (Merck, ประเทศเยอรมัน)
- เมทานอล (เกรด HPLC) (Lab-scan, ประเทศไอร์แลนด์)
- เมทานอล (CH_3OH) (Lab-scan, ประเทศไอร์แลนด์)
- เอทานอล (C_2H_5OH) (Lab-scan, ประเทศไอร์แลนด์)
- 2,2'-azobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2,2'-azobis(2-methylpropionamide) dihydrochloride (AAPH) (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) (Sigma, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- Fluorescein sodium salt (Sigma-Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- Folin – Ciocalteu reagent (Carlo, ประเทศอิตาลี)
- Iron (III) chloride hydrate (Fisher, ประเทศอังกฤษ)
- Kuromanin chloride (Cyanidin-3-glucoside) (Fluka, ประเทศเยอรมัน)

3.2 สถานที่ดำเนินงาน

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์มาขัดสีเอาเปลือกออกด้วยเครื่องสีข้าว (Satake, ประเทศเยอรมัน) โดยขัดสีเพียงครั้งเดียว แล้วจึงนำตัวอย่างข้าวที่ผ่านการขัดสีแล้วมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช จนหมด จากนั้นแบ่งผงข้าวออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 นำไปทำการวิเคราะห์ค่าสี และส่วนที่ 2 นำไปสกัดเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

สำหรับตัวอย่างข้าวจากห้างสรรพสินค้าทำเช่นเดียวกันกับตัวอย่างข้าวเปลือก แต่ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการสีข้าว

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโดยการวัดค่าสี

บรรจุผงข้าวลงในฝาแก้วที่มีความลึกประมาณ 1 เซนติเมตรจนเต็ม จากนั้นนำคัม น้ำหนัก 500 กรัม วางทับบนผิวหน้า แล้วจึงวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR-400 ซึ่งเป็นระบบฉายแสงแบบสะท้อนกลับ ใช้หัววัดรุ่น CR-A33f มีแหล่งกำเนิดแสง D_{65} และมุมสังเกต 2 องศา พารามิเตอร์สีแสดงค่าในระบบ CIELAB โดยวัดตัวอย่าง ทุกๆ ตัวอย่าง จำนวน 10 ครั้ง ซึ่ง ค่า L^* หรือความสว่าง (lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 โดย $L^*=0$ คือสีดำ และ $L^*=100$ คือสีขาว, ค่า a^* หมายถึงทิศทางของสีจากสีเขียว ($-a^*$) ไปยังทิศทางของสีแดง ($+a^*$) ส่วนค่า b^* หมายถึงทิศทางของสีจากสีน้ำเงิน ($-b^*$) ไปยังทิศทางของสีเหลือง ($+b^*$) สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ C^* h° และ ΔE ใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Chroma } (C^*) = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{Hue-angle } (h^\circ) = \tan^{-1} (b^* / a^*)$$

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{เมื่อ } \Delta L^* = L^*(\text{ตัวอย่าง}) - L^*(\text{ข้าวขัดขาว})$$

$$\Delta a^* = a^*(\text{ตัวอย่าง}) - a^*(\text{ข้าวขัดขาว})$$

$$\Delta b^* = b^*(\text{ตัวอย่าง}) - b^*(\text{ข้าวขัดขาว})$$

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

3.3.3.1 การเตรียมสารสกัด คัดแปลงจากวิธีของ Abdel-Aal และ Hucl (1999)

นำผงข้าวมาผสมกับเมธานอลที่ผสมกรดไฮโดรคลอริก (1.0 นอร์มอล) (85:15v/v) ในอัตราส่วน 1:10 นำหนักต่อปริมาตร (w/v) แล้วปรับพีเอชเท่ากับ 1 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (4.0 นอร์มอล) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาขวดด้วยจุกยาง แล้วนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง แล้วจึงกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชา ที่ -20 องศาเซลเซียส

3.3.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยตัดแปลงจากวิธีของ

Singleton และคณะ (1999)

นำสารสกัดมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปีเปิดสารสกัดเจือจางปริมาตร 240 ไมโครลิตร ลงในภาดใส 96 หลุม เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอ่านมัลติโหมด

คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) (mg GAE/g dry wt) โดยใช้กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

3.3.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ทำตามวิธีของ Abdel-Aal

และ Hucl (1999)

นำสารสกัดมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 535 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่างน้ำหนักแห้ง ซึ่งคำนวณจากสมการ

$$C = (A/E) \times (\text{vol}/1,000) \times MW \times (1/\text{น้ำหนัก (กรัม) ตัวอย่าง, กรัม}) \times 10^3$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัม)

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้

E คือ molar absorptivity (cyanidin-3-glucoside = $25,965 \text{ cm}^{-1} \text{ M}^{-1}$)

vol คือ ปริมาตรทั้งหมดของสารสกัด

MW คือ มวลโมเลกุลของ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ = 449

3.3.3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric reducing

antioxidative potential (FRAP) โดยตัดแปลงจากวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

นำสารสกัดมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ปีเปิดสารสกัดเจือจางปริมาตร 40 ไมโครลิตร ลงในภาดใส 96 หลุม เติมรีเอเจนต์ FRAP ปริมาตร 260 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 8 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอ่านมัลติโหมด

คำนวณหาค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่าง ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) (mgTE/g dry wt) โดยใช้กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

3.3.3.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Radical cation ABTS^{•+} scavenging activity (ABTS^{•+}) ดัดแปลงจากวิธีของ Miller และ Evans (1997)

นำสารสกัดมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ปิเปตสารสกัดเจือจางปริมาตร 80 ไมโครลิตร ลงในภาตใส 96 หลุม เติมสารละลาย ABTS^{•+} (ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 220 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 6 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอ่านมัลติโหมดและคำนวณหาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} ของตัวอย่าง ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) (mgTE/g dry wt) โดยใช้กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

3.3.3.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) ดัดแปลงจากวิธีของ Dávalos และคณะ (2004)

นำสารสกัดมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ปิเปตสารสกัดเจือจางปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงในภาตดำ 96 หลุม กั้นทึบ เติม fluorescein ความเข้มข้น 10 นาโนโมลาร์ ปริมาตร 120 ไมโครลิตร แล้วปิดฝา นำไปป้อมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติม AAPH ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 60 ไมโครลิตร ทำการวัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ ด้วยเครื่องอ่านมัลติโหมด ที่ความยาวคลื่นของการกระตุ้น (excitation) ที่ 485 นาโนเมตร และความยาวคลื่นของการเปล่งแสง (emission) ที่ 535 นาโนเมตร บันทึกค่าการเปล่งแสงทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ดังสมการ

$$AUC = 1 + f_1/f_0 + f_2/f_0 + f_3/f_0 + f_4/f_0 + \dots + f_i/f_0$$

เมื่อ f_0 คือ ค่า fluorescence เริ่มต้น (นาทีที่ 0)

f_i คือ ค่า fluorescence ที่เวลาที่ i

จากนั้นนำมาหาค่า net AUC หรือค่าความแตกต่างของพื้นที่ใต้กราฟ โดยคำนวณจาก

$$\text{net AUC} = AUC_{(\text{ตัวอย่าง/สารมาตรฐาน})} - AUC_{(\text{แบล็ก})}$$

คำนวณหาความสามารถในการชะลอการออกซิเดชันของฟลูออเรสซินของตัวอย่าง ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) (mgTE/g dry wt) โดยใช้กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโทรลอกซ์กับ ค่า net AUC

3.3.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ด้วยวิธีลิควิดโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography, HPLC)

นำตัวอย่างสารสกัดมากรองผ่านเยื่อกรองแบบ PTFE ขนาด 0.22 ไมครอน ใส่งในขวดไวโอล (vial) สีขาว ขนาด 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ด้วยเครื่อง HPLC ยี่ห้อ Agilent รุ่น 1100 Series ด้วยคอลัมน์: phenomenex Luna 100-5 C18 (250 x 4) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิเมตร, อนุภาคซิลิกา C18 ขนาด 5 ไมครอน) และ ใช้การ์ดคอลลัมน์ phenomenex 5 C18 (4 x 3 มิลลิเมตร, อนุภาคซิลิกา C18 ขนาด 5 ไมครอน) ทำการควบคุมสถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ 35 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที ตรวจวัดสัญญาณด้วยเครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบ diode array detector (DAD) ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และปริมาตรที่ใช้ในการฉีดตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร

สถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นแบบเกรเดียนท์อีลูชัน (gradient elution) มีอัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่ของสารละลายกรดฟอร์มิก 5 เปอร์เซ็นต์ในน้ำ (HPLC grade) (A): เมธานอล (HPLC grade) (B) ดังนี้ เวลาที่ 0 87:13 เวลาที่ 9 85:15 เวลาที่ 13 82:18 เวลาที่ 16 80:20 เวลาที่ 22 75:25 เวลาที่ 26 70:30 และเวลาที่ 30 75:25 ซึ่งใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 38 นาที

คำนวณหาปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ในหน่วยไมโครกรัมต่อกรัม โดยใช้กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (mg/g) กับพื้นที่ใต้พีค (mAU*s)

3.3.4 ผลของการหุงสุกต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

ทำการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด สูง กลาง และต่ำ มาเป็นตัวแทนระดับละ 1 สายพันธุ์ในแต่ละกลุ่มข้าว (ข้าวเหนียวดำ ข้าวสีม่วง ข้าวสีแดง และข้าวกล้อง) รวมจำนวนทั้งสิ้น 12 สายพันธุ์และข้าวขัดขาวอีก 1 สายพันธุ์ และนำมาศึกษาผลของการหุงสุกต่อปริมาณสารสำคัญในข้าวหุงสุก

สำหรับข้าวเจ้าใช้วิธีการหุงแบบข้าวหนึ่ง โดยนำข้าวใส่ในถ้วยสแตนเลส ในอัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:1.5 (w/v) นำถ้วยใส่ลงชั้นบนของลังถึง เมื่อน้ำในชั้นล่างเดือด จากนั้นทิ้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที ส่วนข้าวเหนียวจะแช่ข้าวนาน 10 ชั่วโมง ในอัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำเช่นเดียวกับข้าวเจ้า แล้วจึงนำข้าวที่ผ่านการแช่มาเกลี่ยลงบนผ้าขาวบาง นึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยลังถึง เป็นเวลา 35 นาที

จากนั้นนำข้าวสุกแต่ละตัวอย่างไปวิเคราะห์ทางเคมี โดยเตรียมสารสกัดและวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ตามหัวข้อ 3.3.3 แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารชีวกิจกรรม จากสมการดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารชีวกิจกรรม} = 100 - \left(\frac{\text{ปริมาณสารจากข้าวหุงสุก}}{\text{ปริมาณสารจากข้าวก่อนหุง}} \times 100 \right)$$

3.3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติหาความแปรปรวนของปริมาณสารสำคัญในข้าวแต่ละสายพันธุ์ ด้วยวิธี one-way ANOVA procedure และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlative coefficient) ของวิธีวิเคราะห์แต่ละวิธี

การจัดกลุ่มข้าวใช้วิธีวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis) และเทคนิคการจัดกลุ่ม (Cluster analysis) ด้วยโปรแกรม SPSS version 11.5



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมี-กายภาพ

4.1.1 พารามิเตอร์สี

ในการทดลองนี้ เบื้องต้นได้จำแนกข้าวที่ทดสอบทั้ง 51 สายพันธุ์ ตามลักษณะกายภาพ เช่น สี เนื้อเมล็ด และลักษณะของเมล็ดข้าว ที่สังเกตด้วยตา โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทข้าวมีสี และข้าวไม่มีสี ซึ่งแต่ละประเภทสามารถแบ่งออกเป็นประเภทละ 3 กลุ่ม คือ ประเภทมีสี ได้แก่ กลุ่มข้าวเหนียวดำ (GDR_1-GDR_12 รวมจำนวน 12 สายพันธุ์) กลุ่มข้าวสีม่วง (PR_1-PR_5 จำนวน 5 สายพันธุ์) และ กลุ่มข้าวสีแดง (RR_1-RR_8 จำนวน 8 สายพันธุ์) ส่วนประเภทไม่มีสี ได้แก่ กลุ่มข้าวเจ้ากล้อง (BR_1-BR_12 จำนวน 12 สายพันธุ์) กลุ่มข้าวเหนียวขาว (GBR_1-GBR_13 จำนวน 13 สายพันธุ์) และกลุ่มข้าวขัดขาว ที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุม ได้แก่ WR_1 จำนวน 1 สายพันธุ์ ทั้งนี้ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีลักษณะของเมล็ดที่แตกต่างกัน โดยข้าวเหนียวมีลักษณะเมล็ดที่ป้อม สั้น มีเนื้อเมล็ดที่หยาบ ส่วนข้าวเจ้ามีเมล็ด เรียว ยาว และเนื้อเมล็ดใส (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) จากนั้นนำตัวอย่างเมล็ดข้าวไปบด จนมีขนาด 60 เมช แล้วนำมาวัดค่าสีในระบบ CIELAB ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D_{65} มุมสังเกต 2 องศา และระบบฉายแสงแบบสะท้อนกลับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ค่า L^* หรือความสว่าง (lightness) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 โดย $L^*=0$ คือสีดำ และ $L^*=100$ คือ สีขาว, ค่า a^* หมายถึง ทิศทางของสีจากสีเขียว ($-a^*$) ไปยังทิศทางของสีแดง ($+a^*$) ส่วนค่า b^* หมายถึงทิศทางของสีจากสีน้ำเงิน ($-b^*$) ไปยังทิศทางของสีเหลือง ($+b^*$) ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่า ตัวอย่างข้าวที่มีค่าความสว่าง (L^*) สูงสุด และต่ำสุด ได้แก่ ข้าวขัดขาว (WR_1) และข้าวสีม่วง (PR) โดยมีค่าเท่ากับ 94.00 และ 56.70 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งข้าวตามความสว่างออกเป็นข้าวประเภทข้าวมีสี (ข้าวเหนียวดำ, ข้าวสีม่วง และข้าวสีแดง) ประเภทข้าวไม่มีสี (ข้าวเจ้ากล้องและข้าวเหนียวขาว) และ ข้าวขัดขาว โดยมีช่วงความสว่างเท่ากับ 56.70-78.04, 84.87-88.83 และ 94.00 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ข้าวประเภทมีสีเป็นข้าวที่มีรงควัตถุมาก มีผลทำให้ค่าความสว่างของข้าวต่ำ ในขณะที่ประเภทข้าวไม่มีสี โดยเฉพาะข้าวกล้องยังคงมีส่วนของเพอร์ริคาร์บและอัลลูโรนอยู่ ที่มองด้วยตาเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ ส่วนในข้าวขัดขาวได้ขัดสีเอาชั้นเพอร์ริคาร์บและอัลลูโรนออก จึงเห็นเป็นสีขาวใส ส่งผลให้การกระเจิงของแสงมีสูงกว่ ค่าความสว่างจึงมีค่ามากกว่าตัวอย่างอื่นๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและช่วงค่าของ พารามิเตอร์สี่ในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ

ข้าว	พารามิเตอร์สี่					
	L^*	a^*	b^*	C^o	h^o	ΔE
ข้าวเหนียวดำ (GDR) (N=12)						
ช่วงค่า	59.85-71.15	2.81-4.21	0.91-4.22	3.45 - 5.89	14.61 - 55.73	23.08 - 34.67
Mean \pm SD	65.31 \pm 3.07	3.48 \pm 0.46	2.73 \pm 1.30	4.54 \pm 0.88	36.19 \pm 13.94	29.09 \pm 3.16
ข้าวสีม่วง (PR) (N=5)						
ช่วงค่า	56.70-78.04	4.17-6.05	2.90-4.42	5.08 - 7.49	32.81-37.74	17.06 - 37.84
Mean \pm SD	63.58 \pm 8.34	4.90 \pm 0.80	3.45 \pm 0.59	5.99 \pm 0.97	35.19 \pm 1.86	31.00 \pm 8.07
ข้าวสีแดง (RR) (N=8)						
ช่วงค่า	67.62 - 75.18	6.68-9.95	10.10-12.87	12.11 - 15.54	48.97-58.90	20.44-28.78
Mean \pm SD	71.99 \pm 2.73	8.14 \pm 1.07	11.60 \pm 0.90	14.19 \pm 1.19	55.03 \pm 2.92	24.21 \pm 2.88
ข้าวเจ้ากล็อง (BR) (N=11)						
ช่วงค่า	84.87 - 88.07	-0.13-1.46	10.96-13.25	11.02 - 13.25	82.96 - 90.58	7.90 - 11.72
Mean \pm SD	86.17 \pm 0.89	1.08 \pm 0.45	12.26 \pm 0.71	12.32 \pm 0.69	84.88 \pm 2.13	10.18 \pm 1.04
ข้าวเหนียวขาว (GBR) (N=14)						
ช่วงค่า	85.07-88.83	0.66-1.80	10.50-14.16	10.56-14.24	81.87-86.89	7.04-11.87
Mean \pm SD	86.94 \pm 1.05	1.23 \pm 0.35	12.52 \pm 1.04	12.59 \pm 1.04	84.40 \pm 1.56	9.80 \pm 1.36
ข้าวขัดขาว (WR) (N=1)						
Mean \pm SD	94.00 \pm 0.18	-0.11 \pm 0.03	5.90 \pm 0.12	5.90 \pm 0.07	91.10 \pm 0.28	-
ข้าวทั้งหมด (N=51)						
ช่วงค่า	56.70-94.00	-0.13-9.95	0.91-14.16	3.45 - 15.54	14.61-91.10	0.00 - 37.80
Mean \pm SD	77.20 \pm 10.77	3.15 \pm 2.61	9.00 \pm 4.53	9.73 \pm 4.04	62.76 \pm 24.64	19.09 \pm 10.35

ค่า a^* ในกลุ่มข้าวสีแดงมีค่าสูงกว่ากลุ่มข้าวอื่นๆ รองลงมาได้แก่ ข้าวสีม่วง ข้าวเหนียวดำ ข้าวเหนียวขาว และข้าวเจ้ากล็อง ส่วนข้าวขัดขาวและข้าวเจ้ากล็องบางสายพันธุ์มีค่า a^* ต่ำกว่าศูนย์ (ตารางที่ 4.1) แสดงว่า สามารถใช้ค่า a^* ในการแบ่งประเภทข้าวเป็นประเภทมีสี (2.81-9.95) และไม่มีสี (-0.13-1.80) และผลการทดลองในกลุ่มข้าวสีแดงนั้นสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตา กลุ่มข้าวสีแดงมีค่า a^* อยู่ระหว่าง 6.68-9.95 ส่วนกลุ่มข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำมีค่า a^* ต่ำกว่า โดยอยู่ในช่วง 2.81-6.05 แสดงว่ากลุ่มข้าวดังกล่าวมีการผสมของสีแดงอยู่ด้วย ซึ่งตรงกัวัตถุในข้าวสามารถดูดกลืนแสงในแต่ละช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน จึงทำให้มองเห็นสีของวัตถุที่แตกต่างกัน และตรวจพบว่าประเภทข้าวไม่มีสี (ข้าวเจ้ากล็อง ข้าวเหนียวขาว และข้าวขัดขาว) มีค่า a^* เข้าใกล้ศูนย์ (-0.13-1.80) อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์ค่า b^* พบว่า กลุ่มของข้าวเจ้ากล็องและข้าวเหนียวขาวมีค่า b^* สูงที่สุด (10.50-14.16) ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาที่ผงข้าวของกลุ่มข้าวทั้งสองมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีออกเหลือง ในขณะที่กลุ่มข้าวสีแดงมีค่า b^* รองลงมา (10.10-12.87) แสดงว่า ข้าวสีแดงเป็นการผสมของสีเหลืองและสีแดง แต่เป็นที่น่าสังเกตว่ากลุ่มข้าวสีอื่นๆ (ข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำ) มีค่า b^* ต่ำกว่ากลุ่มข้าวไม่มีสี อีกทั้งยังไม่สามารถแบ่งข้าวออกเป็นประเภทมีสี และไม่มีสี แสดงให้เห็นว่า รงควัตถุที่พบในข้าวอาจเป็นคนละกลุ่มที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน จึงทำให้ออกเหนือจากการสังเกตด้วยตาแล้ว ยังพบความแตกต่างกันในการวัดด้วยเครื่องมืออีกด้วย โดยรงควัตถุที่พบในกลุ่มข้าวมีสี ได้แก่ แอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ (Hu และคณะ, 2003)

จากผลการทดลอง ค่าสี CIELAB ของข้าวแต่ละกลุ่มมีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน เช่น ในประเภทข้าวมีสี กลุ่มข้าวเหนียวดำ ข้าวสีม่วงและข้าวสีแดงมีค่า L^* ต่ำ แต่กลุ่มข้าวสีแดงมีค่า a^* และ b^* สูงกว่ากลุ่มข้าวสีม่วง และข้าวเหนียวดำ ตามลำดับ ในขณะที่ กลุ่มข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำมีค่า b^* ใกล้เคียงกัน ส่วนกลุ่มข้าวเจ้ากล้อง ข้าวเหนียวขาว และข้าวขัดขาว มีค่า L^* และ b^* สูงกว่าข้าวกลุ่มอื่นๆ แต่มีค่า a^* เข้าใกล้ศูนย์ ยกเว้นข้าวขัดขาวที่มีค่า b^* ต่ำกว่าข้าวสีแดงแต่สูงกว่าข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของสุพิสา สมโต (2547) ที่รายงานไว้ว่า ข้าวสีดำ (ทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว) มีค่า L^* ต่ำกว่าข้าวเหนียวขาว โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 66.61-74.96 และ 87.25-88.23 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวสีดำมีค่า a^* (2.31-3.98) และ b^* (0.65-4.80) ซึ่งมีค่าต่ำ ส่วนข้าวเหนียวขาวมีค่า a^* ต่ำ (1.38-1.48) แต่มีค่า b^* สูง (7.44-7.50) ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองในครั้งนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการเตรียมตัวอย่าง และการใช้วิธีการวัดที่เหมือนกัน ยกเว้น การใช้มุมสังเกตที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่า สายพันธุ์ หรือ พันธุกรรมของข้าวที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการสร้างรงควัตถุที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณจึงส่งผลต่อการปรากฏสีที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Knievel และคณะ (2009) ที่รายงานผลของพันธุกรรมในข้าวสาลีต่อการสร้างรงควัตถุแอนโทไซยานิน นอกจากนี้ยังอาจเนื่องมาจากขั้นตอนการขัดสี ที่ทำให้ส่วนของเพอร์ริคาร์บและอัลลูโรนหลุดออกจากเอนโดสเปิร์ม ซึ่งเนื้อเยื่อทั้งสองเป็นแหล่งสะสมของรงควัตถุในข้าว ดังนั้น ข้าวที่ผ่านการขัดสี 100 เปอร์เซ็นต์ หรือข้าวขัดขาว จะมีสีลดลง แต่มีความสว่างมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างข้าวเหนียวขาวและข้าวกล้องไม่มีความแตกต่างกันทั้งค่า L^* a^* และ b^* แสดงว่า สัดส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อการดูดกลืน การส่องผ่าน และการสะท้อนของแสง จึงไม่พบการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์สีที่วัดโดยเครื่องมือ แต่ตัวอย่างข้าวมีความแตกต่างกันโดยลักษณะปรากฏ โดยข้าวเหนียวขาวมีลักษณะเป็นผงสีขาวขุ่น ส่วนข้าวเจ้ากล้องมีลักษณะผงสีขาวที่ใสกว่าเล็กน้อย

นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า แม้เป็นตัวอย่างข้าวชนิดเดียวกัน เช่น ข้าวเหนียวดำ จำนวน 12 สายพันธุ์ที่ทำการทดสอบ ก็มีค่าสีที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นค่า L^* a^* และ b^* ในช่วงกว้าง เท่ากับ 59.85-71.15, 2.81-4.21 และ 0.91-4.22 (ตารางที่ 4.1) ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุกรรมของข้าวและอาจมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์สีแตกต่างกัน เช่นวิธีการเพาะปลูก และแหล่งเพาะปลูก (Siebenhandl และคณะ, 2007; Xu และคณะ, 2007) อีกด้วย

ค่าโครมา (C^*) เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณผลรวมของค่า a^* และ b^* ($(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$) และไม่เกี่ยวข้องกับค่าความสว่าง ดังนั้นจึงเป็นค่าที่แสดงความเข้มของสี ซึ่งตัวอย่างที่มีค่า C^* ต่ำ จัดอยู่ในกลุ่ม achromatic color ที่มีสีที่มองด้วยตาในเฉดสีขาว เทา จนถึงดำ และตัวอย่างที่มีค่า C^* สูง จะมีความเข้มของสีหลัก (Hue) มาก และมีสีในเฉดต่างๆ เช่น สีเหลือง ส้ม แดง เขียว เป็นต้น (ปิยานันท์ ประสารราชกิจ, 2535) แต่จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่า ข้าวที่มีสีมีค่า C^* ต่ำ ตรงกันข้ามกับข้าวไม่มีสีที่มีค่า C^* สูง โดยสามารถแบ่งข้าวออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่มีค่า C^* สูง ได้แก่ ข้าวสีแดง ข้าวเจ้ากล็อง และข้าวเหนียวขาว โดยมีค่า C^* อยู่ระหว่าง 10.56-15.54 ซึ่งข้าวทั้ง 3 กลุ่มนี้ไม่สามารถแบ่งแยกออกจากกันโดยใช้ค่า C^* ส่วนประเภทที่ 2 มีค่า C^* ต่ำ ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ ข้าวสีม่วง และข้าวขัดขาว ที่มีค่า C^* อยู่ระหว่าง 3.45-7.49 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ข้าวเหนียวดำ ข้าวขัดขาว และข้าวสีม่วง แต่บางสายพันธุ์ของข้าวไม่สามารถแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ผลการทดลองที่ได้นี้มี ความแตกต่างจากการใช้พารามิเตอร์สี L^* และ a^* ที่สามารถใช้แยกกลุ่มของข้าวตามลักษณะสีที่ปรากฏออกเป็นกลุ่มข้าวมีสีและไม่มีสี อย่างไรก็ตามการใช้ค่า C^* สามารถใช้จำแนกกลุ่มข้าวได้เช่นกัน โดยใช้ลักษณะปรากฏร่วม เช่น ประเภทข้าวมีสีสามารถเรียงลำดับจากน้อยไปมาก คือ ข้าวเหนียวดำ ข้าวสีม่วง และข้าวสีแดง แต่ประเภทข้าวไม่มีสี ไม่สามารถใช้ค่า C^* แบ่งกลุ่มข้าวเจ้ากล็องกับข้าวเหนียวขาว ออกจากกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 10.96-13.25 และ 10.50-14.16 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวทั้ง 2 มีค่า a^* และ b^* ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนข้าวขัดขาวมีค่า b^* ที่ต่ำกว่าจึงสามารถแยกออกจากข้าวที่ไม่มีสีอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตได้ว่า ค่า b^* มีอิทธิพลต่อค่า C^* มากกว่าค่า a^* เนื่องจากตัวอย่างข้าวที่มีช่วงค่า b^* (-0.13-9.95) ที่กว้างกว่าช่วงค่า a^* (0.91-14.16) และตัวอย่างที่มีค่า b^* สูงจะมีค่า C^* สูง เช่นข้าวเจ้ากล็อง และข้าวเหนียวขาว

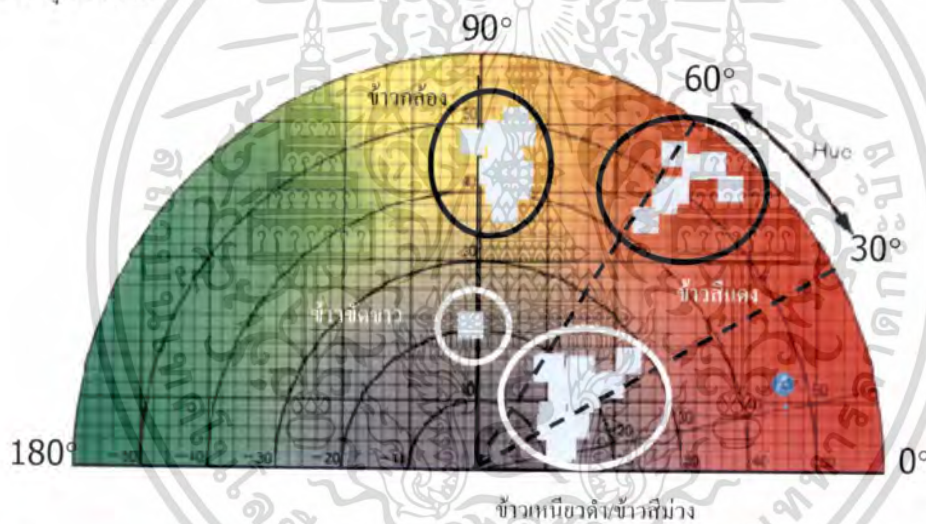
ผลการทดลองค่า C^* ไม่สอดคล้องกับการสังเกตด้วยตา เนื่องจากประเภทข้าวมีสี แม้จะบดตัวอย่าง ส่งผลให้รังควัตถุที่เป็นองค์ประกอบในเพอร์ริคาร์บและอัลลูโรนกระจายตัวออก และผสมในเอนโดสเปิร์มที่ประกอบด้วยของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่ไม่มีสี แต่จากการสังเกตด้วยตาก็พบว่าผงข้าวของกลุ่มข้าวที่มีสียังคงมีสีออกสีม่วง ส่วนผงข้าวของกลุ่มข้าวที่ไม่มีสีจะออกสีขาวถึงเหลืองอ่อนๆ ดังนั้น การจัดกลุ่มข้าวด้วยค่า C^* จึงไม่สอดคล้องกับการสังเกตด้วยตา และการใช้พารามิเตอร์สีในการจัดกลุ่มข้าวควรวัดจากทั้งเมล็ดที่อาจทำให้เห็นความแตกต่างของ C^* ในข้าวแต่ละกลุ่มมากขึ้น เนื่องจากรวงควัตถุนั้นจะพบบริเวณเพอร์ริคาร์บและอัลลูโรนเท่านั้น การบดตัวอย่างจะทำให้ความเข้มของสีแตกต่างจากการวัดทั้งเมล็ด

