

ผลของระยะเวลาการงอกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอก  
สามสายพันธุ์

EFFECT OF GERMINATION TIME ON CONTENTS OF BIOACTIVE  
COMPONENTS IN THREE CULTIVARS OF GERMINATED BROWN RICE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอก

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-AI-M-056-061

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของระยะเวลาการงอกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอก  
สามสายพันธุ์

EFFECT OF GERMINATION TIME ON CONTENTS OF BIOACTIVE  
COMPONENTS IN THREE CULTIVARS OF GERMINATED BROWN RICE



T107445

ปาริชาติ หิรัญพงษ์  
PARICHAT HIRUNPONG

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 107445  
วัน,เดือน,ปี 29 ส.ค. 2553

|        |
|--------|
| b..... |
| i..... |

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2552  
KMITL-2009-AI-M-053-061

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EFFECT OF GERMINATION TIME ON CONTENTS OF BIOACTIVE  
COMPONENTS IN THREE CULTIVARS OF GERMINATED BROWN RICE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
FACULTY OF AGRO-INDUSTY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2009  
KMITL-2009-AI-M-053-061**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2009**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของระยะเวลาการงอกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกสามสายพันธุ์  
Effect of Germination time on Contents of Bioactive Components in three cultivars of Germinated Brown Rice

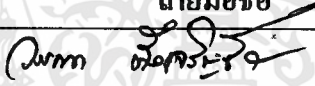


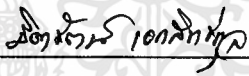
ชื่อนักศึกษา นางสาวปาริชาติ หิรัญพงษ์

รหัสประจำตัว 48068508

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วรรณณา ตั้งเจริญชัย

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์    | ลายมือชื่อ   |
|-----------------------------|--|
| รศ.ดร.วรรณณา ตั้งเจริญชัย   |    |
| รศ.ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์     |    |
| ดร.ประมวล ศรีกาหลง          |   |
| ผศ.ดร.ธิดารัตน์ เอกสิทธิกุล |  |

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 20 ตุลาคม 2552 เวลา 14.30 น. เป็นต้นไป  
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

  
รักษาการคณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร  
วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 53

สำเนา...และประมวลผล สอด.  
วันที่ส่ง...ฉบับสมบูรณ์  
วันที่...เดือน...พ.ศ. 53  
ลงชื่อ...  
.....

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์           | ผลของระยะเวลาการงอกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกสามสายพันธุ์ |
| นักศึกษา                    | ปารีชาติ หิรัญพงษ์  |
| รหัสประจำตัว                | 48068508  |
| ปริญญา                      | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต   |
| สาขาวิชา                    | วิทยาศาสตรการอาหาร  |
| พ.ศ.                        | 2552  |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | รศ.ดร. วรรณมา ตั้งเจริญชัย  |

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ต้องการทราบถึงผลของการงอกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ105, กข23 และ ชัยนาท1 ข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์นี้สามารถดูดซับน้ำสูงสุดที่อุณหภูมิ  $35\pm 1$  องศาเซลเซียส ในเวลา 2, 3 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ พบปัจจัยของระยะเวลาการงอกที่อุณหภูมิ  $35\pm 1$  องศาเซลเซียส ระหว่าง 6-24 ชั่วโมงและพันธุ์ข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP) ในเมล็ดข้าวกล้องงอก ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ระยะเวลาการทำงานงอก 24 ชั่วโมงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอลสูงสุดเท่ากับ  $4.91\pm 0.10$  กรัมต่อ 100 กรัม  $19.18\pm 0.28$  มิลลิกรัมแกลดิกต่อ 100 กรัม และ  $25.51\pm 0.36$  มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP) ของข้าวพันธุ์กข 23 พบในข้าวกล้องงอกสูงสุด ( $0.411\pm 0.022$  และ  $0.533\pm 0.030$  มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) ไม่พบ GABA ในข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ ระยะเวลาของการทำงานงอกมีแนวโน้มต่อการเพิ่มปริมาณ GABA ในจมูกข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ เวลาการทำงานงอก 24 ชั่วโมง พบปริมาณ GABA ในจมูกข้าวเท่ากับ 70, 70 และ 170 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมจมูกข้าว ตามลำดับ พบปริมาณวิตามินอีในข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์เท่ากับ  $0.248\pm 0.001$ ,  $0.134\pm 0.001$  และ  $0.426\pm 0.0001$  มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการงอก 24 ชั่วโมง พบปริมาณวิตามินอีเพิ่มขึ้นเป็น  $0.271\pm 0.001$ ,  $0.140\pm 0.001$  และ  $0.464\pm 0.007$  มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ การหุงต้มข้าวกล้องงอกมีผลต่อการลดลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ( $p\leq 0.05$ )

**Thesis Title** Effect of Germination time on Contents of Bioactive Components in three Cultivars of Germinated Brown Rice

**Student** Miss Parichat Hirunpong

**Student ID** 48068508

**Degree** Master of Science

**Program** Food Science

**Year** 2009

**Thesis Advisor** Assoc. Prof. Dr. Wanna Tungjaroenchai

### ABSTRACT

The objective of this study was to investigate an effect of germination time on contents of bioactive components in germinated brown rice (GBR) of three rice cultivars. Brown rice (BR) of three cultivars: Khow Dok mali 105, Kor-khor 23, and Chainart 1, had maximal water uptake at a temperature of  $35\pm 1$  °C, within 2, 3, and 3 hours, respectively. Influences of germination time at the temperature of  $35\pm 1$  °C during 6-24 hours, and cultivars were found on changes in contents of reducing sugar, bioactive components and antioxidative activity (DPPH, FRAP) in GBR. GBR of Chainart 1 from 24 hour germination was found the highest contents of reducing sugar, Total phenolic compound and  $\gamma$ -oryzanol ( $4.91\pm 0.10$  g/100g,  $19.18\pm 0.28$  mg gallic/100g and  $25.51\pm 0.36$  mg /100g, respectively). Antioxidative activity (DPPH and FRAP) of Kho-khor 23 -BR showed the highest activity of  $0.411\pm 0.022$  and  $0.533\pm 0.030$  mg/g, respectively. Gamma-amino butyric acid (GABA) was not found in BR of either cultivar. However, this compound was found developed in GBR upon germination time. Concentrations of GABA of GBR's of the three cultivars were 70, 70, and 170 mg/100g of embryo respectively. Vitamin E contents in BR of the three cultivars were  $0.248\pm 0.001$ ,  $0.134\pm 0.001$  and  $0.426\pm 0.0001$  mg/ 100 g flour, respectively. As a result of 24 hour germination, the concentrations of this vitamin E increased to  $0.271\pm 0.001$ ,  $0.140\pm 0.001$  and  $0.464\pm 0.007$  mg/ 100 g flour, respectively. Cooking of the GBR had effect on decreased in reducing sugar, Total phenolic compound,  $\gamma$ -oryzanol and antioxidative activity (DPPH, FRAP) ( $p\leq 0.05$ )

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยการให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่องสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกจาก รศ.ดร.วรรณมา ตั้งเจริญชัย อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้ และให้คำแนะนำต่าง ๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการอนุเคราะห์วิเคราะห์ปริมาณวิตามินอี และนักศึกษาภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือในการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินอี

ขอขอบคุณ นางสาวนรากร พรหมไกรวร ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP)

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ในการเรียน รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง นักศึกษา และเจ้าหน้าที่ในคณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือ จนสามารถทำงานวิจัยได้เสร็จสมบูรณ์

สำหรับคุณค่าและประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปาริชาติ หิรัญพงษ์

# สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                        | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                     | II   |
| กิตติกรรมประกาศ.....                        | III  |
| สารบัญ.....                                 | IV   |
| สารบัญตาราง.....                            | VI   |
| สารบัญรูป.....                              | VII  |
| บทที่ 1 บทนำ.....                           | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มา.....                  | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....            | 2    |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3    |
| 2.1 ข้าวกล้อง.....                          | 3    |
| 2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง.....    | 3    |
| 2.1.2 โครงสร้างของข้าวกล้อง.....            | 5    |
| 2.1.3 คุณค่าทางอาหารอื่นๆ ของข้าวกล้อง..... | 6    |
| 2.2 การดูดซับน้ำของข้าว 3 สายพันธุ์.....    | 7    |
| 2.3 ข้าวกล้องงอก.....                       | 8    |
| 2.4 สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้อง.....      | 9    |
| 2.4.1 สารประกอบฟีนอล.....                   | 9    |
| 2.4.2 แกมมาออร์ซิซานอล.....                 | 10   |
| 2.4.3 กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก.....           | 11   |
| 2.4.4 วิตามินอี.....                        | 15   |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....         | 18   |
| 3.1 วัตถุประสงค์.....                       | 18   |
| 3.2 อุปกรณ์.....                            | 18   |
| 3.3 สารเคมี.....                            | 19   |
| 3.4 วิธีการทดลอง.....                       | 19   |

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....  | 27   |
| 4.1 ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับน้ำของข้าวกล้อง.....  | 27   |
| 4.2 ผลการศึกษาน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้าน<br>อนุมูลอิสระในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน... | 28   |
| 4.2.1 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและความ<br>สามารถในการต้านอนุมูลอิสระ.....                                      | 29   |
| 4.2.2 ผลของเวลาต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและความสามารถ<br>ในการต้านอนุมูลอิสระ.....  | 32   |
| 4.2.3 ผลของเวลาและพันธุ์ข้าวต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและ<br>ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ.....                               | 36   |
| 4.2.4 ผลของพันธุ์ข้าว 3 สายพันธุ์และระยะเวลาการงอกต่อปริมาณ GABA<br>ในจมูกข้าว.....  | 39   |
| 4.2.5 ผลของปริมาณวิตามินอีในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกในข้าว 3 สาย<br>พันธุ์.....  | 42   |
| 4.3 ผลการหุงสุกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและความสามารถในการต้าน<br>อนุมูลอิสระในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์.....  | 43   |
| 4.3.1 ผลของการหุงสุกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์.....  | 43   |
| 4.3.2 ผลของการหุงสุกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด.....  | 44   |
| 4.3.3 ผลของการหุงสุกต่อปริมาณแกมมาออริซานอล.....   | 45   |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....  | 47   |
| บรรณานุกรม.....  | 48   |
| ภาคผนวก ก .....  | 54   |
| ภาคผนวก ข .....  | 64   |
| ภาคผนวก ค .....  | 71   |

# สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากขัดสีที่ความชื้น 14 % ....  | 5    |
| 2.2 โภชนสารในข้าวกล้องงอกและผลต่อสุขภาพ.....   | 14   |
| 4.1 ผลของปัจจัยการงอกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถด้านอนุมูลอิสระ.....  | 29   |
| 4.2 ผลของสายพันธุ์ข้าวต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน.....  | 30   |
| 4.3 ผลของเวลาต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์.....   | 33   |
| 4.4 ผลของพันธุ์ข้าวและเวลาต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ.....  | 37   |
| 4.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP) ในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ที่ระยะเวลาการงอกต่างกัน..... | 38   |
| 4.6 กรดอะมิโนในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ ที่ระยะเวลาในการงอก 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง.....  | 40   |
| 4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณวิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์.....  | 42   |
| 4.8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ ก่อนและหลังหุง..   | 43   |
| 4.9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ ก่อนและหลังหุง.....  | 44   |
| 4.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ ก่อนและหลังหุง.....   | 45   |
| 4.11 ผลของการหุงสุกต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP).....  | 46   |

# สารบัญรูป

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....   | 5    |
| 2.2 ส่วนของคัพภะหรือเอ็มบริโอของเมล็ดข้าว.....                           | 6    |
| 2.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสารอาหารกับช่วงการเจริญเติบโตของข้าว..... | 9    |
| 2.4 โครงสร้างทางเคมีของของกรดพีนอลิก.....                                | 10   |
| 2.5 โครงสร้างทางเคมีของแกมมาออริซานอล.....                               | 11   |
| 2.6 กลไกในการสังเคราะห์ $\gamma$ -amino butyric acid (GABA).....         | 12   |
| 2.7 โครงสร้างทางเคมีของโทโคเฟอรอล.....                                   | 15   |
| 2.8 โครงสร้างทางเคมีของโทโคไตรโนล.....                                   | 16   |
| 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาแช่เมล็ดข้าวกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น.....   | 27   |
| 4.2 ผลของพันธุ์ข้าวและระยะเวลาต่อปริมาณ GABA.....                        | 39   |
| ภาคผนวก ค-1 รูปข้าวกล้องชัณษาท 1 ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน.....        | 72   |
| ภาคผนวก ค-2 รูปข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105 ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน.....   | 73   |
| ภาคผนวก ค-3 รูปข้าวกล้อง กข 23 ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน.....          | 74   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ข้าวเป็นธัญพืชที่เป็นอาหารหลักของคนไทยและประชากรในภูมิภาคเอเชีย ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพของตนเองมากขึ้น การบริโภคข้าวกล้อง (Brown rice) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากข้าวกล้องให้คุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวขาว ข้าวกล้องเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว เพียงเพื่อให้เปลือกที่หุ้มเมล็ดข้าวหลุดออกไป ซึ่งยังคงส่วนเยื่อหุ้มเมล็ด จมูกข้าวและเนื้อขาวของเมล็ดข้าวในสุด (ลักดาวัลย์ กรรณนุช, 2544) ชาวญี่ปุ่นนิยมบริโภคข้าวกล้องมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1970 เนื่องจากอุดมไปด้วยวิตามินและใยอาหาร (Shoichi, 2004) ประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้นำในการศึกษาเรื่องข้าวกล้องงอก โดยอาศัยส่วนของจมูกข้าวที่ยังคงมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการงอก โดยเมื่อได้รับปัจจัยสำคัญสำหรับการงอก ได้แก่ น้ำ ออกซิเจนและอุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้เมล็ดเกิดกระบวนการงอกขึ้นได้ เรียกว่า ข้าวกล้องงอก (Germinated Brown Rice; GBR) ยังพบว่าระหว่างกระบวนการงอกมีผลให้มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารอาหารที่มีประโยชน์ ในข้าวเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ แกมมาออริซานอล กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก ( $\gamma$ -aminobutyric acid; GABA) โทโคไตรอีนอล ใยอาหาร โพลีเพปติเดส (prolylendopeptidase) กรดไฟติก กรดเฟอริก สังกะสี และ แมกนีเซียม ซึ่งมีรายงานว่า GABA ช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ และกระเพาะอาหาร ป้องกันการดูดซึมไขมันชนิดอิ่มตัวเข้าสู่กระเพาะอาหารได้ดี ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง รักษาสมดุลของสมองที่ได้รับการกระตุ้น ช่วยให้สมองผ่อนคลายและนอนหลับสบาย (Kayahara and Tsukahara, 2000) แกมมาออริซานอลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในรำข้าวและน้ำมันรำข้าวเท่านั้น แกมมาออริซานอลสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด และป้องกันการจับตัวของเกล็ดเลือด (นัยนา บุญทวีวัฒน์ และ เรวดี จงสุวัณณ์, 2545) นอกจากนี้ตัวอย่างของคุณประโยชน์ของข้าวกล้องงอกดังกล่าวแล้ว ยังพบว่าข้าวกล้องงอกผ่านการหุงสุก มีความนุ่มและอร่อยมากกว่าข้าวกล้องธรรมดา (วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย, 2549) ดังนั้นนักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจศึกษาถึงระยะเวลาในการแช่น้ำ ซึ่งเป็นวิธีการทั่วไปในการทำให้ข้าวกล้องงอก อุณหภูมิ สภาพการทำให้งอก วิธีการผลิต หรือสายพันธุ์ของข้าว ซึ่งจะมีขนาดของจมูกแตกต่างกันไป ปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกทั้งสิ้น (Komatsuzaki et al., 2007)

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยของระยะเวลาในการทำงอกของข้าวกล้องไทยสามสายพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน คือ ขาวดอกมะลิ105 กข23 และชัยนาท1 ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

ของปริมาณสารชีวกิจกรรมบางชนิด เช่น กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก ( $\gamma$ -aminobutyric acid; GABA) แกมมาออริซานอล ( $\gamma$ -oryzanol) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) วิตามินอี (Vitamin E ; $\alpha$ -tocopherol) และ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก ผลของการหุงต้มข้าวกล้องงอกต่อปริมาณแกมมาออริซานอล ( $\gamma$ -oryzanol) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาปริมาณการดูดซับน้ำ (water up take) ของข้าวกล้อง 3 สายพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 กข23 และชัยนาท1

1.2.2. ศึกษาปัจจัยของระยะเวลาการทำงอก และสายพันธุ์ข้าวต่อปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก ( $\gamma$ -aminobutyric acid; GABA) แกมมาออริซานอล ( $\gamma$ -oryzanol) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) วิตามินอี (Vitamin E) น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP)

1.2.3. ศึกษาผลของการหุงสุกต่อปริมาณแกมมาออริซานอล ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP)

## บทที่ 2

# เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ข้าวกล้อง (Brown Rice)

ข้าวกล้อง คือ ข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว เพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออก ข้าวกล้องประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ด จมูกข้าวและเนื้อข้าว จมูกข้าวอุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ และจมูกข้าวเป็นส่วนสำคัญของเมล็ดในการสืบพันธุ์ โดยสามารถงอกเป็นต้นข้าวและราก ข้าวขาวที่รับประทานกันทั่วไปเป็นเนื้อเมล็ดหรือคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ ขาดสารอาหารอื่นๆ ในเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าว ดังนั้นคุณค่าทางโภชนาการของข้าวขาวจึงน้อยกว่าของข้าวกล้อง (ถัศคารวัลย์ วรรณนุช, 2544)

#### 2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน สารเยื่อใย วิตามิน และเกลือแร่ ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์และสิ่งแวดลอม

(1) คาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่พบในข้าว องค์ประกอบหลักของข้าวกล้องเป็นคาร์โบไฮเดรตประมาณ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แป้ง เซมิเซลลูโลส เซลลูโลส และน้ำตาลอิสระ แป้ง มีปริมาณสูงสุดประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักข้าว โดยมีอะไมโลส 7-33 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแป้ง ส่วนอะไมโลเพคตินจะเป็นส่วนประกอบหลักของข้าวเหนียว ทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวเมล็ดแป้งมีขนาดใกล้เคียงกัน อุณหภูมิแป้งสุกอยู่ระหว่าง 55-79 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวและสิ่งแวดลอม ข้าวพันธุ์เดียวกันอาจมีอุณหภูมิแป้งสุกต่างกันถึง 10 องศาเซลเซียส ด้วยเหตุนี้ อุณหภูมิแป้งสุก แบ่งข้าวเป็น 3 กลุ่ม คือ ข้าวหุงสุกง่ายใช้อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ข้าวหุงสุกได้ยากปานกลาง ใช้อุณหภูมิระหว่าง 70-74 องศาเซลเซียส และข้าวหุงสุกยาก ใช้อุณหภูมิสูงกว่า 74 องศาเซลเซียส

พบเซมิเซลลูโลสมากในรำละเอียด รำข้าวขาว และจมูกข้าว ข้าวกล้องมีเซมิเซลลูโลส 1.43-2.08 เปอร์เซ็นต์ ข้าวขาวมี 0.61-1.09 เปอร์เซ็นต์ รำละเอียดมีเซมิเซลลูโลส 8.59-10.90 เปอร์เซ็นต์ และในรำข้าวขาวประมาณ 3.15-6.01 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบเพนโตแซน (pentosan) ในจมูกข้าว 4.80-7.40 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส ที่พบส่วนใหญ่อยู่ในชั้นรำ ปริมาณที่พบ 62 เปอร์เซ็นต์อยู่ในชั้นรำละเอียด 4 เปอร์เซ็นต์อยู่ในจมูกข้าว 7 เปอร์เซ็นต์อยู่ในรำข้าวขาว 27 เปอร์เซ็นต์อยู่ในข้าวขาว

พบน้ำตาลอิสระมากในจมูกข้าวและเนื้อแป้ง ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส (sucrose) มีน้ำตาลแรฟฟิโนส (raffinose) กลูโคส (glucose) และฟรักโตส (fructose) เล็กน้อย ข้าวกล้องมีน้ำตาลอิสระ 0.83-1.36 เปอร์เซ็นต์ ข้าวขาวมี 0.09-0.13 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจมูกข้าว มีน้ำตาล

รีดิวส์ (reducing sugar) 11.6 เปอร์เซ็นต์ และน้ำตาลนอนรีดิวส์ (non-reducing sugar) 9.1 เปอร์เซ็นต์ ไฟดินหรือเกลือไมโออินโนซิทอลฟอสเฟต (myo-inositol hexaphosphate) เป็นสารประกอบที่พบมากในบริเวณผิวของเมล็ด ไฟดินที่พบในข้าวกล้องมี 0.2 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวขาวมี 0.04-0.06 เปอร์เซ็นต์ และในจมูกข้าวมี 0.8 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวกล้องพบฟอสฟอรัส 80 เปอร์เซ็นต์ ในรำพบฟอสฟอรัส 90 เปอร์เซ็นต์

(2) สารประกอบไนโตรเจน ที่พบในข้าวประกอบด้วยโปรตีน และกรดอะมิโนอิสระ โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากแป้ง ส่วนประกอบของโปรตีนในข้าวกล้อง พบว่ามีไลซีน (Lysine) สูง แต่มีกรดกลูตามิก (Glutamic acid) ต่ำกว่าข้าวขาว อย่างไรก็ตาม ไลซีนยังคงเป็นกรดอะมิโนตัวจำกัดขั้นต่ำสุด (Limiting Amino Acid) มีผู้ทำการวิจัยพบว่าร่างกายนำเอากรดอะมิโนไปใช้ในปริมาณต่าง ๆ กัน ได้แก่ ไลซีน 70 เปอร์เซ็นต์ ทรีโอนีน 73 เปอร์เซ็นต์ เมทไธโอนีน 62 เปอร์เซ็นต์ ไอโซลิวซีน 71 เปอร์เซ็นต์ ลิวซีน 75 เปอร์เซ็นต์ ฟีนิลอะลานีน 74 เปอร์เซ็นต์ และ วาลีน 71 เปอร์เซ็นต์ และพบว่ากรดเมทไธโอนีนทรีโอนีน และทริปโตแฟนในข้าวพร้อมกับไลซีนจะทำให้ร่างกายใช้ในโครเจนได้มากขึ้น

(3) ไขมันในข้าวกล้องมีไขมัน 80 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรำละเอียดและรำข้าวขาวประมาณ 1ใน3 จะอยู่ในส่วนของจมูกข้าว ไขมันมีส่วนประกอบของกรดโอเลอิก (Oleic Acid) กรดลิโนเลอิก (Linoleic Acid) และกรดปาล์มิติก (Palmitic Acid) เป็นส่วนใหญ่ มีกรดลอริก (Lauric Acid) และ กรดไมริสโตเลอิก (Myristoleic Acid) เล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบพวกสเตียรอยด์แอลกอฮอล์ซึ่งมีอยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

(4) วิตามิน ส่วนใหญ่พบในส่วนที่เรียกว่า เยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าว (ตารางที่ 2.1) ไม่พบวิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินดีในข้าวสาร รำละเอียดและรำข้าวขาว ข้าวกล้องมีไนอะซิน 3.5-5.3 มิลลิกรัม รองลงมาคือแอลฟา-ทอโคเฟอรอล 0.9-2.50 มิลลิกรัม และไทอะมิน 0.29-0.61 มิลลิกรัม และไรโบฟลาวิน 0.04-0.14 มิลลิกรัม ตามลำดับเมื่อขัดขาวและขัดมันข้าวกล้องได้เป็นข้าวสาร พบว่าในข้าวสารมีวิตามินทุกตัวลดลง โดยเฉพาะแอลฟา-ทอโคเฟอรอล รองลงมาคือไนอะซิน ไทอะมิน และไรโบฟลาวิน ตามลำดับ เมื่อเทียบกับข้าวกล้อง แสดงว่าวิตามินอยู่ในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นแกลิวโรน และคัพภะซึ่งเป็นแหล่งของวิตามินอีและไนอะซิน ดังนั้นรำข้าวที่ได้จากการขัดขาวและขัดมัน จึงมีไนอะซินถึง 26.7-49.9 มิลลิกรัม และวิตามินอี 2.60-13.3 มิลลิกรัม ไทอะมิน 1.20-2.40 มิลลิกรัม และไรโบฟลาวิน 0.18-0.43 มิลลิกรัม

(5) เกลือแร่ ในข้าวกล้องมีปริมาณไม่คงที่แตกต่างกันไป ตามลักษณะของดินที่ใช้ปลูกและวิธีการวิเคราะห์ มีเกลือแร่ 51 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรำละเอียด 10 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรำข้าว และ 28 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในข้าวขาว แร่ธาตุที่พบมี ฟอสฟอรัส แคลเซียม คลอรีน ซิลิกอน โซเดียมและเหล็ก แร่ธาตุที่พบมากที่สุดคือแมกนีเซียมและซิลิกอน

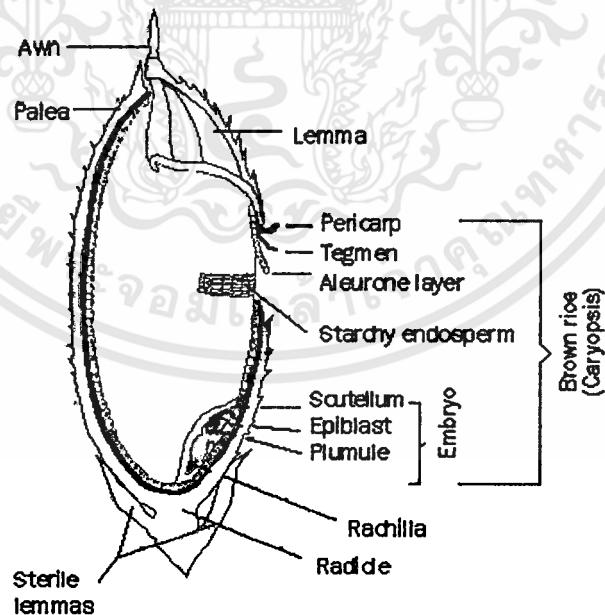
ตารางที่ 2.1 ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากขัดสีที่ 14 % ความชื้น

| วิตามิน               | ข้าวเปลือก | ข้าวกล้อง | ข้าวสาร    | รำข้าว    | แกลบ      |
|-----------------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| ไทอะมิน(มก.)          | 0.26-0.33  | 0.29-0.61 | 0.02-0.11  | 1.20-2.40 | 0.09-0.21 |
| ไรโบเฟลวิน(มก.)       | 0.06-0.11  | 0.04-0.14 | 0.02-0.06  | 0.18-0.43 | 0.05-0.07 |
| ไนอะซิน(มก.)          | 2.9-5.6    | 3.5-5.3   | 1.3-2.04   | 26.7-49.9 | 1.6-4.2   |
| แอลฟา-โทโคเฟอรอล(มก.) | 0.90-2.00  | 0.90-2.50 | 0.075-0.30 | 2.6-13.3  | 0         |
| แคลเซียม(มก.)         | 10.80      | 10-50     | 10-30      | 30-120    | 60-130    |
| ฟอสฟอรัส(มก.)         | 0.17-0.39  | 0.17-0.43 | 0.08-0.15  | 1.1-2.5   | 0.03-0.07 |
| ไฟทีนฟอสเฟต(มก.)      | 0.18-0.21  | 0.13-0.27 | 0.02-0.07  | 0.9-2.2   | 0         |
| เหล็ก(มก.)            | 1.4-6.0    | 0.2-5.2   | 0.2-2.8    | 8.6-43.0  | 3.9-9.5   |
| สังกะสี (มก.)         | 1.7-3.1    | 0.6-2.8   | 0.6-2.3    | 4.3-25.8  | 0.9-4.0   |

ที่มา: Juliano (1993) อ้างโดย อรอนงค์ นัยวิฤ (2547)

### 2.1.2 โครงสร้างของข้าวกล้อง

เมล็ดข้าว ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว เรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) และส่วนเนื้อผล (caryopsis) หรือ ข้าวกล้อง (brown rice) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา : Juliano et al. (1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยื่อหุ้มผล (pericarp) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ด้วยกัน คือ เยื่อหุ้มชั้นใน เยื่อหุ้มชั้นกลาง และเยื่อหุ้มชั้นนอก ในชั้นเยื่อหุ้มผลมีลักษณะเป็นเส้นใย ผงแป้งประกอบด้วยโปรตีนเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไป ประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวเป็นที่อยู่ของสารประเภทไขมัน (fatty material) เยื่ออาลูโรน (aleurone Layer) อยู่ต่อจากเยื่อหุ้มเมล็ด ท่อหุ้มข้าวสาร (starchy endosperm) และ คัพภะ (embryo) ในชั้นนี้จะมีปริมาณของโปรตีนสูง นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย ไขมัน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส แป้งในเมล็ดข้าวมี 2 ชนิด คือ อะไมโลเพกติน (amylopectin) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของดีกลูโคส (D-glucose) ซึ่งต่อกันเป็นกิ่งก้านสาขา (branch chain) และ อะไมโลส (amylose) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของดีกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรง (linear chain)

คัพภะ แสดงดังรูปที่ 2.2 ส่วนนี้จะอยู่ติดกับเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) เลมมา (Lemma) เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นต่อไป คัพภะประกอบด้วย ต้นอ่อน (Plumule) รากอ่อน (Radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (Coleoptile) เยื่อหุ้มรากอ่อน (Coleorhiza) ท่อน้ำที่อาหาร (Epiblast) และใบเลี้ยง (Scutellum) คัพภะเป็นส่วนที่มีโปรตีนและไขมันสูง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนของคัพภะหรือจมูกข้าว

### 2.1.3 คุณค่าทางอาหารอื่น ๆ ของข้าวกล้อง

Hakiwara et al. (2004) ศึกษาาระดับน้ำตาลในเลือดของหนู พบว่าหนูปกติและหนูที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน เมื่อให้กินข้าวขัดขาวกับข้าวกล้องงอก พบว่าในกลุ่มหนูปกติ ซึ่งมีระดับน้ำตาลในเลือดไม่เกิน 1980 mmol/L ไม่ว่าจะรับประทานข้าวขาวหรือข้าวกล้อง ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดจะค่อนข้างคงที่ ไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลา 7 สัปดาห์ สำหรับกลุ่มหนูที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน ซึ่งมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงมากถึง 5400 mmol/L หลังจากทดลองให้กินข้าวกล้องที่ทำให้งอกเปรียบเทียบกับให้กินข้าวขัดขาว พบว่ากลุ่มหนูที่ให้กินข้าวกล้องงอกมีแนวโน้มของระดับน้ำตาลในเลือดลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวกล้องหนึ่งถ้วยให้สารแมงกานีสถึง 88 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนที่ร่างกายต้องการ ต่อวัน ข้าวกล้องยังอุดมด้วยซิลิเนียมซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งที่ลำไส้ใหญ่ด้วย ข้าวกล้องหนึ่งถ้วยให้ซิลิเนียมประมาณ 27.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ร่างกายต้องการ ซึ่งเป็นข้อดีที่สำคัญเพราะคนส่วนใหญ่ไม่ได้รับซิลิเนียมที่เพียงพอต่อร่างกาย ซิลิเนียมเป็นสารประกอบที่สำคัญต่อกระบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกายหลายส่วน รวมถึงการสังเคราะห์ฮอร์โมนในต่อมไทรอยด์ รวมทั้งระบบต่อต้านอนุมูลอิสระและการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน มีหลักฐานที่รวบรวมมาจากการค้นคว้า การทดลองและศึกษารูปแบบการเกิดมะเร็งในสัตว์ ระบุถึงความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างการรับประทานธาตุซิลิเนียมและการเกิดมะเร็ง มีกลไกมากมายได้ถูกนำมาใช้ในการอธิบายปฏิกิริยาการต่อต้านการเกิดมะเร็งในร่างกายของซิลิเนียม พบว่าซิลิเนียมมีบทบาทสำคัญในการซ่อมแซมและสังเคราะห์ DNA ในเซลล์ที่ถูกทำลายไป สามารถยับยั้งการพัฒนาของเซลล์มะเร็งและกระตุ้นให้เซลล์เหล่านั้นตายลง นอกจากนี้ ซิลิเนียมยังสามารถเข้าเกาะกับ โปรตีนหลายชนิด รวมถึง กลูตาไรโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการยับยั้งการเกิดโรคมะเร็ง (Shoichi, 2004) กลูตาไรโอนเปอร์ออกซิเดส เป็นหนึ่งในเอนไซม์ที่ทำลายอนุมูลอิสระที่สำคัญที่สุดของร่างกาย พบมากในตับเพื่อกำจัด โมเลกุลที่เป็นพิษ เมื่อระดับของกลูตาไรโอนเปอร์ออกซิเดสลดต่ำลง โมเลกุลที่เป็นพิษที่หลงเหลืออยู่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ที่อยู่รอบข้างโดยทำลายสารพันธุกรรม DNA ของเซลล์นั้นๆ และส่งเสริมให้พัฒนาต่อไปเป็นเซลล์มะเร็ง พบว่าซิลิเนียมยังมีบทบาทร่วมกับวิตามินอีในระบบต่อต้านอนุมูลอิสระทั่วร่างกาย ซึ่งไม่เพียงแต่ป้องกันโรคมะเร็งเท่านั้น ยังช่วยป้องกันโรคหัวใจและช่วยบรรเทาอาการหอบหืด บรรเทาอาการปวดบวมของโรคไขข้ออักเสบได้อีกด้วย วิตามินอีที่ละลายอยู่ในน้ำมันรำข้าวพบทั้งชนิดที่เป็นโทโคเฟอรอล และโทโคโทรอินอล นอกจากนี้ยังพบ ออร์ซีซานอล ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในเครื่องสำอางค์หลายชนิดจะเติมออร์ซีซานอลจากข้าวเพื่อปกป้องผิวจากอันตรายของรังสีดังกล่าว (Diplock et al., 1998) นอกจากนี้ ข้าวกล้องยังมีเส้นใยอาหารที่มีประโยชน์ (dietary fiber) เส้นใยอาหารเหล่านี้ช่วยให้มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น มีผลช่วยบรรเทาอาการท้องผูก ทำให้ลดการหมักของเสียในลำไส้ และลดโอกาสการดูดซับสารพิษจากของเสียเข้าสู่ร่างกายจึงทำให้ลดโอกาสในการก่อเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้

## 2.2 การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าว

น้ำเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด นอกเหนือจากออกซิเจนและอุณหภูมิที่เหมาะสม เมล็ดต้องการใช้น้ำสำหรับการงอกเพื่อละลายโปรโตพลาสซึม น้ำทำให้อาหารที่เก็บสะสมไว้ในรูปโมเลกุลใหญ่ แยกย่อยออกเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เพื่อขนย้ายไปยังจุดเจริญ เช่น โปรตีนจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโน แป้งแตกออกเป็นกลูโคส และซูโครส เป็นต้น เมล็ดพันธุ์ในสภาพที่แห้งโดยทั่วไปมีความชื้นประมาณ 6-14 เปอร์เซ็นต์ แต่การที่เมล็ดจะงอกได้นั้นเมล็ดต้องมีความชื้นสูง