ค่า Hue-angle (h°) แสดงค่ามุม (องศา) บนไดอะแกรมสัมประสิทธิ์สี a^* และ b^* สามารถใช้บ่งบอกเฉดสีของตัวอย่างได้ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา (ปิยานันท์ ประสารราชกิจ, 2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างข้าวมีค่า h'' อยู่ระหว่าง 14.61-91.10 (ตารางที่ 4.1) แสดงว่าอยู่ในเขตสีม่วงแดงถึงเหลือง โดยเรียงลำดับกลุ่มข้าวที่มีค่า h'' จากน้อยไปมากได้ดังนี้ ข้าวสีม่วง ข้าวสีแดง ข้าวเจ้ากล้อง/ข้าวเหนียวขาว และข้าวขัดขาว โดยไม่สามารถลำดับข้าวเหนียวดำได้ เนื่องจากมีค่า h'' ในช่วงกว้าง (14.61-55.73) และคาบเกี่ยวกับข้าวสีม่วง (32.81-37.74) และข้าวสีแดง (48.97-58.90)

นอกจากนี้ ยังไม่สามารถจำแนกข้าวเจ้ากล้องและข้าวเหนียวขาวออกจากกันเนื่องจากมีค่า h'' อยู่ระหว่าง 82.96-90.58 และ 81.87-86.89 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สามารถแบ่งประเภทของข้าวตามสีได้สอดคล้องกับการสังเกตด้วยตา โดยกลุ่มข้าวมีสีและไม่มีสีออกจากกัน โดยมีค่า h'' อยู่ระหว่าง 14.61-58.90 และ 81.87-91.10 ตามลำดับ และเมื่อนำค่า h'' ของข้าวทุกสายพันธุ์มาพลอตกราฟ (ภาพที่ 4.1) สามารถแบ่งข้าวออกเป็น 4 กลุ่มตามตำแหน่งบนไดอะแกรม คือ กลุ่มข้าวเหนียวดำ/ข้าวสีม่วง กลุ่มข้าวสีแดง กลุ่มข้าวเจ้ากล้อง/ข้าวเหนียวขาว และข้าวขัดขาว ซึ่งการใช้ค่า h'' สามารถแบ่งกลุ่มข้าวบางกลุ่มได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น แต่ไม่สามารถใช้ค่า h'' เพียงค่าเดียวในการแบ่งกลุ่มข้าวได้



ภาพที่ 4.1 ค่า Hue-angle (h'') ของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ

ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาว แสดงผลดังตารางที่ 4.1 โดยค่า ΔE เป็นค่าที่คำนวณจากความแตกต่างของพารามิเตอร์สี L^* , a^* และ b^* จึงเป็นค่าความแตกต่างโดยรวมของสี และถ้าค่า ΔE มีค่าสูงแสดงว่าตัวอย่างที่ทดสอบมีความแตกต่างจากข้าวขัดขาวมาก และสามารถมองได้ด้วยตาอย่างชัดเจน จากผลการทดลองพบว่า ค่า ΔE มีค่าอยู่ระหว่าง 7.04-37.84 และไม่สามารถเรียงลำดับกลุ่มข้าวที่มีค่า ΔE จากน้อยไปมาก เนื่องจากค่า ΔE ของข้าวแต่ละกลุ่มอยู่ในช่วงที่ซ้อนทับกัน เช่น ข้าวสีแดง ข้าวสีม่วง และ ข้าวเหนียวดำ มีค่า ΔE อยู่ระหว่าง 20.44-28.78, 17.06-37.84 และ 23.08-34.67 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มข้าวเจ้ากล้องและข้าวเหนียวขาวมีค่า ΔE อยู่ในช่วงเดียวกันคือ 7.90-11.72 และ 7.04-11.87 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาที่พบว่าข้าวเจ้ากล้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างจากข้าวขัดขาวน้อยกว่ากลุ่มข้าวสีทั้ง 3 ที่มีค่า ΔE อยู่ในช่วง 7.04-11.7 และ 17.06-37.84 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า L^* มีอิทธิพลต่อค่า ΔE มากที่สุด เนื่องจากกลุ่มข้าวสีทั้ง 3 มีค่า L^* ที่แตกต่างจากข้าวขัดขาวมาก ในขณะที่กลุ่มข้าวไม่มีสีมีความแตกต่างของ L^* น้อยกว่า อีกทั้งกลุ่มข้าวที่มีช่วงค่า L^* กว้างจะมีค่า ΔE อยู่ในช่วงกว้างเช่นกัน

จากผลการทดลอง การวัดค่าด้วยพารามิเตอร์สีต่างๆ พบว่า ไม่สามารถใช้พารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งในการจำแนกกลุ่มของข้าวได้ จำเป็นต้องนำค่าพารามิเตอร์สีอื่นๆ มาพิจารณาร่วมด้วย ในการจำแนกกลุ่มข้าวที่มีสีแตกต่างกัน เช่น L^* , a^* , b^* , C^* และ h° เป็นต้น เช่น กลุ่มข้าวสีแดงมีค่า L^* , b^* และ C^* ที่แตกต่างจากกลุ่มข้าวเหนียวดำและข้าวสีม่วงมาก จึงสามารถแยกกลุ่มข้าวสีแดงเป็นกลุ่มหนึ่ง แต่กลุ่มข้าวเหนียวดำและข้าวสีม่วงนั้น ต้องใช้ค่า a^* ในการแยกกลุ่มข้าวทั้งสองออกจากกัน เนื่องจาก พารามิเตอร์ L^* , b^* และ C^* มีช่วงค่าที่กว้างและซ้อนทับกัน จึงไม่อาจนำมาใช้แยกกลุ่มข้าวได้ อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถจำแนกข้าวเจ้ากล้องและข้าวเหนียวขาวออกจากกันได้ โดยใช้พารามิเตอร์สี เนื่องจากทุกค่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน จึงต้องใช้ค่าทางเคมีอื่นๆ มาช่วยในการวิเคราะห์ เช่น ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน เป็นต้น หรืออาจวิเคราะห์พารามิเตอร์สีด้วยระบบการฉายแสงแบบอื่นๆ เช่น การส่องผ่าน (transmittance) ในการวิเคราะห์เพื่อให้สามารถจำแนกกลุ่มข้าวออกจากกันได้

4.1.2 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ

สารสกัดข้าวจำนวน 51 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content, TPC) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP, ABTS⁺ และ ORAC ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแสดงค่าเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดแสดงค่าเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS⁺, FRAP และ ORAC แสดงค่าเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ (Trolox) ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยังวิเคราะห์หาปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ด้วยวิธีลิกวิด โครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography, HPLC) อีกด้วย

4.1.2.1 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของสารสกัดข้าวทั้ง 51 ตัวอย่าง พบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.194-8.702 และ 0.001 - 6.676 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ส่วนไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.016-4.043 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยตรวจพบเพียง 17 ตัวอย่างและตรวจไม่พบใน 34 ตัวอย่างประกอบด้วยกลุ่มข้าวไม่มีสีทั้งหมด และกลุ่มข้าวสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช.จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์

ประเภท	ข้าว		ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด	ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์
	กลุ่ม	ตัวอย่าง			
ข้าวมีสี	ข้าวเหนียวดำ	GDR_1	5.625 ± 0.023 ^c	2.234 ± 7.165 ^d	0.619±0.003 ^c
		GDR_2	4.831 ± 0.114 ^c	2.832 ± 22.22 ^c	1.421±0.028 ^c
		GDR_3	4.924 ± 0.014 ^{d-c}	2.051 ± 7.959 ^c	0.531±0.013 ^b
		GDR_4	4.192 ± 0.108 ^b	1.833 ± 54.31 ^b	0.587±0.002 ^f
		GDR_5	4.401 ± 0.058 ^f	1.943 ± 44.35 ^f	0.912±0.024 ^d
		GDR_6	2.781 ± 0.083 ⁱ	0.868 ± 0.458 ⁱ	0.230±0.002 ^f
		GDR_7	3.016 ± 0.101 ^j	0.785 ± 7.699 ^k	0.209±0.000 ^j
		GDR_8	3.145 ± 0.036 ⁱ	0.858 ± 5.153 ⁱ	0.157±0.002 ^{k-l}
		GDR_9	3.518 ± 0.085 ^h	0.816 ± 14.47 ^j	0.205±0.000 ^j
		GDR_10	2.793 ± 0.023 ^{k-l}	0.747 ± 5.826 ^l	0.256±0.000 ^h
		GDR_11	6.648 ± 0.059 ^b	3.369 ± 9.677 ^b	2.274±0.063 ^b
		GDR_12	8.702 ± 0.013 ^a	6.676 ± 50.70 ^a	4.043±0.006 ^a
	ช่วงค่า		2.781 - 8.702	0.748 - 6.676	0.157-4.043
	ค่าเฉลี่ย		4.548 ± 1.778	2.085 ± 1.691	0.954±1.156
ข้าวสีม่วง		PR_1	4.986 ± 0.062 ^d	1.210 ± 2.681 ^h	0.147±0.001 ^l
		PR_2	2.294 ± 0.064 ⁿ	0.727 ± 3.505 ^{o-q}	0.178±0.000 ^k
		PR_3	2.136 ± 0.080 ^o	0.586 ± 4.029 ^m	0.043±0.000 ⁿ
		PR_4	0.927 ± 0.002 ^r	0.121 ± 0.391 ⁿ	0.016±0.000 ^o
		PR_5	2.595 ± 0.062 ^m	0.852 ± 0.114 ^l	0.124±0.003 ^m
	ช่วงค่า		0.927 - 4.986	0.121 - 1.210	0.016-0.178
	ค่าเฉลี่ย		2.587 ± 1.483	0.700 ± 0.398	0.102±0.069

หมายเหตุ ND หมายถึงตรวจไม่พบหรือ มีปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แสดงค่าในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ แสดงค่าในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ประเภท	ข้าว		ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด	ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์
	กลุ่ม	ตัวอย่าง			
ข้าวมีสี	ข้าวสีแดง	RR_1	2.722 ± 0.066 ⁱ	0.058 ± 0.175 ^o	ND
		RR_2	2.623 ± 0.077 ^m	0.054 ± 0.380 ^{o-p}	ND
		RR_3	3.221 ± 0.004 ⁱ	0.052 ± 0.267 ^{o-p}	ND
		RR_4	2.103 ± 0.029 ^{o-p}	0.047 ± 0.547 ⁱ	ND
		RR_5	2.880 ± 0.068 ^k	0.035 ± 0.445 ^{o-r}	ND
		RR_6	2.136 ± 0.085 ^o	0.027 ± 0.391 ^{p-s}	ND
		RR_7	2.030 ± 0.029 ^p	0.022 ± 0.617 ^{q-s}	ND
		RR_8	1.906 ± 0.029 ^q	0.022 ± 0.089 ^{q-s}	ND
	ช่วงค่า	1.906 - 3.221	0.022 - 0.058	ND	
	ค่าเฉลี่ย	2.452 ± 0.474	0.040 ± 0.015	ND	
	ข้าวไม่มีสี	ข้าวกล้อง	BR_1	0.404±0.022 ^{y-z}	0.016±0.001 ^{r-s}
BR_2			0.595±0.026 ^{u-v}	0.013±0.002 ^{r-s}	ND
BR_3			0.484±0.006 ^{w-z}	0.012±0.003 ^{r-s}	ND
BR_4			0.595±0.028 ^{u-v}	0.012±0.001 ^{r-s}	ND
BR_5			0.443±0.008 ^{x-z}	0.011±0.000 ^{r-s}	ND
BR_6			0.440±0.023 ^{x-z}	0.011±0.002 ^{r-s}	ND
BR_7			0.506±0.002 ^{v-y}	0.010±0.001 ^{r-s}	ND
BR_8			0.536±0.020 ^{u-x}	0.009±0.003 ^{r-s}	ND
BR_9			0.704±0.004 ^{s-t}	0.009±0.000 ^{r-s}	ND
BR_10			0.543±0.005 ^{u-x}	0.007±0.002 ^{r-s}	ND
BR_11			0.709±0.017 ^{s-t}	0.007±0.001 ^{r-s}	ND

หมายเหตุ ND หมายถึงตรวจไม่พบหรือ มีปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แสดงค่าในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ แสดงค่าในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ประเภท	ข้าว		ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด	ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์		
	กลุ่ม	ตัวอย่าง					
ข้าวไม่มียีส	ข้าวกล้อง	BR_12	0.400±0.018 ^{y-z}	0.006±0.002 ^{r-s}	ND		
		BR_13	0.620±0.029 ^{t-u}	0.006±0.001 ^{r-s}	ND		
		BR_14	0.509±0.002 ^{v-y}	0.006±0.001 ^{r-s}	ND		
		BR_15	0.599±0.021 ^{u-v}	0.005±0.000 ^{r-s}	ND		
		BR_16	0.534±0.006 ^{u-x}	0.005±0.001 ^{r-s}	ND		
		BR_17	0.613±0.006 ^{t-v}	0.005±0.000 ^{r-s}	ND		
		BR_18	0.417±0.036 ^{y-z}	0.004±0.000 ^{r-s}	ND		
		BR_19	0.389±0.002 ^z	0.004±0.001 ^{r-s}	ND		
		BR_20	0.457±0.021 ^{w-z}	0.004±0.001 ^{r-s}	ND		
		BR_21	0.508±0.018 ^{y-y}	0.004±0.000 ^{r-s}	ND		
		BR_22	0.485±0.009 ^{w-z}	0.004±0.001 ^{r-s}	ND		
		BR_23	0.756±0.013 ^s	0.004±0.001 ^{r-s}	ND		
		BR_24	0.443±0.015 ^{x-z}	0.004±0.000 ^{r-s}	ND		
		BR_25	0.555±0.005 ^{u-w}	0.002±0.000 ^s	ND		
			ช่วงค่า	0.389 - 0.756	0.002 - 0.016	ND	
			ค่าเฉลี่ย	0.530 ± 0.100	0.007 ± 0.004	ND	
			ขีดขาว	WR_1	0.194±0.014 ^z	0.001±0.000 ^s	ND
		ทั้งหมด		ช่วงค่า	0.194 - 8.702	0.001 - 6.676	ND - 4.043
				ค่าเฉลี่ย	1.972 ± 1.920	0.569 ± 1.185	0.234 ± 0.676

หมายเหตุ ND หมายถึงตรวจไม่พบหรือ มีปริมาณ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แสดงค่าในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ แสดงค่าในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ในข้าวแต่ละกลุ่มมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่แตกต่างกัน และในแต่ละกลุ่มข้าวจะมีความแปรปรวนของตัวอย่าง โดยเฉพาะกลุ่มที่มีสีที่พบในช่วงกว้าง เช่น กลุ่มข้าวเหนียวดำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด อยู่ระหว่าง 2.78-8.70 และ 0.75-6.68 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.548 ± 1.778 และ 2.085 ± 1.691 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ แสดงให้เห็นความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์อีกด้วย ซึ่งเป็นผลจากพันธุกรรมที่แตกต่างกัน ทำให้วิธีการเมตาบอไลต์หรือการสังเคราะห์สารประกอบที่แตกต่างกัน ข้าวจึงมีองค์ประกอบทางเคมีรวมถึงฟิโนไทป์ที่แตกต่างกัน เช่น ความชุ่ม และสี เป็นต้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Suttajit และคณะ (2006) ที่รายงานว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ของข้าว

ตัวอย่างข้าวเหนียวดำ ส่วนใหญ่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่ากลุ่มข้าวอื่นๆ ส่วนข้าวสีม่วง มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด อยู่ระหว่าง 0.927-4.986 และ 0.121-1.210 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และข้าวสีแดง อยู่ในช่วง 1.906-3.221 และ 0.022-0.058 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ แสดงว่า ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณสารสำคัญทั้งสองแตกต่างกัน ขึ้นกับสายพันธุ์ของข้าว และไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่า ข้าวสีกลุ่มใดมีปริมาณสารใดมากที่สุด แต่มีแนวโน้มว่าข้าวกลุ่มที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงจะมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มข้าวมีสีมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่ากลุ่มข้าวไม่มีสี ดังนั้นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้สารสำคัญในข้าวแตกต่างกันเป็นปัจจัยแรก ได้แก่ สายพันธุ์ของข้าว

กลุ่มข้าวเหนียวดำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 2.781 – 8.702 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของเพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ที่วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวเหนียวดำมีค่าเท่ากับ 2.78-4.89 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) อย่างไรก็ตาม ยังมีค่าต่ำกว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในข้าวเหนียวดำ ข้าวสีม่วง และข้าวสีแดง 119.3 65.45 และ 42.50 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (อภิตยา โรจนสโรช, 2551) ทั้งนี้ความแตกต่างของผลการทดลองอาจเนื่องมาจาก ความแตกต่างของสายพันธุ์ข้าว รวมถึง ยังใช้วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ ใช้วิธีการเขย่าที่อุณหภูมิห้อง แม้ว่าการเขย่าเป็นการกระตุ้นให้เกิดการสกัดสารที่ต้องการออกจากเมทริกซ์ของข้าวอยู่ตลอดเวลา แต่การสกัดที่อุณหภูมิห้อง อาจไม่ช่วยเร่งหรือทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ รวมถึงโครงสร้างที่ยึดเกาะกันแน่น (conjugated bonds) ส่งผลให้สารที่ต้องการไม่ได้ถูกปลดปล่อยออกมา เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารที่ต้องการ จึงมีปริมาณต่ำกว่าปริมาณที่มีอยู่จริง

จากผลการทดลองในการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวเหนียวดำหรือข้าวดำ 3 ตัวอย่าง ได้แก่ GDR_6, GDR_8 และ GDR_10 อีกทั้งในข้าวหอมมะลิแดง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ RR_1, RR_3 และ RR_8 พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ของข้าวเหนียวดำ (ดำ) ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.781-3.145 และ 0.747-0.868 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนข้าวหอมมะลิแดง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.906-3.221 และ 0.022-0.058 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างข้าวสายพันธุ์เดียวกัน ($p < 0.05$) แสดงว่า การสีข้าวยังอาจส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดด้วยเช่นกัน เนื่องจากกลุ่มข้าวมีสีมักเป็นข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือก หรือข้าวกล้องนั่นเอง ความแปรปรวนที่พบในตัวอย่างข้าวแต่ละกลุ่มอาจเกิดจากเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ ระดับการขัดสีที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าสารสำคัญ หรือสารชีวกิจกรรมต่างๆ จะสะสมอยู่ในเยื่อเพอร์ริคาร์บและอัลลูโรน (Abdel-Aal และ Hucl, 1999) อีกทั้งจากผลการทดลองยังพบว่า ข้าวกล้องมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวขัดขาว ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.389-0.756 และ 0.194 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) สอดคล้องกับที่รายงานโดย Liyana-Pathirana และคณะ (2006) ว่า ข้าวสาลีกล้องมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวสาลีขัดขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ข้าวสายพันธุ์ที่นำมาวิเคราะห์อาจมีปริมาณสารชีวกิจกรรมเท่ากัน หรือใกล้เคียงกัน แต่ถ้าขั้นตอนการแปรรูปมีการขัดเอาส่วนของเพอร์ริคาร์บและอัลลูโรน ออกไปในเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกัน ก็จะส่งผลต่อปริมาณสารที่ทำการศึกษาค้นคว้าด้วย ดังที่ Adom และคณะ (2005 b) รายงานว่า การเพิ่มดีกรีการขัดสี (degree of milling) ส่งผลให้ปริมาณสารสำคัญลดลง ทั้งนี้ก็เนื่องจากการขัดเยื่อเพอร์ริคาร์บและอัลลูโรนซึ่งเป็นที่ยึดของสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และสารสำคัญอื่นๆ ออกไป (Adom และคณะ, 2005 b; Abdel-Aal และคณะ, 2006) นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น แหล่งเพาะปลูก เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณสารชีวกิจกรรมมีความแตกต่างกัน (Siebenhandl และคณะ, 2007; Li และคณะ, 2008) อีกทั้งสภาพภูมิอากาศ และภูมิประเทศที่แตกต่างกัน รวมถึงวิธีการเพาะปลูก เช่น อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุด ปริมาณและช่วงเวลาของแสงแดด และวิธีการให้น้ำและปุ๋ย เป็นต้น ล้วนมีผลต่อคุณภาพของข้าว (Moore และคณะ, 2006) ดังนั้น จากผลการทดลองจึงพบว่า แม้ว่าจะเป็นข้าวสายพันธุ์เดียวกัน แต่มาจากแหล่ง ที่แตกต่างกัน หรือมีกระบวนการขัดสีที่แตกต่างกัน ล้วนส่งผลปริมาณสารชีวกิจกรรมที่มีอยู่ในข้าว

เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดำสายพันธุ์อื่น พบว่าข้าวดำสายพันธุ์ *Oryza sativa* L. cv. *Heuginjubyeyo* และ *O. sativa* L. *Heugkwangbyeyo* ประกอบด้วยปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูง 18.2 และ 13.3 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (Kong และ Lee, 2009) ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าที่พบในข้าวสีม่วงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ไม่ต่ำกว่า 5 เท่า แต่ de Mira และคณะ (2009) รายงานว่า ข้าวอินดิกา และจาปอนิกา ทั้งที่มีสีและไม่มีสี 21 ชนิด มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดใกล้เคียงในบางสายพันธุ์แต่ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าผลการทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ยของข้าวมีสีและไม่มีสี เท่ากับ 4.246 และ 1.072 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ แต่การทดลองดังกล่าวใช้กรดเฟอรูลิกเป็นสารมาตรฐาน ในขณะที่การทดลองนี้ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ซึ่งความแตกต่างของผลการทดลองกับจากที่มีรายงานการวิจัยมาแล้วนั้น อาจเนื่องมาจาก วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน สายพันธุ์ สภาพพื้นที่การเพาะปลูก รวมถึงการคำนวณที่ใช้สารมาตรฐานที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าที่วิเคราะห์ได้แตกต่างกันอีกด้วย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวสีม่วง อยู่ในช่วง 0.121 - 1.210 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานไว้ใน *Oryza sativa* L. *japonica* var. SBR ซึ่งเป็นข้าวสีดำจากแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา (0.628 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) (Hiemori และคณะ, 2009) แต่การที่จะพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญต่างๆ ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากวิธีการเตรียมตัวอย่าง การตรวจวิเคราะห์ และวิธีการแสดงผลด้วย เนื่องจากการใช้วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้สภาวะใดสภาวะหนึ่งอาจมีความเหมาะสมมากกว่าในการสกัดสารที่กำลังสนใจ หรือการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน/สภาวะการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ก็มีความไวและความจำเพาะในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันอีกด้วย อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบปริมาณกับรายงานวิจัยที่มีอยู่สามารถบ่งบอกแนวโน้มของปริมาณสารได้ว่ามีมาก/น้อยเพียงใด

สีของตัวอย่างข้าว มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยกลุ่มข้าวมีสีมีปริมาณของสารชีวกิจกรรมทั้ง 2 สูงกว่ากลุ่มตัวอย่างข้าวที่ไม่มีสี อย่างไรก็ตาม กลุ่มข้าวบางชนิด เช่น กลุ่มข้าวสีแดง มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดใกล้เคียงกับข้าวสีม่วง แต่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดต่ำกว่าข้าวสีม่วงมาก ดังนั้นในข้าวบางกลุ่มจะมีแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบฟีนอลิกหรือมีสารชนิดอื่นที่ไม่ได้เป็นรงควัตถุ ส่วนรงควัตถุในข้าวสีแดงอาจประกอบด้วยรงควัตถุอื่นๆ เช่น ไลโคปีน (licopene) ที่พบในข้าวพันธุ์ MR219 และ MR84 จากประเทศมาเลเซีย (Abdul-Hamid และคณะ, 2007) หรือ ลูทีน ในข้าวสารีพันธุ์ Roane (Adom และคณะ, 2003 a) และ ซีแซนทีน (zeaxanthin) ในข้าวสารีพันธุ์ Prowidur (Hentschel และคณะ, 2002) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แอนโทไซยานินอาจไม่ใช่องค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบฟีนอลิกในข้าวบางกลุ่ม ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ ที่พบในข้าวได้แก่ กรดเฟอรูลิก กรดพารา-คูมาริก และกรดวานิลลิก เป็นต้น (Hu และคณะ, 2003)

สำหรับตัวอย่างข้าวกล้องที่ทดลอง พบว่า มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.389-0.756 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่รายงานโดย Suttajit และคณะ (2006) ที่วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องไทยพันธุ์ลูกผสม 49 สายพันธุ์ (0.165-0.392 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) อีกทั้งยังมีค่าสูงกว่าข้าวกล้อง (0.131-0.385 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) ที่รายงานไว้โดย จิตรลดดา วิชาผง (2552) ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ดังในรายงานต่างๆ และการทดลองครั้งนี้ เนื่องมาจาก ความหลากหลายสายพันธุ์ของข้าว พื้นที่การเพาะปลูก สภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก รวมถึงการสีข้าว ที่ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในสารสกัดแตกต่างกัน

ข้าว (*Oryza sativa* L. *indica*) ประกอบด้วย แอนโทไซยานินหลัก 2 ชนิด ได้แก่ ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) และพีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ (peonidin-3-glucoside) (Hu และคณะ, 2003; เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม, 2550) ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณของไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ด้วยวิธี HPLC ในตัวอย่างข้าวให้ผลดังตารางที่ 4.2 ผลการทดลองพบว่า ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ตรวจพบเฉพาะในกลุ่มข้าวเหนียวดำ และข้าวสีม่วงเท่านั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.157-4.043 และ 0.016-0.178 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) แต่ตรวจไม่พบในกลุ่มข้าวสีแดง ข้าวกล้อง และข้าวขัดขาว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของเพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ที่ตรวจพบ ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ในข้าวมีสี ได้แก่ ข้าวเหนียวดำและข้าวสีนิลพันธุ์ลูกผสม (1.93

และ 0.31 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงค่าของการทดลองครั้งนี้ที่พบระหว่าง 0.016 – 4.043 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

ข้าวกล้องหอมนิล PR_2 เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์สูงสุด (0.178 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) สำหรับข้าวเหนียวดำ ได้แก่ GDR_12 (4.043 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) ซึ่งผลการทดลองนี้มีค่ามากกว่า 2 เท่า และ 1 เท่า ที่พบในข้าวเหนียวดำ และข้าวสีนิลพันธุ์ลูกผสมที่มีปริมาณสูงสุด ตามรายงานของเพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) สำหรับ Hiemori และคณะ (2009) ได้รายงาน ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และพีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ ในข้าวดำสายพันธุ์ *Oryza sativa* L. japonica var. SBR ซึ่งไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ มีปริมาณอยู่ในช่วงที่ตรวจพบในข้าวสายพันธุ์ไทย ดังนั้น ชนิด สายพันธุ์ของข้าว และพื้นที่เพาะปลูก ล้วนส่งผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

ส่วนในกลุ่มข้าวกล้องที่มีสีน้ำตาล และกลุ่มข้าวสีแดงที่ประกอบด้วย ข้าวสังข์หยด ข้าวหอมมะลิแดง และข้าวหอมมันปู ตรวจไม่พบไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ หรือในสารสกัดอาจมีในปริมาณที่ต่ำกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของวิธีการวิเคราะห์นี้ ทั้งนี้สีที่ปรากฏของข้าวทั้ง 2 กลุ่มนี้ อาจเนื่องมาจาก รงควัตถุชนิดอื่นสะสมอยู่ในเพอร์ริคาร์บ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ที่เป็นรงควัตถุที่ให้สีน้ำตาลในธัญพืช ได้แก่ แทนนิน กรดพารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิก กรดวานิลลิก และกรดไซริงจิก เป็นต้น ที่พบรายงานในบัควีท (buckwheat) (Oomah และคณะ, 1996) นอกจากนี้ยังอาจประกอบด้วยกลุ่มสารประกอบแคโรทีนอยด์ที่ให้สีเหลืองถึงแดง ดังเช่น ลูทีน (lutein) ในข้าวสาลี (*Triticum durum*) ที่รายงานไว้โดย Hentschel และคณะ (2002) ส่วน Frei และคณะ (2005) ก็ตรวจพบ เบต้า-แคโรทีน (β -carotene) ในข้าวกล้อง (*Oryza sativa* L.) สำหรับ เบต้า-แคโรทีน และลูทีน ถูกรายงานในข้าวกล้อง (*Oryza sativa* L.) พันธุ์ บาสมาติ โกชิจิคาริ และโลโต เป็นต้น (Lambert และ Delcour, 2008)

ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่วิเคราะห์ด้วยการใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์กับปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC นั้นมีความแตกต่างกันมาก (ตารางที่ 4.2) โดยพบความแตกต่างในระหว่าง 0.11-2.63 เท่า เนื่องจาก การวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นการวิเคราะห์ที่มีความจำเพาะน้อยกว่าเครื่อง HPLC ซึ่งสารประกอบใดที่สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร ก็จะปรากฏผลเป็นปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ส่วน HPLC ใช้หลักการของโครมาโทกราฟีในการแยกสารที่สนใจให้บริสุทธิ์ และวิเคราะห์ค่าไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และเมื่อพิจารณาโครมาโทแกรม พบว่า มีพิกัดขึ้นหลายพิกัด แสดงว่ามีสารประกอบอื่นๆ ที่ดูดกลืนแสงในช่วงของแอนโทไซยานินได้ จึงอาจให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่าที่เป็นจริง เนื่องจากปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่พบในข้าวประกอบด้วยไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และพีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ (Hu และคณะ, 2003; Abdel-Aal