ประมาณ 30-60 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง มากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช การงอกของเมล็ดเป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ที่มีชีวิตและต้องใช้พลังงาน จึงต้องใช้ออกซิเจนสำหรับการหายใจ เพื่อย่อยสลายอาหารให้ได้มาซึ่งพลังงานที่จำเป็นสำหรับการงอกโดยทั่วไปเมล็ดพันธุ์พืชงอกได้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดพันธุ์ ปกติเมล็ดจะงอกได้ดีถ้าบรรยากาศรอบๆเมล็ดมีคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ถ้าบรรยากาศรอบๆ เมล็ดมีคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้อัตราการงอกของเมล็ดลดลง เมล็ดพันธุ์พืชต่างชนิดกันสามารถงอกได้ในช่วงหรือระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปจะยับยั้งหรือทำให้เมล็ดไม่งอก ปกติเมล็ดพันธุ์พืชต่างๆ สามารถงอกได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10-35 องศาเซลเซียส (จวงจันทรควงพัตรา, 2529)

กระบวนการทำให้งอกด้วยวิธีการแช่น้ำ เป็นวิธีการทั่วไป น้ำที่อยู่ในปริมาณที่เพียงพอจะช่วยในการเกิดการเจลาติไนซ์ (Bello et al., 2004) การแช่น้ำในน้ำที่อุณหภูมิห้องจะช่วยก่อให้เกิดการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี กลิ่น และรส เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นจะช่วยในการลดระยะเวลาในการงอก และอัตราในการดูดน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วย (Lim et al., 2006) น้ำจะช่วยกระตุ้นให้เอนไซม์บางชนิดที่มีอยู่แล้วในเมล็ดให้ทำงาน ขณะเดียวกันก็มีการสังเคราะห์เอนไซม์ชนิดใหม่ที่จำเป็นต้องใช้ขึ้นมาในเมล็ดข้าวสาลี เอนไซม์ glutamic acid decarboxylase จะเริ่มทำงานเมื่อมีความชื้นประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และที่ความชื้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ จะตรวจพบเอนไซม์ dehydrogenase (วันชัย จันทรประเสริฐ, 2537)

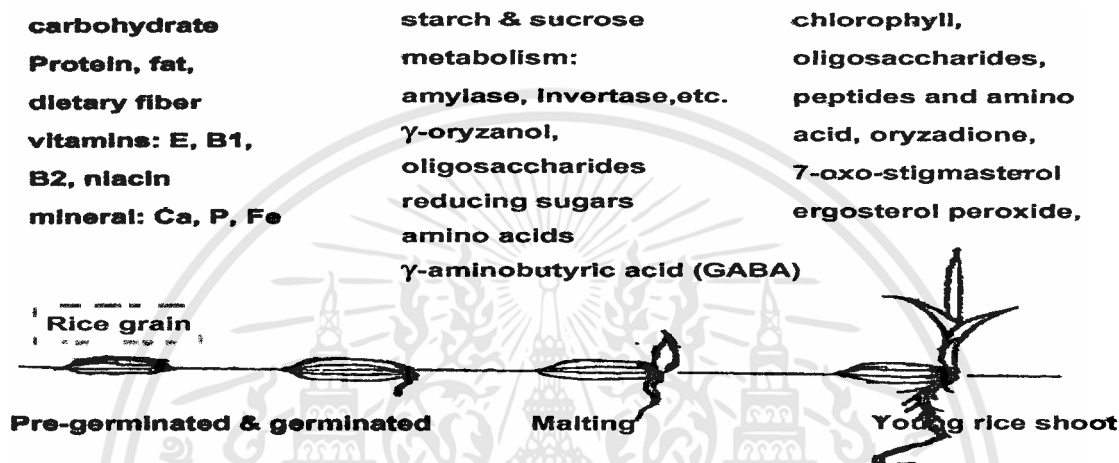
### 2.3 ข้าวกล้องงอก (Germinated Brown Rice; GBR)

ข้าวกล้องงอก ถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ข้าวกล้องงอกคือ ข้าวที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 32-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22-24 ชั่วโมง จนกระทั่งมีส่วนของจมูกข้าว งอกมีความยาวประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของกระบวนการงอกของเมล็ดข้าว (Toyoshima et al., 2004) โดยปกติแล้วข้าวกล้องจะประกอบด้วยสารอาหารจำนวนมาก เช่น โยอาอาหาร กรดไฟติก (Phytic acid) วิตามินซี วิตามินอี และ GABA (Choi et al., 2007) ช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็งเบาหวาน และช่วยในการควบคุมน้ำหนักตัวเป็นต้น ข้าวกล้องเมื่อผ่านการแช่น้ำเพื่อทำให้งอกจะทำให้ข้าวกล้องมีสารอาหาร โดยเฉพาะ GABA เพิ่มขึ้น ทั้งยังทำให้ข้าวกล้องงอกที่หุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มรับประทานได้ง่ายกว่าข้าวกล้องธรรมดาอีกด้วยจึงง่ายแก่การหุงรับประทานได้ (วิไลภรณ์ ตรีภคพิบลย์ชัย, 2549)

กระบวนการงอก (germination) เป็นกระบวนการสำคัญของการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมี น้ำกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการ ทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวถูกย่อยไปตามกระบวนการทางชีวเคมี (รูปที่ 2.3) ได้โกลิโก

แซคคาไรด์ (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) โปรตีนในเมล็ดข้าวถูกย่อยไปเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งยังพบการสะสมสารประกอบเคมีสำคัญ เช่น แกมมาออริซานอล ( $\gamma$ -orazynol) โทโคเฟอรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และ GABA ( $\gamma$ -aminobutyric acid) (Shyama Prasad Rao and Muralikrishna., 2006)

#### Biochemical & nutritional changes in rice through stages of growth



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสารอาหารกับช่วงการเจริญเติบโตของข้าว  
ที่มา : Shyama Prasad Rao and Muralikrishna. (2006)

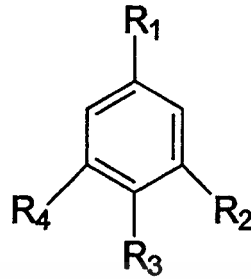
## 2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวกล้อง

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เป็นสารที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ ในร่างกายมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical scavengers) ป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ที่จะก่อผลเสียต่อร่างกาย (Vellogul et al., 1998)

### 2.4.1 สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอล (phenolic compound หรือ phenolics) ได้แก่ สารประกอบที่มี aromatic ring และมี hydroxyl group อย่างน้อย 1 หมู่ (รูปที่ 2.4) และรวมไปถึงอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลซึ่งมีการแทนที่ด้วยหมู่เคมีต่างๆ ตัวอย่างสารประกอบฟีนอล ได้แก่ flavonoids, lignin, ฮอร์โมน abscisic acid, cinnamic acid, caffeic acid, chlorogenic acid, กรดอะมิโน tyrosine,

phenylalanine และ dihydroxy-phenylalanine (DOPA), coenzyme Q และผลผลิตจากเมแทบอลิซึม  
อีกหลายชนิด



#### รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของกรดฟีนอลิก

ที่มา : Joubert (1996)

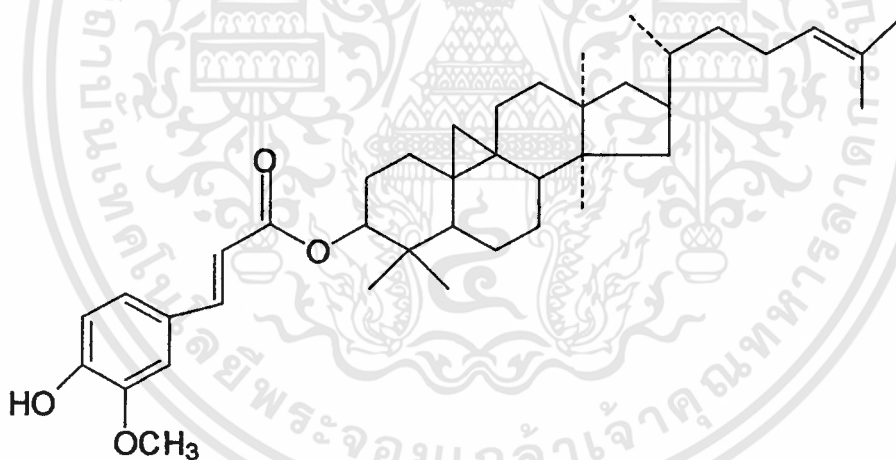
สารประกอบฟีนอล เป็นตัวแทนของสารในธรรมชาติที่นับว่ามีปริมาณมากชนิดหนึ่งและมีความสำคัญต่อสรีระวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับสีและกลิ่นรส ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลแตกต่างกันไปอย่างมากในผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยว เช่น ในผลไม้สุกอาจมีปริมาณตั้งแต่เล็กน้อยมาก ไปจนถึง 8.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง ในผลพลับ (persimmon, *Diospyros kaki*, L.f.) สารประกอบฟีนอลในพืชโดยทั่วไปแสดงคุณสมบัติเป็นกรด ซึ่งจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลอื่นอย่างรวดเร็ว และพบบ่อยที่ทาปฏิกิริยากับพันธะเปปไทด์ของโปรตีน และเมื่อโปรตีนนี้เป็นเอนไซม์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมักทำให้เอนไซม์หมดสภาพ ซึ่งมักเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเอนไซม์ในพืช โดยรวมแล้วสารประกอบฟีนอลจะไวต่อการเกิดออกซิเดชันโดยเอนไซม์ phenolases ซึ่งเปลี่ยน monophenols ไปเป็น diphenols และเปลี่ยนต่อไปเป็น quinones นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลบางชนิดยังสามารถ chelate กับโลหะ สารประกอบฟีนอลภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปอิสระนั้นพบเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่มักพบรวมอยู่กับโมเลกุลอื่น หลายชนิดพบในรูป glycosides โดยเชื่อมต่อกับ โมโนแซคคาไรด์หรือไดแซคคาไรด์ โดยเฉพาะกลุ่มของ flavonoids. ซึ่งมักรวมกับน้ำตาล นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังอาจรวมกับสารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น hydroxycinnamic acid อาจพบรวมกับ organic acids, amino groups, lipids, terpenoids, phenolics และกลุ่มอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำตาล การรวมตัวในลักษณะนี้ภายในเซลล์เป็น monophenols และ diphenols ทำให้เกิดความเป็นพิษกับพืช (phytotoxic) น้อยกว่าในรูปอิสระ (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545)

##### 2.4.2 แกมมาออริซานอล ( $\gamma$ -Oryzanol)

ออริซานอลถูกค้นพบครั้งแรกในน้ำมันรำข้าวในปี ค.ศ. 1954 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น ชื่อ Kaneko and Tsuchiya ออริซานอลที่พบในน้ำมันรำข้าวมีชื่อเฉพาะว่าแกมมาออริซา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอล ออริซานอลเป็นกลุ่มของสารที่มีโครงสร้างทางเคมี (รูปที่ 2.5) ซึ่งประกอบด้วย เอสเทอร์ของ กรดเฟอร์ริก (ferulic acid) ซึ่งเป็นส่วนที่มีขี้และเป็นสเตอรอล (sterol) หรือไตรเทอร์พีนแอลกอฮอล์ (triterpene alcohol) ส่วนที่ไม่มีขี้ ซึ่งสองส่วนนี้จะจับกันด้วยพันธะเอสเทอร์ (Miller and Engel, 2006) Xu and Godber (2000) ได้ศึกษาองค์ประกอบของออริซานอลในรำข้าว โดยวิธี HPLC จาก crude rice bran oil พบ cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartenyl ferulate และ campesteryl ferulate ที่เป็นส่วนองค์ประกอบหลักในแกมมาออริซานอล ออริซานอลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าวิตามินอี วิตามินซี และเบต้าแคโรทีน แกมมาออริซานอลทั้งหมดในข้าวกล้องมีอยู่ประมาณ 13-20 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ซึ่งมีปริมาณมากกว่าโทโคเฟอรอล และโทโคไทรอินอล แกมมาออริซานอลมีความสำคัญในการใช้ทำยา อาหารเสริมสุขภาพและเครื่องสำอาง ช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอล ผลผลิตจากคอเลสเตอรอลอาจก่อให้เกิดสารประกอบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (mutagenic) และก่อมะเร็ง (carcinogenic) ได้ สารเหล่านี้เป็นอันตรายต่อเซลล์ต่าง ๆ ในหลอดเลือด เช่น macrophage และ endothelial cell ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเส้นเลือดอุดตันในหัวใจและโรคที่เกี่ยวข้องกับปอด เนื่องจากโมเลกุลของแกมมาออริซานอลในส่วนที่ไม่มีขี้สามารถจับกับคอเลสเตอรอลได้ และถูกนำออกจากร่างกายโดยกระแสเลือด (สมวงศ์ ตรีภรณ์, 2546)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของออริซานอล

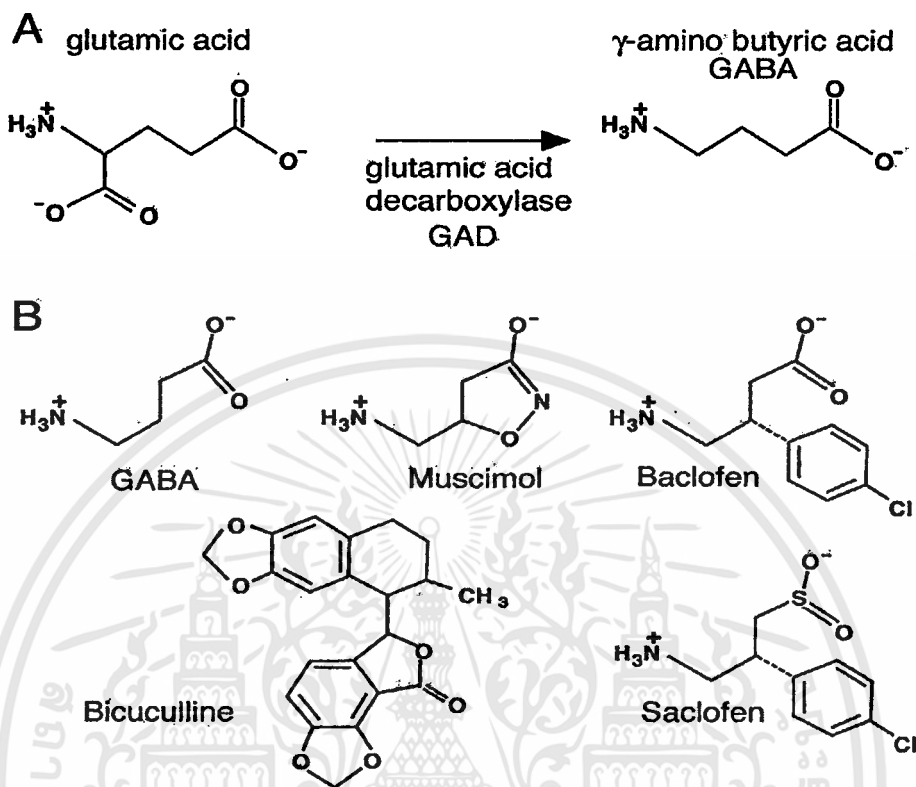
ที่มา : Miller and Engel (2006)

#### 2.4.3 กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก ( $\gamma$ -aminobutyric acid)

กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก ( $\gamma$ -aminobutyric acid; GABA) เป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น ซึ่งพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยจะทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทในสมองมีความสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทรองจากกลูตาเมต ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทหลัก โดย GABA ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของสารสื่อประสาทประเภทยับยั้งในระบบประสาทส่วนกลาง GABA ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยา decarboxylation ของกรดกลูตามิกโดยเอนไซม์ glutamate decarboxylase (GDA) แสดงดังรูปที่ 2.6 (Komatsuzaki et al., 2007)



รูปที่ 2.6 กลไกในการสังเคราะห์สาร  $\gamma$ -amino butyric acid (GABA)

ที่มา : Jorgensen<sup>8</sup>, 2009

Kayahara and Tsukahara (2000) ระบุว่า ข้าวกล้องจะมี GABA มากกว่าข้าวขัดขาวถึง 10 เท่า GABA ยังถือเป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ประเภทสารยับยั้ง (inhibitor) โดยจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ซึ่งช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย GABA จึงเป็นสารที่ช่วยให้เกิดความรู้สึกผ่อนคลายและนอนหลับได้เช่นเดียวกับยานอนหลับ เช่น บาร์บิทูเรต และเบนโซไดอะซีแพน สามารถกระตุ้นตัวตอบรับในเซลล์ประสาททำให้เกิดความผ่อนคลาย ผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของการนอนหลับ การตื่นกระตุก และโรคพาร์กินสันส์ ต่างก็มีระดับ GABA ที่ผิดปกติจนขาดสมดุลทั้งสิ้น เมื่อสมองหลังสารเคมีที่เป็นสัญญาณประสาทออกมามากโดยไม่มีตัวหน่วง กระแสประสาทที่ถูกส่งออกไป จะทำให้กล้ามเนื้อหดตัวอย่างรวดเร็ว เกร็ง กระตุก ต่อมาน้ำลายควบคุมการหลัง ไม่ได้ อาการตื่นกระตุกดังกล่าวพบได้ ทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ อีกบทบาทหนึ่งของ GABA ที่น่าสนใจคือ ช่วยให้ไขมันที่ร่างกายสะสมไว้ลดลงและสามารถกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโตออกมา (human growth hormone, HGH) ฮอร์โมนเร่งการ

เจริญเติบโตนี้ มีบทบาทสำคัญในการเผาผลาญไขมันเพื่อให้พลังงานและสร้างกล้ามเนื้อ ร่างกายจะสร้างฮอร์โมนชนิดนี้ลดลงเมื่ออายุมากขึ้น ทำให้เมื่อมีอายุมากขึ้นจึงมีไขมันสะสมตามที่ต่างๆ และลดน้ำหนักยาก ด้วยเหตุนี้อาหารเสริมหลายชนิดทั้งที่เป็นสูตรสำหรับผู้สูงวัย และสูตรสำหรับนักกีฬา จึงเติม GABA ผสมลงไปด้วย เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถควบคุมน้ำหนัก มีสุขภาพที่ดี สามารถพักผ่อนและนอนหลับได้เต็มที่ (Kayahara and Tsukahara., 2000)