และคณะ, 2008; เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม, 2550) นอกจากนี้ วิธี HPLC เป็นการวิเคราะห์ไฮยานิควิน-3-กลูโคไซด์เพียงชนิดเดียว ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณและคุณภาพของสารแต่ละชนิด

4.1.2.2 ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

ความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆ 3 วิธี ดังนี้ FRAP, ABTS⁺ และ ORAC ซึ่งวิธี FRAP และ ABTS⁺ ใช้หลักการให้อิเล็กตรอน (Electron transfer reaction) เป็นการแสดงความสามารถในการรีดิวซ์โลหะและทำลายอนุมูลอิสระ ตามลำดับ ส่วนวิธี ORAC นั้นอาศัยหลักการความสามารถในการให้โปรตรอน (Hydrogen atom transfer reaction) แก่อนุมูลอิสระเปอร์ออกไซด์ จึงชะลออัตราการทำลายความสามารถในการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารประกอบฟลูออเรสซินได้ ซึ่งความสามารถในการต้านออกซิเดชันของทั้ง 3 วิธี แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยพบว่าค่า FRAP ABTS⁺ และ ORAC มีค่าอยู่ในช่วง 0.086-14.92, 0.190-1.881 และ 4.00-59.37 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) กลุ่มข้าวมีสีมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่ากลุ่มข้าวไม่มีสี และมีแนวโน้มว่ากลุ่มข้าวเหนียวดำมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าข้าวกลุ่มอื่นๆ รองลงมาได้แก่ ข้าวสีม่วง/ข้าวสีแดง ข้าวกล้องและข้าวขัดขาว แนวโน้มและลำดับกลุ่มข้าวมีสีตามความสามารถในการต้านออกซิเดชัน สอดคล้องกับ อภิตยา โรจนสโรช (2551) ที่รายงานลำดับจากสูงไปต่ำดังนี้ กลุ่มข้าวเหนียวดำ ข้าวสีแดงและข้าวสีดํา ตามลำดับ ที่วิเคราะห์โดยวิธี ORAC Assay

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ

ประเภท	ข้าว	ตัวอย่าง	ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (mg/g) dry wt		
			FRAP	ABTS ⁺	ORAC
ข้าวมีสี	ข้าวเหนียวดำ	GDR_1	6.800 ± 0.123 ^f	1.697 ± 0.009 ^d	46.20 ± 0.996 ^c
		GDR_2	8.021 ± 0.095 ^c	1.670 ± 0.005 ^d	39.60 ± 1.995 ^{e,f}
		GDR_3	5.991 ± 0.117 ^{h-i}	1.703 ± 0.024 ^{c,d}	36.18 ± 1.415 ^{g,h}
		GDR_4	5.822 ± 0.054 ^f	1.798 ± 0.010 ^{a,b}	40.08 ± 1.096 ^{d,e}
		GDR_5	6.287 ± 0.178 ^g	1.543 ± 0.288 ^e	19.62 ± 1.388 ^{m,n}
		GDR_6	3.733 ± 0.265 ^o	1.852 ± 0.006 ^a	37.60 ± 0.416 ^{f,g}
		GDR_7	3.868 ± 0.107 ^{n,o}	1.868 ± 0.005 ^a	32.95 ± 1.792 ^j
		GDR_8	4.230 ± 0.191 ^m	1.877 ± 0.024 ^a	36.37 ± 2.298 ^{g,h}
		GDR_9	4.564 ± 0.055 ^l	1.816 ± 0.002 ^{a,b}	37.76 ± 1.263 ^{f,g}
		GDR_10	3.790 ± 0.175 ^o	1.881 ± 0.018 ^a	24.39 ± 0.080 ^l
		GDR_11	9.616 ± 0.245 ^b	1.527 ± 0.002 ^e	52.02 ± 0.198 ^b
		GDR_12	14.92 ± 0.241 ^a	1.356 ± 0.012 ^f	59.37 ± 0.246 ^a
	ช่วงค่า	3.733 - 14.92	1.356 - 1.881	19.62 - 59.37	
	ค่าเฉลี่ย	6.470 ± 3.228	1.716 ± 0.168	38.51 ± 10.78	

หมายเหตุ ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน Ferric reducing antioxidative potential (FRAP), Radical cation ABTS⁺ scavenging activity ABTS⁺, Oxygen radical absorbance capacity (ORAC)

พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ประเภท	ข้าว		ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (mg/g) dry wt		
	กลุ่ม	ตัวอย่าง	FRAP	ABTS ⁺⁺	ORAC
ข้าวมีสี	ข้าวสีม่วง	PR_1	5.476 ± 0.044 ^j	1.752 ± 0.046 ^{b-d}	35.90 ± 1.451 ^{g-i}
		PR_2	4.021 ± 0.115 ⁿ	1.802 ± 0.006 ^{a-b}	16.28 ± 0.730 ^o
		PR_3	3.751 ± 0.173 ^o	1.838 ± 0.029 ^{a-b}	39.65 ± 2.349 ^{e-f}
		PR_4	1.046 ± 0.025 ^s	0.384 ± 0.001 ^{k-m}	8.592 ± 0.134 ^{u-x}
		PR_5	6.179 ± 0.003 ^{g-h}	1.789 ± 0.001 ^{a-c}	18.16 ± 1.868 ^{n-o}
		ช่วงค่า	1.046-6.179	0.384-1.838	8.592-39.65
		ค่าเฉลี่ย	4.095 ± 1.979	1.513 ± 0.632	23.72 ± 13.39
	ข้าวสีแดง	RR_1	7.660 ± 0.211 ^d	0.561 ± 0.007 ^j	41.87 ± 1.289 ^d
		RR_2	7.321 ± 0.080 ^c	0.569 ± 0.013 ^j	39.23 ± 0.632 ^{e-f}
		RR_3	4.890 ± 0.025 ^k	0.619 ± 0.012 ^{i-j}	34.55 ± 2.153 ^{b-j}
RR_4		5.955 ± 0.063 ^l	0.630 ± 0.002 ^{g-i}	35.84 ± 0.664 ^{g-i}	
RR_5		3.837 ± 0.206 ^{n-o}	0.647 ± 0.007 ^{g-i}	33.76 ± 1.660 ^{i-j}	
RR_6		2.853 ± 0.078 ^p	0.666 ± 0.000 ^{g-h}	27.72 ± 1.243 ^k	
RR_7		2.548 ± 0.031 ^q	0.707 ± 0.001 ^{g-h}	21.52 ± 0.282 ^m	
RR_8		2.333 ± 0.093 ^r	0.719 ± 0.014 ^g	26.10 ± 1.296 ^{k-l}	
	ช่วงค่า	2.333-7.660	0.561-0.719	21.52-41.87	
	ค่าเฉลี่ย	4.675 ± 2.126	0.640 ± 0.058	32.57 ± 6.911	
ข้าวไม่มีสี	ข้าวกล้อง	BR_1	0.247 ± 0.016 ^{t-u}	0.396 ± 0.008 ^{k-m}	8.672 ± 0.324 ^{t-x}
		BR_2	0.293 ± 0.014 ^{t-u}	0.281 ± 0.010 ^{n-o}	8.313 ± 0.502 ^{u-x}
		BR_3	0.342 ± 0.011 ^t	0.190 ± 0.011 ^o	8.660 ± 0.538 ^{t-x}
		BR_4	0.325 ± 0.013 ^{t-u}	0.415 ± 0.001 ^{k-l}	11.02 ± 0.057 ^{q-l}
		BR_5	0.251 ± 0.015 ^{t-u}	0.418 ± 0.006 ^{k-l}	9.252 ± 0.336 ^{r-x}
		BR_6	0.343 ± 0.008 ^t	0.283 ± 0.003 ^{n-o}	8.009 ± 0.311 ^{v-x}
		BR_7	0.310 ± 0.006 ^{t-u}	0.266 ± 0.001 ^{n-o}	7.111 ± 0.004 ^{x-y}
		BR_8	0.285 ± 0.004 ^{t-u}	0.271 ± 0.004 ^{n-o}	8.725 ± 0.099 ^{t-x}
		BR_9	0.261 ± 0.017 ^{t-u}	0.267 ± 0.004 ^{n-o}	7.846 ± 0.316 ^{w-x}
		BR_10	0.331 ± 0.022 ^t	0.409 ± 0.005 ^{k-l}	10.18 ± 0.568 ^{q-w}
		BR_11	0.304 ± 0.024 ^{t-u}	0.285 ± 0.001 ^{n-o}	8.070 ± 0.008 ^{v-x}
		BR_12	0.323 ± 0.001 ^{t-u}	0.305 ± 0.003 ^{m-n}	5.547 ± 0.582 ^{y-z}
		BR_13	0.302 ± 0.012 ^{t-u}	0.409 ± 0.002 ^{k-l}	11.75 ± 0.131 ^q
		BR_14	0.277 ± 0.005 ^{t-u}	0.270 ± 0.006 ^{n-o}	8.005 ± 1.116 ^{v-x}
		BR_15	0.339 ± 0.026 ^t	0.379 ± 0.000 ^{k-m}	10.64 ± 0.685 ^{q-u}
		BR_16	0.294 ± 0.005 ^{t-u}	0.282 ± 0.004 ^{n-o}	8.286 ± 0.320 ^{u-x}
		BR_17	0.234 ± 0.004 ^{t-u}	0.402 ± 0.004 ^{k-m}	10.06 ± 0.078 ^{q-w}
		BR_18	0.265 ± 0.010 ^{t-u}	0.394 ± 0.002 ^{k-m}	11.17 ± 0.472 ^{q-s}
		BR_19	0.266 ± 0.008 ^{t-u}	0.414 ± 0.002 ^{k-l}	11.47 ± 0.517 ^{q-r}
		BR_20	0.271 ± 0.009 ^{t-u}	0.419 ± 0.000 ^{k-l}	8.716 ± 0.355 ^{t-x}
		BR_21	0.218 ± 0.009 ^{t-u}	0.409 ± 0.001 ^{k-l}	10.27 ± 0.251 ^{q-v}

หมายเหตุ ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน Ferric reducing antioxidative potential (FRAP), Radical cation ABTS⁺⁺ scavenging activity ABTS⁺⁺, Oxygen radical absorbance capacity (ORAC)

พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ประเภท	ข้าว		ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (mg/g) dry wt		
	กลุ่ม	ตัวอย่าง	FRAP	ABTS ^{•+}	ORAC
ข้าวเหนียว	ข้าวกล้อง	BR_22	0.323±0.010 ^{f,m}	0.393±0.007 ^{k,m}	13.87±0.828 ^p
		BR_23	0.361 ± 0.005 ^l	0.428 ± 0.000 ^k	12.02±0.208 ^{p,q}
		BR_24	0.248±0.011 ^{f,m}	0.324±0.002 ^{l,n}	4.000±0.048 ^z
		BR_25	0.244 ± 0.002 ^{f,m}	0.400±0.001 ^{k,m}	9.010±0.275 ^{s,x}
	ช่วงค่า		0.218 - 0.361	0.190 - 0.428	4.000 -13.87
	ค่าเฉลี่ย		0.290 ± 0.039	0.348 ± 0.070	9.227 ± 2.110
	ขัดขาว	WR_1	0.086±0.001 ^u	0.323±0.000 ^{l,n}	4.331±0.024 ^z
ทั้งหมด	ช่วงค่า		0.086-14.92	0.190-1.881	4.00-59.37
	ค่าเฉลี่ย		2.855 ± 3.250	0.840 ± 0.637	21.44 ± 14.76

หมายเหตุ ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน Ferric reducing antioxidative potential (FRAP), Radical cation ABTS^{•+} scavenging activity ABTS^{•+}, Oxygen radical absorbance capacity (ORAC)

พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างข้าวเหนียวค้ำส่วนใหญ่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่ากลุ่มข้าวอื่นๆ ในทุกวิธีวิเคราะห์ สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่พบในกลุ่มข้าวเหนียวค้ำสูงกว่ากลุ่มข้าวอื่นๆ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า สารประกอบฟีนอลิกนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันและการต้านอนุมูลอิสระที่ดี (Li และคณะ, 2005) อีกทั้งจากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวกลุ่มต่างๆ ก็พบว่ามีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านออกซิเดชัน เนื่องจากกลุ่มที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันต่ำ ก็มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดต่ำด้วยเช่นกัน เช่น กลุ่มข้าวกล้อง และข้าวขัดขาว

ไมตรี สุทธจิตต์ และ ศิริวรรณ สุทธจิตต์ (2547 ข) ได้รายงานค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS^{•+} ของข้าวค้ำ และข้าวหอมมลิ (1.275 และ 1.465 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ) ซึ่งพบว่าค่า ABTS^{•+} ของข้าวค้ำและข้าวหอมมลิ มีค่าต่ำกว่าการทดลองนี้ที่ตรวจพบค่า ABTS^{•+} อยู่ระหว่าง 1.852-1.881 กับ 0.384-1.838 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ส่วนในข้าวกล้องมีค่าใกล้เคียงกัน ที่อยู่ระหว่าง 0.190 - 0.428 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) อย่างไรก็ตาม ข้าวหอมมะลิแดง (4.512 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) มีค่าสูงกว่าผลการทดลองในครั้งนี้ที่ศึกษาในข้าวหอมมะลิแดง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ RR_1 RR_3 และ RR_8 ซึ่งมีค่า ABTS^{•+} อยู่ระหว่าง 0.561-0.719 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยวิธีการอื่นๆ นั้น ก็พบความสอดคล้องและแตกต่างกันของค่าที่วัดได้ ดังเช่น เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ที่รายงานค่า FRAP และ ORAC ในข้าวเจ้ามีสีซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.102-16.60 และ 9.477-59.82 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ แต่กลุ่มข้าวเหนียวค้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 11.73-19.80 และ 31.98-51.82 มิลลิกรัมต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ โดยมีค่ามากกว่าและน้อยกว่าผลการทดลองครั้งนี้ ซึ่งความแตกต่างของผลการทดลอง อาจเกิดขึ้นจากหลายๆ ปัจจัยทั้งสายพันธุ์ วิธีการสกัด และตัวทำละลายที่ใช้ ดังที่ได้อภิปรายมาแล้ว

นอกจากนี้ยังพบรายงานในต่างประเทศ Yu และคณะ (2002) ที่รายงานว่าค่า ABTS⁺ ในข้าวสาลี 3 สายพันธุ์ (Akron, Trego, และ Platte) รัฐโคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกา (0.27- 0.33 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)) ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับผลการทดลองนี้ แต่ ข้าวขาว ข้าวสีแดง และข้าวดำ ของประเทศจีน มีค่า ABTS⁺ 0.03-13.83 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) (Shen และคณะ, 2009) ซึ่งสูงกว่าค่าที่ตรวจพบในการทดลองนี้อย่างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสายพันธุ์ ระดับการขัดสี และวิธีการสกัดที่ใช้มีความแตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี ให้ผลที่แตกต่างกัน เช่น ข้าวเหนียวดำ GDR_12 มีค่า FRAP และ ORAC สูงที่สุด แต่มีค่า ABTS⁺ ต่ำกว่า ข้าวเหนียวดำอื่นๆ อีกหลายชนิด แสดงให้เห็นว่า กลไกการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของแต่ละวิธีการนั้นมีความแตกต่างกัน เนื่องจากวิธี ORAC นั้นอาศัยหลักการความสามารถในการให้โปรตรอนแก่อนุมูลอิสระเปอร์ออกซิล ทำให้สามารถชะลออัตราการทำลายโมเลกุลของฟลูออเรสเซนส์ได้ (Dávalos และคณะ, 2004) สำหรับวิธี FRAP ใช้หลักการให้อิเล็กตรอนด้วยการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe³⁺) ไปเป็นเฟอร์รัส (Fe²⁺) (Benzie และ Strain, 1996) ส่วนวิธี ABTS⁺ ใช้หลักการให้อิเล็กตรอนเช่นกัน แต่อาศัยการรีดิวซ์อนุมูลอิสระ ABTS⁺ (Miller และ Evans, 1997) ดังนั้น วิธีการทั้งสามอาศัยหลักการที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีความแตกต่างกันของสารประกอบที่เข้าทำปฏิกิริยา ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างโมเลกุลของสารต้านออกซิเดชัน ทั้งจำนวนของวงแหวนอะโรมาติก และหมู่ไฮดรอกซิลในการเข้าทำปฏิกิริยา (Lotito และคณะ, 2000; Siddhuraju และ Becker, 2007) หรือ ความแตกต่างของกลไกที่เกี่ยวข้อง ความจำเพาะของอนุมูลอิสระ รวมถึงความแตกต่างของความสามารถในการละลายของสารที่ต้องการสกัดในระบบตัวทำละลายที่ใช้ (Yu และคณะ, 2002) ความแตกต่างเหล่านี้ส่งผลให้ความจำเพาะและความไวของวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในแต่ละวิธีนั้น มีความแตกต่างกันทั้งในการวิเคราะห์สารมาตรฐาน โทรลอคซ์ หรือสารสกัดจากข้าว

นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธี ABTS⁺ มีค่าต่ำกว่าวิธีการวิเคราะห์อื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.190-1.881 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่วิธี FRAP และ ORAC มีค่าอยู่ในช่วง 0.086-14.92 และ 4.00-59.37 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวิธี ORAC มีความไวมากกว่าวิธี FRAP และ ABTS⁺ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากวิธี ORAC นั้นนอกจากจะมีกลไกที่แตกต่างกับวิธีการอื่นๆ แล้ว ยังติดตามการลดลงของการเรืองแสงของฟลูออเรสซิน (fluorescein) ตลอดเวลาจนเกิดปฏิกิริยาเกือบสมบูรณ์ (95 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่วิธีอื่นๆ นั้น กำหนดเวลาในการทำปฏิกิริยารีดิวซ์ จึงอาจเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ หรือมีค่าต่ำกว่าที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ พบว่า การวิเคราะห์ความสามารถในการด้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ถ้าค่าที่วิเคราะห์จากวิธีการใดวิธีการหนึ่งมีค่ามากแล้ว ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการอื่นๆ มีแนวโน้มมีค่ามากด้วยเช่นกัน ซึ่งจะอธิบายความสัมพันธ์ของความสามารถในการด้านออกซิเดชันทั้งสาม อีกครั้งในหัวข้อ 4.2 ต่อไป

4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของพารามิเตอร์สีในข้าว 51 สายพันธุ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สีทุกพารามิเตอร์ ในสารสกัดข้าวทั้ง 4 กลุ่ม จำนวน 51 สายพันธุ์ พบว่า มีพารามิเตอร์สีเกือบทุกคู่พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันปานกลางถึงสูงมาก ไม่ว่าจะในเชิงบวกหรือลบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ระหว่าง 0.648 ถึง 0.970 และ -0.599 ถึง -0.997 ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นความสัมพันธ์ของค่า b^* และ a^* ($r = -0.207$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่า C' กับ a^* ($r = 0.028$) (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สีต่างๆ

	L^*	a^*	b^*	C'	h^o	ΔE
L^*	1					
a^*	-0.649**	1				
b^*	0.793**	-0.207*	1			
C'	0.648**	0.028	0.970**	1		
h^o	0.948**	-0.609**	0.859**	0.720**	1	
ΔE	-0.997**	0.674**	-0.751**	-0.599**	-0.940**	1

หมายเหตุ * และ ** หมายถึง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) และ 99 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.01$) ตามลำดับ

พารามิเตอร์สีหลักในการวัดตามระบบ CIELAB มีความสัมพันธ์กับค่าความสว่าง หรือค่า L^* ที่แสดงถึงความสามารถของวัตถุในการดูดกลืนแสง การสะท้อน การกระเจิง การส่งผ่าน และการหักเหของแสง ซึ่งถ้าวัตถุดูดกลืนแสงก็จะมีค่า L^* ลดลง และถ้าวัตถุดูดกลืนแสงทุกความยาวคลื่นในช่วงที่ตามองเห็น วัตถุจะมีสีเทาถึงดำ หรือถ้าไม่ดูดกลืนความยาวคลื่นช่วงใดก็จะเปล่งสีของความยาวคลื่นช่วงนั้นออกมา เช่น ถ้าไม่ดูดกลืนสีแดง ตัวอย่างก็จะมีสีแดง จากผลการทดลองพบว่าค่า L^* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า a^* ($r = -0.649$) และความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า b^* ($r = 0.793$) แสดงให้เห็นว่า ถ้าค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า L^* ลดลง แต่ตัวอย่างที่มีค่า b^* เพิ่มขึ้นกลับส่งผลให้ L^* มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า a^* และ b^* ไม่มีความสัมพันธ์กัน (-0.207) แสดงถึง ตัวอย่างข้าวที่มีค่า a^* สูง จะมีค่า b^* สูงหรือต่ำก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากผลการทดลองสอดคล้องกับสิ่งที่ปรากฏ เนื่องจากตัวอย่างที่มีสีม่วงและดำจะมีค่า a^* ปานกลางและ b^* ต่ำ จึงมีค่าความสว่างปานกลาง และตัวอย่างขาวกึ่งและขาวชัดเจนมีค่า b^* สูงแต่มีค่า a^* ต่ำ จึงมีความสว่างมาก ส่วนตัวอย่างขาวสีแดงมีค่า a^* และ b^* สูง จึงมีค่าความสว่างปานกลาง (ตารางที่ 4.1)

ผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่า L^* และ b^* ในเชิงบวก ($r = 0.793$) นี้ใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Kim และคณะ (2007) ที่ได้วิเคราะห์ในข้าวบาร์เลย์ที่ไม่มีสีและที่มีสี (ดำ ม่วง และน้ำเงิน) จำนวน 127 สายพันธุ์ ที่รายงานว่า ค่า L^* และ b^* มีความสัมพันธ์กันสูงในเชิงบวก ($r = 0.84$) เช่นเดียวกับ Bellido และ Beta (2009) ที่รายงานความสัมพันธ์เช่นเดียวกันนี้ในข้าวบาร์เลย์ 3 สายพันธุ์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.94

นอกจากนี้พารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ ค่า C^* , h° และ ΔE ได้จากการคำนวณพารามิเตอร์หลัก L^* , a^* และ b^* ดังนั้น จึงมีความสัมพันธ์กันทั้งทางบวกและทางลบ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์อื่นๆ กับค่า C^* หรือ h° มีความสัมพันธ์เชิงบวกปานกลางถึงสูงมาก ระหว่าง 0.648-0.970 ยกเว้น h° กับ a^* ที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (0.609) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ แต่เป็นที่สังเกตว่าค่า C^* แม้ว่าจะได้จากการคำนวณค่า a^* และ b^* แต่ก็ไม่พบความสัมพันธ์กับค่า a^* (0.028) ในทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากอิทธิพลของค่า b^* นั้นมีค่ามากกว่า a^* อย่างมาก อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ของค่า ΔE กับพารามิเตอร์อื่นๆ เป็นไปในเชิงผกผันปานกลางถึงสูงมาก และมีค่าอยู่ระหว่าง (-0.599) - (-0.997) ยกเว้น ค่า ΔE กับ ค่า a^* ที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก แสดงว่า ความแตกต่างของสีนั้นจะมากขึ้น เมื่อค่า L^* หรือ ค่า b^* ลดลงหรือค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างขาวชัดเจนที่มีค่า L^* สูง ค่า a^* เข้าใกล้ศูนย์ และค่า b^* ปานกลาง

จากผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สีต่างๆ อยู่ในระดับค่าปานกลางถึงสูงมาก แสดงว่า การใช้พารามิเตอร์สีตัวใดตัวหนึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงพารามิเตอร์สีอื่นๆ ของข้าวได้ในระดับหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจาก สายพันธุ์ข้าว ชนิดและปริมาณของสารรงควัตถุที่มีอยู่ในข้าวแต่ละสายพันธุ์จะส่งผลต่อการแสดงลักษณะปรากฏด้านสีที่ต่างกัน จึงมีผลต่อค่าของพารามิเตอร์สีให้มีความแตกต่างกันไป (Abdel-Aal และคณะ, 2006) โดยรงควัตถุที่สามารถพบได้ในข้าวได้แก่ แอนโทไซยานิน และ เบต้า-แคโรทีน เป็นต้น ข้าวแต่ละสายพันธุ์จึงมีความสามารถและช่วงค่าของการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อลักษณะปรากฏให้ข้าวมีสีที่แตกต่างกัน นอกเหนือจากสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่ทำให้ข้าวมีลักษณะขาวขุ่นหรือ ขาวใส (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) อย่างไรก็ตาม การทดลองครั้งนี้ อาจให้ผลแตกต่างจากการทดลองในรายงานอื่นๆ เนื่องจากเป็นการวัดตัวอย่างข้าวผง ซึ่งทำให้สภาวะเปลี่ยนแปลงไป จึงแตกต่างจากการวัดทั้งเมล็ดอีกด้วย รวมถึงยังอาจขัดแย้งกับลักษณะที่ปรากฏด้วยตา อีกทั้งค่าของพารามิเตอร์หลัก ยังขึ้นอยู่กับ ลักษณะของตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ แหล่งกำเนิดแสง มุมองศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ทำการวัด ขนาดของตัวอย่าง หรือผลจากพื้นที่ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของวัตถุอีกด้วย (Hunter Lab, 2008)

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ทั้ง 3 วิธีในข้าวทุกสายพันธุ์ มีความสัมพันธ์ในทางบวกทั้งหมด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.572-0.943 ($p < 0.01$) (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน-ทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ

	TAC	TPC	FRAP	ABTS ^{•+}	ORAC
TAC	1				
TPC	0.883 ^{**}	1			
FRAP	0.836 ^{**}	0.943 ^{**}	1		
ABTS ^{•+}	0.572 ^{**}	0.758 ^{**}	0.681 ^{**}	1	
ORAC	0.709 ^{**}	0.899 ^{**}	0.907 ^{**}	0.711 ^{**}	1

หมายเหตุ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC), ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (TAC), Ferric reducing antioxidative potential (FRAP), Radical cation ABTS^{•+} scavenging activity (ABTS^{•+}) และ Oxygen radical absorbance capacity (ORAC)

** หมายถึง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.01$)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 0.833 แสดงว่าถ้าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ อจิตยา โรจนสโรช (2551) ที่รายงานค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวมีสี ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ สีนิลและหอมมันปู ว่ามีความสัมพันธ์กันสูง หรือมีค่าเท่ากับ 0.870 ทั้งนี้เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิก และเป็นรงควัตถุที่สำคัญกลุ่มหนึ่งในธัญพืชที่มีสีแดงม่วงและดำ (Abdel-Aal และคณะ, 2006)

เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี พบว่ามีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงสูง (0.758-0.943) และมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด กับความสามารถในการต้านออกซิเดชัน แสดงว่า สารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทสำคัญในการต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันในข้าว และสารประกอบฟีนอลิกนี้สามารถแสดงสมบัติของสารต้านออกซิเดชันและจับกับอนุมูลอิสระ อนุมูลเปอร์ออกซิด และริคิวซ์เพอร์ริกได้ดี แต่การที่ความสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับความสามารถในการต้านออกซิเดชันในบางวิธีมีค่าปานกลาง แสดงว่าในข้าวยังมีสารประกอบอื่นๆ ที่แสดงสมบัติของสารต้านออกซิเดชันได้อีกด้วย เช่น โทโคฟีรอล และโทโคไตรอินอล (Shu และคณะ, 2008)

เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) รายงานความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP และ ORAC ในข้าวเจ้ามีสีพันธุ์ลูกผสม โดยพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.960 และ 0.885 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และยังพบความสัมพันธ์กันสูงเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างไซยานิดินและฟีโอนิดินกับความสามารถในการต้านออกซิเดชันซึ่ง Awika และคณะ (2003) ได้รายงานค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับวิธี ORAC และ ABTS⁺ พบว่า มีค่า 0.96 และ 0.97 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่พบในการทดลองครั้งนี้ที่มีค่าเท่ากับ 0.899 และ 0.711 อีกทั้งในปี 2004 Zhou และคณะ รายงานว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับวิธี ABTS⁺ ในข้าวสาลี มีค่าเท่ากับ 0.87 แต่ไม่พบความสัมพันธ์กับวิธี ORAC ซึ่งความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใน แต่ละการทดลอง อาจเนื่องมาจาก โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน เช่น กรดเฟอร์ูลิก กรควานิลลิก และกรดคาเฟอิก เป็นต้น (Tian และคณะ, 2005) การที่ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกมีความแตกต่างกัน แสดงว่ามีโครงสร้าง ตำแหน่งไฮดรอกซิด และการแทนที่หมู่ต่างๆ บนโครงสร้างของกรดฟีนอลิกที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงมีความจำเป็นของวิธีการทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน (Tabart และคณะ, 2009) นอกจากนี้ Yu และคณะ (2002) รายงานความแตกต่างของกลไกในการเข้าทำปฏิกิริยาและปัจจัยอื่นๆ เช่น stereoselectivity ของอนุมูลอิสระ หรือ ความสามารถในการละลายของสารสกัดตัวอย่างในระบบที่ทดสอบแตกต่างกัน และความเป็นอิสระจากกันของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS⁺ ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

นอกจากนี้ ความแตกต่างของผลการทดลองนี้ กับ รายงานวิจัยอื่นๆ อาจเนื่องมาจาก วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นที่ทราบทั่วไปว่า ความมีขี้ของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อการสกัดสารสำคัญที่แตกต่างกัน เพราะสารสำคัญที่เข้าทำปฏิกิริยาในการวิเคราะห์แต่ละวิธี อาจเป็นสารในกลุ่มที่มีหรือไม่มีขี้ ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ อาจสกัดสารในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งออกมามากกว่า เนื่องจากความสามารถในการละลาย หรือความเข้ากันได้ดีระหว่างตัวทำละลายกับสารสำคัญ จึงทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของแต่ละวิธีได้ผลที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังอาจเนื่องมาจากกลไกในการเข้าทำปฏิกิริยา ซึ่งแต่ละวิธีจะมีกลไกที่แตกต่างกัน (Zhou และ Yu, 2004; Stratil และคณะ, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด กับความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี พบในระดับปานกลางถึงสูง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.572-0.836 (ตารางที่ 4.5) แสดงว่า แอนโทไซยานินเป็นสารกลุ่มหนึ่งที่มีบทบาทในการต้านออกซิเดชันของข้าว แต่ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วนั้น ยังคงมีสารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ ที่มีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานวิจัยอื่นๆ เช่น ในข้าวเจ้าที่มีสีพันธุ์ลูกผสม จำนวน 45 สายพันธุ์ พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ปานกลางถึงสูงมากของไซยานิดินและฟีโอนิดินกับความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP และ ORAC ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.768-0.964 (เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม, 2550) ต่อมา อชิตยา โรจนสโรช (2551) ได้รายงานความสัมพันธ์สูงมากของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด กับวิธี ORAC ไว้ เท่ากับ 0.921 ซึ่งจากรายงานวิจัยต่างๆ แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด กับความสามารถในการต้านออกซิเดชันและมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการทดลองนี้ เป็นที่ทราบกันดีว่าแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดหนึ่ง ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดี อีกทั้งโครงสร้างของแอนโทไซยานินมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จำนวน 4 หมู่ (Castañeda-Ovando และคณะ, 2009) แม้ว่าในธรรมชาติจะมีน้ำตาลเกาะในตำแหน่งต่างๆ อยู่ด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเหล่านี้ ล้วนส่งผลต่อกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาด้านออกซิเดชัน อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า แอนโทไซยานินนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้แตกต่างกันในแต่ละวิธีการทดสอบ และอาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชันในข้าวที่ดีได้

ในการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีทั้งสาม พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างวิธี FRAP-ORAC มีค่าสูงที่สุด คือ 0.907 ในขณะที่วิธี ORAC-ABTS⁺ และวิธี FRAP-ABTS⁺ มีค่าเท่ากับ 0.711 และ 0.681 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างวิธี FRAP-ORAC สอดคล้องกับ เพ็ญพรรณ จันทร์พรหม (2550) ที่มีค่าเท่ากับ 0.879 ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันสูง แสดงว่าการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP และ ORAC แปรผันตามกันสูง กล่าวคือ ถ้าความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP มีค่ามาก ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี ORAC จะมีค่ามากด้วย ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS⁺ จะมีความสอดคล้องกับวิธีทั้ง 2 น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีนั้น มีสถานะการทดสอบและรีเอเจนต์ที่เฉพาะของแต่ละวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

เมื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของวิธี ABTS⁺ กับค่าอื่นๆ พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.572-0.758 ตามลำดับ ดังนั้น การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จึงไม่สอดคล้องกับวิธีการส่วนใหญ่ และใช้ในการประเมินความสัมพันธ์กับสารสำคัญทั้งสองและความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีการอื่นๆ ได้ถูกต้องน้อยกว่า แต่ Awika และคณะ (2003) รายงานค่า

ความสัมพันธ์ทางเดียวกันที่สูงมาก ($r = 0.995$) ของวิธี ORAC กับ ABTS⁺ ในข้าวฟ่าง สอดคล้องกับ Zhou และคณะ (2004) ที่รายงานค่าที่ใกล้เคียงกันของความสัมพันธ์ดังกล่าว ($r = 0.94$) ในข้าวสาลี แต่ผลการทดลองครั้งนี้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 0.711 ในทางกลับกัน ผลการทดลองของ Moore และคณะ (2006) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียง 0.361 ทั้งนี้การที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้นมีค่าต่ำหรือสูงกว่า อาจเนื่องมาจาก ชนิดของพืช ความแตกต่างของสายพันธุ์ พื้นที่การเพาะปลูก สภาพที่ใช้ในการสกัด ตัวทำละลาย แตกต่างกัน (Yu และคณะ 2004; Zhou และคณะ, 2004)

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของพารามิเตอร์สีและสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี พบว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำถึงสูง ไม่ว่าจะในเชิงบวกหรือลบ (ตารางที่ 4.6) โดยพบความสัมพันธ์ในเชิงบวกของค่า a^* หรือ ΔE กับสารสำคัญทั้งหมด และความสัมพันธ์ในเชิงลบของค่า L^* b^* c^* และ h^* กับสารสำคัญทั้งหมด โดยมีความสัมพันธ์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า a^* กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ($r = 0.112$)

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน 3 วิธี

	L^*	a^*	b^*	c^*	h^*	ΔE
TAC	-0.613**	0.112	-0.686**	-0.659**	-0.676**	0.599**
TPC	-0.855**	0.452**	-0.772**	-0.673**	-0.872**	0.848**
FRAP	-0.855**	0.569**	-0.684**	-0.554**	-0.848**	0.854**
ABTS ⁺	-0.881**	0.313**	-0.888**	-0.840**	-0.829**	0.857**
ORAC	-0.851**	0.631**	-0.633**	-0.497**	-0.805**	0.851**

หมายเหตุ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC), ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (TAC), Ferric reducing antioxidative potential (FRAP), Radical cation ABTS⁺ scavenging activity (ABTS⁺) และ Oxygen radical absorbance capacity (ORAC)

** หมายถึง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.01$)

จากผลการทดลองพบว่าค่า L^* กับสารสำคัญทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันสูง ($r = (-0.851) - (-0.881)$) ยกเว้นค่า L^* กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.613 แสดงว่าถ้าค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน และมีแนวโน้มความสัมพันธ์เช่นเดียวกับค่า h^* ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า ค่า h° กับสารสำคัญทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันสูง ($r = (-0.805) - (-0.872)$) ยกเว้น h° กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเช่นกันที่มีความสัมพันธ์กันปานกลาง ($r = -0.676$) สำหรับพารามิเตอร์ b^* และ C° พบความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันไปบ้างเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่า ΔE กับสารสำคัญทั้งหมดมีแนวโน้มในทิศทางเชิงบวกสูง ($r = 0.848 - 0.857$) ยกเว้นค่า ΔE กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.599 แสดงว่า ถ้าค่า ΔE เพิ่มขึ้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ค่า a^* มีความสัมพันธ์กับสารสำคัญแต่ละชนิดน้อยมาก ถึง ปานกลาง (0.313-0.631) แสดงว่าค่า a^* ไม่เหมาะสมสำหรับการทำนายแนวโน้ม เนื่องจาก ถ้าค่า a^* เพิ่มขึ้น สารสำคัญแต่ละชนิดอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และพารามิเตอร์สีต่างๆ ก็มีค่าในระดับปานกลาง ($r = 0.599-0.689$) แสดงว่า พารามิเตอร์สีต่างๆ มีความเหมาะสมในการพิจารณาแนวโน้มของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในระดับปานกลาง แต่พารามิเตอร์สี ได้แก่ ค่า L^* h° และ ΔE มีความสัมพันธ์กับสารสำคัญทั้งหมดสูงกว่าค่าอื่นๆ จึงสามารถใช้ในการพิจารณาแนวโน้มของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีได้ดีกว่า

ผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับ Abdel-Aal และ Hucl (1999) ที่ได้รายงานไว้ว่า ค่า L^* และ b^* มีความสัมพันธ์กันเชิงลบกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในข้าวสาลี อีกทั้งยังมีค่าในทิศทางเดียวกับ Shen และคณะ (2009) ที่ได้รายงานไว้ว่า ค่า b^* มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในข้าวจากประเทศจีน ส่วนความสัมพันธ์ในเชิงบวกนั้น พบในค่า a^* กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกต่ำ (0.452) แต่ค่า a^* กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด นั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน แตกต่างกับ Abdel-Aal และ Hucl (1999) ที่รายงานไว้ว่า ค่า a^* กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดนั้นมีความสัมพันธ์กันในแบบผกผัน ทั้งนี้ อาจเนื่องจาก ปริมาณและชนิดของแอนโทไซยานิน สายพันธุ์ของข้าว ที่แตกต่างกัน (Abdel-Aal และคณะ, 2006) ดังที่ได้อภิปรายไว้แล้วข้างต้น

จากผลการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของพารามิเตอร์สีต่างๆ กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน มีความสัมพันธ์กันดีในเชิงผกผัน ได้แก่ L^* , b^* , C° และ h° อีกทั้งยังพบความสัมพันธ์เชิงผกผันของพารามิเตอร์สีดังกล่าว กับ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด วิธี FRAP, ABTS⁺ และ ORAC แต่ ΔE มีความสัมพันธ์ดีในเชิงบวก กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี ดังนั้น การบ่งชี้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP, ABTS⁺ และ ORAC จากพารามิเตอร์สีต่างๆ นั้น จะเป็นตัวแปรที่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ กับสารสำคัญต่างๆ พบว่า อยู่ในระดับค่าปานกลางถึงสูงมาก และมีความสัมพันธ์ทั้งเชิงบวกและลบ ขึ้นอยู่กับคู่ความสัมพันธ์ และพบบางคู่ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยพบว่าการใช้พารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงพารามิเตอร์อื่นๆ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีได้ แต่ขึ้นอยู่กับระดับความสัมพันธ์ระหว่างคู่เหล่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี มีความสัมพันธ์กันสูงถึงสูงมาก ยกเว้นความสัมพันธ์ปานกลางของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด กับความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS⁺ ดังนั้น ถ้าข้าวมีปริมาณสารสำคัญตัวใดตัวหนึ่งสูง ก็จะมีแนวโน้มที่จะบ่งชี้ว่าสารสำคัญอื่นๆ มีปริมาณสูงด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่สามารถบ่งชี้ได้อย่างแม่นยำจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ด้วยสถิติขั้นสูงต่อไปโดยใช้ตัวแปรอื่นๆ ร่วมด้วยเพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

4.3 การจัดกลุ่มข้าว

การจัดกลุ่มข้าวโดยใช้พารามิเตอร์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งเป็นตัวแปรที่ได้วิเคราะห์ จำนวนทั้งหมด 11 ตัวแปร ด้วยเทคนิควิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) และเทคนิควิเคราะห์กลุ่ม (Cluster analysis, CA) โดยเทคนิค PCA เป็นการลดจำนวนตัวแปรด้วยการสร้างตัวแปรใหม่ขึ้นมาจากข้อมูลของตัวแปรเดิม แล้วตัวแปรใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นสามารถนำมาอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลและจัดกลุ่มข้อมูลได้ ส่วนเทคนิค CA เป็นการจัดกลุ่มข้อมูลหรือกลุ่มตัวแปรเข้าด้วยกัน โดยอาศัยความคล้ายหรือความแตกต่างระหว่างตัวแปร ซึ่งข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกันหรือระยะห่างใกล้เคียงกัน จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

4.3.1 การจัดกลุ่มข้าวตามพารามิเตอร์

ในการศึกษาพารามิเตอร์สี่ข้างต้น พบว่า ค่าที่วิเคราะห์ได้จากพารามิเตอร์สี่หลายตัวมีช่วงกว้าง เช่น ค่า L^* , b^* และ h^* เป็นต้น แต่ก็ไม่สามารถใช้พารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งในการจำแนกกลุ่มของข้าวตามลักษณะที่สังเกตด้วยสายตาได้ จึงจำเป็นต้องนำค่าพารามิเตอร์สี่อื่นๆ มาพิจารณาร่วมด้วย อย่างไรก็ตาม พบพารามิเตอร์หลายตัวแปรที่มีช่วงที่ซ้อนทับกันในกลุ่มข้าว และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์สี่จำนวน 6 ตัวแปรในข้อ 4.2.1 พบว่า พารามิเตอร์สี่เกือบทุกคู่มีความสัมพันธ์กันปานกลาง (0.599) ถึงสูงมาก (0.997) ทั้งเชิงบวกหรือลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ยกเว้นความสัมพันธ์ของค่า b^* กับพารามิเตอร์สี่บางตัว (ตารางที่ 4.4) เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) พบว่าสามารถจัดองค์ประกอบหลักได้ใหม่ดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าไอเก็น Loading และเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์สี่ต่างๆ

ตัวแปร	ค่า Loading	
	องค์ประกอบหลักที่ 1	องค์ประกอบหลักที่ 2
L^*	0.974	-0.155
a^*	-0.572	0.791
b^*	0.899	0.421
c^*	0.776	0.623
h^*	0.982	-0.059
ΔE	-0.958	0.209
Eigen values	4.567	1.262
% of Variance	76.11	21.03
Cumulative %	76.11	97.18

เมื่อใช้เทคนิค PCA ในการจัดกลุ่มพารามิเตอร์สี่จำนวน 6 ตัวแปร พบว่าสามารถลดจำนวนตัวแปร และจัดองค์ประกอบหลัก (Principle component, PC) ได้ 2 องค์ประกอบ คือ องค์ประกอบที่ 1 (PC1) และ องค์ประกอบที่ 2 (PC2) และจากการพิจารณาค่าไอเก็น (Eigen value) ที่แสดงถึงความแปรปรวนทั้งหมดในตัวแปรเดิม นั้นพบว่า PC1 และ PC2 มีค่าไอเก็นเท่ากับ 4.567 และ 1.262 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) ซึ่งมีค่าไอเก็นมากกว่า 1 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551 ข) แสดงว่าองค์ประกอบหลักทั้ง 2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรทั้ง 6 ได้ดีถึง 97.18 เปอร์เซ็นต์ และ PC1 อธิบายความแปรปรวนของตัวแปรข้อมูลได้ 76.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคิดกว่า PC2 ที่อธิบายได้ 21.03 เปอร์เซ็นต์ โดย PC1 ประกอบด้วย ค่า L^* , b^* , c^* , h^* และ ΔE ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 5 นี้สามารถอธิบายถึงความผันแปรของตัวแปรที่เกิดขึ้นได้ถึง 76.11 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า loading สูงกว่า 0.7 ในเชิงบวก ระหว่าง 0.776- 0.974 ยกเว้นค่า ΔE เพียงค่าเดียวที่มีค่า loading ในเชิงลบ (-0.958) ค่าเหล่านี้สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร สำหรับ PC2 ประกอบด้วย ค่า a^* เพียงตัวแปรเดียว ซึ่ง PC2 เป็นองค์ประกอบหลักอีกองค์ประกอบที่สร้างขึ้น เนื่องจากไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์น้อยกับตัวแปรหรือพารามิเตอร์สี่ที่จัดอยู่ใน PC1 สอดคล้องกับการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในเบื้องต้นที่พบว่า ค่า a^* มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำถึงปานกลางกับพารามิเตอร์สี่อื่นๆ หรือไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งค่า a^* มีค่า loading เท่ากับ 0.791 และสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรทั้งหมดได้เพียง 21.1 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้องค์ประกอบหลักทั้งสองร่วมกันอธิบายความแปรปรวนหรือความสัมพันธ์ของตัวแปรได้เกือบสมบูรณ์ โดยสูงถึง 97.18 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Communalities) ของพารามิเตอร์สี่ทั้ง 6 ตัวแปร แสดงดังตารางที่ 4.8 ซึ่งค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้น ถ้ามีค่าต่ำหรือมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ตัวแปรนั้นไม่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์หรือความแปรปรวนร่วมกับตัวแปรอื่นได้ แต่ถ้ามีค่าสูงหรือค่าเข้าใกล้ 1 จะแสดงถึง มีความสัมพันธ์กันสูงหรืออธิบายความแปรปรวนร่วมกับตัวแปรอื่นๆ ได้ดี (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551๗) จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายหลังจากทำการสกัดปัจจัยแล้วนั้น ตัวแปรทุกตัวมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอยู่ในช่วง 0.953-0.989 หรือมีค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงว่า พารามิเตอร์สี่ทั้ง 6 ตัวแปรสามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์หรือความแปรปรวนระหว่างตัวแปรได้ในระดับดีมาก

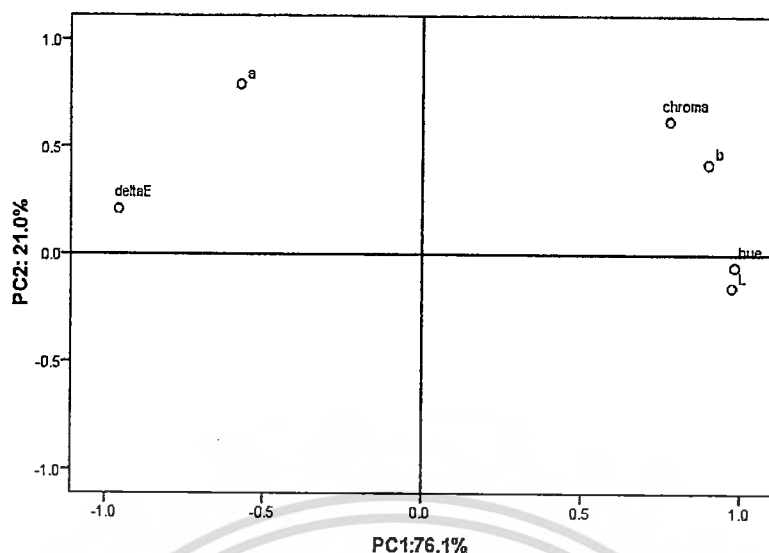
ตารางที่ 4.8 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Communalities) ขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์สี่

ตัวแปร	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร*
L^*	0.972
a^*	0.953
b^*	0.985
c^*	0.989
h^*	0.967
ΔE	0.962

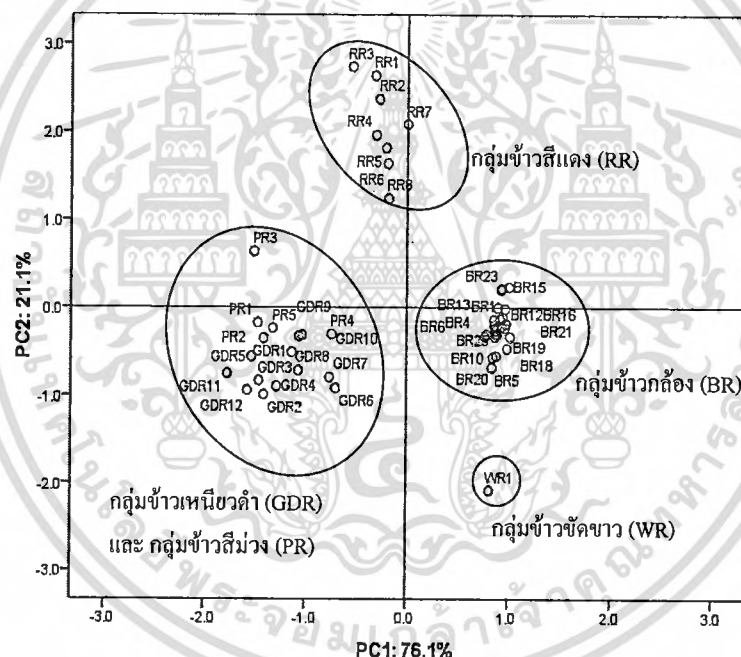
* ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายหลังสกัดปัจจัย

ตำแหน่งของตัวแปรและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์สี่ในข้าวพันธุ์ต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.2 ซึ่งตัวแปรที่อยู่ในตำแหน่งใกล้ 1 หรือ -1 และอยู่ห่างจากจุดตัดแกน x (PC1) และ y (PC2) มาก แสดงว่า ตัวแปรนั้นเป็นตัวแปรที่มีค่า loading สูง จึงสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรข้อมูล หรือความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลได้ดี จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่า loading ของพารามิเตอร์สี่ทั้งหมดอยู่ห่างจากจุดตัดแกนทั้งสองมาก นอกจากนี้ ตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบใน PC1 และอยู่ชิดแกน x มาก ได้แก่ ค่า L^* และ h^* สามารถระบุความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ ใน PC1 ได้ดีกว่าค่า c^* และ b^* ส่วนค่า ΔE สามารถอธิบายในทิศทางตรงกันข้าม หรือมีความสัมพันธ์สูงในเชิงลบกับตัวแปรใน PC1 อื่นๆ สำหรับค่า a^* ใน PC2 นั้น พบว่ามีค่า loading เท่ากับ 0.791 แต่อยู่ห่างจากแกน y จึงสามารถใช้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ไม่ดีเทียบเท่าตัวแปรใน PC1 อื่นๆ ยกเว้นค่า c^* แต่ค่า a^* มีความสำคัญเนื่องจากเป็นตัวแปรเพียงตัวเดียวใน PC2 และช่วยในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้เพิ่มขึ้นถึง 97.18 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 Loading plot ขององค์ประกอบหลัก 1 และ 2 ของพารามิเตอร์สี



ภาพที่ 4.3 การจัดกลุ่มของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้พารามิเตอร์สีด้วยเทคนิค PCA

เมื่อนำข้อมูลของพารามิเตอร์สีทั้งหมด มาจัดกลุ่มข้าวโดยใช้องค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิค PCA (ภาพที่ 4.3) พบว่า สามารถจัดกลุ่มข้าวได้เป็น 4 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่ม ข้าวขัดขาว กลุ่มข้าวกล้อง กลุ่มข้าวสีแดง และกลุ่มข้าวสีม่วง/หีวน้ำดำ แสดงว่าการใช้พารามิเตอร์สีในการจัดกลุ่มข้าว ให้ผลใกล้เคียงกับลักษณะสีที่ปรากฏของข้าว แต่ไม่สามารถจำแนกข้าวหีวน้ำดำออกจากข้าวสีม่วง ดังที่แยกได้ด้วยสายตา ดังนั้นตาของมนุษย์จึงมีความละเอียดมากกว่าการใช้เครื่องมือในการจำแนก อย่างไรก็ตาม ในการจำแนกลักษณะปรากฏ

ด้วยตา จะสังเกตจากข้าวทั้งเมล็ด ส่วนการใช้เครื่องมือนั้นมีข้อจำกัดคือต้องบดข้าวให้เป็นผง ดังนั้นจึงอาจส่งผลการสะท้อน การหักเห หรือการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถจำแนกข้าวสีม่วงออกจากข้าวเหนียวดำได้ นอกจากนี้ รงควัตถุที่มีอยู่ในข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำเป็นแอนโทไซยานิน ซึ่งให้เจดสีใกล้เคียงกันมากอีกด้วย

การใช้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (CA) สามารถจัดกลุ่มข้าว โดยพิจารณาจาก Rescaled distance หรือระยะห่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างในการตัดสินใจจัดกลุ่มข้าว การใช้ระยะห่างมากจะจัดกลุ่มข้าวได้น้อยกว่า ส่วนการใช้ระยะห่างน้อยจะแบ่งกลุ่มข้าวได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม เส้นเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มที่ยาวกว่า บ่งบอกถึง การอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ดีกว่าระยะห่างที่สั้น แต่ถ้าเส้นเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มยาวมากไป แม้ว่าจะอธิบายความแปรปรวนได้มาก แต่ไม่สามารถอธิบายรายละเอียดของความแตกต่างได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาระยะห่างที่เหมาะสมด้วย เมื่อพิจารณาต้นไม้โครแกรม (dendrogram) ของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ (ภาพที่ 4.4) ด้วยการกลุ่มข้าวที่ระยะห่าง 7.5 สามารถแบ่งกลุ่มข้าวออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มข้าวเจ้า/ข้าวเหนียวกล้อง 25 ตัวอย่าง เป็นกลุ่มที่มีค่า L^* , b^* และ h° ก่อนข้างสูง แต่มีค่า a^* ต่ำที่สุดโดยมีช่วงค่าสูงสุดของ L^* , b^* และ h° เท่ากับ 84.87-88.83, 10.50-14.16 และ 81.87-90.58 ส่วนค่า a^* เท่ากับ -0.13-1.80

กลุ่มที่ 2 คือ ข้าวขัดขาว เป็นตัวอย่างที่มีค่า L^* และ h° สูงที่สุด แต่มีค่า a^* ก่อนข้างต่ำ โดยมีค่า L^* และ h° เท่ากับ 94.00 และ 91.10 ส่วนค่า a^* เท่ากับ -0.11

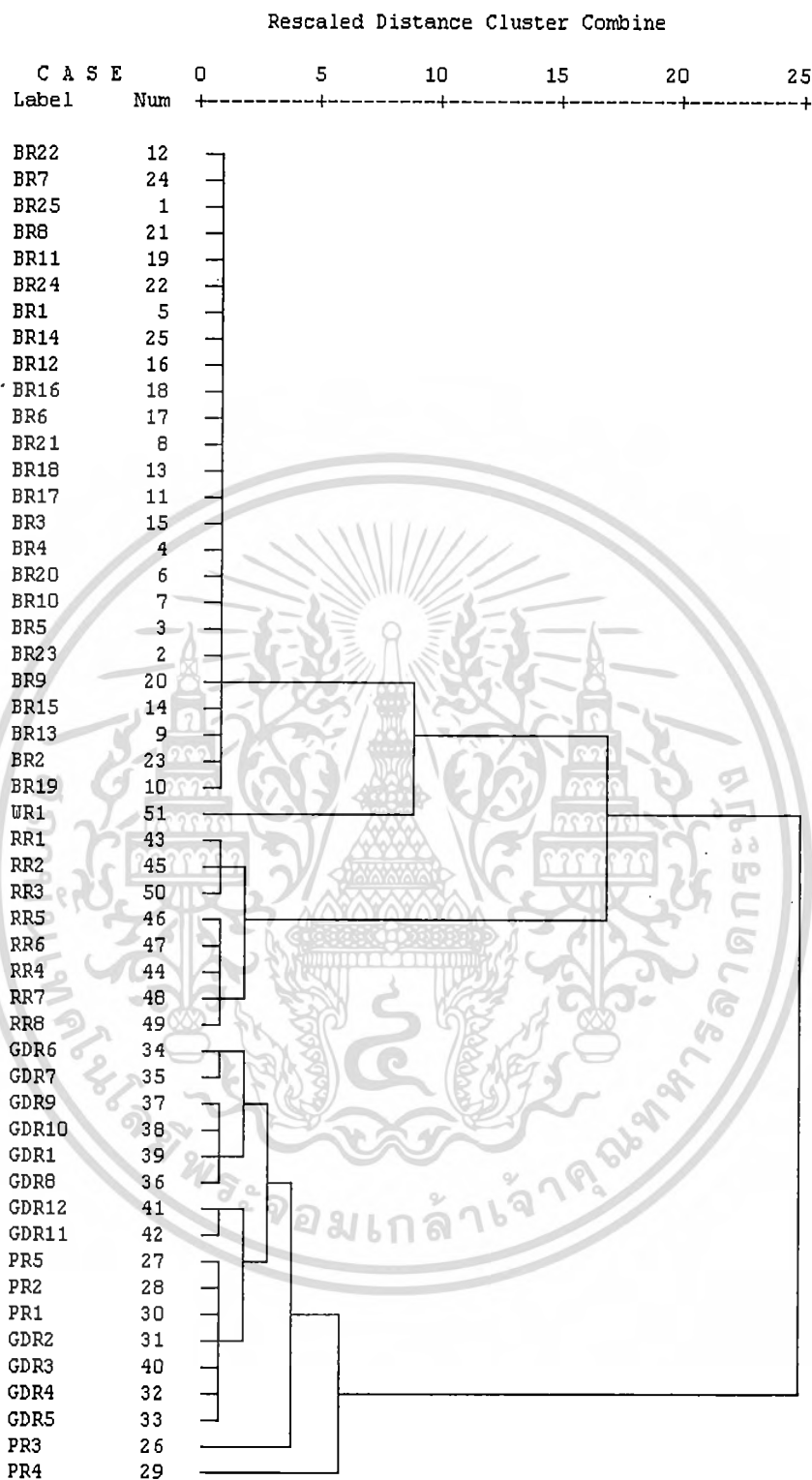
กลุ่มที่ 3 คือ ข้าวสีแดง จำนวน 8 ตัวอย่าง เป็นกลุ่มที่มีค่า a^* และ C° สูง โดยมีค่าเท่ากับ 6.68-9.95 และ 12.11-15.54 ตามลำดับ

กลุ่มที่ 4 คือ ข้าวสีม่วง/เหนียวดำ จำนวน 17 ตัวอย่าง เป็นกลุ่มที่มีค่า L^* , b^* และ C° ต่ำที่สุด โดยมีช่วงค่าเท่ากับ 56.70-78.04, 0.91-4.42 และ 3.45-7.49 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม โดยใช้พารามิเตอร์สีสามารถจำแนกกลุ่มข้าวที่มีสีแตกต่างออกจากกันได้ และให้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วย PCA และคล้ายคลึงกับการสังเกตด้วยตา แต่ไม่สามารถจำแนกข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำออกจากกัน อาจมีสาเหตุดังที่ได้อภิปรายไว้ในการวิเคราะห์ด้วย PCA แล้ว อย่างไรก็ตาม การแบ่งกลุ่มข้าวที่ระยะ 15.0 (ภาพที่ 4.4) พบว่า จะรวมตัวอย่างกลุ่มข้าวกล้องและข้าวขัดขาวไว้ด้วยกัน ทำให้การแบ่งกลุ่มข้าวเหลือเพียง 3 กลุ่ม และเส้นเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มที่ยาว ยังสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ดีเช่นกัน