ได้มีการศึกษาถึงวิธีการเพิ่มสาร GABA ให้มีในปริมาณที่สูงขึ้นในอาหารหลายชนิด ตัวอย่าง เช่น การเพิ่มสาร GABA ให้สูงขึ้นใน *Gabaron tea* ภายใต้อาการบ่มที่ไร้อากาศ (Sawai et al., 1999; Tsushida and Murai, 1987) การเพิ่มสาร GABA ในถั้วที่เพาะให้งอก (bean sprouts) เช่นในถั้วเหลือง โดยการใช้สภาวะที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ (Katagiri and Shimizu, 1989) และในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องที่ต้องการเพิ่มปริมาณ GABA โดย กระบวนการทำออกในระหว่างการแช่น้ำที่ช่วงอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 20 ชั่วโมง เพื่อให้เมล็ดข้าวบริเวณที่เป็นคัพภะหรือจมูกข้าวเจริญ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ (Bandara et al., 1991)

Oloyo (2004) พบว่าการแช่ข้าวกล้องก่อนหุงต้มสามารถช่วยเพิ่มสารอาหาร โดยในข้าวกล้องงอกจะมีปริมาณเยื่อใยอาหารมากกว่าข้าวกล้องปกติ ปริมาณกรดอะมิโนไลซีนเพิ่มขึ้น 3 เท่า และปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก เพิ่มขึ้น 10 เท่า การแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ช่วยให้อุณหภูมิชั้นนอกของเมล็ดข้าวนุ่มและเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ ข้าวกล้องที่ผ่านการทำออกแล้วนั้นเมื่อนำมาหุงข้าวจะมีความนุ่มและมีรสหวานเนื่องจากเอนไซม์ย่อยแป้งไปเป็นน้ำตาล (วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลย์ชัย, 2549) การบริโภคข้าวกล้องงอกเป็นประจำอย่างต่อเนื่องมีผลที่ดีต่อสุขภาพเนื่องจากโภชนาการหลายชนิดที่พบในข้าวกล้องที่ผ่านการทำออกแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 2.2

Kinefuchi et al. (1999) ได้ทำการศึกษาการลดจำนวนจุลินทรีย์ในระหว่างขบวนการทำข้าวกล้องงอกโดยการใช้แรงดันสูง (high pressure) กับข้าวกล้อง นอกจากนี้ยังมีวิธีการใช้วิธีทางเคมีไฟฟ้า (electrochemical) เพื่อลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (Feng et al., 2004) แต่ก็ยังพบปัญหาเกี่ยวกับเรื่องค่าใช้จ่ายในการที่จะนำวิธีการเหล่านี้มาใช้ในการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ แม้ว่าขบวนการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำในการฆ่าเชื้อทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่สูง (80 องศาเซลเซียส) ซึ่งสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ เช่น *Bacillus* sp. และ *Aspergillus* sp. ได้ แต่ก็ยังคงมีสปอร์ของแบคทีเรียที่ทนต่อความร้อนได้สูงเหลือรอดอยู่ ดังนั้นจึงต้องใช้สารเคมีเข้าร่วมด้วย เช่นการใช้เอธานอล หลังจากการให้ความร้อนโดยไอน้ำร้อน (Kinefuchi et al., 1999)

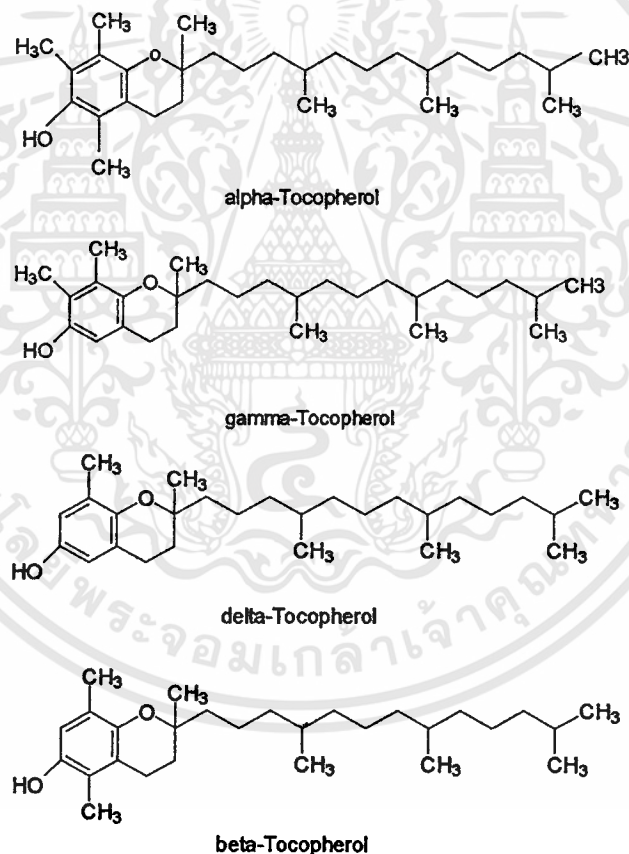
## ตารางที่ 2.2 โภชนสารในข้าวกล้องงอกและผลต่อสุขภาพ

| โภชนสาร                       | ผลต่อสุขภาพ  |
|-------------------------------|--|
| กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก        | ป้องกันโรคเครียด, เร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมในสมอง, ป้องกันอาการปวดศีรษะจากความดันโลหิต, ป้องกันการทำงานผิดปกติของอวัยวะ, บำรุงสายตา |
| ใยอาหาร                       | ป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่, ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด   |
| อินโนซิทอล                    | เร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมไขมัน, ป้องกันการอุดตันของเส้นเลือดแดง   |
| กรดเฟอร์รูลิก                 | กำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน, ช่วยการทำงานของเซลล์  |
| กรดไฟติก                      | สารต้านอนุมูลอิสระ, ป้องกันโรคหัวใจ, ป้องกันการแข็งตัวของเกล็ดเลือด  |
| โทโคไตรอินอล                  | กำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน, ป้องกันผิวหนังจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต  |
| แมกนีเซียม                    | ป้องกันโรคหัวใจ  |
| สังกะสี                       | ป้องกันการอุดตันของเส้นเลือดแดง  |
| แกมมาออริซานอล                | สารต้านอนุมูลอิสระ, ป้องกันผิวเหี่ยวเหี่ย, ควบคุมระดับคอเลสเตอรอล  |
| สารยับยั้งโพรลิตเอนโคเพปติเดส | ป้องกันโรคอัลไซเมอร์   |

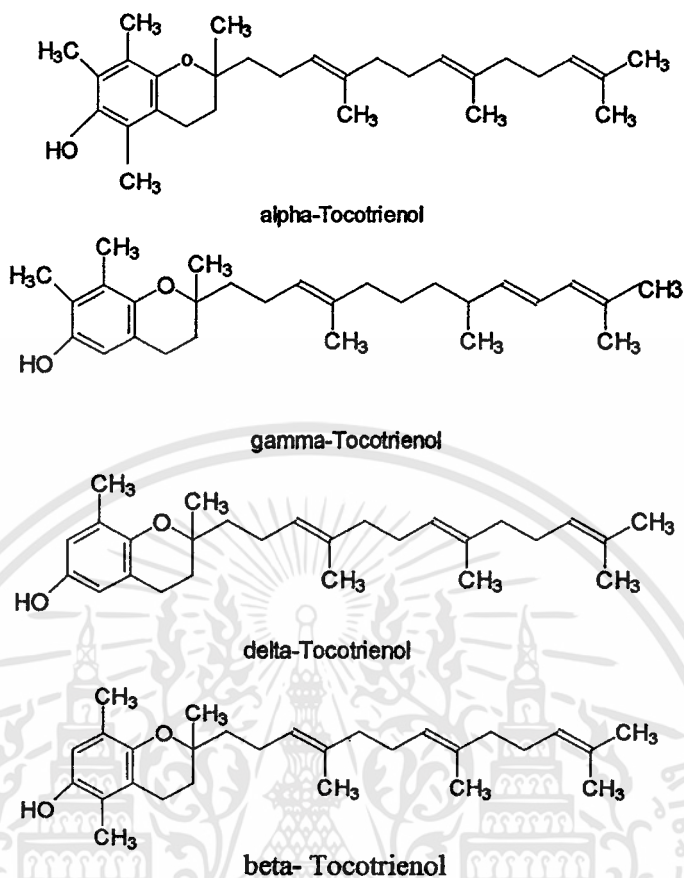
ที่มา: ดัดแปลงจาก Kayahara and Tsukahara (2000)

#### 2.4.4 วิตามินอี (Vitamin E)

วิตามินอี ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1922 โดย Evans และ Bishop ซึ่งทำการทดลองกับหนูเพศเมีย พบสารประกอบที่ยังไม่ทราบประเภทแต่พบว่ามีผลควบคุมการตั้งครรภ์ในหนูให้เป็นไปตามปกติ จากนั้นในปี ค.ศ. 1936 Evans และคณะสามารถสกัดและแยกวิตามินได้จากน้ำมันจมูกข้าวสาลี (wheat germ oil) และตั้งชื่อว่าโทโคเฟอรอล (tocopherol) จากนั้นไม่นาน Fernholz ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างของแอลฟา-โทโคเฟอรอล ( $\alpha$ -tocopherol) สำเร็จ (วารสารฟงค์รอกุคพานิช, 2543) โดยวิตามินอีมีสูตรทั่วไปคือ  $C_{29}H_{50}O_2$  วิตามินอีเป็นชื่อรวมของสารประกอบ 2 กลุ่มคือ โทโคเฟอรอล (tocopherols) และ โทโคไตรอีนอล (tocotrienols) แต่ละกลุ่มมี 4 ไอโซเมอร์ คือ  $\alpha$ -tocopherol,  $\beta$ -tocopherol,  $\gamma$ -tocopherol,  $\delta$ -tocopherol (รูปที่ 2.7) และ  $\alpha$ -tocotrienol,  $\beta$ -tocotrienol,  $\gamma$ -tocotrienol,  $\delta$ -tocotrienol (รูปที่ 2.8) (ธิดารัตน์ หน่อสุวรรณ, 2550)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของโทโคเฟอรอล



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของโทโคไตรอีนอล

วิตามินอีมีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลืองอ่อน ละลายได้ดีในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน คลอโรฟอร์ม อะซิโตน แอลกอฮอล์ ถูกทำลายได้ง่ายที่สภาวะของอุณหภูมิสูง แสง อัลตราไวโอเลต เมื่อสัมผัสกับน้ำมันหรือไขมันที่เหม็นหืน และสารออกซิไดส์อื่นๆ ทนต่อกรด และสารรีดิวซ์ มีคุณสมบัติเป็นสารป้องกันการออกซิเดชัน (antioxidant) ของสารอื่น เช่น วิตามินเอ และแคโรทีน วิตามินอีทั้งโทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอลสามารถทำปฏิกิริยากับ ROS ของพลาสมา ผนังเซลล์ และเนื้อเยื่อ โดยในอดีตที่ผ่านมาแอลฟา-โทโคเฟอรอลเป็นอนุพันธ์ของวิตามินอีที่มีการศึกษาวิจัยมากที่สุด เนื่องจากสามารถยับยั้งกิจกรรมทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตได้สูงที่สุด (Cunha et al., 2006)

มนุษย์ และสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินอีได้เอง ดังนั้นจึงต้องได้รับวิตามินอีจากอาหารที่รับประทานเข้าไป ซึ่งพืชเป็นแหล่งวิตามินอีที่สำคัญทั้งโทโคเฟอรอล และโทโคไตรอีนอล เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และถั่วเหลือง จะมีโทโคเฟอรอลเป็รองค์ประกอบอยู่มาก ส่วนในข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต ปาล์ม และรำข้าว จะประกอบด้วย โทโคไตรอีนอล มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

(Minhajuddin et al., 2005) วิตามินอีจะช่วยปกป้องเซลล์ในร่างกายจากสารอนุมูลอิสระ โดยเข้าไปขัดขวางปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารในร่างกาย โดยอาศัยคุณสมบัติที่ไวต่อการถูกออกซิไดซ์ จึงเป็นตัวที่ถูกออกซิไดซ์ แทนสารอื่น ๆ ในร่างกายซึ่งมีความไวต่อการถูกออกซิไดซ์น้อยกว่า ทั้งยังช่วยป้องกันไขมันอิ่มตัวที่เข้าไปรวมกับออกซิเจนซึ่งจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ช่วยเป็นสารต้านไม่ให้หลอดเลือดแข็งตัว และช่วยขยายหลอดเลือดฝอยเล็ก ๆ ป้องกันการเกาะตัวของของเกร็ดเลือดที่ผนังหลอดเลือด ช่วยเพิ่มการทำงานของอินซูลิน (กรรณิการ์ เอมแสง, 2550)



107445

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 3.1 วัสดุคิบ

ข้าวเปลือกหอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวสกลนคร)

ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท1 (ศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวพระนครศรีอยุธยา)

ข้าวเปลือกพันธุ์ชงข23 (ศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวพระนครศรีอยุธยา)

### 3.2 อุปกรณ์

3.2.1 UV-spectrophotometer, UV-1601, Shimadzu, Japan

3.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ( $\pm 0.0001$ ), Ohaus, USA.

3.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ( $\pm 0.01$ ), Ohaus, USA.

3.2.4 Rotary evaporator, R-200, Buchi, Japan

3.2.5 ปีมัสสุญญากาศ, VE-11E, China

3.2.6 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ, Memmert model WNB 29, Germany

3.2.7 Freezed Dryer, Labconco, Germany

3.2.8 Halogen Analyzer, TA-XT2, Japan

3.2.9 Vortex mixer, V-M300 K, China

3.2.10 หม้อหุงข้าว, Panasonic, Thailand

3.2.11 Incubator, Memmert model 400 D06060, Germany

3.2.12 Shaker, Innova 2100, USA

3.2.13 ตู้อบลมร้อน (Tray dryer)

3.2.14 HPLC รุ่น Waters 486, Waters, USA

3.2.15 คอลัมน์ HiQ Sil C<sub>18</sub>HS ขนาด 4.6 x 150 มิลลิเมตร, KYA TECH Corporation, USA

3.2.16 UV detector ของเครื่อง HPLC รุ่น Waters 486, Waters, USA

3.2.17 Microtiter Plate Reader (Multimode Detector DTX 880, Beckman coulter, USA)

3.2.18 96 well microtiter plate (Sero-Wel, Bibby Sterilin, England)

### 3.3 สารเคมี

- 3.3.1 เอทานอล 95% (Ethanol) (Labscan)
- 3.3.2 เมทานอล (Methanol) (Labscan)
- 3.3.2 เมทานอล (Methanol) HPLC grade (Labscan)
- 3.3.4 2,2,4-Trimethylpentane spectroscan (Labscan)
- 3.3.5 Folin-Ciocalteu reagent (Carlo Erba)
- 3.3.6 โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) (Sodium hypochlorite ; Merck) AR grade
- 3.3.7 กรดแกลลิก (gallic acid)(Fluka)
- 3.3.8 โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (Merck)
- 3.3.9 กลูโคส ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) (Sigma)
- 3.3.10 3,5-Dinitrosalicylic acid (Fluka)
- 3.3.11 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Carlo Erba) AR grade
- 3.3.12 โพแทสเซียมคราเตต (Carlo Erba)
- 3.3.13 อะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile,  $\text{CH}_3\text{CN}$ ) HPLC grade
- 3.3.14 เฮกเซน (Hexane) (Labscan) AR grade
- 3.3.15 ไอโซโพรพานอล (Isopropanol,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OHCH}_3$ ) HPLC grade
- 3.3.16 วิตามินอีบริสุทธิ์ ( $\text{C}_{29}\text{H}_{50}\text{O}_2$ )  $\alpha$ -tocopherol 98% HPLC (Sigma)

### 3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ศึกษาปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวกล้อง (water up-take) ระหว่างการแช่น้ำระยะเวลา 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง โดยใช้ตัวอย่างข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 ชัณษาท 1 และข้าว กข 23 ตามลำดับ

#### 3.4.1.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวกล้อง

นำข้าวเปลือกสามสายพันธุ์ คือ ข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ข้าวเปลือกพันธุ์ชัณษาท1 และข้าวเปลือกพันธุ์กข23 นำไปกะเทาะเปลือก ได้เป็นข้าวกล้อง (brown rice) และคัดเลือกข้าวกล้องที่เมล็ดสมบูรณ์ ด้วยเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าว

#### 3.4.1.2 การศึกษาปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวกล้อง

นำตัวอย่างข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ที่เตรียมจากข้อ 3.4.1.1 แช่น้ำสะอาด โดยใช้อัตราส่วนในการแช่ข้าวต่อน้ำเป็น 1:4 ทำการแช่ข้าว (Trakulpiboonchai et al., 2009) ในตู้บ่มที่

35±1 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการแช่น้ำมาหาความชื้นทั้งหมดโดยนำข้าวที่ผ่านการแช่น้ำรินน้ำออก ชับด้วยกระดาษทิชชูชั่งน้ำหนักและจดบันทึก นำข้าวทั้งหมดไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่ อุณหภูมิ 130±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและทำการจดบันทึก (Komastuzaki et al., 2007) และนำข้าวที่ผ่านการทำแห้งจากครั้งแรกนั้นมาบดเป็นผงและนำไปหาความชื้นอีกครั้งโดยอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130±1 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำออกมาไว้ในโถดูดความชื้น (desiccator) จนบันทึกน้ำหนัก ทำซ้ำจนได้น้ำหนักที่คงที่

**3.4.2 ศึกษาผลของสายพันธุ์ข้าวและระยะเวลาการงอก ต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) แกมมาออริซานอล ( $\gamma$ -oryzaanol) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP) กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก ( $\gamma$ -aminobutyric acid; GABA) และวิตามินอี (Vitamin E)**