การจัดกลุ่มข้าวด้วยพารามิเตอร์สีด้วยเทคนิค PCA หรือ CA สามารถจัดกลุ่มข้าวออกเป็น 4 กลุ่มและมีสมาชิกเหมือนกัน แต่ความแตกต่างของเทคนิคทั้ง 2 นั้นคือ เทคนิค PCA ไม่จำเป็นต้องตัดตัวแปรออก แต่เป็นการลดจำนวนตัวแปร ด้วยการสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรเดิม จากการรวมตัวแปรที่มีความแปรปรวนหรือสัมพันธ์กันสูงให้มาอยู่ด้วยกัน และกลายเป็นตัวแปรใหม่ จากนั้นจึงนำตัวแปรใหม่มาทำการจัดกลุ่มข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ต้น โครแกรมของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้พารามิเตอร์สี่

หมายเหตุ กลุ่มข้าวเหนียวดำ (GDR) กลุ่มข้าวสีม่วง (PR) กลุ่มข้าวสีแดง (RR) กลุ่มข้าวกล้อง (BR) และ กลุ่มข้าวขัดขาว (WR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการใช้เทคนิค CA นั้นจำเป็นต้องตัดตัวแปรที่ไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยกับตัวแปรอื่นๆออก จึงจะสามารถจัดกลุ่มได้ และยังแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตัวอย่างอาจมีความแปรปรวนหรือความสัมพันธ์น้อยกว่าเทคนิค PCA ที่ตัวแปรใหม่ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551ข) อย่างไรก็ตาม การใช้เทคนิคทั้ง PCA และ CA นั้นไม่ได้ระบุได้อย่างชัดเจนในการจัดกลุ่มข้าว และยังขึ้นอยู่กับความตั้งใจของผู้วิจัยในการจัดแบ่งกลุ่มด้วย จึงอาจเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้

4.3.2 การจัดกลุ่มข้าวตามสมบัติทางเคมี

ในการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP, ABTS⁺ และ ORAC พบว่า ข้าวเหนียวดำและข้าวสีม่วงส่วนใหญ่ มีแนวโน้มของปริมาณสารสำคัญและความสามารถในการต้านออกซิเดชันอยู่ในระดับปานกลางไปถึงสูง ส่วนข้าวขัดขาว ข้าวกล้อง ข้าวสีแดง และข้าวสีม่วงบางสายพันธุ์ มีปริมาณสารสำคัญและความสามารถในการต้านออกซิเดชันในระดับต่ำ เมื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสารสำคัญทั้งหมด พบว่ามีความสัมพันธ์ในทางบวกทั้งหมด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.572-0.943 (ตารางที่ 4.5) แต่ไม่สามารถระบุความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มข้าวได้อย่างชัดเจน จึงทำการวิเคราะห์กลุ่มด้วยวิธี PCA และ CA

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) พบว่าวิธีการนี้สร้างตัวแปรใหม่จากตัวแปรเดิมได้เพียง 1 องค์ประกอบเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ PCA ได้เนื่องจาก จำเป็นต้องสร้างองค์ประกอบหลักอย่างน้อย 2 ตัวแปร ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด FRAP, ABTS⁺ และ ORAC นั้นมีความสัมพันธ์กันทางบวกในทุกคู่ อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง 0.572-0.943 (ตารางที่ 4.5) ส่งผลให้ในการวิเคราะห์ PCA จัดตัวแปรทุกตัวให้อยู่ในตัวแปรใหม่เพียงตัวเดียวเท่านั้น สำหรับค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของสมบัติทางเคมีแสดงดังตารางที่ 4.9 โดยมีค่าระหว่าง 0.663-0.969 จึงสามารถใช้อธิบายความแปรปรวนระหว่างตัวแปรได้ในระดับปานกลางถึงดีมาก โดยค่า ABTS⁺ มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่ำที่สุด จึงอธิบายความแปรปรวนได้ด้อยกว่าสมบัติทางเคมีอื่นๆ ที่ศึกษาสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ ABTS⁺ กับตัวแปรอื่นๆ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.572-0.758 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรคู่อื่นๆ (ตารางที่ 4.5) การที่วิธี ABTS⁺ มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่ำกว่าตัวแปรอื่นๆ นั้น ได้อธิบายไว้แล้วในข้อ 4.2.2 ดังนั้น การใช้ปัจจัยทางเคมีจึงไม่สามารถจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้เนื่องจากความสัมพันธ์กันทุกคู่ระดับสูงในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4.9 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Communalities) ขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางเคมี

ตัวแปร	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร*
TPC	0.969
TAC	0.770
FRAP	0.920
ABTS ⁺	0.663
ORAC	0.860

หมายเหตุ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC), ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (TAC), Ferric reducing antioxidative potential (FRAP), Radical cation ABTS⁺ scavenging activity (ABTS⁺) และ Oxygen radical absorbance capacity (ORAC)

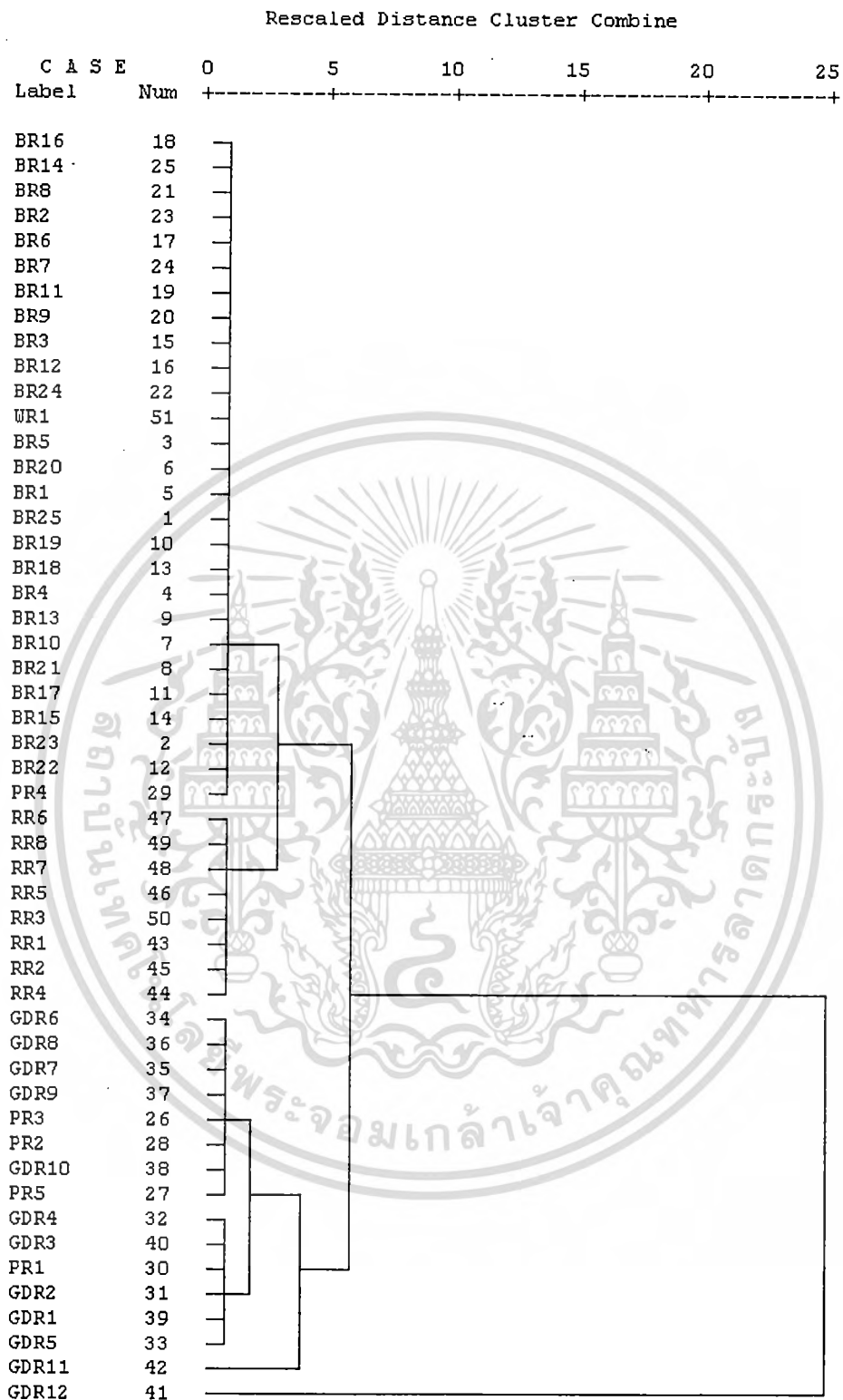
* ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายหลังสกัดปัจจัย

เมื่อพิจารณาเห็นโครงการจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CA โดยใช้ตัวแปรทางเคมี (ภาพที่ 4.5) ด้วยการแบ่งกลุ่มข้าวที่ระยะห่าง 5.0 สามารถแบ่งข้าวออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มข้าวกล้อง ขั้วขาว ข้าวสีแดง และ ข้าวสีม่วงสายพันธุ์ PR_4 รวม 35 ตัวอย่าง เป็นกลุ่มที่มีปริมาณสารสำคัญในระดับต่ำ โดยมีค่าสูงสุดของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด, ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด, FRAP, ABTS⁺ และ ORAC เท่ากับ 2.880, 0.121, 7.660, 0.719 และ 41.87 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) สำหรับตัวอย่างข้าวมีสีที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ข้าวสีแดงทั้งหมด (8 สายพันธุ์) และข้าวเจ้าสีม่วงอีก 1 ชนิด ได้แก่ ข้าวสีม่วง PR_4 ซึ่งเป็นตัวอย่างข้าวจากสุโขทัยที่มีปริมาณสารสำคัญต่ำ

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำ ยกเว้น GDR_12 รวม 15 ตัวอย่าง เป็นกลุ่มที่มีสารสำคัญในระดับปานกลาง โดยมีช่วงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด, ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด, FRAP, ABTS⁺ และ ORAC เท่ากับ 2.136-6.648, 0.586-3.369, 3.733-9.616, 1.527-1.881 และ 16.28-52.02 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

กลุ่มที่ 3 คือ ข้าวเหนียวดำ GDR_12 จำนวน 1 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างข้าวที่มีสารสำคัญสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างนี้มีความโดดเด่นกว่าตัวอย่างข้าวอื่นๆมาก และถูกคัดแยกออกมาจัดกลุ่มใหม่เพียงตัวเดียว และจากตารางแสดงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (ตารางที่ 4.2) และตารางแสดงความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (ตารางที่ 4.3) พบว่าข้าวเหนียวดำ GDR_12 มีปริมาณสารสำคัญทุกๆ การวิเคราะห์สูงที่สุด ยกเว้นค่า ABTS⁺ ที่น้อยกว่าข้าวเหนียวดำบางสายพันธุ์ ซึ่งข้าวเหนียวดำ GDR_12 เป็นตัวอย่างที่จำหน่ายในท้องตลาด ที่ได้รับการคัดพันธุ์ รวมถึงการควบคุม การเพาะปลูก ตลอดจนกระบวนการผลิตจึงทำให้ปริมาณสารสำคัญมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



ภาพที่ 4.5 ต้น โครแกรมของข้าวสายพันธุ์ต่างๆโดยใช้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน 3 วิธี

หมายเหตุ กลุ่มข้าวเหนียวดำ (GDR) กลุ่มข้าวสีม่วง (PR) กลุ่มข้าวสีแดง (RR) กลุ่มข้าวกล้อง (BR) และ กลุ่มข้าวขัดขาว (WR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การจัดกลุ่มข้าวตามสมบัติทางเคมี-กายภาพ

เมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ตัวแปรทางกายภาพและเคมีทั้งหมดจำนวน 11 ตัวแปร ได้แก่ พารามิเตอร์สี (L^* , a^* , b^* , C^* , h° และ ΔE) ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (FRAP, ABTS⁺ และ ORAC) มาวิเคราะห์ด้วยวิธี PCA ได้ผลดังตารางที่ 4.10 โดยสามารถจัดองค์ประกอบหลักออกเป็น 2 องค์ประกอบหลัก ซึ่ง PC1 ประกอบด้วยตัวแปร 10 ตัว ได้แก่ พารามิเตอร์สี เกือบทุกพารามิเตอร์ (L^* , b^* , C^* , h° และ ΔE) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี ซึ่ง PC1 ที่ได้นี้สามารถอธิบายถึงความแปรปรวนของข้อมูลได้ถึง 75.5 เปอร์เซ็นต์ โดยตัวแปรทางเคมีทั้งหมด จำนวน 6 ตัวแปร และ ΔE มีค่า loading เป็นบวก ในขณะที่ตัวแปรทางพารามิเตอร์สีเกือบทั้งหมดจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ L^* , h° , b^* และ C^* มีค่า loading เป็นลบ (ตารางที่ 4.10) ส่วน PC2 ประกอบด้วยค่า a^* เพียงตัวแปรเดียว และมีค่า loading เท่ากับ 0.804 ที่สามารถอธิบายถึงความแปรปรวนที่เกิดขึ้นได้ 13.33 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้องค์ประกอบหลักทั้งสองร่วมกันสามารถอธิบายความแปรปรวนหรือความสัมพันธ์ของตัวแปรได้สูงถึง 88.82 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.10 ค่าไอเกนและเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางเคมี-กายภาพ

ตัวแปร	ค่า Loading	
	องค์ประกอบหลักที่ 1	องค์ประกอบหลักที่ 2
L^*	-0.959	-0.163
a^*	0.532	0.804
b^*	-0.875	0.403
C^*	-0.762	0.606
h°	-0.960	-0.069
ΔE	0.946	0.215
TAC	0.782	-0.273
TPC	0.947	-0.006
FRAP	0.921	0.159
ABTS ⁺	0.885	-0.217
ORAC	0.895	0.252
Eigen values	8.304	1.466
% of Variance	75.49	13.33
Cumulative %	75.49	88.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

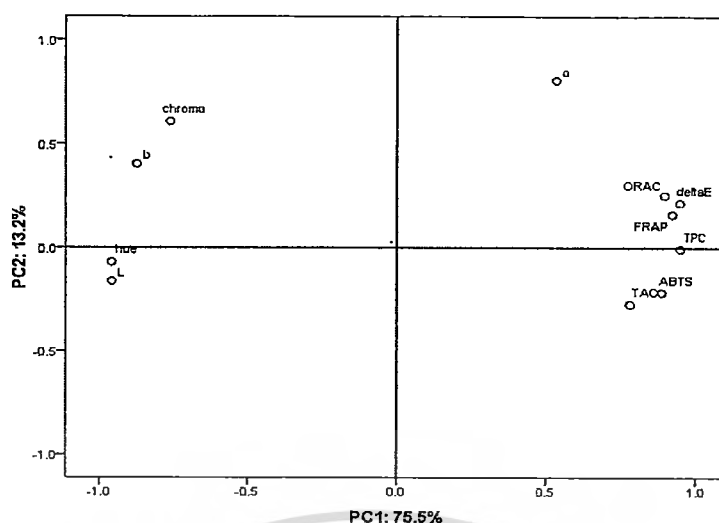
เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของตัวแปรสมบัติทางเคมี-กายภาพทั้ง 11 ตัวแปร (ตารางที่ 4.11) พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลังจากที่ได้ทำการสกัดปัจจัยทุกตัวแปร มีค่า 0.732-0.941 ซึ่งเป็นค่าที่เข้าใกล้ 1 ดังนั้น ตัวแปรสมบัติทางเคมี-กายภาพ ทั้ง 11 ตัวแปร สามารถนำมาใช้อธิบายความสัมพันธ์หรือความแปรปรวนระหว่างตัวแปรได้ในระดับดีถึงดีมาก

ตารางที่ 4.11 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Communalities) ขององค์ประกอบหลักที่วิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางเคมี-กายภาพ

ตัวแปร	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร*
L^*	0.940
a^*	0.938
b^*	0.928
C^*	0.941
h^*	0.943
ΔE	0.936
TAC	0.732
TPC	0.898
FRAP	0.868
ABTS ⁺	0.825
ORAC	0.862

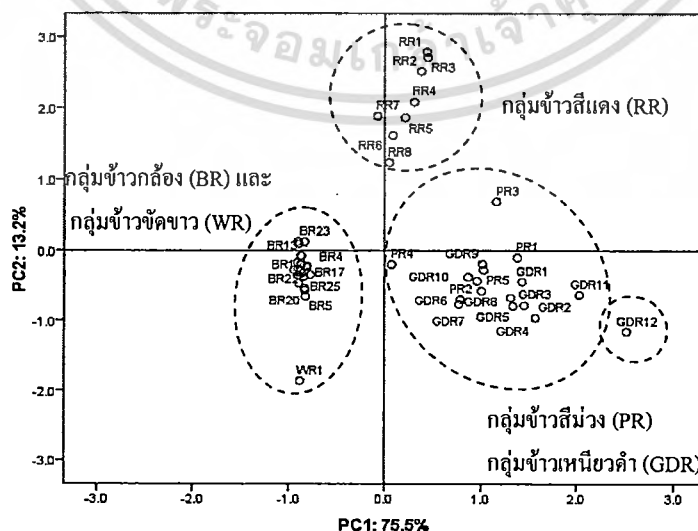
หมายเหตุ * ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายหลังจากสกัดปัจจัย

ตำแหน่ง loading ขององค์ประกอบทางเคมีและพารามิเตอร์สีทั้งหมดอยู่ห่างจากจุดตัดแกนทั้งสอง (ภาพที่ 4.6) และพบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) มีตำแหน่งเกือบอยู่บนแกน x แสดงว่า สามารถระบุความสัมพันธ์เชิงบวกกับตัวแปรอื่นๆใน PC1 ได้ดีกว่าการใช้ตัวแปรอื่นๆ ส่วน h^* มีตำแหน่งชิดแกน x มากที่สุด จึงระบุความสัมพันธ์เชิงลบ หรือ ผกผัน กับตัวแปรอื่นๆในองค์ประกอบที่ 1 ได้ดีกว่าค่า L^* , b^* และ C^* ตามลำดับ สำหรับค่า a^* ใน PC2 นั้น พบว่ามีค่า loading เท่ากับ 0.804 แต่อยู่ห่างจากแกน y จึงใช้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ไม่ดีเทียบเท่าตัวแปรใน PC1 อื่นๆ แต่ a^* ยังมีความสำคัญเช่นเดียวกับการจัดกลุ่มข้าวตามพารามิเตอร์สี เนื่องจากเป็นตัวแปรเพียงตัวเดียวใน PC2 และช่วยในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ถึง 88.82 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.6 Loading plot ขององค์ประกอบหลัก 1 และ 2 ของทุกพารามิเตอร์ โดยใช้เทคนิค PCA

เมื่อนำข้อมูลของตัวแปรทางเคมีกายภาพ มาจัดกลุ่มข้าวโดยใช้องค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิค PCA (ภาพที่ 4.7) พบว่า สามารถจัดกลุ่มข้าวได้เป็น 4 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่ม ข้าวขัดขาว/ข้าวกล้อง กลุ่มข้าวสีแดง กลุ่มข้าวสีม่วง/เหนียวดำ และข้าวเหนียวดำ GDR_12 แสดงว่า การใช้พารามิเตอร์สีร่วมกับปริมาณสารสำคัญในการจัดกลุ่มข้าวให้ผลที่คล้ายคลึงกับการใช้พารามิเตอร์สีเพียงอย่างเดียว รวมถึงไม่สามารถจำแนกข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำออกจากกันได้ นอกจากนี้ยังแยกข้าวเหนียวดำ GDR_12 ออกจากข้าวเหนียวดำพันธุ์อื่นๆ อีกทั้งผลการวิเคราะห์นี้ยังสอดคล้องกับการวิเคราะห์ CA ขององค์ประกอบทางเคมีในข้าว (ภาพที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่า รงควัตถุแอนโทไซยานินที่ให้สีม่วงถึงดำ มีผลต่อพารามิเตอร์สี รวมถึงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ได้ในข้าวอีกด้วย



ภาพที่ 4.7 การจัดกลุ่มข้าวสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้ทุกพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค PCA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

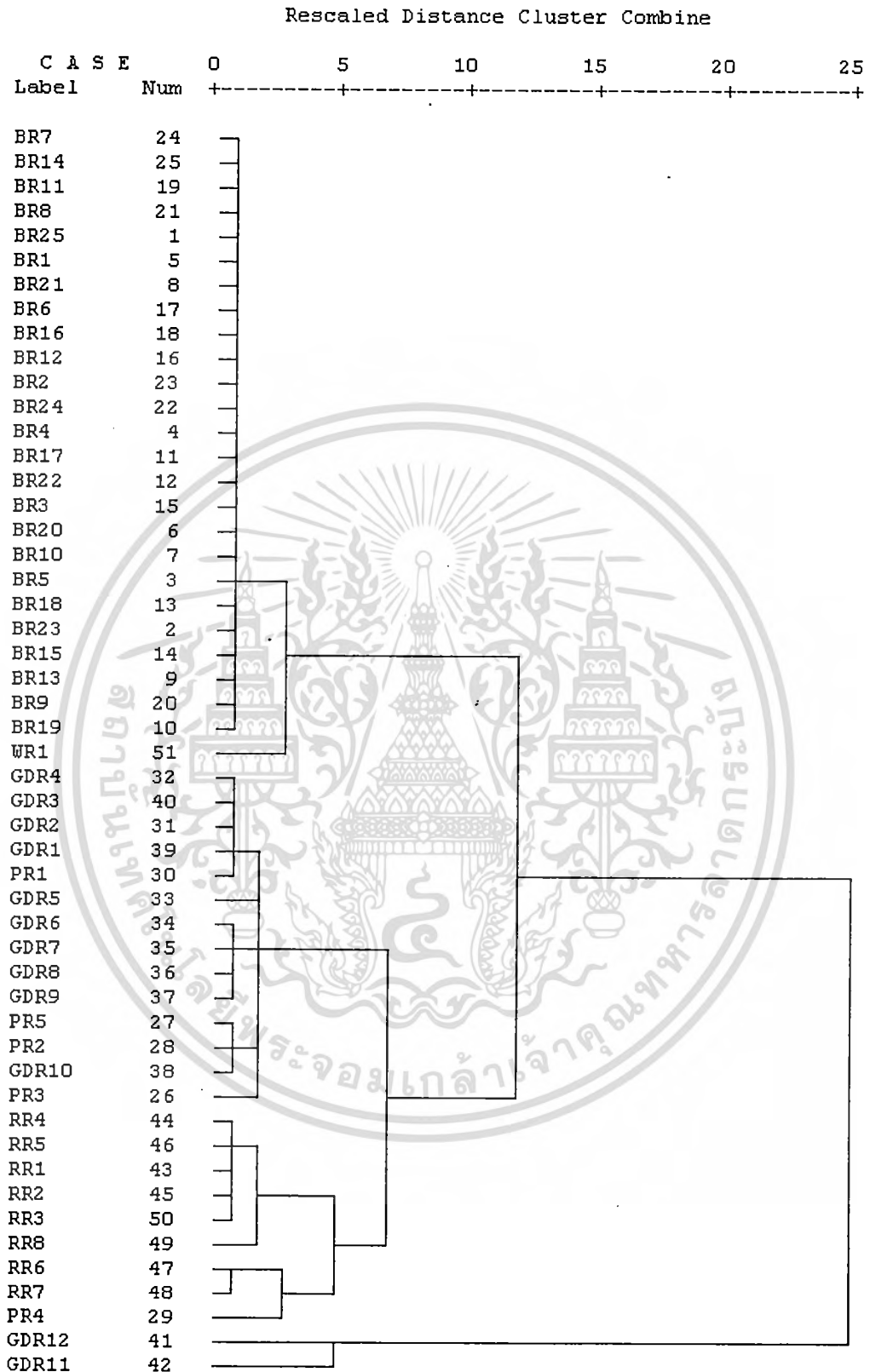
เมื่อวิเคราะห์ตัวแปรทั้งหมดด้วยเทคนิค CA และพิจารณาเส้นโคจรของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ (ภาพที่ 4.8) ด้วยการแบ่งกลุ่มข้าวที่ระยะห่าง 8.0 พบว่าสามารถจัดกลุ่มข้าวออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มข้าวกล้อง และข้าวขัดขาว รวม 26 ตัวอย่าง เป็นกลุ่มที่มีพารามิเตอร์ค่า L^* h° และ b^* ที่ค่อนข้างสูงถึงสูงสุด แต่มีค่า a^* ต่ำที่สุด โดยมีค่า L^* และ h° ต่ำที่สุดเท่ากับ 56.70 และ 14.61 รวมถึงค่า b^* สูงที่สุด เท่ากับ 14.16 ส่วนค่า a^* เท่ากับ -0.13 ส่วนปริมาณสารสำคัญอยู่ในระดับต่ำ โดยมีค่าสูงสุดของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด, ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด, FRAP, ABTS⁺ และ ORAC ในข้าวกลุ่มนี้เท่ากับ 0.709, 0.016, 0.361, 0.428 และ 13.87 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มข้าวสีแดง สีม่วงและข้าวเหนียวดำ ยกเว้น GDR_11 และ GDR_12 รวม 23 ตัวอย่าง เป็นกลุ่มที่มีพารามิเตอร์ค่า L^* และ b^* ต่ำที่สุด แต่มีค่า a^* สูง และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (FRAP ABTS⁺ และ ORAC) อยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่าอยู่ในช่วง เท่ากับ 0.927-5.625, 0.022-2.832, 1.046-8.021, 0.384-1.881 และ 8.59-46.20 มิลลิกรัม ต่อ กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

กลุ่มที่ 3 คือ ข้าวเหนียวดำ จำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ GDR_11 และ GDR_12 เป็นตัวอย่างที่มีสีเข้ม มีพารามิเตอร์ค่า L^* , b^* , C° และ h° ในระดับที่ต่ำที่สุด แต่มีปริมาณสารสำคัญในระดับสูงที่สุด และสามารถแยกออกมาจากตัวอย่างข้าวอื่นๆ

จากผลการจัดกลุ่มข้าวด้วยวิธีทางสถิติทั้ง 2 วิธี พบว่าพารามิเตอร์ค่าสามารถใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวได้ โดยแบ่งข้าวออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ข้าวเหนียวดำ GDR_11 และ 12 มีปริมาณสารสำคัญในระดับสูง กลุ่มข้าวที่มีสีเข้ม ได้แก่ ข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำส่วนใหญ่ มีปริมาณสารสำคัญในระดับปานกลาง สำหรับกลุ่มข้าวที่มีสีอ่อน มีปริมาณสารสำคัญในระดับต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในข้าวเหนียวดำส่วนใหญ่จะมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และ ความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าข้าวกลุ่มอื่นๆ และการเพิ่มความเข้มของสีข้าวจากขาว แดง ม่วง และดำ มีแนวโน้มทำให้ปริมาณสารสำคัญที่ศึกษานี้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นดังที่ได้อภิปรายไว้แล้ว ดังนั้นจากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ข้าวที่มีสีม่วงเข้มจะมีปริมาณสารสำคัญสูงกว่าข้าวที่มีสีอ่อนกว่า หรือข้าวที่มีสีอื่นๆ



ภาพที่ 4.8 เค้น โครแกรมของข้าวสายพันธุ์ต่างๆที่วิเคราะห์โดยใช้ตัวแปรทางเคมี-กายภาพ

หมายเหตุ กลุ่มข้าวเหนียวดำ (GDR) กลุ่มข้าวสีม่วง (PR) กลุ่มข้าวสีแดง (RR) กลุ่มข้าวกล้อง (BR) และ กลุ่มข้าวขัดขาว (WR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ทั้ง 2 พบว่า การวิเคราะห์พารามิเตอร์สีของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ด้วยเทคนิค PCA และ CA มีความสอดคล้องกัน โดยสามารถจัดกลุ่มข้าวออกเป็น 4 กลุ่มที่แต่ละกลุ่มมีสมาชิกเหมือนกัน (ตารางที่ 4.12) แต่เมื่อใช้ปริมาณสารสำคัญมาวิเคราะห์การจัดกลุ่ม พบว่าไม่สามารถจัดกลุ่มข้าวด้วยเทคนิค PCA ได้ เนื่องจาก มีองค์ประกอบใหม่เพียงองค์ประกอบเดียว แต่ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CA สามารถจัดกลุ่มได้โดยแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ส่วนการวิเคราะห์ตัวแปรทั้งเคมีและกายภาพร่วมกัน สามารถจัดกลุ่มข้าวได้แตกต่างกัน โดย PCA และ CA สามารถแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 และ 3 กลุ่ม ตามลำดับ แต่สมาชิกส่วนใหญ่ของแต่ละกลุ่มใกล้เคียงกัน จากผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มนี้ แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยวิธี PCA และ CA อาจให้ผลที่เหมือน คล้ายคลึง หรือแตกต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของข้อมูล และต้องคำนึงถึงตัวแปรที่ใช้ด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า พารามิเตอร์สีมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารสำคัญ รวมถึงทุกตัวแปรมีความสัมพันธ์กันทั้งทางบวกและทางลบ ดังนั้น ถ้าข้าวมีสีเข้ม ก็จะมีแนวโน้มว่ามีปริมาณสารสำคัญสูงกว่าข้าวที่มีสีอ่อน

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบ กลุ่มข้าวที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA และเทคนิค CA