#### 3.4.2.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอก

นำข้าวกล้องล้างทำความสะอาดและแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ 0.1 เปอร์เซ็นต์ เวลา 15 นาที ล้างน้ำสะอาดก่อนแช่น้ำในอัตราส่วน ข้าว:น้ำ เป็น 1:4 โดยน้ำหนักที่ อุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส (Trakulpiboonchai et al., 2009) ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ข้าวกล้อง กข 23 และข้าวกล้องชัยนาท 1 ทำการแช่น้ำที่ปริมาณการดูดซับน้ำสูงสุด (จากการศึกษาในข้อ 3.4.1.2) จากนั้นนำมาทำให้งอกที่ระยะเวลาดังกัน 5 ระดับคือ 0, 6, 12, 18, และ 24 ชั่วโมง นำไปทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze Dried) และนำข้าวกล้องไปบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดอาหารแบบแห้ง เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

#### 3.4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar)

นำแป้งข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่ทำการบดละเอียดแล้ว ชั่งตัวอย่าง 5±0.001 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 บีบอัดสารละลาย ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 16 × 150 มิลลิลิตร เติม DNS reagent 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือด 3-5 นาที ทำให้เย็นทันที นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ คัดแปรตามวิธีที่รายงาน โดย Correia et al. (2007) โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร ของสารละลายที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับสารละลาย dinitrosalicylic acid reagent โดยน้ำตาลรีดิวซ์ 3,5-dinitrosalicylic acid ได้เป็น monoamine ซึ่งมีสีน้ำตาลแดง

การเตรียมกราฟกลูโคสมาตรฐาน โดยบีบอัดสารละลายกลูโคส (5 ไมโคร โมลต่อมิลลิลิตร) ใส่ในหลอดทดลองปริมาตร 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้

ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติม DNS reagent หลอดละ 1 มิลลิลิตร คัมในน้ำเดือดนาน 3-5 นาที ทำให้เย็นทันที เติมน้ำกลั่นในแต่ละหลอดให้มีปริมาตรรวมเป็น 10 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร โดยหลอดเปรียบเทียบกับ (blank) ที่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกลูโคส เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นกลูโคสมาตรฐาน

#### 3.4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound)

นำตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอกจากการเตรียมในข้อ 3.4.2.1 โดยชั่งตัวอย่าง  $5 \pm 0.001$  กรัม นำมาสกัดด้วยเมธานอลเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร พร้อมทั้งเขย่าโดยเครื่องเขย่า ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร (Choi et al., 2007) นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีที่รายงาน โดย Kim et al. (2006) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ซึ่งสามารถติดตามโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน

การเตรียมกราฟกรดแกลลิกมาตรฐาน ชั่งกรดแกลลิก  $0.02 \pm 0.001$  กรัม ละลายในเมธานอลความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดสารละลายกรดแกลลิกใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, และ 0.40 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร ซึ่งในแต่ละหลอดจะมีความเข้มข้นของกรดแกลลิก 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ลงไป 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นกรดแกลลิกมาตรฐาน

#### 3.4.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณแกมมาออริซานอล ( $\gamma$ -Oryzanol)

นำตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอกจากการเตรียมในข้อ 3.4.2.1 โดยชั่งตัวอย่าง  $10 \pm 0.001$  กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอลเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร พร้อมทั้งเขย่าโดยเครื่องเขย่า ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกโดยเครื่อง Rotary Evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และปรับปริมาตรด้วย Isooctane (2,2,4-trimethylpentane) ปริมาตรรวมเท่ากับ 5 มิลลิลิตร จากนั้น

นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแกมมาออริซานอล ใช้วิธีดัดแปรจากวิธีที่รายงานโดย Perretti et al. (2003) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 315 นาโนเมตร

การเตรียมกราฟแกมมาออริซานอลมาตรฐาน ชั่งแกมมาออริซานอล บริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์  $5 \pm 0.001$  มิลลิกรัม ละลายใน Isooctane ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วย Isooctane จนได้ปริมาตรรวม 25 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นของแกมมาออริซานอล เท่ากับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 315 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นแกมมาออริซานอล

#### 3.4.2.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical)

วิธีการเตรียมตัวอย่าง ดัดแปลงจาก Choi et al., (2007) ซึ่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.2.1  $5 \pm 0.001$  กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร พร้อมทั้งเขย่าโดยเครื่องเขย่า ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้ครบ 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยไมโครเพลท โดยดัดแปลงจากวิธี Brand-Williams et al. (1995) เตรียมสารละลาย DPPH 0.2 มิลลิโมลาร์ (ซึ่ง DPPH 0.07097 กรัม ละลายในเอทานอล ปรับให้เป็น 1 L) ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 70 ไมโครลิตร หยดลงในหลุมไมโครเพลท เดิม working solution 210 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท สำหรับปฏิกิริยาควบคุมจะใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างสารสกัด คำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ inhibition} = \{ 1 - (A_{\text{sample}} / A_{\text{control}}) \} \times 100$$

โดย %inhibition หมายถึง ความสามารถในการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ

$A_{\text{sample}}$  หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH

$A_{\text{control}}$  หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง

จากนั้นนำค่า % inhibition เขียนกราฟความสัมพันธ์กับปริมาณสารสกัดตัวอย่าง เพื่อหาสมการความสัมพันธ์และจุดตัดแกน Y ที่ 50 จะได้ค่า  $EC_{50}$  (effective concentration)

### 3.4.2.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP (Ferric reducing antioxidative potential)

วิธีการเตรียมตัวอย่าง คัดแปลงจาก Choi et al., (2007) ชั่งตัวอย่าง  $5 \pm 0.001$  กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร พร้อมทั้งเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้ครบ 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยใช้ไมโครเพลทใช้วิธีที่คัดแปลงจาก Correia et al. (2007) โดยดูดสารสกัดมา 40 ไมโครลิตร ใส่ใน 96-well plate เติมรีเอเจนต์ FRAP {ประกอบด้วย อะซิเตดบัฟเฟอร์ พีเอช 3.6 : 10 มิลลิโมลาร์ TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine) : 20 มิลลิโมลาร์ เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ในอัตราส่วน 10:1:1} ปริมาตร 260 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 8 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท และคำนวณหาค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่าง ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลย์ของไทโรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างน้ำหนักแห้ง (mgTE/g dry wt) โดยใช้กราฟมาตรฐานไทโรลอกซ์

### 3.4.2.7 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก ( $\gamma$ -aminobutyric acid; GABA)

(AOAC 1995)

จากการเตรียมข้าวกล้องงอกในข้อ 3.4.2.1 โดยทำการตัดส่วนบนของเมล็ดที่มีงอกข้าว ชั่งตัวอย่างงอกข้าวบดละเอียด 100 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 6 นอร์มัล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วย heating block ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็น ทำตัวอย่างให้แห้งด้วยไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เจือจางตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยน้ำ deionized และกรองตัวอย่าง ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร ผสมกับ AccQ-fluor derivatization buffer 70 ไมโครลิตร และเติม AccQ-fluor reagent 20 ไมโครลิตร ให้ความร้อนกับตัวอย่างที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ด้วย heating block นำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC เครื่อง HPLC ประกอบด้วย Waters Alliance 2695 พร้อม heater, AccQ-Tag column (3.9 I.D  $\times$  150 mm, particle size 4  $\mu\text{m}$ ) อุณหภูมิคอลัมน์  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส, Water 2475 Multi  $\lambda$  fluorescence Detector (EX: 250 nm, EM: 395 nm) ปริมาตรที่ฉีดตัวอย่าง เท่ากับ 5 ไมโครลิตร Mobile phase: AccQ-Tag Eluent A, Acetonitrile, Deionized water และใช้ GABA เป็นสารมาตรฐาน

### 3.4.2.8 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินอี (Vitamin E)

การสกัดวิตามินอี นำแป้งข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก ทำการสกัดโดยวิธีการซอกซ์เลต (Soxhlet) โดยชั่งน้ำหนักข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกบดละเอียดประมาณ 10 กรัม สกัดด้วยเฮกเซน (Hexane) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

นำไปประเหยด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) ที่ตั้งอุณหภูมิใน water bath 40-50 °C ทำการระเหยตัวทำละลายเฮกเซนออกจนกระทั่งตัวทำละลายในขวดก้นกลมแห้ง นำน้ำมันที่สกัดได้จากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกมาละลายในตัวละลายไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชาเพื่อป้องกันแสงและเก็บในที่เย็น นำไปวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอี โดยคัดแปลงจากวิธีการของ Chen and Bergman. (2005) วิเคราะห์โดย HPLC อัตราส่วนเฟสเคลื่อนที่ เมทานอลอะซิโตนไนไตรล์ อัตราส่วน (methanol:acetonitrile) 50 : 50 โดยปริมาตร กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ นำไปใส่อากาศที่ละลายอยู่ด้วยเครื่อง ultrasonic bath เป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดออกซิเจนที่อาจทำปฏิกิริยากับเฟสเคลื่อนที่ อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ 0.8 มิลลิลิตร ต่อนาที ปริมาตรที่ฉีดวิเคราะห์ 20 ไมโครลิตร วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ HiQ Sil C<sub>18</sub>HS 4.6 x 150 มิลลิเมตร ที่มีตัวตรวจวัดเป็นยูวี-วิสิเบิล ดีเทคเตอร์ ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร และใช้วิตามินอีบริสุทธิ์ (C<sub>29</sub>H<sub>50</sub>O<sub>2</sub>)  $\alpha$ -tocopherol 98 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารมาตรฐาน

วางแผนการทดลองในการเตรียมข้าวกล้องงอกแบบ 3×5 Factorial Arrangement in Completely Randomized Design จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลโดยใช้ ANOVA (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแกมมาออร์ซานอล และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rank Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

**3.4.3 ศึกษาผลของระยะเวลาการงอก และสายพันธุ์ข้าวหลังหุงสุกต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแกมมาออร์ซานอล ( $\gamma$ -oryzanol) และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound)**

3.4.3.1 วิธีการเตรียมตัวอย่าง นำข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้จากวิธีการเตรียมในข้อ 3.4.2.1 หุงสุกโดยใช้ตัวอย่างข้าวกล้องในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2.3 หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ยี่ห้อพานาโซนิค (วิไลภรณ์ ตรีภักภูณรัชย์, 2549)

3.4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar)

ตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่ทำการบดละเอียดแล้ว ชั่งตัวอย่าง 5±0.001 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 บีบอัดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 16 ×150 มิลลิลิตร เติม DNS reagent 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือด 3-5 นาที ทำให้เย็นทันที นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ คัดแปรตามวิธีที่รายงาน โดย Correia et al. (2005) โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโนเมตร เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับสารละลาย dinitrosalicylic acid reagent โดยน้ำตาลจะปรีดิซซ์ 3,5-dinitrosalicylic acid ได้เป็นสาร monoamine ซึ่งได้สีน้ำตาลแดง การเตรียมกราฟมาตรฐานปีเปิดสารละลายกลูโคสมาตรฐาน (5 ไมโคร โมลต่อมิลลิลิตร) ใส่ในหลอดทดลองปริมาตร 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นเติมน้ำกลั่นโดยให้ปริมาตรในแต่ละหลอดเป็น 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติม DNS reagent หลอดละ 1 มิลลิลิตร ไปต้มในน้ำเดือดนาน 3-5 นาที ทำให้เย็นทันที เติมน้ำกลั่นในแต่ละหลอดปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร โดยหลอดเปรียบเทียบ (blank) ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกลูโคส

#### 3.4.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound)

นำตัวอย่างจากการเตรียมในข้อ 3.4.3.1 นำมาทำให้แห้งและบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่าง  $5 \pm 0.001$  กรัม สกัดด้วยเมธานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร พร้อมทั้งเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร (Choi et al., 2007) นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีที่รายงาน โดย Kim et al. (2006) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ซึ่งสามารถติดตามโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร ใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน

#### 3.4.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณแกมมาอริซานอล ( $\gamma$ -Oryzanol)

นำตัวอย่างจากการเตรียมในข้อ 3.4.3.1 นำมาทำให้แห้งและบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่าง  $10 \pm 0.001$  กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร พร้อมทั้งเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกโดยเครื่อง Rotary Evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณแกมมาอริซานอล ตามวิธีที่รายงาน โดย Perretti et al. (2003) โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 315 นาโนเมตร

3.4.3.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH นำตัวอย่างจากการเตรียมในข้อ 3.4.4.1 นำมาทำให้แห้งและบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่าง  $5 \pm 0.001$  กรัม สกัดด้วยเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร พร้อมทั้งเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร (ดัดแปลงจาก Choi et al., 2007) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี ไมโครเพลท ตามข้อ 3.4.2.5

3.4.3.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP นำตัวอย่างจากการเตรียมในข้อ 3.4.3.1 นำมาทำให้แห้งและบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่าง  $5 \pm 0.001$  กรัม สกัดด้วยเอธานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตรพร้อมทั้งเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร (ดัดแปลงจาก Choi et al., 2007) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีโมโครเพลท ตามข้อ 3.4.2.6

วางแผนการทดลองในการเตรียมข้าวก่อนและหลังหุงแบบ Completely Randomized Design จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลโดยใช้ ANOVA (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแกมมา ออริซานอลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rank Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

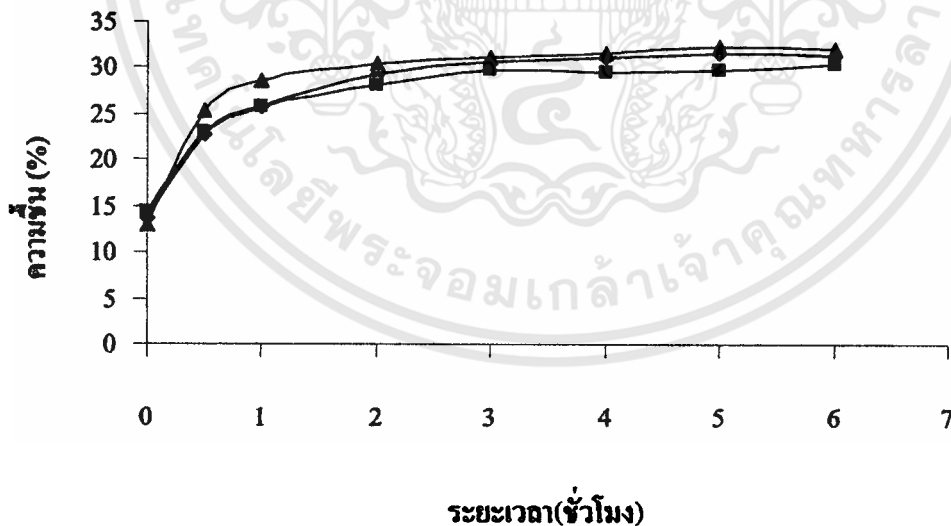


## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับน้ำของข้าวกล้อง

เมื่อนำข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออก (ข้าวกล้อง) นำไปแช่ในน้ำสะอาด ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เป็น 1:4 โดยน้ำหนัก ควบคุมอุณหภูมิที่  $35 \pm 1$  องศาเซลเซียส ระยะเวลา 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง พบว่า เมื่อใช้เวลาในการแช่นานขึ้นปริมาณการดูดซับน้ำของข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์เพิ่มมากขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระยะเวลาแช่นาน 2 ชั่วโมง มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงสุดและมีปริมาณความชื้นเท่ากับ  $29.1 \pm 0.09$  เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ กข 23 และพันธุ์ ชัยนาท 1 มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงสุดที่ระยะเวลาแช่นาน 3 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้น เท่ากับ  $29.64 \pm 0.06$  และ  $31.04 \pm 0.25$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.1) Komastuzaki et al. (2007) ได้ทำการพัฒนาวิธีและกระบวนการทำงานออกเพื่อเพิ่มปริมาณ GABA โดยศึกษาข้าว 2 สายพันธุ์ (Nipponbare และ Haiminori) พบว่า ระหว่างการแช่ข้าวในน้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงพบว่า ข้าวพันธุ์ Haiminori มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 43.6 เปอร์เซ็นต์ ข้าวพันธุ์ Nipponbare 36 เปอร์เซ็นต์ ข้าวพันธุ์ Haiminori มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่า ข้าวพันธุ์ Nipponbare



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาแช่เมล็ดข้าวกล้องกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น

(—◆— คือ ขาวดอกมะลิ 105 —■— คือ กข 23 —▲— คือ ชัยนาท 1)

น้ำเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด เพื่อให้ขบวนการต่างๆ ในการงอกเกิดขึ้น และปัจจัยอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการงอกที่สำคัญได้แก่ น้ำหรือความชื้น ออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสม (จงจันทร์ ดวงพัตรา, 2529) กระบวนการทำให้งอกด้วยวิธีการแช่น้ำ เป็นวิธีการทั่วไป น้ำที่อยู่ในปริมาณที่เพียงพอจะช่วยให้เกิดการเจลาติไนซ์ (Bello et al., 2004) Lim et al. (2006) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นจะช่วยลดระยะเวลาในการงอกและอัตราการดูดน้ำเพิ่มขึ้นด้วย สายพันธุ์ข้าวแตกต่างกันมีผลต่อขนาดหรือความยาวของงอกข้าว (embryo) งอกข้าวมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อขบวนการงอกของเมล็ดข้าว เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิดการงอก การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และเกิดการสะสมของสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากขึ้น (Komastuzaki et al., 2007) การแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิห้องช่วยการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสี กลิ่น และรสชาติ เมื่อทำการงอกที่ระยะเวลา 12 – 24 ชั่วโมงพบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องมีกลิ่นหมักเกิดขึ้น น้ำจะกระตุ้นให้เอนไซม์ในเมล็ดให้ทำงาน ขณะเดียวกันก็มีการสังเคราะห์เอนไซม์ที่จำเป็นต้องใช้ ในเมล็ดข้าวมีเอนไซม์ในงอกข้าวและชั้นแอลลิวโรน โดยในระหว่างการงอกของเมล็ดมีการย่อยสารอาหารภายในเมล็ดข้าว พบว่าส่วนใหญ่เป็นการย่อยแป้งและรองลงมาเป็นโปรตีน โดยกลุ่มเอนไซม์ที่ย่อยสตาร์ช ได้แก่ แอลฟา-อะไมเลส แอลฟา-กลูโคซิเดส และเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน ได้แก่ เอนไซม์ไพโรเลส (Saman et al., 2008) ในเมล็ดข้าวสารเอนไซม์ glutamic acid decarboxylase เริ่มทำงานเมื่อเมล็ดมีความชื้นประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และที่ความชื้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ พบเอนไซม์ dehydrogenase (วันชัย จันทรประเสริฐ, 2537)