วิธี	สมบัติ	กลุ่ม			
		1	2	3	4
PCA	กายภาพ	ข้าวกล้อง (25)	ข้าวขัดขาว (1)	ข้าวสีแดง (8)	ข้าวสีม่วง (5) ข้าวเหนียวดำ (12)
	เคมี	-	-	-	-
	กายภาพและเคมี	ข้าวกล้อง (25) ข้าวขัดขาว (1)	ข้าวสีแดง (8)	ข้าวสีม่วง (5) ข้าวเหนียวดำ (11, ยกเว้น GDR_12)	ข้าวเหนียวดำ (1)
	กายภาพ	ข้าวกล้อง (25)	ข้าวขัดขาว (1)	ข้าวสีแดง (8)	ข้าวสีม่วง (5) ข้าวเหนียวดำ (12)
CA	เคมี	ข้าวกล้อง (25) ข้าวสีแดง (8) ข้าวสีม่วง (1) ข้าวขัดขาว (1)	ข้าวสีม่วง (4, ยกเว้น PR_4) ข้าวเหนียวดำ (11, ยกเว้น G DR_12)	ข้าวเหนียวดำ (1)	-
	กายภาพและเคมี	ข้าวกล้อง (25) ข้าวขัดขาว (1)	ข้าวสีแดง (8) ข้าวสีม่วง (5) ข้าวเหนียวดำ (10, ยกเว้น GDR_11 และ 12)	ข้าวเหนียวดำ (2)	-

หมายเหตุ PCA คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก, CA คือ การวิเคราะห์กลุ่ม

4.4 ผลของการหุงสุกต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

จากผลการวิเคราะห์ค่าทางเคมีของสารสกัดข้าวทุกกลุ่มข้าว ซึ่งได้แก่ กลุ่มข้าวเหนียวดำ ข้าวสีม่วง ข้าวสีแดง และข้าวกล้อง ในขั้นต้นนั้นพบว่า สารสกัดข้าวในแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณสารสำคัญทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกันทางสถิติทั้งระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มเดียวกัน จึงได้ทำการคัดเลือกพันธุ์ข้าวในแต่ละกลุ่มข้าว ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในปริมาณระดับ สูง กลาง และต่ำ มาเป็นตัวแทนระดับละ 1 สายพันธุ์ รวมจำนวนทั้งสิ้น 12 สายพันธุ์และข้าวขัดขาว 1 สายพันธุ์ โดยผลของการหุงสุกต่อปริมาณสารสำคัญ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันในข้าวหุงสุกมีดังนี้

4.4.1 ผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ในข้าวสุกทั้ง 12 สายพันธุ์ที่คัดเลือกและข้าวขัดขาว พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.368-6.165, 0.001-2.734 และ 0.000-1.271 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ดังแสดงในตารางที่ 4.13 โดยพบว่า ข้าวแต่ละสายพันธุ์สูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ในระหว่างการหุงสุกที่แตกต่างกัน แต่พบการเพิ่มปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องและข้าวขัดขาว รวมถึงข้าวสีม่วงจำนวน 1 สายพันธุ์ที่ศึกษาอีกด้วย

กลุ่มข้าวเหนียวดำสูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ทั้งในข้าวแฉ่ (ดิบ) และข้าวสุก ทั้งนี้เนื่องจากการแช่ข้าวเหนียวที่เป็นขั้นตอนสำคัญในการหุงข้าวเหนียว เพื่อให้น้ำซึมผ่านเมล็ดและโมเลกุลของแป้งดูดซับน้ำไว้ ส่งผลให้ผนังเซลล์ที่เป็นส่วนของเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด เกิดการขยายตัวและโครงสร้างอ่อนตัวลง ทำให้สารประกอบฟีนอลิกถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่าย (Boateng และคณะ, 2008) อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิกมีส่วนที่มีขี้ผึ้งและไม่มีขี้ผึ้งเป็นองค์ประกอบ สารที่มีขี้ผึ้งจึงมีความสามารถในการละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้ง โดยเฉพาะน้ำ และละลายออกจากเมล็ดข้าว ดังนั้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวแฉ่ (ดิบ) จึงมีปริมาณลดลง ในช่วง 29.16-37.09 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.13) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Xu และ Chang (2008 a) ที่รายงานว่า การลดลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในถั่วเหลืองและถั่วเหลืองดำที่ผ่านการแช่น้ำ อีกทั้งยังสอดคล้องกับการทดลองของ Ranilla และคณะ (2009) ที่พบในการแช่ถั่วเช่นกัน

นอกจากนี้ น้ำที่เหลือจากการแช่ข้าวเหนียวดำมีสีม่วง เนื่องจากข้าวเหนียวดำมีองค์ประกอบของแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ จึงเป็นโอกาสทำให้สูญเสีย

ตารางที่ 4.13 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ของข้าวบางสายพันธุ์

ประเภท	ข้าว	ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด		ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด		ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์	
			ปริมาณ	การสูญเสีย	ปริมาณ	การสูญเสีย	ปริมาณ	การสูญเสีย
ข้าวมีสี	ข้าวเหนียวดำ	GDR_2	3.039±0.001 ^b	37.09	1.704±0.012 ^c	39.84	0.390±0.000 ^c	72.56
		GDR_11	4.285±0.453 ^d	35.55	1.418±0.016 ^c	57.92	0.734±0.000 ^b	67.71
		GDR_12	6.165±0.192 ^a	29.16	2.734±0.022 ^a	59.05	1.271±0.004 ^a	68.55
		ช่วงค่า	3.039-6.165	29.16-37.09	1.418-2.734	39.84-59.05	0.390-1.271	67.71-72.56
		Mean ± SD	4.496±1.573	33.93±4.21	1.952±0.692	52.27±10.78	0.798±0.444	69.61±2.59
		GDR_2	2.218±0.127 ^c	54.08	0.980±0.009 ^{e-h}	65.40	0.158±0.000 ^f	88.90
	ข้าวสุก	GDR_11	3.081±0.095 ^f	53.66	0.820±0.015 ^c	75.65	0.239±0.002 ^c	89.49
		GDR_12	4.755±0.187 ^c	45.36	1.446±0.002 ^b	78.35	0.526±0.007 ^d	86.99
		ช่วงค่า	2.218-3.081	45.36-54.08	0.820-1.446	65.40-78.35	0.158-0.526	86.99-89.49
		Mean ± SD	3.315±1.290	51.03±4.92	1.082±0.325	73.13±6.83	0.308±0.193	88.46±1.31
		PR_5	2.586±0.096 ^h	0.358	0.403±0.006 ^{c-f}	52.72	0.058±0.002 ^h	52.90
	ข้าวสีม่วง	PR_2	2.808±0.298 ^b	-22.43 [*]	0.422±0.007 ^d	41.94	0.062±0.000 ^g	65.05
		PR_1	3.671±0.012 ⁱ	26.37	0.639±0.003 ^{e-g}	47.17	0.075±0.000 ^h	48.92
		ช่วงค่า	2.586-3.671	0.358-(-22.43)	0.403-0.639	41.94-52.72	0.058-0.075	48.92-65.05
		Mean ± SD	3.022±0.573	1.43±24.41	0.488±0.131	47.28±5.39	0.065±0.009	55.62±8.40

หมายเหตุ * คือ ปริมาณสารเพิ่มขึ้นหลังการหุงสุก

ND หมายถึง ตรวจไม่พบหรือ มีปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แสดงค่าในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลย์แกลลิก ต่อ กรัม (น้ำหนักแห้ง), ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ แสดงค่าในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลย์ ต่อ กรัม (น้ำหนักแห้ง) การสูญเสีย แสดงค่าในหน่วยเปอร์เซ็นต์

พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05)

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

ประเภท	ข้าว	ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด		ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด		ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์	
			ปริมาณ	การสูญเสีย	ปริมาณ	การสูญเสีย	ปริมาณ	การสูญเสีย
ข้าวมีสี	ข้าวสีแดง	RR_3	2.155±0.096 ^j	33.10	0.021±0.000 ^h	60.20	ND	-
		RR_2	2.588±0.033 ^j	1.325	0.021±0.000 ^{f-g}	61.77	ND	-
		RR_1	2.667±0.166 ^j	2.024	0.020±0.001 ^{c-f}	65.82	ND	-
		ช่วงค่า	2.155-2.667	1.325-33.10	0.020-0.021	60.20-65.82	ND	-
		Mean ± SD	2.470±0.276	12.15±18.15	0.020±0.000	62.60±2.90	ND	-
ข้าวมีสี	ข้าวกล้อง	BR_7	0.778±0.038 ^j	-53.77 *	0.001±0.000 ^{i-j}	88.54	ND	-
		BR_2	0.854±0.133 ^j	-43.45 *	0.002±0.000 ⁱ	85.96	ND	-
		BR_11	0.933±0.061 ^j	-31.57 *	0.007±0.001 ⁱ	6.76	ND	-
		ช่วงค่า	0.778-0.933	-31.57-(-53.77)	0.001-0.007	6.76-88.54	ND	-
		Mean ± SD	0.855±0.077	-42.93±11.11	0.003±0.003	60.42±46.49	ND	-
	ข้าวขัดขาว	WR_1	0.368±0.073 ^j	-88.76 *	0.001±0.000 ^j	37.25	ND	-
ข้าวทั้งหมด		ช่วงค่า	0.368-6.165	0.358-(-88.76)	0.001-2.734	6.76-88.54	ND-1.271	48.92-89.49
		Mean ± SD	2.565±1.581	4.88±42.37	0.626±0.798	57.77±20.60	0.207±0.349	71.23±14.9

หมายเหตุ * คือ ปริมาณสารเพิ่มขึ้นหลังการหุงสุก

ND หมายถึง ตรวจไม่พบหรือ มีปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แสดงค่าในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลย์แกลลิก ต่อ กรัม (น้ำหนักแห้ง), ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ แสดงค่าในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลย์ ต่อ กรัม (น้ำหนักแห้ง) การสูญเสีย แสดงค่าในหน่วยเปอร์เซ็นต์

พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

แอนโทไซยานินได้ง่ายและตรวจพบเป็นสีม่วงของรงควัตถุดังกล่าวในน้ำแช่ข้าว ซึ่งสอดคล้องกับการสูญเสียแอนโทไซยานินและไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ไปถึง 39.84-59.07 และ 68.55-72.56 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.13) และยังพบว่า การสูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ระหว่างการแช่ข้าวนาน 10 ชั่วโมงนั้น ยังอาจเกิดการสลายตัว หรือเกิดออกซิเดชันได้อีกด้วย (Boateng และคณะ, 2008; Randhir และคณะ, 2008)

เมื่อนำข้าวเหนียวไปหุงด้วยการนึ่ง นาน 35 นาที ยังส่งผลให้สูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เพิ่มขึ้นอีกด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งทางเคมีและองค์ประกอบเชิงซ้อนทางเคมีของสารประกอบ หรือเกิดการสลายตัวและสูญเสียสมบัติที่สำคัญไป (Granado-Lorencio และ Olmedilla-Alonso, 2003) นอกจากนี้ แอนโทไซยานินยังเป็นสารที่ไม่คงตัวที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ในปริมาณมากในขั้นตอนการหุงสุก (Hiemori และคณะ 2009; Xu และ Chang, 2009 b) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์เป็นสารสำคัญที่สูญเสียมากที่สุดทั้งในขั้นตอนการแช่ และในข้าวหุงสุกรองลงมา ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

สำหรับกลุ่มข้าวสีม่วงพบการสูญเสียปริมาณสารสำคัญทั้ง 3 ชนิดต่ำกว่าในข้าวเหนียวดำ เนื่องจากข้าวสีม่วงนั้นเป็นข้าวเจ้า จึงไม่จำเป็นต้องผ่านการแช่ข้าว ซึ่งจากตารางที่ 4.13 พบว่าการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ในช่วง 41.94-52.72 และ 48.92-65.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียต่ำกว่าข้าวเหนียวดำ และการสูญเสียสารสำคัญนี้เป็นผลจากการใช้ความร้อนในการทำให้ข้าวสุก สำหรับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดพบการสูญเสียตั้งแต่ 0.36 ถึง 26.37 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่าง PR_2 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงถึง 22.43 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการแตกออกของโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันของสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปคอนจูเกต (Conjugated phenolic acid) หรือ การออกซิเดชันขององค์ประกอบฟีนอลิก (Randhir และคณะ, 2008) ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นในข้าว PR_2 กลุ่มข้าวกล้องทุกสายพันธุ์ และข้าวขัดขาว ซึ่งสอดคล้องกับ Xu และ Chang (2008 a) ที่รายงานว่า กระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งทางเคมีของสารพฤษเคมีในถั่วเหลืองและถั่วเหลืองดำ และยังทำให้เกิดการสลายตัว (degradation) รวมถึงการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในโครงสร้างออกมา

นอกจากนี้ การใช้ความร้อนยังทำให้ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดของเปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่ม เสียสภาพ และแตกออก ทำให้สารที่สะสมอยู่ในถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายและละลายในตัวทำละลายในปริมาณมากขึ้น จึงสามารถสกัดสารออกมาได้มากกว่า (Xu และ Chang, 2008 a) อีกทั้ง เมื่อทำการต้มหรือหนึ่งเป็นระยะเวลาความยาวความร้อนอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างจากปฏิกิริยา isomerization หรือ การสลายตัว (degradation) (Granado-Lorencio และ

Olmedilla-Alonso, 2003; Bunea และคณะ, 2008) ปริมาณสารที่ถูกปลดปล่อยออกมาที่ยังขึ้นอยู่กับ การกระจายตัวและปริมาณของสารที่มีอยู่ในเปลือกหุ้มเมล็ด อีกทั้งอาจมีสาเหตุมาจากวิธีการสกัด วิธีการปรุงสุก (Turkmen และคณะ, 2005) นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณฟีนอลิก ทั้งหมดที่เกิดจากการให้ความร้อน อาจเกิดจากปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยเอนไซม์ การปลดปล่อยกรดอิสระจากกรดที่อยู่ในรูปคอนจูเกต และการเกิดโครงสร้างเชิงซ้อน ของอนุพันธ์ฟีนอลิกจากสารประกอบอื่นๆ เช่น โพรตีน เทนิน และแอนโทไซยานิน (Fleuriet และ Macheix, 2003; Xu และ Chang, 2009 b)

การสูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวสีแดงมีปริมาณใกล้เคียงกับในข้าวสีม่วง (ตาราง ที่ 4.13) ที่พบการสูญเสียไม่เกิน 33.10 เปอร์เซ็นต์ แต่ข้าวสีแดงพบการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากกว่าในข้าวสีม่วง โดยพบในช่วง 60.20-65.82 และ 41.94-5.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวสีม่วงสูงมีปริมาณสูงกว่า ข้าวสีแดงอย่างมาก โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.403-0.639 และ 0.020-0.021 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ดังนั้นจึงไม่อาจเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียได้อย่างชัดเจน สำหรับ ข้าวกลุ่ม ไม่มีสีที่ประกอบด้วยข้าวกล้องและข้าวขัดขาวนั้นพบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้น ในระหว่าง 31.57-88.76 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากหลายๆปัจจัยดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่พบการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด มีค่าระหว่าง 6.76-88.54 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าข้าวขัดขาวมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นที่สุด แต่ปริมาณฟีนอลิก ทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบในข้าวกล้องยังคงมีปริมาณสูงกว่า ดังนั้น จึงควรบริโภคข้าวกล้อง มากกว่าข้าวขัดขาว

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า กระบวนการหุงสุกมีผลต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของ ปริมาณสารสำคัญทั้งสาม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว และวิธีการหุงข้าว การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันไปตามชนิดและปริมาณของสารประกอบที่มีในตัวอย่าง (Xu และ Chang, 2009 b) ซึ่งมีความแตกต่างในแต่ละสายพันธุ์นี้ ทำให้ไม่สามารถกำหนดแนวโน้มที่ชัดเจน ได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวเหนียวดำและข้าวสีม่วงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวสีแดงและ ข้าวกล้อง อีกทั้งปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ที่พบในข้าวเหนียว ดำนั้นก็มีค่าสูงกว่าข้าวสีม่วงอีกด้วย

4.4.2 ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน 3 วิธี ในข้าวสุกทั้ง 12 สายพันธุ์และข้าวขัดขาว พบว่า วิธี FRAP, ABTS⁺ และ ORAC มีค่าอยู่ระหว่าง 0.116-12.36, 0.602-1.135 และ 0.511-23.28 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน และ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของข้าวบางสายพันธุ์ภายหลังการหุง

ประเภท	ข้าว	ตัวอย่าง	FRAP		ABTS ⁺⁺		ORAC	
			ปริมาณ	การสูญเสีย	ปริมาณ	การสูญเสีย	ปริมาณ	การสูญเสีย
ข้าวมีสี	ข้าวเหนียวดำ	GDR_2	5.478±0.045 ^d	-25.88 *	0.971±0.062 ^{bc}	51.12	23.28±0.130 ^a	23.76
		GDR_11	7.445±0.259 ^b	28.60	0.913±0.015 ^c	11.87	13.25±0.456 ^c	26.70
		GDR_12	12.36±0.090 ^a	36.71	1.044±0.009 ^{ab}	-8.666*	18.58±1.956 ^b	2.77
		ช่วงค่า	5.478-12.36	28.60(-25.88)	0.913-1.044	11.87-(-8.666)	13.25-23.28	2.77-26.70
		Mean ± SD	8.429±3.547	23.81±7.36	0.976±0.065	35.00±10.42	18.370±5.015	61.48±17.78
		GDR_11	5.316±0.254 ^c	44.72	0.805±0.032 ^b	47.28	9.715±0.945 ^b	81.33
	ข้าวสุก	GDR_2	6.896±0.068 ^d	14.03	0.475±0.026 ^d	71.56	17.75±3.338 ^{d-f}	55.19
		GDR_12	7.825±0.263 ^b	47.56	1.135±0.025 ^a	16.33	18.07±0.992 ^b	69.57
		ช่วงค่า	5.316-7.825	14.03-47.56	0.475-1.135	16.33-71.56	9.715-18.07	55.19-81.33
		Mean ± SD	6.679±1.269	35.44±18.60	0.805±0.330	45.06±27.68	15.17±4.732	68.70±13.09
		ข้าวสีม่วง	PR_5	3.928±0.158 ^c	36.42	0.653±0.032 ^{d-c}	63.47	8.596±0.571 ^{e-f}
	PR_2		4.498±0.092 ^d	-11.88 *	0.733±0.069 ^{e-f}	59.31	8.231±0.006 ^{c-d}	49.44
	PR_1		5.069±0.091 ^f	7.438	0.675±0.027 ^{e-f}	61.46	11.94±0.167 ^{e-f}	76.06
	ช่วงค่า		3.928-5.069	7.438(-11.88)	0.653-0.733	59.31-63.47	8.231-11.94	34.26-76.06
	Mean ± SD		4.499±0.570	10.66±24.31	0.687±0.041	61.42±2.08	9.589±2.044	53.25±21.16

หมายเหตุ * คือ ปริมาณสารเพิ่มขึ้นหลังการหุงสุก,

ND หมายถึง ตรวจไม่พบหรือ มีปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม

การสูญเสีย แสดงค่าในหน่วยเปอร์เซ็นต์

พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.14(ต่อ)

ประเภท	ข้าว	ตัวอย่าง	FRAP		ABTS ⁺⁺		ORAC	
			ปริมาณ	การสูญเสีย	ปริมาณ	การสูญเสีย	ปริมาณ	การสูญเสีย
ข้าวมีสี	ข้าวสีแดง	RR_3	3.698±0.103 ^g	24.38	0.654±0.013 ^{e-f}	-5.655 *	7.681±0.269 ^f	77.77
		RR_2	4.049±0.462 ^{c-g}	44.69	0.739±0.026 ^{d-c}	-29.85 *	10.36±1.093 ^{d-c}	73.59
		RR_1	4.259±0.618 ^{e-f}	44.40	0.726±0.087 ^{d-e}	-29.57 *	9.508±0.851 ^{d-f}	77.29
		ช่วงค่า	3.698-4.259	24.38-44.69	0.654-0.739	-5.655(-29.85)	7.681-10.36	73.59-77.77
		Mean ± SD	4.002±0.283	37.83±11.64	0.707±0.046	-21.69±13.89	9.183±1.368	76.22±2.29
ข้าวไม่มีสี	ข้าวกล้อง (BR)	BR_11	0.566±0.010 ^h	-86.35 *	0.605±0.097 ^f	-111.9 *	2.053±0.331 ^g	74.56
		BR_7	0.721±0.074 ^h	-132.8 *	0.602±0.003 ^{e-f}	-126.2 *	3.064±0.431 ^{g-h}	56.92
		BR_2	0.821±0.033 ^{h-i}	-180.5 *	0.636±0.062 ^f	-126.8 *	2.984±0.306 ^{g-h}	64.10
		ช่วงค่า	0.566-0.821	-86.35(-180.5)	0.602-0.636	-111.9(-126.8)	2.053-3.064	56.92-74.56
		Mean ± SD	0.703±0.128	-133.2±47.08	0.614±0.019	-121.6±8.45	2.700±0.562	65.2±8.87
ข้าวขัดขาว (WR)	ข้าวทั้งหมด	WR_1	0.116±0.004 ⁱ	-34.29 *	0.606±0.042 ^f	-87.37 *	0.511±0.076 ^h	88.20
		ช่วงค่า	0.116-12.36	44.72(-180.5)	0.602-1.044	71.56(-121.6)	0.511-23.28	2.77-88.20
		Mean ± SD	4.566±3.193	-6.92-68.53	0.748±0.181	-5.81±126.8 *	10.34±6.58	56.92-88.20

หมายเหตุ * คือ ปริมาณสารเพิ่มขึ้นหลังการหุงสุก

ND หมายถึง ตรวจไม่พบหรือ มีปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม

การสูญเสีย แสดงค่าในหน่วยเปอร์เซ็นต์

พิจารณาอักษร abc ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับปริมาณสารสำคัญทั้งสาม โดยพบว่า ข้าวแต่ละสายพันธุ์สูญเสียความสามารถในการต้านออกซิเดชันในระหว่างการหุงสุกที่แตกต่างกัน แต่พบการเพิ่มความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP ในข้าวสีม่วง 1 สายพันธุ์ ส่วนค่า ABTS⁺ เพิ่มขึ้นในข้าวกล้องและข้าวขัดขาว รวมถึงข้าวสีม่วงและข้าวสีแดงจำนวน 1 และ 2 สายพันธุ์ที่ศึกษาอีกด้วย

การสูญเสียความสามารถในการต้านออกซิเดชันในกลุ่มข้าวเหนียวดำสุกด้วยวิธี FRAP ABTS⁺ และ ORAC อยู่ระหว่าง 14.03-47.56, 16.33-71.56 และ 55.19-81.33 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.14) โดยข้าวที่สูญเสียความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งในเปอร์เซ็นต์สูง ก็ไม่สามารถระบุได้ว่าจะสูญเสียความสามารถของวิธีการอื่นๆ สูงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Li และคณะ (2007) พบว่าเมื่ออบ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ผสมด้วยรำข้าวสาลีสีม่วง ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ DPPH ยังมีค่าคงที่ อีกทั้ง Zhang และคณะ (2010) รายงานว่า กระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน เช่น การย่าง การนึ่งด้วยความดัน และการใช้ไมโครเวฟ กับผลิตภัณฑ์ tartary buckwheat ส่งผลต่อปริมาณสารสำคัญและความสามารถในการต้านออกซิเดชันใน ผลิตภัณฑ์ลดลง ส่วนความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่สูงขึ้น อาจเนื่องจาก ความร้อนส่งผลให้สารที่คงตัวต่ออนุมูลสูงและมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความสามารถในการต้านออกซิเดชันก็สูญเสียในระหว่างการแช่ข้าวด้วยเช่นกันกับปริมาณสารสำคัญดังที่ได้อภิปรายไว้ข้างต้น อย่างไรก็ตามพบว่า ข้าวเหนียวดำแช่ (ดิบ) สายพันธุ์ GDR_2 และ GDR_12 มีค่า FRAP และ ABTS⁺ เพิ่มขึ้น 25.88 และ 8.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) แสดงว่า การแช่ ส่งผลให้ผนังเซลล์ที่เป็นส่วนของเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด เกิดการขยายตัวและโครงสร้างอ่อนตัวลงทำให้ สารประกอบฟีนอลิกถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น (Boateng และคณะ, 2008)

สำหรับกลุ่มข้าวสีม่วงและข้าวสีแดง สูญเสียความสามารถในการต้านออกซิเดชันในเกือบทุกวิธี และมีความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียด้วยเช่นกัน โดยพบระหว่าง 7.44-76.06 เปอร์เซ็นต์ แต่พบการเพิ่มขึ้นของค่า FRAP ในข้าวสายพันธุ์ PR_2 (11.88 เปอร์เซ็นต์) และค่า ABTS⁺ ในข้าวทั้งสีแดงทั้งสามสายพันธุ์ (5.66-29.85 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 4.14) ซึ่งการเพิ่มปริมาณของความสามารถในการต้านออกซิเดชันนี้ อาจเนื่องจาก ผนังเซลล์ที่อ่อนนุ่มทำให้สารที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายขึ้น หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือแตกออกมาอยู่ในรูปอิสระ (Ismail และคณะ, 2004; Randhir และคณะ, 2008) อีกทั้งอาจเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยามลลาร์ดที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันและการเข้าทำปฏิกิริยาของสารในวิธีการต่างๆ ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้เพิ่มมากขึ้น โดย Xu และ Chang (2008 a) พบว่า การต้มและนึ่งอาจทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยาเมตาบอไลต์ ที่สร้างผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Randhir และคณะ (2008) ที่พบว่า การเพิ่มความสามารถในการต้านออกซิเดชันอันเป็นผลจากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเมตาบอไลต์ที่เร่งด้วยความร้อนในรัฐพืชที่กำลังงอก นอกจากนี้วิธีการปรุงสุกด้วยการนึ่งอาจส่งผลให้เกิดการสร้างสารประกอบที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกันอีกด้วย โดยการนึ่งอาจส่งผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้นกว่าการต้ม ดังการทดลองของ Ferracane และคณะ (2008) ที่ศึกษาใน artchokes ซึ่ง Xu และ Chang (2008 a) ได้แสดงผลไว้ในพืชตระกูลถั่วฝักยาว

ข้าวไม่มีสี ที่ประกอบด้วยข้าวกล้องและข้าวขัดขาวนั้นพบว่า ทุกสายพันธุ์มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ทั้งในวิธี FRAP (34.29-180.5 เปอร์เซ็นต์) และ วิธี ABTS⁺ (87.37 ถึง 126.8 เปอร์เซ็นต์) แต่ในวิธี ORAC มีค่าลดลงระหว่าง 56.92-88.20 เปอร์เซ็นต์ การที่ความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี ให้ผลที่แตกต่างกันทั้งการเพิ่มขึ้นและลดลง โดยเฉพาะวิธี ABTS⁺ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์อื่นๆ เป็นผลมาจากหลักการและการเข้าทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ความแตกต่างโครงสร้างโมเลกุลของสารต้านออกซิเดชัน ไม่ว่าจะจำนวนของวงแหวนอะโรมาติก ตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล การให้อิเล็กตรอนของหมู่อัลคิลหรือหมู่เมทิล ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยา (Siddhuraju และ Becker, 2007) ดังนั้น สารประกอบที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการนึ่ง อาจมีความจำเพาะต่อกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาด้วยวิธีนี้มากกว่าวิธี FRAP และ ORAC

อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากระบวนการหุงสุกทำให้กลุ่มข้าวมีสีสูญเสียความสามารถในการต้านออกซิเดชันหรือกลุ่มข้าวไม่มีสีมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นก็ตาม แต่กลุ่มข้าวมีสีก็ยังคงมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าข้าวไม่มีสี ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารสำคัญที่มีในกลุ่มข้าวที่มีสีมีปริมาณเริ่มต้นที่สูงกว่ากลุ่มข้าวไม่มีสี ถึงแม้การหุงสุกส่งผลกระทบต่อปริมาณสารสำคัญและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ก็ไม่ได้ทำให้กลุ่มข้าวไม่มีสีที่มีปริมาณสารสำคัญน้อยกว่าจะมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าข้าวมีสีได้ จากผลการทดลองในตอนนี้ แสดงให้เห็นว่า กระบวนการหุงสุกมีผลต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณสารสำคัญทั้งสามและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว และวิธีการหุงข้าว รวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากความร้อน ซึ่งช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการปลดปล่อยความเสถียรของสาร รวมถึงการสร้าง หรือทำลาย สารประกอบที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันอีกด้วย อย่างไรก็ตาม กลุ่มข้าวที่มีสีมีปริมาณสารสำคัญ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าในกลุ่มข้าวไม่มีสี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การจำแนกข้าวจำนวน 51 สายพันธุ์ ตามลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นที่สังเกตได้ด้วยตา สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้าวมีสี (กลุ่มข้าวสีแดง ข้าวสีม่วง และข้าวเหนียวดำ) และข้าวไม่มีสี (กลุ่มข้าวเจ้ากล็อง/ข้าวเหนียวขาว และข้าวขัดขาว) เมื่อวัดพารามิเตอร์สีของข้าวทั้งหมดด้วยระบบ CIELAB พบว่า ข้าวมีสีมีค่าความสว่างต่ำกว่าข้าวไม่มีสีอย่างมีนัยสำคัญแต่ไม่สามารถใช้ในการแบ่งกลุ่มข้าว และกลุ่มข้าวที่มีค่าความสว่างต่ำและสูงที่สุด ได้แก่ กลุ่มข้าวสีม่วง และข้าวขัดขาวตามลำดับ แต่ค่า a^* นั้นสามารถนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มข้าวที่มีสีได้ แต่ไม่สามารถแบ่งกลุ่มข้าวไม่มีสีได้ โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ กลุ่มข้าวสีแดง ข้าวสีม่วง ข้าวเหนียวดำ และกลุ่มข้าวไม่มีสี สำหรับค่า b^* นั้นไม่สามารถใช้แบ่งประเภทหรือแยกกลุ่มของข้าวได้ เนื่องจากมีช่วงค่าที่กว้างและทับซ้อนกันในทุกๆ กลุ่ม ส่วนพารามิเตอร์สีอื่นๆ ได้แก่ C^* , h° และ ΔE ไม่สามารถจำแนกกลุ่มข้าวได้อย่างชัดเจน หรือสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตา ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อพารามิเตอร์สี ได้แก่ สายพันธุ์หรือพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารสำคัญ โดยเฉพาะรงควัตถุ สำหรับปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งได้แก่ ระดับการขัดสี นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่สามารถใช้พารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งในการจำแนกกลุ่มของข้าวได้ จำเป็นต้องนำค่าพารามิเตอร์สีหลายๆ ตัวมาพิจารณาร่วมด้วย ในการจำแนกกลุ่มข้าวที่มีสีแตกต่างกัน

การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในกลุ่มข้าวพบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวมีสีในทุกกลุ่มมีค่าสูงกว่าข้าวไม่มีสีมาก แต่ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวมีสีในแต่ละกลุ่มอยู่ในช่วงกว้าง โดยมีความแตกต่างของค่าสูงสุดและต่ำสุดตั้งแต่ 1.315 (ในข้าวสีแดง) ถึง 5.921 (ในข้าวเหนียวดำ) มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) แต่กลุ่มข้าวไม่มีสีมีความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ในช่วงแคบ และข้าวขัดขาวมีค่าฟีนอลิกต่ำที่สุด (0.194 มิลลิกรัมต่อกรัม(น้ำหนักแห้ง)) สำหรับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดให้ผลสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยพบปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในกลุ่มข้าวเหนียวดำสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวสีม่วง และพบปริมาณต่ำกว่า 0.060 มิลลิกรัมต่อกรัม(น้ำหนักแห้ง) ในข้าวสีแดงและข้าวไม่มีสีอื่นๆ ส่วนปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์นั้นสอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด แต่ตรวจพบเฉพาะในข้าวเหนียวดำและข้าวสีม่วงเท่านั้น นอกจากนี้ข้าวมีสีทุกกลุ่มยังมีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน 3 วิธีสูงกว่าข้าวไม่มีสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มข้าวที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงสุดและต่ำสุด ได้แก่ กลุ่มข้าวเหนียวดำ และข้าวขัดขาว ดังนั้น สายพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และระดับการขัดสีมีผลต่อปริมาณสารสำคัญในข้าว และกลุ่มข้าวมีสีมีปริมาณสารสำคัญสูงกว่ากลุ่มข้าวไม่มีสีอีกด้วย

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สีเกือบทุกคู่ มีความสัมพันธ์กันทั้งเชิงบวกและเชิงลบในระดับปานกลางถึงสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.648 ถึง 0.970 และ -0.599 ถึง -0.997 ตามลำดับ ยกเว้นพารามิเตอร์ b^* กับ a^* และ a^* กับ C' ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ($r < 0.200$) สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของทุกคู่ก็มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางถึงสูง (0.572-0.943) ($p < 0.01$) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สีกับสารสำคัญให้ผลเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ เฉพาะพารามิเตอร์สี โดยพบความสัมพันธ์กันทั้งเชิงบวกในระดับต่ำถึงสูง (0.313-0.857) และความสัมพันธ์ในเชิงลบในระดับปานกลางถึงสูง (-0.497 ถึง -0.888) ($p < 0.01$) ยกเว้นค่า a^* กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ดังนั้น พารามิเตอร์สี และสารสำคัญที่วิเคราะห์ทั้งหมดในข้าว มีความสัมพันธ์กันตั้งแต่ระดับปานกลางถึงสูง ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่า a^* และกับอื่นๆ บางส่วนมีค่าต่ำ จึงมีศักยภาพในการใช้พารามิเตอร์สีในการบ่งชี้ปริมาณสารสำคัญในข้าวได้

การใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ โดยใช้พารามิเตอร์สี พบว่า ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลักที่มีค่าไอเกนเท่ากับ 4.567 และ 1.262 ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์สะสมรวมเท่ากับ 97.18 สามารถแบ่งกลุ่มข้าวออกเป็น 4 กลุ่มคือ ข้าวเหนียวดำ/ข้าวสีม่วง ข้าวสีแดง ข้าวกล้อง และข้าวขัดขาว สำหรับการวิเคราะห์ร่วมระหว่างพารามิเตอร์สีและปริมาณสารสำคัญต่างๆ พบว่ายังคงประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลักที่มีค่าไอเกนเท่ากับ 8.304 และ 1.466 ตามลำดับ แต่เปอร์เซ็นต์สะสมรวมเท่ากับ 88.82 และแบ่งกลุ่มข้าวได้เพียง 3 กลุ่ม และคล้ายคลึงกับการใช้พารามิเตอร์สี ซึ่งข้าวกล้องและข้าวขัดขาวถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ส่วนการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์สี หรือพารามิเตอร์สีร่วมกับสารสำคัญ พบว่าสามารถจัดกลุ่มข้าวเป็น 3 กลุ่ม วิธีการจัดกลุ่มสามารถแบ่งแยกข้าวกล้อง/ข้าวขัดขาวออกจากข้าวมีสี แต่ไม่สามารถแยกกลุ่มข้าวมีสีได้อย่างชัดเจนเช่นเดียวกับการใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังนั้น สีและความเข้มของสีข้าวเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณสารสำคัญทั้งปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยเฉพาะข้าวที่มีสีม่วงเข้มจะมีปริมาณสารสำคัญมาก

เมื่อคัดเลือกข้าว 3 สายพันธุ์จาก 4 กลุ่มข้าวตามลักษณะปรากฏและปริมาณสารสำคัญ รวมจำนวนทั้งสิ้น 12 สายพันธุ์ และข้าวขัดขาว 1 สายพันธุ์ มาหุงสุก พบว่าตัวอย่างข้าวมีสีเกือบทุกตัวอย่างสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ในระหว่างการหุงต้มมากกว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยอยู่ช่วง 39.8-78.4, 48.9-89.5 และ 0.4-54.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนข้าวกล้องมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลงเช่นกันแต่ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

เพิ่มขึ้น 31.6-53.8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับข้าวขัดขาวให้ผลเช่นเดียวกับกลุ่มข้าวกล้อง ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญของข้าว ขึ้นกับสายพันธุ์ และวิธีการหุงต้ม ซึ่งสารสำคัญ บางส่วนสูญเสียด้วยความร้อน อีกทั้งยังพบในน้ำแช่ข้าว ในการหุงข้าวเหนียวค้ำอีกด้วย นอกจากนี้ในตัวอย่างข้าวมีสีนั้นพบการสูญเสียความสามารถในการต้านออกซิเดชันคล้ายคลึงกับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเกือบทุกตัวอย่าง โดยสูญเสีย ระหว่าง 2.8-81.3 เปอร์เซ็นต์ แต่ในตัวอย่างข้าวสีแดงมีค่า ABTS⁺ เพิ่มขึ้น และข้าวเหนียวค้ำ กับข้าวสีม่วงอย่างละ 1 สายพันธุ์มีค่า FRAP เพิ่มขึ้นเช่นกัน สำหรับข้าวกล้องและข้าวขัดขาวพบ การเพิ่มขึ้นของค่า FRAP และ ABTS⁺ ในทุกๆตัวอย่าง ในช่วง 34.3-180.5 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่า ORAC ลดลงในช่วง 56.9-88.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของข้าว ภายหลังจากหุงต้มอาจเพิ่มขึ้น หรือลดลงได้ขึ้นอยู่กับกลุ่มของข้าว อย่างไรก็ตาม ปริมาณสำคัญใน ข้าวมีสียังคงมีปริมาณสูงกว่าข้าวไม่มีสี โดยเฉพาะข้าวสีม่วง แม้ว่าจะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสูง หรือ ข้าวไม่มีสีมีปริมาณสารสำคัญเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สารพฤกษเคมีแต่ละชนิดมีความไว และกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาต่อการทดสอบใน วิธีวิเคราะห์แต่ละวิธีแตกต่างกัน จึงควรเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน แตกต่างกันในการเปรียบเทียบการเลือกวิธีวิเคราะห์ที่ทำให้ทราบถึงสมบัติแตกต่างกัน

5.2.2 การวิเคราะห์ห่อหุ้มหรือการจำแนกกลุ่มข้าวเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำมากขึ้น น่าจะเพิ่มปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ เช่น สัดส่วนของอะไมโลส/อะไมโลเพกติน ขนาดของเมล็ด ข้าว เป็นต้น

5.2.3 การทดลองครั้งนี้ค่าความแปรปรวนของตัวแปรมีความสัมพันธ์กันเองค่อนข้างสูง ดังนั้น การจัดกลุ่มข้าวอาจใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติขั้นสูงที่เหมาะสมมากกว่านี้ เช่น Partial least squares regression (PLS) เพราะ เพื่อเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลให้มากยิ่งขึ้นไป

บรรณานุกรม

- กรมการข้าว. 2553. “พันธุ์ข้าว” ใน องค์ความรู้เรื่องข้าว. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:
http://www.brrd.in.th/rkb/data_002/rice_xx2-03_ricebreed001_0.html. (6 มิถุนายน 2553).
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2551 ก. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัท
ธรรมสาร จำกัด.
- _____ . 2551 ข. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS FOR WINDOWS.
พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: บริษัท ธรรมสาร จำกัด.
- จาดุงศ์ วาฤทธิ. มปป. คุณสมบัติทางกายภาพของผลผลิตเกษตร. เอกสารประกอบการสอน.
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.
- จิตรลดา วิชาพง. 2552. “การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูล
อิสระของข้าวโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง”. วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
ขอนแก่น.
- ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. 2544. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ = Scientific instruments. พิมพ์ครั้งที่ 3.
ขอนแก่น: ภาควิชาเคมีคลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ทรงเชาว์ อินสมพันธ์. 2531. พืชไร่อำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย. ภาควิชาพืชไร่วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- นักวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยข้าว. ข้าวและธัญพืชเมืองหนาวพันธุ์ดี 30 ปี กรมวิชาการเกษตร.
กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ปิยานันท์ ประสารราชกิจ. 2535. ทฤษฎีสีและการออกแบบตกแต่งภายใน. โครงการตำราคณะ
สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ: พรักหวาน.
- พระจันทร์ กัญญา. 2542. “ข้าวกล้องสารพัดคุณค่าทางอาหาร”. วารสารเทคโนโลยีชาวบ้าน.
เพื่อพรรณ จันท์พรหม. 2550. “สารต้านอนุมูลอิสระและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ
ของข้าวมีสีสายพันธุ์ต่างๆ และรำข้าว”. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.
กรุงเทพฯ.
- ภคณัย ทองทิอัมพร. 2550. การมองเห็นและการวัดสี. โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม.
มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2553. ความรู้เรื่องข้าว. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:
http://www.thairice.org/html/aboutrice/about_rice1.htm. (6 มิถุนายน 2553).

ไมตรี สุทธจิตต์ และ ศิริวรรณ สุทธจิตต์. 2545 ก. แอนติออกซิแดนซ์: สารป้องกัน โรคและเสริมสุขภาพ. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 21(1): 57-62.

..... 2547 ข. การวัดค่าแอนติออกซิแดนซ์ในเมล็ดข้าวสารและรำข้าวชนิดต่างๆ. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 23(2): 63-68.

รติดา โอสถานนท์. 2547. เทคโนโลยีของัญญาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

วัฒนาพร เชื้อนสุวรรณ. มปป. เอกสารคำสอนทัศนศิลป์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยพายัพ.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. “บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ”. อาหาร.

32(4): 245-253.

วิจิตา จันทราพรชัย. 2550. “การประเมินคุณภาพทางกายภาพด้านสี”. หน้า 368-388. ใน การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพิศา สมโต. 2547. “คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี และความคงตัวของข้าวไทยที่มีรวงควัดฤดู”.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

สุวดี โลวีรกรณ์. 2549. “อาหารต้านอนุมูลอิสระกับสุขภาพ”. วารสารศูนย์บริการวิชาการ.

14(3):17-22.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรัญ หาญสืบสาย. มปป. การสื่อสารสื่ออย่างแม่นยำ การควบคุมสื่อจากการรับรู้ไปสู่อุปกรณ์วัดสี.

กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อชิตยา โรจนสโรช. 2551. “สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวดำ ข้าวเหนียวดำ และข้าวแดง: การป้องกันการเป็นพิษต่อเซลล์และสารพันธุกรรมจากอนุมูลอิสระและการแสดงออกของยีนสะสมไขมัน

ในเซลล์เพาะเลี้ยง”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรุงเทพฯ.

โอภา วัชรคุปต์. (บรรณาธิการ.) 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. นนทบุรี: พี.เอส.พรีนซ์.

Abdel-Aal, E.-S.M. and Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple per carp wheats. Cereal Chemistry. 76: 350-354.

Abdel-Aal, E.-S.M., Young, J.C. and Rabalski, I. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry.

54: 4696-4704.

- Abdel-Aal, E.-S.M., Abou-Arab, A.A., Gamel, T.H., Hucl, P., Young, J. C. and Rabalski. 2008. Fractionation of blue wheat anthocyanin compounds and their contribution to antioxidant properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56:11171-11177.
- Abdul-Hamid, A., Sulaiman, R. R. R., Osman, A. and Saari, N. 2007. Preliminary study of the chemical composition of rice milling fractions stabilized by microwave heating. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20: 627–637.
- Adom, K.K. and Liu, R.H. 2002. Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(21): 6182-6187.
- Adom, K. K., Sorrells M.E. and Liu, R. H. 2003 a. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(26): 7825-7834.
- _____. 2005 b. Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(6): 2297-2306.
- Alonso-Salces, R. M., Guyot, S., Herrero, C., Berrueta, L. A., Drilleau, J-F., Gallo, B. and Vicente, F. 2005. Chemometric classification of Basque and French ciders based on their total polyphenol contents and CIELab parameters. *Food Chemistry*. 91:91-98.
- Awika, J.M., Rooney, L.W., Wu, X., Prior R.L. and Cisneros-Zenillos, L. 2003. Screening Methods to Measure Antioxidant activity of Sorghum (*sorghum bicolor*) and Sorghum products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 6657-6662.
- Bellido, G.G. and Beta, T. 2009. Anthocyanin composition and oxygen radical scavenging capacity (ORAC) of milled and pearled purple, black, and common barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(3):1022-1028.
- Benzie, I.F.F. and Strain, J.J.. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*. 239(1):70-76.
- Boateng, J., Verghese, M., Walker, L.T. and Ogutu, S. 2008. Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus spp. L.*). *LWT - Food Science and Technology*. 41(9): 1541-1547.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional Significance. *Nutrition Reviews*. 56: 317-333.

- Bunea, A., Andjelkovic, M., Socaciu, C., Bobis, O., Neacsu, M., Verhe, R. and Camp, J.V. 2008. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Food Chemistry*. 108: 649-656.
- Busat, S. and Siriamornpun, S. 2010. Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of Thai rice. *Food Chemistry*. 119(2): 606-613.
- Çam, M., Hisil, Y. and Durmaz, G. 2009. Classification of eight pomegranate juice based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chemistry*. 112:721-726.
- Castañeda-Ovando, Pacheco-Hernández, A., Ma. de L., Páez-Hernández. Ma. E., Rodríguez, J. A. and Galán-Vidal, C. A. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*. 113(4): 859-871.
- Chethan, S. and Malleshi, N.G. 2007. Finger millet polyphenols: Optimization of extraction and the effect of pH on their stability. *Food Chemistry*. 105: 862-870.
- Chotimarkorn, C., Benjakul, S. and Silalai, N. 2008. Antioxidant components and properties of five long-grained rice bran extracts from commercial available cultivars in Thailand. *Food Chemistry*. 111(3): 636-641.
- Dávalos, A., Gómez-Cordovés, C. and Bartolomé, B. 2004. Extending applicability of the oxygen radical absorbance capacity (ORAC-Fluorescein) assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(1): 48-54.
- de Mira, N.V.M., Massaretto, I.L., Pascual, C.S.C.I. and Marquez, U.M.L. 2009. Comparative study of phenolic compounds in different Brazilian rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22: 405-409.
- Drogoudi, P.D., Michailidis, Z. and Pantelidis, G. 2008. Peel and flesh antioxidant content and harvest quality characteristics of seven apple cultivars. *Scientia Horticulturae*. 115:149-153.
- Dykes, L., Rooney, L.W., Waniska, R.D. and Rooney, W.L. 2005. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 6813-6818.
- Escarpa, A. and González, M. C. 2001. Approach to the content of total extractable phenolic compounds from different food samples by comparison of chromatographic and spectrophotometric methods. *Analytica Chimica Acta*. 427(1):119-127.
- Escribano-Bailón, M.T., Santos-Buelga, C. and Rivas-Gonzalo, J.C. 2004. Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A*. 1054: 129-141.

- Ferracane, R., Pellegrini, N., Visconti, A., Graziani, G., Chiavaro, E., Miglio, C. and Fogliano, V. 2008. Effects of different cooking methods on antioxidant profile, antioxidant capacity, and physical characteristics of artichoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56 (18): 8601-8608.
- Fleuriet, A. and Macheix, J.J. 2003. Phenolic acids in fruits and vegetables. In *Flavonoids in Health and Disease*; Rice-Evans, C., Packer, L., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL. 1-42
- Frei, M. and Becker, K. 2005. Fatty acids and *all-trans*-beta-carotene are correlated in differently colored rice landraces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85: 2380–2384.
- Frankel, E.N. and Meyer, A.S. 2000. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 80: 1925-1941.
- Goffman, F.D. and Bergman, C.J. 2004. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradial efficiency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84: 1235-1240.
- Granado-Lorenzo, F. and Olmedilla-Alonso, B. 2003. Bioavailability of vitamins. In F. Granado-Lorenzo & B. Olmedilla-Alonso (Eds.). *Bioavailability of micronutrients and minor dietary compounds. Metabolic and technological aspects. Recent research developments in nutrition (Vol. 19–30)*. Kerala, India: Reasearc-Singpost.
- Harborne, J. B. and Williams, C.A. 2001. Anthocyanins and other flavonoids. *Natural Product Reports*. 18: 310–333.
- Haswell, S. J. 1992. Introduction to chemometrics. In *Practical guide to chemometrics (pp. 1–3)*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Hentschel, V., Kranl, K., Hollmann, J., Lindhauer, M. G., Bohm, V. and Bitsch, R. 2002. Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 6663–6668.
- Hiemori, M., Koh, E. and Mitchell, A.E. 2009. Influence of cooking on anthocyanins in black rice (*Oryza sativa* L. *japonica* var. SBR). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(5):1908-1914.
- Hosseinian, F. S., Li, W. and Beta, T. 2008. Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. *Food Chemistry*. 109(4): 916-924.

- Hu, C., Zawistowski, J., Ling, W. and Kitts, D.D. 2003. Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 5271-5277.
- Hu, C., Cai, Y-Z., Li, W., Corke, H. and Kitts, D.D. 2007. Anthocyanin characterization and bioactivity assessment of a dark blue grained wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Hedong Wumai) extract. *Food Chemistry*. 104: 955-961.
- Huang, D., Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. and Prior, R. L. 2002. High-Throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 4437-4444.
- Huang, D., Ou, B. and Prior, R.L. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 1841-1856.
- Hunter Lab. 2008. Evaluation of appearance. *Applications Note*. 12(6): 1-5.
- Iqbal, S., Bhangar, M.I. and Anwar, F. 2005. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in pakistan. *Food Chemistry*. 93: 265-272.
- Ismail, A., Marjan, Z.M. and Foong, C.W. 2004. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry*. 87: 581-586.
- Johnson, D.E. 1998. Principal component analysis. In: Johnson, D.E. (Ed.), *Applied multivariate methods for data analysts*. Duxbury Press/Brookes/Cole, Pacific Grove, CA, pp. 93-145.
- Kim, M.J., Hyun, J.N., Kim, J.A., Park, J.C., Kim, M.Y., Kim, J.G., Lee, S.J., Chun, S.C. and Chung, I.M. 2007. Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55: 4802-4809.
- Knievel, D.C., Abdel-Aal, E.-S.M., Rabalski, I., Nakamura, T. and Hucl, P. 2009. Grain color development and the inheritance of high anthocyanin blue aleurone and purple pericarp in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*. 50(1): 113-120.
- Kong, S. and Lee, J. 2009. Antioxidants in milling fractions of black rice cultivars. *Food Chemistry*. 120: 278-281.

- Lamberts, L. and Delcour, J.A. 2008. Carotenoids in raw and parboiled brown and milled rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 11914-11919.
- Lee, K.M., Herrman, T.J., Lingenfelter, J. and Jackson, D.S. 2005. Classification and prediction of maize hardness-associated properties using multivariate statistical analyses. *Journal of Cereal Science*. 41: 85-93.
- Li, W., Shan, F., Sun, S., Corke, H. and Beta, T. 2005. Free radical scavenging properties and phenolic content of Chinese black-grained wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(22): 8533-8536.
- Li, H. B., Wong, C.C., Cheng, K. W. and Chen, F. 2008. Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT – Food Science and Technology*. 41(3): 385-390.
- Li, W., Pickard, M.D. and Beta, T. 2007. Effect of thermal processing on antioxidant properties of purple wheat bran. *Food Chemistry*. 104: 1080-1086.
- Liyana-Pathirana, C., Dexter, J. and Shahidi, F. 2006. Antioxidant properties of wheat as affected by pearling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(17): 6177-6184.
- Lotito, S.B., Actis-Goretta, L., Renart, M.L., Caligiuri, M., Rein, D., Schmitz, H.H., Steinberg, F.M., Keen, C.L. and Fraga, C.G. 2000. Influence of oligomer chain length on the antioxidant activity of procyanidins. *Biochem Biophys Res Commun*. 276(3): 945-951.
- Madhujith, T., Izydorczyk, M. and Shahidi, F. 2006. Antioxidant properties of pearled barley fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(9): 3283-3289.
- Miller, N.J. and Evans, C.A.R. 1997. Factors influencing the antioxidant activity determined by the ABTS⁺ radical cation assay. *Free Radical Research*. 26(3): 195-199.
- Moore, J., Lui, J.G., Zhou, K. and Yu, L. 2006. Effects of genotype and environment on the antioxidant properties of hard winter wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 5313-5322.
- Mpofu, A., Sapirstein, H.D. and Beta, T. 2006. Genotype and environmental variation in phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of hard spring wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(4): 1265-1270.
- Oomah, B.D., Campbell, C.G. and Mazza, G. 1996. Effects of cultivar and environment on phenolic acids in buckwheat. *Euphytica*. 90(1): 73-77.

- Patindol, J., Flowers, A., Kuo, M.I., Wang, Y.J. and Gealy, D. 2006. Comparison of physicochemical properties and starch structure of red rice and cultivated rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 2712-2718.
- Prior, R.L., Wu, X. and Schaich, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(10): 4290-4302.
- Randhir, R., Kwon, Y.I. and Shetty, K. 2008. Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 9(3): 355-364.
- Ranilla, L.G., Genovese, M.I. and Lajolo, F.R. 2009. Effect of different cooking conditions on phenolic compounds and antioxidant capacity of some selected brazilian bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 5734-5742.
- Recamales, Á.F., Sayago, A., González-Miret, M.L. and Hernanz, D. 2006. The effect of time and storage conditions on the phenolic composition and colour of white wine. *Food Research International*. 39:220-229.
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J. and Paganga, G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*. 2:152-159.
- Rodríguez-Delgado, M. Á., González-Hernández, G., Conde-González, C. and Pérez-Trujillo, J.P. 2002. Principian component analysis of the polyphenol content in young red wines. *Food Chemistry*. 78: 523-532.
- Rodriguez-Saona L. E. and Wrolstad R.E. Anthocyanins *in* Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001. F1.1.1-F1.1.11. John Wiley & Sons, Inc.
- Ryu, S. N., Park, S. Z. and Ho, C.T. 1998. High performance liquid chromatographic determination of anthocyanin pigments in some varieties of black rice. *Journal of Food and Drug Analysis*. 6(4): 729-736.
- Shin, E.C., Craft, B.D., Pegg, R.B., Phillips, R.D. and Eitenmiller, R.R. 2010. Chemometric approach to fatty acid profiles in Runner-type peanut cultivars by principal component analysis (PCA). *Food Chemistry*. 119: 1262-1270.
- Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y. and Bao, J. 2009. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *Journal of Cereal Science*. 49: 106-111.

- Shu, X.L., Frank, T., Shu, Q.Y. and Engel, K.H. 2008. Metabolite profiling of germinating rice seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 11612-11620.
- Siddhuraju, P. and Becker, K. 2007. The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seed extracts. *Food Chemistry*. 101(1): 10-19.
- Siebenhandl, S., Grausgruber, H., Pellegrini, N., Del Rio, D., Fogliano, V., Pernice, R. and Berghofer, E. 2007. Phytochemical profile of main antioxidants in different fractions of purple and blue wheat, and black barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(21): 8541-8547.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M. and Lester, P. 1999. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*. vol. 299: Academic Press. p. 152-178.
- Škrbic, B., Durisic-Mladenovic, N. and Cvejanov, J. 2005. Principal component analysis of trace elements in serbian wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53:2171-2175.
- Soobrattee, M.A., Neergheen, V.S., Luximon-Ramma, A., Aruoma, O.I. and Bahorun, T. 2005. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 579(1-2): 200-213.
- Stintzing, F.C., Stintzing, A.S., Carle, R., Frei, B. and Wrolstad, R.E. 2002. Color and antioxidant properties of cyanidin-based anthocyanin pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(21): 6172-6181.
- Stintzing, F.C. and Carle, R. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food and in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*. 15: 19-38.
- Stratil, P., Klejdus, B. and Kubáň, V. 2007. Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruits and cereals. *Talanta*. 71(4): 1741-1751.
- Suttajit, M., Immark, S., Teerajan, S., Suttajit, S. and Chiyasut, C. 2006. Antioxidative activity and polyphenol content in different varieties of Thai rice grains. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 15(Suppl):78.
- Tabart, J., Kevers, C., Pincemail, J., Defraigne, J.O. and Dommes, J. 2009. Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food Chemistry*. 113(4): 1226-1233.

- Tian, S., Nakamura, K., Cui, T. and Kayahara, H. 2005. High-performance liquid chromatographic determination of phenolic compounds in rice. *J. Chromatography A*. 1063: 121-128.
- Tsao, R. and Yang, R. 2003. Optimization of a new mobile phase to know the complex and real polyphenolic composition: towards a total phenolic index using high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*. 1018(1): 29-40.
- Turkmen, N., Sari, F. and Velioglu Y. S. 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*. 93:713-718.
- Xu, B.J., Yuan, S.H. and Chang, S.K.C. 2007. Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. *Journal of Food Science*. 72(2): S167-S177.
- Xu, B. and Chang, S.K.C. 2008 a. Effect of soaking, boiling and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. *Food Chemistry*. 110: 1-13.
- Xu, B. and Chang, S.K.C. 2009 b. Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 4754-4764.
- Yawadio, R., Tanimori, S. and Morita, N. 2007. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry*. 101: 1616-1625.
- Yu, L., Haley, S., Perret, J., Harris, M., Wilson, J. and Qian, M. 2002. Free radical scavenging properties of wheat extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(6): 1619-1624.
- Yu, L. S. Haley, J. Perret and M. Harris. 2004. Comparison of wheat flours grown at different locations for their antioxidant properties. *Food Chemistry*. 86: 11-16.
- Zeng, Y., Wang, L., Du, J., Lui, J. Yang, S., Pu, X. and Xiao, S. 2009. Elemental content in brown rice by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy reveals the evolution of asian cultivated rice. *Journal of Integrative Plant Biology*. 51: 466-475.
- Zhang, M., Chen, H., Li, J., Pei, Y. and Liang, Y. 2010. Antioxidant properties of tartary buckwheat extracts as affected by different thermal processing methods. *LWT - Food Science and Technology*. 43(1): 181-185.