#### 4.2 ผลการศึกษาน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ ที่ระยะเวลาการทำงานแตกต่างกัน

ผลของปัจจัยของระยะเวลาทำงาน (0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง) และสายพันธุ์ข้าว (ขาวดอกมะลิ105 กข23 และ ชัยนาท1) ที่อุณหภูมิ  $35 \pm 1$  องศาเซลเซียส ค่อน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และแกมมาออร์นิทานอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแสดงดังตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 เห็นได้ว่าปัจจัยหลักที่ศึกษา คือ พันธุ์ข้าว และเวลา มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออร์นิทานอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP) ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และแกมมาออร์นิทานอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่าง พันธุ์ข้าว  $\times$  เวลา มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.1 ผลของปัจจัยการงอกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถ  
ด้านอนุมูลอิสระ**

|                        | p-value       |                             |                    |                                  |        |
|------------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------------|--------|
|                        | น้ำตาลรีดิวซ์ | สารประกอบ<br>ฟีนอลิกทั้งหมด | แกมมา<br>ออริซานอล | ความสามารถ<br>การต้านอนุมูลอิสระ |        |
|                        |               |                             |                    | DPPH                             | FRAP   |
| <b>ปัจจัยหลัก</b>      |               |                             |                    |                                  |        |
| พันธุ์ข้าว (cultivars) | 0.000*        | 0.000*                      | 0.000*             | 0.000*                           | 0.000* |
| เวลา (Time)            | 0.000*        | 0.000*                      | 0.000*             | 0.000*                           | 0.000* |
| <b>ปัจจัยร่วม</b>      |               |                             |                    |                                  |        |
| พันธุ์ข้าว × เวลา      | 0.000*        | 0.000*                      | 0.000*             | 0.000*                           | 0.000* |

หมายเหตุ \* หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

**4.2.1 ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและความสามารถในการต้าน  
อนุมูลอิสระ**

ผลของพันธุ์ข้าว ขาวดอกมะลิ 105 กข 23 และชัยนาท 1 ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า พันธุ์ข้าวมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และแกมมาออริซานอล สูงกว่า พันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 และ พันธุ์ กข 23 ในขณะที่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) พบใน พันธุ์ กข 23 สูงกว่า พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ พันธุ์ชัยนาท 1

พันธุ์ข้าวชัยนาท 1 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และแกมมาออริซานอลสูงกว่า พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ พันธุ์กข 23 คือมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ  $3.07 \pm 1.31$  กรัมต่อ 100 กรัม สารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ  $17.73 \pm 1.72$  มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และแกมมาออริซานอลเท่ากับ  $21.44 \pm 2.28$  มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

พันธุ์ข้าวกข 23 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ พันธุ์ชัยนาท 1 โดยมีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH เท่ากับ  $0.37 \pm 0.02$  มิลลิกรัมต่อกรัม และความสามารถในการต้านอนุมูล FRAP เท่ากับ  $0.42 \pm 0.06$  มิลลิกรัมต่อกรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ในพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ชัยนาท 1

ตารางที่ 4.2 ผลของสายพันธุ์ข้าวต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน

| สายพันธุ์     | น้ำตาลรีดิวซ์<br>(g/100 g db) | สารประกอบ<br>ฟีนอลิกทั้งหมด<br>(mg/100 g db) | แกมมา<br>ออริซานอล<br>(mg/100 g db) | ความสามารถในการต้าน<br>อนุมูลอิสระ |                                 |
|---------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|               |                               |  |                                     | DPPH* <sup>1</sup><br>(mg/g db)    | FRAP* <sup>2</sup><br>(mg/g db) |
| ขาวดอกมะลิ105 | 0.97 ±0.33 <sup>c</sup>       | 14.88±1.14 <sup>c</sup>                      | 20.22±0.75 <sup>c</sup>             | 0.33 ±0.04 <sup>b</sup>            | 0.38±0.07 <sup>b</sup>          |
| กข23          | 1.25 ±0.56 <sup>b</sup>       | 16.78±1.32 <sup>b</sup>                      | 21.11±2.14 <sup>b</sup>             | 0.37 ±0.02 <sup>a</sup>            | 0.42±0.06 <sup>a</sup>          |
| ชัยนาท1       | 3.07 ±1.31 <sup>a</sup>       | 17.73±1.72 <sup>a</sup>                      | 21.44±2.28 <sup>a</sup>             | 0.32 ±0.07 <sup>b</sup>            | 0.39±0.08 <sup>b</sup>          |

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ที่กำกับในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

\*<sup>1</sup>DPPH หมายถึง ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH (DPPH radical)

\*<sup>2</sup>FRAP หมายถึง ความสามารถในการต้านอนุมูล FRAP (Ferric Reducing Ability Power)

ปัจจัยของข้าวกล้องงอกต่างสายพันธุ์ มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 4.2 ข้าวที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้าวต่างสายพันธุ์ อีกทั้งยังมีความแตกต่างกันในวิธีการสกัดสารตัวอย่าง สายพันธุ์ของข้าวที่แตกต่างกันมีผลต่อขนาดหรือความยาวของจมูกข้าว (embryo) ซึ่งจมูกข้าวมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อขบวนการงอกของเมล็ดข้าวและการเปลี่ยนแปลงของสารชีวกิจกรรม (Komastuzaki et al., 2007)

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ตารางที่ 4.2) ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ พันธุ์ กข23 ( $3.07 \pm 1.31$ ,  $0.97 \pm 0.33$  และ  $1.25 \pm 0.56$  กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ) เนื่องจากข้าวพันธุ์ชัยนาท1 มีปริมาณอะไมโลส สูงกว่าข้าวอีก 2 สายพันธุ์ ในเมล็ดข้าวพีชจะพบแป้งในสัดส่วนที่มากกว่าโปรตีนและไขมัน โดยแป้งที่พบจะประกอบด้วยโพลีเมอร์ของ D-glucose 2 ชนิด ได้แก่ อะไมโลส ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ที่เป็นเส้นตรงเกิดจากการเกาะกันของโมเลกุลกลูโคสแบบ  $\alpha$ -1,4 glucosidic linkage เพียงแบบเดียว กับแป้งอีกชนิดคือ อะไมโลเพกติน ซึ่งเป็น โพลีเมอร์ที่แตกกิ่งก้าน เกิดจากการเกาะกันของกลูโคสแบบ  $\alpha$ -1,4 glucosidic linkage และแบบ  $\alpha$ -1,6 linkage สัดส่วนของ อะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์พีช แป้งของเมล็ดข้าวประกอบด้วยอะไมโลส 15-37 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ แป้งของเมล็ดข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ มีอะไมโลส 25 เปอร์เซ็นต์ (วันชัย จันทรประเสริฐ, 2537)

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า พบว่า พบว่า ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สูงกว่า พันธุ์ กข23 และ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ โดยพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ  $17.73 \pm 1.72$ ,  $16.78 \pm 1.32$  และ  $14.88 \pm 1.14$  มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ สารประกอบฟีนอลิกสามารถพบได้ในพืช เช่น ผลไม้ ข้าว ธัญชาติต่าง ๆ กาแฟ เป็นต้น แต่ก็พบได้ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปในพืชที่ต่างชนิด ต่างพันธุ์กันออกไป ในเมล็ดธัญชาตินั้น พบเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปอิสระ และ โกลโคไซด์ ซึ่งมีทั้งในส่วนละลายและส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่จะจับกับ โพลีแซคคาไรด์ของผนังเซลล์ (Tian et al, 2004) การที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการงอกของเมล็ดข้าว น้ำหรือความชื้นเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอก เมื่อน้ำได้ทำการแทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว จะกระตุ้นเอนไซม์ในข้าวให้ทำงาน เชื้อหุ้มเมล็ดถูกทำลายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเจริญของจุลินทรีย์มีผลให้ saccharolytic enzymes ย่อยแบ่งในส่วนที่เป็น hydroxycinnamate sucrose ester ได้เป็น free phenolic compound (Tian et al., 2004 ; วันชัย จันทร์ประเสริฐ, 2537)

Zhou et al. (2004) ศึกษาการกระจายตัวของกรดฟีนอลิกในเมล็ดข้าว 3 สายพันธุ์ พบว่า กรดฟีนอลิกที่พบส่วนใหญ่ในข้าวกล้องและข้าวที่ผ่านการขัดสี คือ กรดเฟอร์รูริก และกรดพาราควมาริก และพบกรดแกลติก กรดวานิลิก กรดเคเฟอิก และไซลินิก ในปริมาณเล็กน้อย โดยความเข้มข้นของกรดฟีนอลิกจะเพิ่มขึ้นจากส่วนของเอนโดสเปิร์ม ไปยังชั้นแอลลิวโรน ซึ่งกรดพาราควมาริกจะเชื่อมต่อกับลิกนินที่ผนังเซลล์ในขณะที่กรดเฟอร์รูริกจะเชื่อมต่อกับองค์ประกอบของผนังเซลล์ของชั้นแอลลิวโรน ซึ่งจะอุดมด้วย อะลาบิโนไซแลน จึงทำให้ชั้นแอลลิวโรนมีปริมาณของกรดเฟอร์รูริกมาก พบกรดเฟอร์รูริกและกรดแกลติกมากที่สุด ในข้าวพันธุ์ Kyeema กรดควมาลิกพบมากที่สุด ในข้าวพันธุ์ Doongara ซึ่งพบว่าทุกสายพันธุ์ข้าวจะพบประมาณกรดฟีนอลิกในข้าวกล้องมากกว่าข้าวขัดขาว

จากการวิเคราะห์ปริมาณแกมมาออริซานอลในข้าว 3 สายพันธุ์ (ตารางที่ 4.2) พบว่า ปัจจัยของสายพันธุ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแกมมาออริซานอล ( $p \leq 0.05$ ) ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณแกมมาออริซานอลสูงกว่าข้าวพันธุ์ กข 23 และ ขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ ( $21.11 \pm 2.14$ ,  $21.44 \pm 2.28$  และ  $20.22 \pm 0.75$  มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ) พันธุ์ข้าวต่างกัน ขนาดความยาวของเมล็ดข้าวต่างกัน (Komastuzaki et al., 2007) มีผลต่อปริมาณแกมมาออริซานอลที่แตกต่างกัน Aguilar-Garcia et al. (2007) ศึกษาปริมาณแกมมาออริซานอลในข้าวกล้องต่างสายพันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์ Zeta15 และ ข้าวพันธุ์ Cimarrón มีปริมาณเท่ากับ 0.39 และ 0.33 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ( $p \leq 0.05$ ) ข้าวพันธุ์ FONAIAP-1 มีปริมาณแกมมาออริซานอลเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อกรัม การที่ปริมาณแกมมาออริซานอลเพิ่มขึ้นเนื่องจาก โครงสร้างทางเคมีของออริซานอล จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรดเฟอร์รูริกซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก และส่วนที่เป็นสเตอรอล เมื่อ

สารประกอบฟีนอลิกอิสระเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณออริซานอลเพิ่มขึ้นด้วย ตามลำดับ (Ohtsubo et al., 2001) จากการวิเคราะห์ปริมาณแกมมาออริซานอลในตัวอย่างข้าวกล้องงอกพบว่าปริมาณน้อยกว่าในรำข้าว เนื่องจากจะพบปริมาณแกมมาออริซานอลในรำข้าวสูงกว่าในข้าวกล้องงอก จากสัดส่วนของปริมาณแป้งและรำข้าว 80 เปอร์เซ็นต์ พบไขมันอยู่ในรำละเอียดและรำข้าวขาว และประมาณ 1 ใน 3 จะอยู่ในส่วนของจมูกข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

#### 4.2.2 ผลของเวลาต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ผลของเวลาต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1 ขาวดอกมะณี 105 และ กข 23 แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อใช้เวลาในการทำให้งอกเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และสารชีวกิจกรรม ในข้าว 3 สายพันธุ์ จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และแกมมาออริซานอล ในข้าวกล้องงอกจะเพิ่มตามระยะเวลาในการทำงานออกเมื่อระยะเวลาการทำงานนานขึ้นมีผลทำให้เอนไซม์ทำงานได้นานขึ้น จึงทำให้ปริมาณสารต่างๆ ในข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้สอดคล้องกับ Oloyo (2004) ที่รายงานว่า สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เส้นใยอาหาร แร่ธาตุและแทนนินในเมล็ด *Cajanus cajan* L. จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทำงาน แต่ในขณะเดียวกันโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และกรดไฟติก จะลดลง ในขณะที่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP) ในตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทำงอก (control) มีปริมาณสูงกว่า เมื่อระยะเวลาในการทำให้งอกเพิ่มขึ้น โดยในข้าวที่ผ่านระยะเวลาการทำให้งอกปริมาณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์

| ระยะเวลา<br>(ชั่วโมง) | น้ำตาลรีดิวซ์<br>(g/100 g db) | สารประกอบ<br>ฟีนอลิกทั้งหมด<br>(mg/100 g db) | แกมมา<br>ออริซานอล<br>(mg/100 g db) | ความสามารถในการต้านอนุมูล<br>อิสระ |                                 |
|-----------------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|                       |                               |  |                                     | DPPH* <sup>1</sup><br>(mg/g db)    | FRAP* <sup>2</sup><br>(mg/g db) |
| control*              | 0.90 ±0.35 <sup>f</sup>       | 14.88 ±1.05 <sup>c</sup>                     | 21.21±0.37 <sup>b</sup>             | 0.40 ±0.02 <sup>a</sup>            | 0.51±0.05 <sup>a</sup>          |
| 0                     | 1.10 ±0.52 <sup>e</sup>       | 16.28 ±1.74 <sup>b</sup>                     | 19.34±1.03 <sup>f</sup>             | 0.30 ±0.05 <sup>c</sup>            | 0.41±0.05 <sup>b</sup>          |
| 6                     | 1.14 ±0.87 <sup>d</sup>       | 15.89 ±1.73 <sup>b</sup>                     | 20.24±0.57 <sup>d</sup>             | 0.32 ±0.05 <sup>bc</sup>           | 0.42±0.05 <sup>b</sup>          |
| 12                    | 2.06 ±1.49 <sup>c</sup>       | 16.09 ±1.28 <sup>b</sup>                     | 19.95±0.69 <sup>e</sup>             | 0.34 ±0.06 <sup>bc</sup>           | 0.36±0.06 <sup>c</sup>          |
| 18                    | 2.26 ±1.15 <sup>b</sup>       | 17.59 ±1.12 <sup>a</sup>                     | 20.72±0.87 <sup>e</sup>             | 0.35 ±0.04 <sup>b</sup>            | 0.35±0.04 <sup>c</sup>          |
| 24                    | 2.87 ±1.57 <sup>a</sup>       | 18.05 ±1.18 <sup>a</sup>                     | 24.09±2.29 <sup>a</sup>             | 0.35 ±0.04 <sup>b</sup>            | 0.34±0.02 <sup>c</sup>          |

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ที่กำกับในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ ), ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

\* control หมายถึง ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการทำงอก

\*<sup>1</sup>DPPH หมายถึง ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH (DPPH radical)

\*<sup>2</sup>FRAP หมายถึง ความสามารถในการต้านอนุมูล FRAP (Ferric Reducing Ability Power)

ปัจจัยของระยะเวลาการงอกมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.3) ข้าวกล้อง (control) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำสุด เท่ากับ  $0.90 \pm 0.35$  กรัมต่อ 100 กรัม ที่ระยะเวลาการทำงอก 24 ชั่วโมง น้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเป็น  $2.87 \pm 1.57$  กรัมต่อ 100 กรัม วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย (2549) ศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ระยะเวลาในการงอกมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวกล้องงอกที่ 0 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 0.68 กรัมต่อ แป้ง 100 กรัม เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้นเป็น 96 ชั่วโมงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นประมาณ 5 เท่า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.41 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม การที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากในขณะการงอกของเมล็ดข้าวช่วงที่มีการแช่เมล็ดข้าว เมล็ดข้าวจะดูดซึมน้ำทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้น น้ำช่วยในการเจริญเติบโตของข้าวในส่วนของงอกข้าว (embryo) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดข้าว กระบวนการทางชีวเคมีเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว (วันชัย จันประเสริฐ, 2537) กระตุ้นให้เอ็นไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการ ทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี เช่น ย่อยโปรตีนไปเป็นกรดอะมิโน ย่อยแป้งเป็นกลูโคสและซูโคส จนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็ก (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) (Juliano, 1981) ในระหว่าง

กระบวนการงอกของสตราซ์ เอนโคสเปิร์มจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) ในระยะเริ่มต้นเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะทำงานได้มากกว่า เอนไซม์เบตา-อะไมเลส ( $\beta$ -amylase) เอนไซม์ฟอสโฟไรเลส (phosphorylase) หรือ อาร์เอนไซม์ (R-enzyme) นอกจากนี้ เอนไซม์ไฮโดรเลส ยังช่วยให้การย่อยแป้งไปเป็นกลูโคสได้สมบูรณ์มากขึ้น น้ำตาลรีดิวซ์ที่พบส่วนใหญ่ คือ น้ำตาลกลูโคส และมีปริมาณของน้ำตาลฟรุกโตส มอลโตส และ มอลโตโทไอส เล็กน้อย (Plamiano and Juliano, 1972) จึงส่งผลให้ข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกจะมี รสหวานเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย (วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลย์ชัย, 2549)