Zhou, K. and Yu, L. 2004. Effects of extraction solvent on wheat bran antioxidant activity estimation. *LWT - Food Science and Technology*. 37: 717-721.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1 ค่าพารามิเตอร์สีต่างๆ

ข้าว			L^*	a^*	b^*	C^o	h^o	ΔE
ประเภท	กลุ่ม	ตัวอย่าง						
ข้าวมีดี	ข้าวเหนียวดำ	GDR_1	63.60±0.62 ^z	3.39±0.08 ^o	1.72±0.11 ^{zd}	3.80±0.08 ^{zd}	26.94±1.64 ^u	30.89±0.63 ^{e-f}
		GDR_2	64.02±0.54 ^{y-z}	2.99±0.35 ^q	1.71±0.08 ^{zd}	3.45±0.32 ^{zf}	29.95±2.80 ^t	30.44±0.53 ^{e-f}
		GDR_3	64.72±0.43 ^x	3.38±0.07 ^o	0.91±0.05 ^{ze}	3.50±0.07 ^{ze-zf}	15.02±0.87 ^w	29.91±0.43 ^{f-g}
		GDR_4	64.77±0.83 ^x	3.12±0.14 ^p	2.29±0.09 ^{zc}	3.87±0.11 ^{zd}	36.31±1.72 ^q	29.63±0.83 ^g
		GDR_5	62.24±0.73 ^{za}	4.00±0.10 ^m	1.84±0.07 ^{zd}	4.40±0.11 ^{zc}	24.75±0.70 ^v	32.29±0.73 ^d
		GDR_6	71.15±0.46 ^p	2.81±0.10 ^r	4.12±0.13 ^{w-x}	4.99±0.12 ^{za}	55.73±1.26 ^l	23.11±0.47 ^o
		GDR_7	69.89±0.58 ^s	3.03±0.20 ^q	4.22±0.12 ^{w-x}	5.20±0.16 ^z	54.42±1.80 ^l	24.37±0.57 ⁿ
		GDR_8	66.79±0.37 ^u	3.43±0.06 ^o	3.26±0.11 ^{za}	4.73±0.10 ^{zb}	43.56±0.88 ^o	27.57±0.37 ^j
		GDR_9	66.40±0.53 ^v	4.21±0.18 ^{k-l}	4.11±0.16 ^x	5.89±0.15 ^x	44.31±1.83 ^o	28.00±0.54 ⁱ
		GDR_10	65.73±0.66 ^w	4.15±0.09 ^l	4.04±0.14 ^x	5.79±0.13 ^x	44.26±0.95 ^o	28.65±0.65 ^h
		GDR_11	64.51±0.36 ^{x-y}	3.69±0.07 ⁿ	3.62±0.11 ^y	5.17±0.11 ^z	44.41±0.90 ^o	29.83±0.37 ^g
		GDR_12	59.85±0.67 ^{zc}	3.51±0.20 ^o	0.92±0.07 ^{ze}	3.63±0.20 ^{ze}	14.61±1.20 ^w	34.70±0.66 ^b

หมายเหตุ พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p< 0.05)

ตารางที่ ก1 (ต่อ)

ประเภท	ข้าว		L^*	a^*	b^*	C^p	h^o	ΔE
	กลุ่ม	ตัวอย่าง						
ข้าวสีม่วง		PR_1	59.76±0.53 ^{zc}	4.49±0.07 ^j	3.07±0.07 ^{zb}	5.44±0.07 ^y	34.40±0.64 ^{r-s}	34.66±0.53 ^b
		PR_2	61.30±0.50 ^{zb}	4.17±0.07 ^l	2.90±0.13 ^{zb}	5.08±0.10 ^{z-za}	34.83±1.23 ^{q-r}	33.12±0.49 ^c
		PR_3	56.70±0.42 ^{zd}	6.05±0.11 ^h	4.42±0.16 ^v	7.49±0.15 ^v	36.18±0.97 ^q	37.84±0.42 ^a
		PR_4	78.04±0.16 ^l	5.40±0.19 ^l	3.48±0.21 ^{y-z}	6.42±0.06 ^w	32.81±2.43 ^s	17.06±0.18 ^r
		PR_5	62.11±0.34 ^{za}	4.38±0.05 ^{j-k}	3.39±0.12 ^{z-za}	5.54±0.09 ^y	37.74±0.99 ^p	32.31±0.34 ^d
ข้าวสีดี	ข้าวสีดีแดง	RR_1	70.02±0.55 ^{r-s}	9.31±0.20 ^b	12.45±0.22 ^{k-l}	15.54±0.29 ^a	53.21±0.29 ^m	26.59±0.61 ^k
		RR_2	70.37±0.34 ^{q-r}	8.58±0.14 ^c	12.32±0.17 ^{k-m}	15.01±0.20 ^b	55.14±0.38 ^l	25.99±0.37 ^l
		RR_3	67.62±0.37 ^t	9.95±0.13 ^a	11.43±0.14 ^{p-q}	15.15±0.17 ^b	48.97±0.29 ⁿ	28.78±0.40 ^h
		RR_4	70.68±0.44 ^q	7.85±0.14 ^d	11.38±0.16 ^{p-q}	13.83±0.20 ^{d-e}	55.39±0.27 ^l	25.25±0.47 ^m
	ข้าวสีดี	RR_5	72.88±0.47 ^o	7.59±0.14 ^e	11.37±0.14 ^{p-q}	13.67±0.17 ^f	56.28±0.38 ^l	23.13±0.48 ^o
		RR_6	74.18±0.69 ⁿ	7.40±0.14 ^f	10.91±0.16 ^r	13.18±0.20 ^g	55.85±0.27 ^l	21.79±0.68 ^p
		RR_7	75.01±0.26 ^m	7.76±0.10 ^d	12.87±0.11 ^{r-g}	15.03±0.13 ^b	58.90±0.23 ^k	21.71±0.27 ^p
		RR_8	75.18±0.43 ^m	6.68±0.15 ^g	10.10±0.13 ^t	12.11±0.15 ^q	56.52±0.58 ^l	20.44±0.44 ^q

หมายเหตุ พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ ก1 (ต่อ)

ประเภท	ข้าว		L^*	a^*	b^*	C^o	h^o	ΔE
	กลุ่ม	ตัวอย่าง						
ข้าวไม่หีต	ข้าวกล้อง	BR_1	86.68±0.15 ^{e-g}	1.28±0.04 ^{x-z}	12.74±0.11 ^{g-h}	12.80±0.11 ^{j-k}	84.27±0.17 ^{d-h}	10.12±0.17 ^{x-za}
		BR_2	85.33±0.28 ^{i-k}	1.34±0.05 ^{w-y}	13.11±0.21 ^e	13.18±0.21 ^{g-h}	84.18±0.17 ^{e-h}	11.37±0.33 ^{t-u}
		BR_3	86.55±0.20 ^{f-h}	1.61±0.05 ^{t-u}	11.44±0.16 ^p	11.55±0.16 ^r	82.00±0.21 ^j	9.44±0.23 ^{zb-zd}
		BR_4	87.76±0.16 ^d	1.71±0.06 ^{s-t}	11.95±0.18 ^o	12.07±0.18 ^q	81.87±0.24 ^j	8.89±0.19 ^{ze}
		BR_5	88.83±0.15 ^b	1.13±0.06 ^{z-zb}	10.50±0.17 ^s	10.56±0.17 ^u	83.84±0.27 ^{f-i}	7.04±0.18 ^{zg}
		BR_6	86.39±0.18 ^{g-h}	0.97±0.06 ^{zd-ze}	12.66±0.15 ^{h-i}	12.69±0.15 ^{k-l}	85.62±0.27 ^{b-e}	10.24±0.19 ^{x-za}
		BR_7	86.60±0.19 ^{e-g}	1.25±0.04 ^{y-za}	12.29±0.17 ^{l-m}	12.36±0.17 ⁿ	84.19±0.17 ^{d-h}	9.88±0.23 ^{z-zc}
		BR_8	86.52±0.24 ^{f-h}	1.06±0.05 ^{zb-zd}	12.14±0.21 ^{n-o}	12.19±0.21 ^{p-q}	85.00±0.18 ^{d-g}	9.82±0.22 ^{za-zc}
		BR_9	86.36±0.23 ^{f-h}	1.80±0.06 ^s	13.62±0.20 ^c	13.74±0.21 ^{e-f}	82.45±0.24 ^{i-j}	11.03±0.25 ^{u-w}
		BR_10	87.75±0.17 ^d	0.91±0.05 ^{ze-zf}	11.29±0.23 ^q	11.32±0.23 ^s	85.40±0.22 ^{c-f}	8.32±0.21 ^{zf}
		BR_11	86.99±0.21 ^{e-f}	1.25±0.07 ^{y-za}	11.97±0.17 ^o	12.04±0.17 ^q	84.02±0.26 ^{f-h}	9.38±0.26 ^{zc-ze}
		BR_12	87.12±0.25 ^e	0.94±0.06 ^{zd-zf}	12.93±0.15 ^{f-g}	12.96±0.15 ^{i-j}	85.86±0.28 ^{b-d}	9.89±0.21 ^{z-zc}
		BR_13	85.07±0.20 ^{j-k}	0.83±0.07 ^{zf}	13.65±0.27 ^c	13.67±0.27 ^{e-f}	86.50±0.27 ^{b-c}	11.87±0.26 ^s

หมายเหตุ พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ ก1 (ต่อ)

ประเภท	ข้าว		L^*	a^*	b^*	C^o	h^o	ΔE	
	กลุ่ม	ตัวอย่าง							
ข้าวไม่สี	ข้าวกล้อง	BR_14	85.91±0.19 ^{h-i}	1.39±0.04 ^{w-x}	12.44±0.15 ^{j-k}	12.52±0.15 ^m	83.65±0.14 ^{g-l}	10.51±0.21 ^{v-y}	
		BR_15	86.75±0.23 ^{e-g}	1.53±0.06 ^{u-v}	14.16±0.12 ^a	14.24±0.12 ^c	83.84±0.23 ^{f-i}	11.11±0.20 ^{u-v}	
		BR_16	86.41±0.17 ^{g-h}	1.11±0.06 ^{z-zc}	13.00±0.12 ^{e-f}	13.05±0.12 ^{h-i}	85.11±0.25 ^{c-g}	10.47±0.19 ^{w-z}	
		BR_17	85.68±0.24 ⁱ	1.46±0.05 ^{v-w}	11.41±0.16 ^{p-q}	11.51±0.16 ^r	82.69±0.25 ^{h-j}	10.11±0.22 ^{y-zb}	
		BR_18	88.48±0.26 ^{b-c}	0.66±0.06 ^{zg}	12.07±0.16 ^{n-o}	12.09±0.16 ^q	86.89±0.25 ^b	8.32±0.26 ^{zf}	
		BR_19	84.87±0.21 ^k	-0.13±0.04 ^{zh}	13.25±0.18 ^d	13.25±0.18 ^g	90.58±0.18 ^a	11.72±0.24 ^{s-t}	
		BR_20	88.07±0.20 ^{c-d}	1.13±0.04 ^{z-zc}	10.96±0.11 ^r	11.02±0.11 ^t	84.14±0.17 ^{e-h}	7.90±0.17 ^{zf}	
		BR_21	87.85±0.20 ^d	1.07±0.05 ^{zb-zd}	12.60±0.19 ^{i-j}	12.65±0.19 ^{l-m}	85.13±0.19 ^{c-g}	9.18±0.26 ^{zd-ze}	
		BR_22	86.35±0.18 ^{g-h}	1.28±0.05 ^{x-z}	12.20±0.15 ^{m-n}	12.26±0.15 ^{o-p}	83.99±0.24 ^{e-h}	10.01±0.20 ^{y-zb}	
		BR_23	85.39±0.24 ^{i-k}	1.58±0.05 ^{u-v}	13.85±0.18 ^b	13.94±0.18 ^{d-e}	83.49±0.19 ^{g-i}	11.85±0.21 ^{s-t}	
		BR_24	85.65±0.25 ^{i-j}	1.00±0.04 ^{zc-ze}	12.32±0.13 ^{k-l}	12.36±0.13 ⁿ	85.35±0.16 ^{c-f}	10.60±0.24 ^{v-x}	
		BR_25	86.43±0.21 ^{f-h}	1.08±0.05 ^{zb-zd}	11.96±0.15 ^o	12.01±0.15 ^q	84.74±0.21 ^{d-g}	9.78±0.21 ^{za-zc}	
		ข้าวดขาว	WR_1	94.00±0.18 ^a	-0.11±0.03 ^{zh}	5.90±0.12 ^u	5.90±0.12 ^x	91.10±0.28 ^a	0.00±0.00

หมายเหตุ พิจารณาอักษรภาษาอังกฤษ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลาย และ สารสกัดข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

ชั่งกรดแกลลิก 0.0200 ± 0.003 กรัม ละลายด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ได้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2. สารละลายมาตรฐาน 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox)

ชั่ง Trolox 0.025 กรัม ละลายด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายมาตรฐาน Trolox ที่มีความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3. สารละลายมาตรฐานของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์

เตรียมสารละลายมาตรฐานของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ชั่งสารมาตรฐานจำนวน 0.0010 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยเมทานอลที่ผสมกรดไฮโดรคลอริก 1.0 นอร์มอล (85:15 v/v) ให้ครบ 5 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (stock standard)

กรองสารละลายมาตรฐาน ผ่านเยื่อกรอง แบบ PTFE ขนาด 0.2 ไมครอน ลงในขวดสีชา ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

4. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 10 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

5. สารละลาย FRAP reagent

1.) อะซิเตต บัฟเฟอร์ (acetate buffer) pH 3.6 ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ชั่ง โซเดียมอะซิเตท ไตรไฮเดรต 3.1 กรัม ผสมกับ กรดแกลเชียตอะซิติก 16 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ เป็น 1 ลิตร

2.) สารละลาย HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3.31 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เป็น 1 ลิตร

3.) สารละลาย TPTZ (2,4,6-Tris (2-pyridyl)-s-triazine) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ในไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ชั่ง TPTZ 0.0624 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ 20 มิลลิลิตร

4.) สารละลาย $FeCl_3$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ชั่ง $FeCl_3$ 0.1082 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร

5.) FRAP reagent ผสมสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยให้มีอัตราส่วนของอะซีเตต บัฟเฟอร์: สารละลาย TPTZ: สารละลาย FeCl_3 เป็น 10: 1 : 1 โดยปริมาตร ซึ่งจะต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำการศึกษาทดลอง

6. สารละลาย ABTS

ABTS ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ชั่ง ABTS 0.2742 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำสารละลาย ABTS ที่เตรียม เติมแมงกานีสไดออกไซด์ 2-3 กรัม คนผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 30 นาทีในที่มืด กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4

ก่อนทำการวิเคราะห์ เจือจาง สารละลาย ABTS ด้วยน้ำกลั่น ให้มีค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 0.700 ± 0.05 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ซึ่งจะต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำการศึกษาวิเคราะห์

7. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

เตรียม สารละลาย ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 75 มิลลิโมลาร์ พีเอช 7.4 ชั่ง $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 17.12 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร จากนั้นชั่ง KH_2PO_4 5.1034 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร นำสารละลาย $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ มา 802 มิลลิลิตร ผสมกับ สารละลายเตรียม KH_2PO_4 198 มิลลิลิตร คนผสมให้เข้ากัน เก็บที่ อุณหภูมิ แช่เย็น

8. สารละลายฟลูออเรสซิน ในสารละลายบัฟเฟอร์

Stock solution ชั่ง ฟลูออเรสซิน 0.1881 กรัม ละลายด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ได้ Stock solution ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ เก็บในขวดสีชาที่ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน

Working solution ทำการเจือจาง stock solution ให้มีความเข้มข้น 10 นาโนโมลาร์ ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชาที่ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

9. สารละลาย AAPH (2,2'-azobis-2-methyl-propanimidamide, dihydrochloride)

ชั่ง AAPH 0.414 กรัม ละลายด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตร ได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ โดยเก็บไว้ในอ่างน้ำแข็ง ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้งานและใช้ภายใน 8 ชั่วโมง

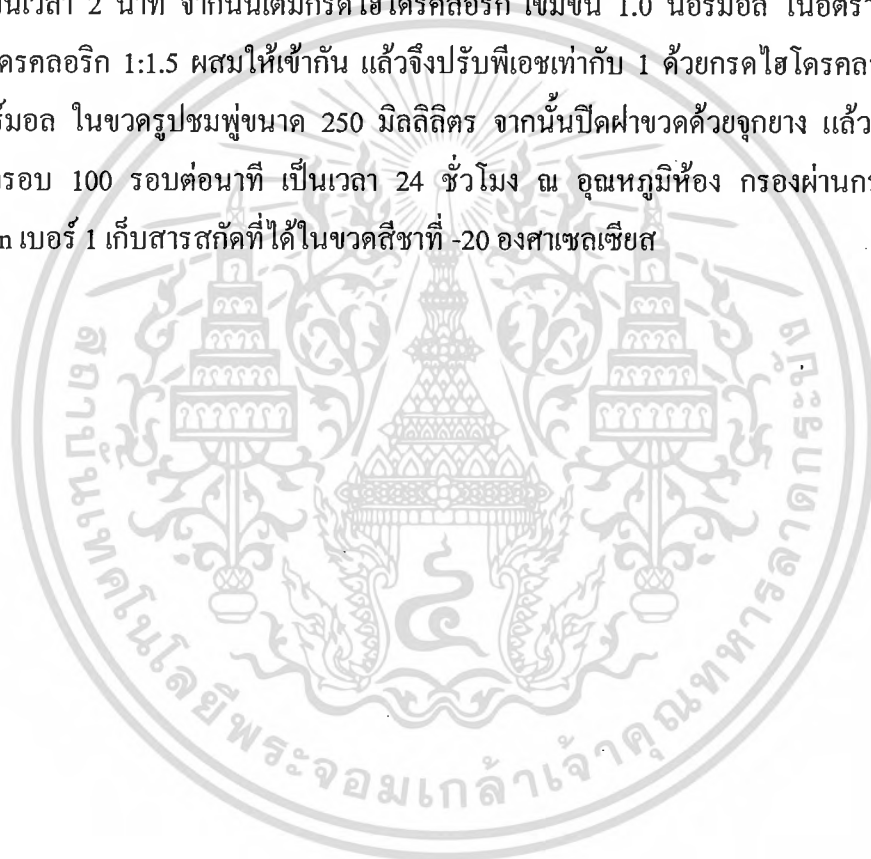
10. เฟสเคลื่อนที่

เมธานอล กรองผ่านเยื่อกรอง แบบ PTFE ขนาด 0.2 ไมครอน จากนั้นนำไปไล้ฟองอากาศด้วยเครื่องเขย่าความถี่สูงเป็นเวลา 30 นาที

กรดฟอร์มิก 5 เปอร์เซ็นต์ กรองผ่านเยื่อกรอง แบบ เซลลูโลส อะซีเตต ขนาด 0.2 ไมครอน จากนั้นนำไปไล้ฟองอากาศด้วยเครื่องเขย่าความถี่สูงเป็นเวลา 30 นาที

11. การสกัดข้าวหุงสุก

นำข้าวสุกมาผสมกับเมธานอล ในอัตราส่วน 1:8.5 นำหนักต่อปริมาตร (w/v) ปั่นผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1.0 นอร์มอล ในอัตราส่วนข้าวต่อกรดไฮโดรคลอริก 1:1.5 ผสมให้เข้ากัน แล้วจึงปรับพีเอชเท่ากับ 1 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 4.0 นอร์มอล ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาขวดด้วยจุกยาง แล้วนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่ -20 องศาเซลเซียส



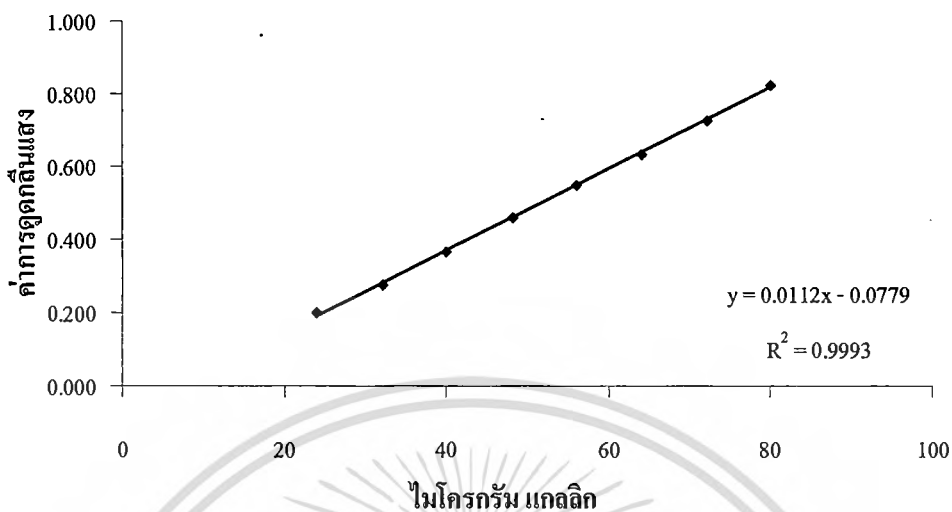


ภาคผนวก ค

กราฟมาตรฐาน และ ตัวอย่างการคำนวณ

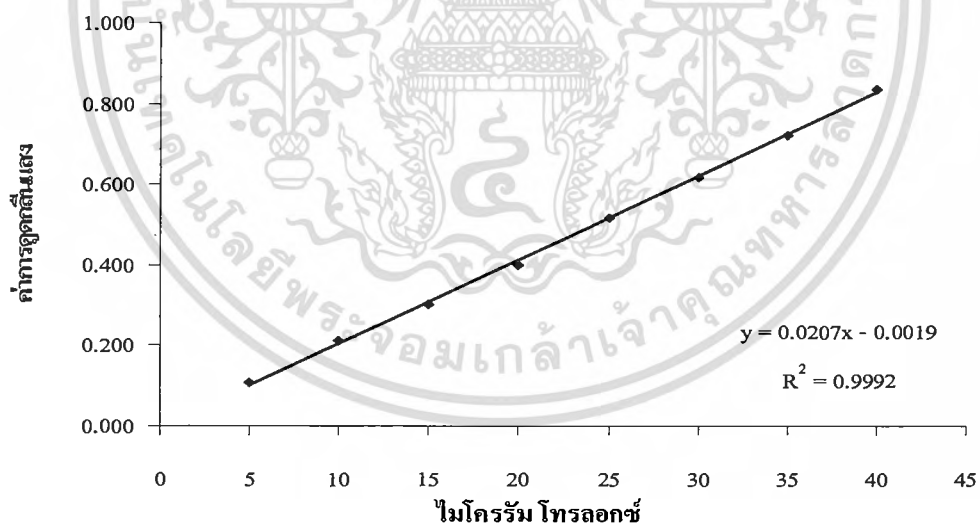
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC)



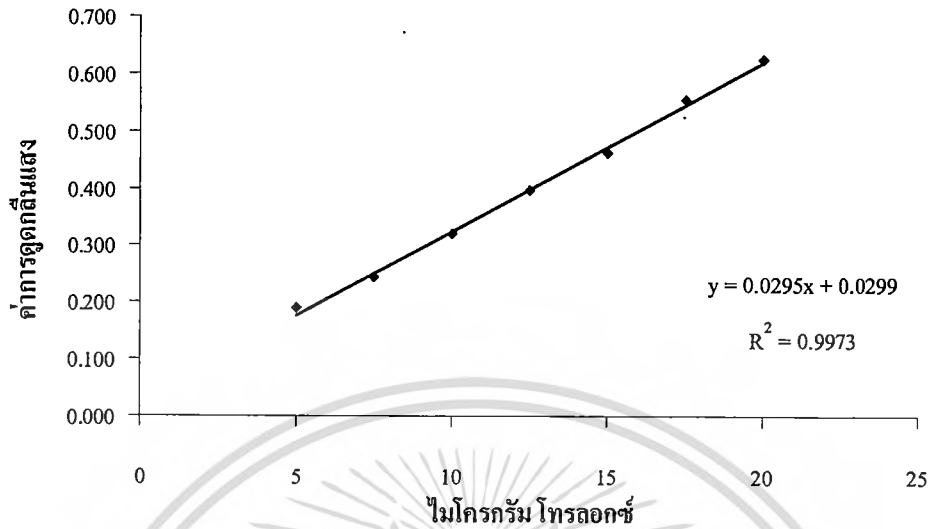
ภาพที่ ค 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแกลลิกและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

2. ความสามารถในการรีดิวซ์ทั้งหมด (FRAP)



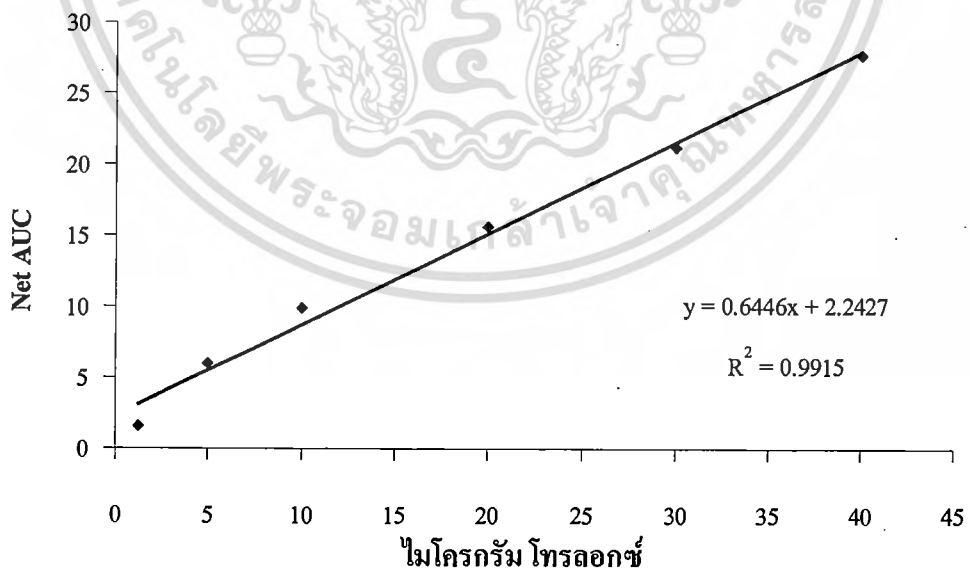
ภาพที่ ค 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ โทรลอกซ์และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

3. ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS⁺



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Trolox และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

4. ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ORAC



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Trolox กับพื้นที่ใต้กราฟ ที่ความยาวคลื่นของการกระตุ้น (excitation) 485 นาโนเมตร และความยาวคลื่นของการเปล่งแสง (emission) 535 นาโนเมตร

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

สมการจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

$$y = 0.0112x + 0.0779 ; R^2 = 0.9993$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

x = ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ไมโครกรัม/ มิลลิลิตร)

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดจากตัวอย่าง A มีความเข้มข้นเท่ากับ 7.76 เปอร์เซ็นต์

dilution factor เท่ากับ 1

ค่าการดูดกลืนแสง เท่ากับ 0.576

แทนค่าในสมการจะได้

$$0.576 = 0.0112x$$

$$x = 205.7 \text{ ไมโครกรัม / มิลลิลิตร}$$

สารเจือจาง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด x dilution factor

$$205.7 \times 1 = 205.7 \text{ ไมโครกรัม / มิลลิลิตร}$$

สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด = 205.7 ไมโครกรัม / มิลลิลิตร สารสกัด

ตัวอย่างมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด = 20,570 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตรของสารสกัด

ในสารสกัดตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร เตรียมได้จากการสกัดตัวอย่าง 10 กรัม น้ำหนักสด

ข้าวมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด = 2,057 ไมโครกรัม / 1 กรัมตัวอย่าง น้ำหนักสด

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างต่อน้ำหนักแห้ง คำนวณจาก

$$\text{ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด} = \frac{\text{ไมโครกรัม / กรัมตัวอย่าง น้ำหนักสด}}{1 - (\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น}/100)}$$

$$= \frac{2,057 \text{ ไมโครกรัม / กรัมตัวอย่าง น้ำหนักสด}}{1 - (7.76/100)}$$

$$= 2,230 \text{ ไมโครกรัม / กรัมตัวอย่าง น้ำหนักแห้ง}$$

$$= 2.230 \text{ มิลลิกรัม / กรัมตัวอย่าง น้ำหนักแห้ง}$$

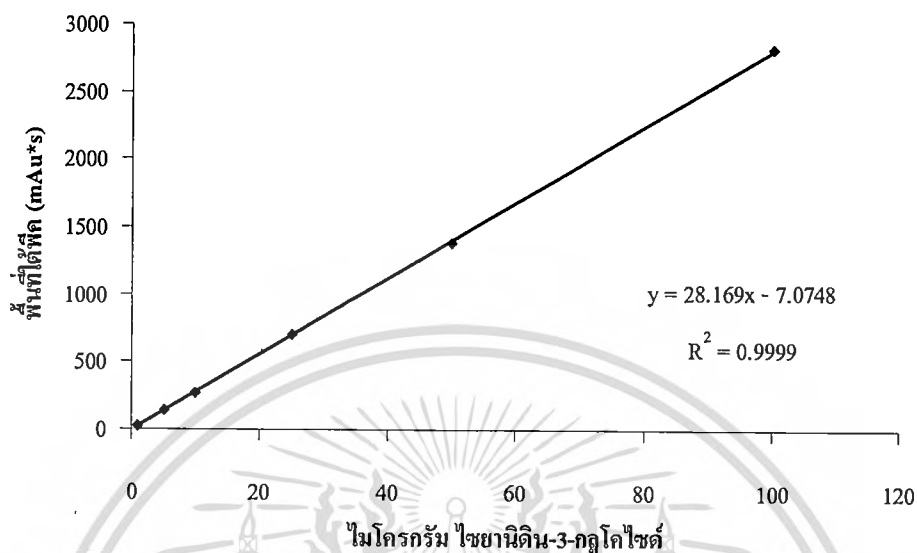
$$= 2.230 \text{ มิลลิกรัม / กรัมตัวอย่าง น้ำหนักแห้ง}$$

$$\text{คิดเป็น } 2.230 \text{ มิลลิกรัม / กรัมตัวอย่าง น้ำหนักแห้ง}$$

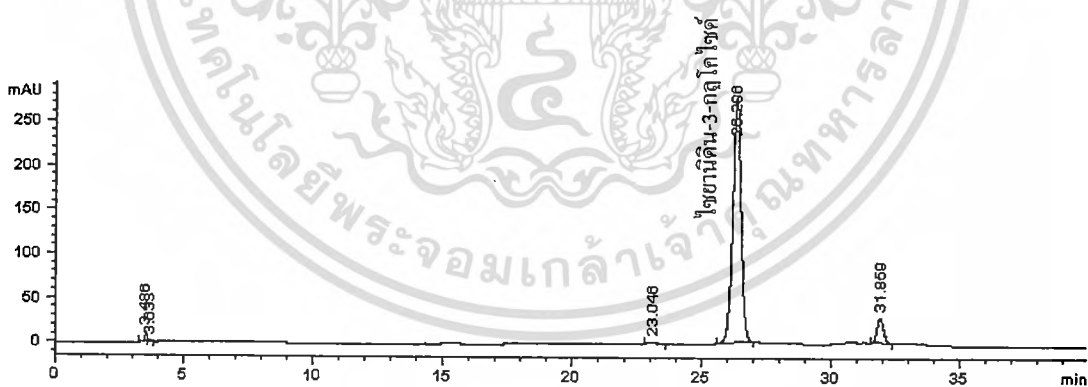


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ในการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC



ภาพที่ 2 โครมาโตแกรมสารสกัดข้าว GDR_11