ปัจจัยของระยะเวลาการทำงานก็มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาจากตาราง 4.3 พบว่า จากตัวอย่างข้าวกล้อง (control) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมด เท่ากับ  $14.88 \pm 1.05$  มิลลิกรัมแกดลิคต่อ 100 กรัม เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นเป็น 24 ชั่วโมง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกก็เพิ่มขึ้น  $18.05 \pm 1.18$  มิลลิกรัมแกดลิคต่อ 100 กรัม สอดคล้องกับ วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลย์ชัย (2549) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาการงอกต่อการ เปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวกิจกรรมบางชนิดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 รายงานว่าข้าวกล้องที่ผ่านการ แช่น้ำที่ 48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งมีค่า เท่ากับ  $16.87 \pm 0.89$  มิลลิกรัมต่อแป้งข้าวกล้องงอก 100 กรัม ที่ 48 ชั่วโมง เป็น  $19.80 \pm 0.90$  มิลลิกรัม ต่อแป้งข้าวกล้องงอก 100 กรัม ที่ 96 ชั่วโมง Tian et al. (2004) รายงานว่า เมื่อนำข้าวกล้องมาแช่น้ำ เพื่อให้เกิดการงอก นาน 21 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส มีปริมาณของฟีนอลิกที่ไม่ละลาย (total insoluble phenolic) ที่สูงกว่าในข้าวกล้อง โดยข้าวกล้องงอกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมด เท่ากับ 24.78 มิลลิกรัมต่อแป้งข้าวกล้องงอก 100 กรัม ข้าวกล้องมีปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 18.47 มิลลิกรัมต่อแป้งข้าวกล้อง 100 กรัม Oloyo (2004) ศึกษาการ เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ดถั่วคัพราบ พบว่ากระบวนการทำงานงอกมีผลให้เกิด การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารหลายชนิดภายในเมล็ด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดไขมันที่มี ปริมาณลดลง แต่ในขณะที่ปริมาณไขมัน ใยอาหาร แร่ธาตุ แทนนิน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาการเพาะงอก 5 วัน มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 22.8 ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม เพิ่มขึ้นเป็น 115 ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม

ระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแกมมาออริซานอล โดยพบว่า เมื่อระยะเวลาในการ งอกเพิ่มขึ้นปริมาณแกมมาออริซานอลเพิ่มขึ้น ในข้าวกล้อง (control) มีปริมาณแกมมาออริซานอล เท่ากับ  $21.21 \pm 0.37$  มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการทำงานที่ 24 ชั่วโมง พบปริมาณ แกมมาออริซานอลเพิ่มขึ้นเป็น  $24.09 \pm 2.29$  มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สอดคล้องกับ วิไลภรณ์ ตระกูล พิบูลย์ชัย (2549) ศึกษาผลของระยะเวลาการงอกต่อสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 สกัดด้วยเครื่องซูเปอร์คริติคอลลูอิด ที่สภาวะอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลาในการสกัด 10 นาที พบปริมาณออริซานอลที่ระยะเวลาในการทำ

งอก 0 ชั่วโมง เท่ากับ 8.49 มิลลิกรัมต่อแป่ง 100 กรัม เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้นที่ 96 ชั่วโมง แกมมาออริซานอลมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 9.88 มิลลิกรัมต่อแป่ง 100 กรัม ระยะเวลาการงอกมีอิทธิพลต่อปริมาณแกมมาออริซานอล ( $p \leq 0.05$ ) วันพรพญา ชุติปัญญา (2549) ศึกษาปริมาณแกมมาออริซานอลในข้าวกล้องงอกที่ทำการแช่น้ำสมุนไพรน้ำตะไคร้ และน้ำใบเตย เพื่อเพิ่มความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ข้าวกล้องที่ใช้ระยะเวลาการงอก 24 ชั่วโมง ที่แช่น้ำสมุนไพรและแช่น้ำก้าน มีปริมาณแกมมาออริซานอลสูงที่สุด ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการทำงอก (483.6 ไมโครกรัมต่อกรัมตัวอย่าง) โดยพบว่าข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำก้าน มีปริมาณออริซานอลเท่ากับ 553.9 ไมโครกรัมต่อกรัม ตัวอย่างที่ทำการแช่น้ำสมุนไพรน้ำตะไคร้ และน้ำใบเตย เพื่อเพิ่มความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบปริมาณแกมมาออริซานอลเท่ากับ 597.2 และ 614.8 ไมโครกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ การที่ปริมาณออริซานอลเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของออริซานอลประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรดเฟอร์รูลิกเป็นองค์ประกอบหลัก และส่วนที่เป็น สเตอรอลเมื่อสารประกอบฟีนอลิกอิสระเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณออริซานอลเพิ่มขึ้นด้วย ตามลำดับ (Ohtsubo et al., 2001)

ปัจจัยของระยะเวลาที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ( $p \leq 0.05$ ) ตามลำดับ จากตารางที่ 4.3 พบว่าข้าวกล้องพันธุ์กข23 มีปริมาณการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า พันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ  $0.42 \pm 0.06$ ,  $0.39 \pm 0.08$  และ  $0.38 \pm 0.07$  มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ วันพรพญา ชุติปัญญา (2549) ได้ศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะงอกต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำก้าน พบว่า ระยะเวลาการเพาะงอก (6-24 ชั่วโมง) ไม่มีความสัมพันธ์กับการต้านอนุมูลอิสระ ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมคือข้าวที่ไม่ผ่านการเพาะงอก โดยตัวอย่างที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดคือตัวอย่างควบคุม Ohtsubo et al. (2001) รายงานว่าเมื่อเปรียบเทียบข้าวกล้องกับข้าวกล้องงอก พบว่าข้าวกล้องนอกจากจะมีคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าข้าวกล้องงอกแล้วยังมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่น้อยกว่าด้วย Choi et al. (2007) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวจากตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่าง (ข้าวขัดขาว ข้าวดำ ข้าวฟ่าง ข้าวกล้อง ถั่วเขียว เปลือกถั่วเขียว ถั่วเขียว และข้าวบาร์เลย์) พบว่าข้าวที่ผ่านการสกัดและมีการละลายของดี (แอนโทไซยานิน) จะพบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH radical scavenging activity (%)) โพลีฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ พบในข้าวฟ่างและข้าวดำมากที่สุด โดยในข้าวฟ่างพบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) โดยวิธีการหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง พบ สูงสุดถึง 92 เปอร์เซ็นต์ ข้าวดำ 87 เปอร์เซ็นต์ แต่ในตัวอย่างที่ไม่มีการละลายของดีจะพบได้อยู่ในช่วง 7-67 เปอร์เซ็นต์ (ข้าวบาร์เลย์พบ 67 เปอร์เซ็นต์ ข้าวกล้อง พบ 37 เปอร์เซ็นต์) โพลีฟีนอลิก ในข้าวฟ่างพบ 733 mg gallic acid / 100 g ข้าวดำ 313 mg gallic acid / 100 g และ แคโรทีนอยด์ ในข้าวฟ่าง พบ 22  $\mu\text{g}$   $\beta$ -carotene / 100g ข้าวดำ 77  $\mu\text{g}$   $\beta$ -carotene / 100g Yang et al. (2001) ได้ ศึกษาสภาวะของการงอกและปริมาณสารต้าน

อนุมูลอิสระของเมล็ดข้าวสาลี โดยการแช่น้ำข้าว ที่ระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และนำไปตากออก 9 วันในที่มีอุณหภูมิ 16.5 องศาเซลเซียส และนำข้าวสาลีที่ผ่านการตากไปหาสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการงอกของเมล็ดข้าวสาลี คือ การแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ระยะเวลาการงอก 7 วันในที่มีด ทำให้มีปริมาณการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด มีปริมาณ วิตามินซี แอฟาโทโคเฟอรอล และเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 550, 10.92 และ 3.1 ไมโครกรัม ต่อกรัม ตามลำดับ

#### 4.2.3 ผลของเวลาและพันธุ์ข้าวต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ผลของปัจจัยร่วมระหว่างเวลาและพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทำงานออก แสดงดังตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเวลาและพันธุ์ข้าวที่ใช้มีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1 เมื่อใช้เวลาดอก 24 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด ในขณะที่ ข้าวพันธุ์ กข 23 และ ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อใช้เวลาดอกเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อเทียบที่ระยะเวลาออกที่ 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ เป็นผลมาจากระยะเวลาการทำงานออก เมื่อเพิ่มระยะเวลาการทำงานออก จะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และแกมมาออริซานอล โดยเมื่อระยะเวลาการเพิ่มขึ้นสารประกอบฟีนอลิกและแกมมาออริซานอลก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการเพิ่มของลักษณะของน้ำตาลรีดิวซ์ แต่สำหรับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวกล้องพันธุ์ กข 23 มีปริมาณสูงกว่า ในข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท 1 และ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อเพิ่มเวลาการงอกพบว่า มีปริมาณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ลดลงเล็กน้อยจากตัวอย่างข้าวกล้อง

ตารางที่ 4.4 ผลของพันธุ์ข้าวและเวลาต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

| เวลา<br>(ชั่วโมง) | สายพันธุ์     | น้ำตาลรีดิวซ์<br>(g/100 g db) | สารประกอบ<br>ฟีนอลิกทั้งหมด<br>(mg/100 g db) | แกมมา<br>ออริซานอล<br>(mg/100 g db) | ความสามารถในการต้าน<br>อนุมูลอิสระ |                                 |
|-------------------|---------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|                   |               |                               |  |                                     | DPPH* <sup>1</sup><br>(mg/g db)    | FRAP* <sup>2</sup><br>(mg/g db) |
| control*          | ขาวคอกมะลิ105 | 0.63±0.02 <sup>o</sup>        | 13.66±0.67 <sup>h</sup>                      | 21.10±0.19 <sup>c</sup>             | 0.408±0.007 <sup>ab</sup>          | 0.534±0.009 <sup>a</sup>        |
|                   | กข23          | 0.71 ±0.01 <sup>a</sup>       | 15.18±0.50 <sup>fg</sup>                     | 20.89±0.23 <sup>c</sup>             | 0.411±0.022 <sup>a</sup>           | 0.533±0.030 <sup>a</sup>        |
|                   | ชัยนาท 1      | 1.36±0.02 <sup>i</sup>        | 15.78±0.36 <sup>efg</sup>                    | 21.63±0.16 <sup>b</sup>             | 0.374±0.007 <sup>abcd</sup>        | 0.450±0.033 <sup>bc</sup>       |
| 0                 | ขาวคอกมะลิ105 | 0.67±0.01 <sup>no</sup>       | 15.00±1.06 <sup>g</sup>                      | 19.96±0.34 <sup>de</sup>            | 0.298±0.006 <sup>fg</sup>          | 0.357±0.027 <sup>efgh</sup>     |
|                   | กข23          | 0.85±0.02 <sup>l</sup>        | 15.49±1.07 <sup>efg</sup>                    | 20.07±0.09 <sup>de</sup>            | 0.360±0.001 <sup>bcde</sup>        | 0.436±0.018 <sup>bcd</sup>      |
|                   | ชัยนาท 1      | 1.79±0.03 <sup>f</sup>        | 18.35±0.31 <sup>bc</sup>                     | 17.99±0.09 <sup>g</sup>             | 0.250±0.009 <sup>h</sup>           | 0.446±0.029 <sup>bc</sup>       |
| 6                 | ขาวคอกมะลิ105 | 0.79±0.03 <sup>m</sup>        | 13.76±0.53 <sup>h</sup>                      | 19.70±0.30 <sup>ef</sup>            | 0.336±0.004 <sup>def</sup>         | 0.383±0.032 <sup>defg</sup>     |
|                   | กข23          | 0.86±0.01 <sup>l</sup>        | 16.31±0.36 <sup>ef</sup>                     | 20.11±0.13 <sup>de</sup>            | 0.360±0.006 <sup>bcde</sup>        | 0.409±0.021 <sup>cde</sup>      |
|                   | ชัยนาท 1      | 2.56±0.03 <sup>d</sup>        | 17.60±0.27 <sup>cd</sup>                     | 20.90±0.26 <sup>c</sup>             | 0.261±0.015 <sup>gh</sup>          | 0.473±0.039 <sup>b</sup>        |
| 12                | ขาวคอกมะลิ105 | 0.97±0.03 <sup>k</sup>        | 14.89±0.37 <sup>g</sup>                      | 19.30±0.38 <sup>f</sup>             | 0.311±0.003 <sup>ef</sup>          | 0.365±0.014 <sup>efgh</sup>     |
|                   | กข23          | 1.17±0.02 <sup>j</sup>        | 17.68±0.43 <sup>cd</sup>                     | 19.76±0.12 <sup>de</sup>            | 0.371±0.010 <sup>avcd</sup>        | 0.400±0.045 <sup>cdef</sup>     |
|                   | ชัยนาท 1      | 4.04±0.02 <sup>b</sup>        | 15.68±0.25 <sup>efg</sup>                    | 20.77±0.18 <sup>c</sup>             | 0.329±0.098 <sup>def</sup>         | 0.308±0.085 <sup>h</sup>        |
| 18                | ขาวคอกมะลิ105 | 1.36±0.02 <sup>i</sup>        | 15.37±0.58 <sup>efg</sup>                    | 20.20±0.36 <sup>d</sup>             | 0.302±0.006 <sup>fg</sup>          | 0.329±0.013 <sup>gh</sup>       |
|                   | กข23          | 1.64±0.03 <sup>g</sup>        | 17.60±0.52 <sup>cd</sup>                     | 20.12±0.16 <sup>de</sup>            | 0.386±0.008 <sup>abc</sup>         | 0.393±0.017 <sup>cdef</sup>     |
|                   | ชัยนาท 1      | 3.78±0.04 <sup>c</sup>        | 19.80±1.65 <sup>a</sup>                      | 21.83±0.24 <sup>b</sup>             | 0.357±0.003 <sup>bcde</sup>        | 0.315±0.010 <sup>h</sup>        |
| 24                | ขาวคอกมะลิ105 | 1.43±0.01 <sup>h</sup>        | 16.56±0.14 <sup>de</sup>                     | 21.06±0.49 <sup>c</sup>             | 0.317±0.006 <sup>ef</sup>          | 0.326±0.011 <sup>gh</sup>       |
|                   | กข23          | 2.67±0.03 <sup>e</sup>        | 18.40±0.06 <sup>bc</sup>                     | 25.69±0.22 <sup>a</sup>             | 0.355±0.009 <sup>cde</sup>         | 0.350±0.028 <sup>efgh</sup>     |
|                   | ชัยนาท 1      | 4.91 ±0.10 <sup>a</sup>       | 19.18 ±0.28 <sup>ab</sup>                    | 25.51±0.36 <sup>a</sup>             | 0.376±0.047 <sup>abcd</sup>        | 0.348±0.003 <sup>fgh</sup>      |

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ที่กำกับในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น

95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ ), ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

\* control หมายถึง ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการทำงาน

\*<sup>1</sup>DPPH หมายถึง ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH (DPPH radical)

\*<sup>2</sup>FRAP หมายถึง ความสามารถในการต้านอนุมูล FRAP (Ferric Reducing Ability Power)

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของ 5 ตัวแปร คือ ตัวอย่างข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.5 น้ำตาลรีดิวซ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และแกมมาออริซานอล โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.570 และ 0.476 ตามลำดับ แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP เท่ากับ 0.058 และ 0.446 ตามลำดับ เช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับแกมมาออริซานอล โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.402 เมื่อมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นแกมมาออริซานอลก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และยังพบว่ามี ความสัมพันธ์ในทางลบกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP (และ 0.451 ตามลำดับ) แกมมาออริซานอลและ DPPH มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ( $r = 0.222$ ) แต่พบว่ามี ความสัมพันธ์ในทางลบกับ FRAP ( $r = 0.268$ )

ตารางที่ 4.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) ของน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP) ในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน

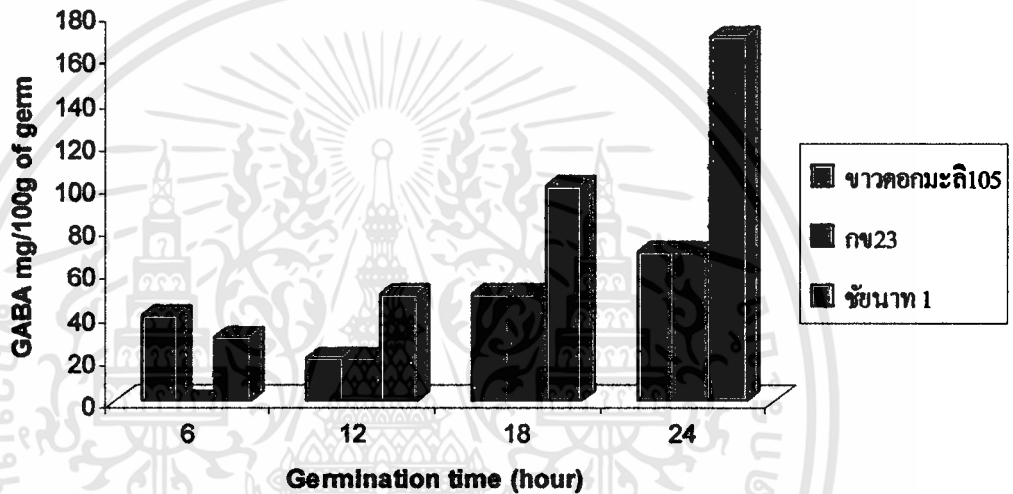
|                         | น้ำตาลรีดิวซ์ | สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด | แกมมาออริซานอล | DPPH     | FRAP     |
|-------------------------|---------------|-------------------------|----------------|----------|----------|
| น้ำตาลรีดิวซ์           | 1             | 0.570**                 | 0.476**        | -0.058   | -0.446** |
| สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด |               | 1                       | 0.402**        | -0.413** | -0.451** |
| แกมมาออริซานอล          |               |                         | 1              | 0.222    | -0.268   |
| DPPH                    |               |                         |                | 1        | 0.337*   |
| FRAP                    |               |                         |                |          | 1        |

หมายเหตุ \* มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\* มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

#### 4.2.4 ผลของพันธุ์ข้าว 3 สายพันธุ์และระยะเวลาการงอกต่อปริมาณ GABA

จากรูปที่ 4.2 ไม่พบ GABA (จมูกข้าว) ในข้าวกล้องทั้ง 3 สายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย (2549) ที่ไม่พบ GABA ในข้าวกล้องขาวคอกมะลิ105 แต่พบ GABA ในข้าวกล้องที่ผ่านการงอกที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์แตกต่างกัน (ตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกบดละเอียดทั้งเมล็ด)



รูปที่ 4.2 ผลของพันธุ์ข้าวและระยะเวลาต่อปริมาณ GABA

เมื่อระยะเวลาในการทำงอกเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มพบการเพิ่มขึ้นของปริมาณ GABA ระยะเวลาทำการงอกที่ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบ ปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอก ขาวคอกมะลิ105, กข23 และ ชัยนาท1 เท่ากับ 70, 70 และ 170 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม จมูกข้าว Varanyanond et al., (2005) ได้ศึกษาถึงผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอก พบว่า เมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำเพิ่มขึ้นระหว่าง 1-4 ชั่วโมง มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ GABA ในข้าวไทยทั้ง 6 พันธุ์ (ขาวคอกมะลิ105 ปทุมธานี1 ชัยนาท1 สุพรรณบุรี1 เหลืองปะทิว123 และ พลายงาม) แต่ที่พบปริมาณ GABA สูงสุดคือ ข้าวคอกมะลิ105 เท่ากับ 186.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของจมูกข้าว ปทุมธานี1 เท่ากับ 154.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของจมูกข้าว และ ชัยนาท1 เท่ากับ 144.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของจมูกข้าว Komatsuzaki et al., (2007) ได้ทำการพัฒนาวิธีและกระบวนการทำงอกเพื่อเพิ่มปริมาณ GABA ในระหว่างกระบวนการแช่น้ำ 0.5 – 5 ชั่วโมง พบปริมาณ GABA สูงสุดเท่ากับ 25.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ที่ระยะเวลา แช่น้ำ 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณกรดอะมิโนในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ ที่ระยะเวลาในการงอก 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

| ชนิดกรดอะมิโน<br>(มิลลิกรัมต่อจมูก<br>ข้าว 100 มิลลิกรัม) | พันธุ์ข้าว/ระยะเวลาการงอก (ชั่วโมง) |             |             |             |              |              |              |              |              |              |              |              |
|---|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|   | ขาวดอกมะลิ105                       |             |             |             | กข23         |              |              |              | ชัยนาท 1     |              |              |              |
|   | 6                                   | 12          | 18          | 24          | 6            | 12           | 18           | 24           | 6            | 12           | 18           | 24           |
| Aspartic acid   | 0.74                                | 0.76        | 0.75        | 0.74        | 1.10         | 1.10         | 1.12         | 1.27         | 1.14         | 1.17         | 1.26         | 1.30         |
| Serine  | 0.51                                | 0.50        | 0.48        | 0.50        | 0.69         | 0.68         | 0.71         | 0.71         | 0.70         | 0.67         | 0.68         | 0.75         |
| Glutamic acid   | 1.47                                | 1.47        | 1.49        | 1.46        | 2.28         | 2.32         | 2.35         | 2.31         | 2.29         | 2.14         | 2.32         | 2.39         |
| Glycine   | 0.46                                | 0.45        | 0.46        | 0.52        | 0.67         | 0.67         | 0.68         | 0.73         | 0.69         | 0.65         | 0.68         | 0.73         |
| Histidine   | 0.24                                | 0.24        | 0.24        | 0.25        | 0.36         | 0.36         | 0.36         | 0.38         | 0.38         | 0.35         | 0.35         | 0.37         |
| Arginine  | 0.86                                | 0.82        | 0.81        | 0.82        | 1.42         | 1.42         | 1.47         | 1.53         | 1.44         | 1.31         | 1.33         | 1.40         |
| Threonine   | 0.48                                | 0.46        | 0.47        | 0.51        | 0.56         | 0.56         | 0.57         | 0.61         | 0.58         | 0.56         | 0.55         | 0.60         |
| Alanine   | 0.56                                | 0.56        | 0.56        | 0.58        | 0.83         | 0.84         | 0.87         | 0.94         | 0.86         | 0.83         | 0.86         | 0.94         |
| GABA  | 0.04                                | 0.02        | 0.05        | 0.07        | 0.00         | 0.02         | 0.05         | 0.07         | 0.03         | 0.05         | 0.10         | 0.17         |
| Proline   | 0.28                                | 0.28        | 0.28        | 0.27        | 0.66         | 0.66         | 0.66         | 0.70         | 0.68         | 0.65         | 0.63         | 0.66         |
| Tyrosine  | 0.27                                | 0.26        | 0.25        | 0.27        | 0.35         | 0.36         | 0.40         | 0.43         | 0.39         | 0.41         | 0.39         | 0.40         |
| Valine  | 0.43                                | 0.43        | 0.45        | 0.47        | 0.74         | 0.74         | 0.74         | 0.79         | 0.77         | 0.68         | 0.68         | 0.73         |
| Lysine  | 0.30                                | 0.30        | 0.28        | 0.30        | 0.59         | 0.61         | 0.60         | 0.67         | 0.64         | 0.63         | 0.68         | 0.76         |
| Isoleucine  | 0.69                                | 0.69        | 0.69        | 0.75        | 0.51         | 0.51         | 0.50         | 0.56         | 0.55         | 0.46         | 0.46         | 0.51         |
| Leucine   | 0.38                                | 0.39        | 0.40        | 0.44        | 1.05         | 1.04         | 1.08         | 1.14         | 1.07         | 1.00         | 0.99         | 1.03         |
| Phenylalanine   | 0.45                                | 0.44        | 0.44        | 0.48        | 0.67         | 0.67         | 0.70         | 0.73         | 0.70         | 0.64         | 0.62         | 0.65         |
| <b>Total amino acid</b>                                   | <b>8.16</b>                         | <b>8.07</b> | <b>8.10</b> | <b>8.43</b> | <b>12.48</b> | <b>12.56</b> | <b>12.86</b> | <b>13.57</b> | <b>12.91</b> | <b>12.20</b> | <b>12.58</b> | <b>13.39</b> |

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ พบว่า เมื่อระยะเวลาการทำงานเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณกรดอะมิโนเพิ่มขึ้น ในข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ พบ ไกลซีน (glycine) เพิ่มขึ้นจาก 0.46 เป็น 0.52 มิลลิกรัมต่อจมูกข้าว 100 มิลลิกรัม อะลานีน (alanine) เพิ่มขึ้นจาก 0.56 เป็น 0.58 มิลลิกรัมต่อจมูกข้าว 100 มิลลิกรัม วาลีน (valine) เพิ่มขึ้นจาก 0.43 เป็น 0.47 มิลลิกรัมต่อจมูกข้าว 100 มิลลิกรัม ลิวซีน (leucine) เพิ่มขึ้นจาก 0.38 เป็น 0.44 มิลลิกรัมต่อจมูกข้าว 100 มิลลิกรัม ในข้าวกล้อง กข 23 พบ ไกลซีน (glycine) เพิ่มขึ้นจาก 0.67 เป็น 0.73 มิลลิกรัมต่อจมูกข้าว 100 มิลลิกรัม อะลานีน (alanine) เพิ่มขึ้นจาก 0.83 เป็น 0.94 มิลลิกรัมต่อจมูกข้าว 100 มิลลิกรัม วาลีน (valine) เพิ่มขึ้นจาก 0.74 เป็น 0.79 มิลลิกรัมต่อจมูกข้าว 100 มิลลิกรัม ลิวซีน (leucine) เพิ่มขึ้นจาก 1.05 เป็น 1.14 มิลลิกรัมต่อจมูกข้าว 100 มิลลิกรัม ในข้าวชัยนาท 1 พบ ไกลซีน (glycine) เพิ่มขึ้น

0.67 เป็น 0.73 มิลลิกรัมต่อจุกข้าว 100 มิลลิกรัม อะลานีน (alanine) เพิ่มจาก 0.83 เป็น 0.94 มิลลิกรัมต่อจุกข้าว 100 มิลลิกรัม ไลซีน (leucine) เพิ่มจาก 0.64 เป็น 0.76 มิลลิกรัมต่อจุกข้าว 100 มิลลิกรัม

Komatsuzaki และคณะ(2007) ได้ทำการศึกษาปริมาณ GABA พบ การแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณ GABA สูงสุด จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการแช่น้ำที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง มาเพาะงอกเป็นเวลา 21 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และศึกษาปริมาณกรดอะมิโนพบว่าข้าวที่เพาะงอกโดยควบคุมปริมาณแก๊ส และไม่ควบคุมพบว่าในตัวอย่างที่มีการควบคุมแก๊สพบ GABA สูงสุดเท่ากับ 24.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในข้าวกล้องที่เพาะงอกโดยไม่ควบคุมแก๊สพบ 10.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และในตัวอย่างข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการเพาะงอกพบ 7.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แต่ปริมาณของ กรดแอสพาราติก ซีรีน แอสพาราจีน และกรดกลูตามิก มีปริมาณลดลง ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนสะสม (storage protein) จะมีการสลายตัวเมื่อมีการดูดซับน้ำเข้าไป มีการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเอไมด์ (amide) และช่วยในการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าว (Lea และคณะ 1990) ดังนั้นเมื่อมีการดูดซับน้ำ เอนไซม์กลูตาเมท ดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกรดกลูตามิก เป็นกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (gamma-aminobutyric acid) Lim และคณะ 2006 ได้ทำการศึกษาถึงผลของอากาศร่วมกับการฉีดพ่น (spray) น้ำต่อปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอก พบว่า การทำงานออกโดยการใช้อากาศร่วมกับน้ำ พบปริมาณ GABA สูงกว่า ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการทำงานออก และผลของปริมาณ GABA ที่ได้ จากการทำงานออกด้วยวิธีนี้เหมือนกับวิธีการทำงานออกโดยการแช่น้ำ

ในเมล็ดข้าวนอกจากจะประกอบด้วยโปรตีน อัลบูมิน (albumin) กลอบิวรีน (globulin) กลูเตลิน (glutelin) และโพรลามิน (prolamin) ซึ่งเป็นโปรตีนหลักที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนสะสม เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของกลูเตลินมีกรดอะมิโนหลายชนิดในปริมาณที่สมดุล (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนนั้น มีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดอะมิโนอยู่ในเมล็ด พบว่า มี glutamate synthase ซึ่งกระตุ้นการสังเคราะห์ glutamate จาก glutamine กับ  $\alpha$ -ketoglutarate กิจกรรมของเอนไซม์ glutamate synthase มีความสัมพันธ์กับการสะสมไนโตรเจนในเมล็ด glutamate ที่ได้จากกระบวนการนี้อาจถูกนำไปในการสังเคราะห์กรดอะมิโนอื่น ๆ โดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์พวก transaminase ซึ่งมักพบในเมล็ดที่กำลังพัฒนา อนุโมลแอมโมเนียมที่เข้าสู่เมล็ดจะถูกใช้ในการสังเคราะห์ glutamate และ glutamine โดยเอนไซม์ glutamate dehydrogenase และ glutamine synthetase ตามลำดับ ในเมล็ดข้าวบาร์เลย์นั้น พบว่ามีเอนไซม์ transaminase ซึ่งใช้ glutamate ในการสังเคราะห์ aspartate และ alanine ซึ่ง aspartate ยังเป็น precursor ของ threonine, methionine, lysine และ isoleucine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็น นอกจากนี้ tryptophan, tyrosine และ phenylalanine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นและเป็น aromatic amino acid

จะถูกสร้างขึ้นโดย carbon จาก erythrose-4-phosphate และ phosphoenol pyruvate และได้ไนโตรเจนจาก glutamine (วันชัย จันทร์ประเสริฐ, 2537)

#### 4.2.5 ผลของปริมาณวิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกในข้าว 3 สายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) ในข้าวกล้อง พบว่า ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีวิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) ในปริมาณสูงกว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์กข 23 โดยมีปริมาณโทโคเฟอรอล เท่ากับ 0.43, 0.25 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ข้าวกล้องงอก พันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณโทโคเฟอรอลสูงกว่า พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์กข 23 เท่ากับ 0.47, 0.27 และ 0.14 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 ผลค่าเฉลี่ยปริมาณวิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์

| ตัวอย่าง     | ปริมาณวิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) (mg/100g) |                          |                   | ค่าเฉลี่ยปริมาณวิตามินอี |
|--------------|--|--------------------------|-------------------|--------------------------|
|              | External Standard Method                     | Standard Addition Method |                   |                          |
|              |  |                          |                   |                          |
| ข้าวกล้อง    | ชัยนาท 1                                     | 0.4264 ± 0.000149        | 0.4375 ± 0.008990 | 0.43197                  |
|              | ดอกมะลิ 105                                  | 0.2482 ± 0.001116        | 0.2494 ± 0.012461 | 0.24882                  |
|              | กข 23  | 0.1338 ± 0.000001        | 0.0772 ± 0.005945 | 0.10557                  |
| ข้าวกล้องงอก | ชัยนาท 1                                     | 0.4639 ± 0.007111        | 0.4664 ± 0.070229 | 0.46522                  |
|              | ดอกมะลิ 105                                  | 0.2705 ± 0.000611        | 0.2736 ± 0.004577 | 0.27210                  |
|              | กข 23  | 0.1404 ± 0.001217        | 0.1401 ± 0.007888 | 0.14027                  |

หมายเหตุ \* ข้าวกล้องที่ผ่านการทำระยะเวลา 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

Yang et al. (2001) ได้ศึกษาสภาวะในการแช่ข้าวสาลีที่มีผลต่อปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอล และแกมมาโทโคเฟอรอล โดยพบว่า ข้าวสาลีที่แช่ในน้ำ 24 ชั่วโมง มีปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอล (10.9 ไมโครกรัมต่อกรัม) และแกมมาโทโคเฟอรอล (1.5 ไมโครกรัมต่อกรัม) สูงกว่าข้าวสาลีที่แช่ในน้ำ 48 ชั่วโมง (7.0 และ 8.0 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) ในระหว่างขั้นตอนการทำงอก หรือ early seeding development เมล็ดพืชจะมีการสร้าง reactive oxygen species หลายชนิด เช่น superoxide radicals, hydrogen peroxide radicals, hydroxyl radicals ซึ่งมีผลทำให้เกิดการสะสมของ lipid hydroperoxides กลุ่มดังกล่าว ดังนั้น เซลล์พืชจำเป็นต้องมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อเป็นกลไกในการป้องกันตนเอง วันพรรษา ชุติปัญญา (2549) ศึกษาปริมาณ โทโคเฟอรอล

ในข้าวเพาะงอกที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ซึ่งพบว่า ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลในข้าวกล้อง 0.3 ไมโครกรัมต่อกรัม ในข้าวกล้องที่ระยะเวลาการเพาะงอก 24 ชั่วโมง เท่ากับ 3.8 ไมโครกรัมต่อกรัม ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวกล้องที่เพาะ 24 ชั่วโมงมีการงอกมากที่สุดทำให้มีปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลสูงสุด เช่นเดียวกับการรายงานของ Yang et al. (2001) กล่าวว่าในระหว่างการทำงอกมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระ

#### 4.3 ผลของการหุงสุกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารชีวกิจกรรม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สาย

##### 4.3.1 ผลของการหุงสุกต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวกล้องที่ผ่านการหุงสุก พบว่า ที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาดอก 24 ชั่วโมง ในสายพันธุ์เดียวกันพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังหุงสุก ที่ระยะเวลาดอก 24 ชั่วโมง พันธุ์ชัยนาทมีปริมาณรีดิวซ์สูงกว่า พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข 23 ( $4.46 \pm 0.03$ ,  $1.39 \pm 0.03$  และ  $2.20 \pm 0.04$  กรัมต่อ 100 กรัม) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวกล้องงอกทั้งก่อนหุงและหลังหุงพบว่า ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระยะเวลาดอก 24 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด ( $4.91 \pm 0.10$ ) ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวพันธุ์ กข 23 พบว่าทั้งก่อนหุงและหลังหุง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ ก่อนและหลังหุง

| ระยะเวลา<br>(ชั่วโมง) | น้ำตาลรีดิวซ์ (g/100 g dry basis)   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                       | ก่อนหุง                             |                                     |                                     | หลังหุง                             |                                     |                                     |
|                       | ขาวดอกมะลิ<br>105                   | กข23                                | ชัยนาท 1                            | ขาวดอกมะลิ<br>105                   | กข23                                | ชัยนาท 1                            |
| control*              | <sup>c</sup> 0.63±0.02 <sup>c</sup> | <sup>b</sup> 0.71±0.01 <sup>c</sup> | <sup>a</sup> 1.36±0.01 <sup>c</sup> | <sup>c</sup> 0.61±0.02 <sup>b</sup> | <sup>b</sup> 0.69±0.04 <sup>c</sup> | <sup>a</sup> 1.35±0.02 <sup>c</sup> |
| 0                     | <sup>d</sup> 0.67±0.01 <sup>b</sup> | <sup>c</sup> 0.85±0.02 <sup>b</sup> | <sup>a</sup> 1.79±0.03 <sup>b</sup> | <sup>b</sup> 0.57±0.02 <sup>b</sup> | <sup>c</sup> 0.82±0.03 <sup>b</sup> | <sup>b</sup> 1.58±0.02 <sup>b</sup> |
| 24                    | <sup>d</sup> 1.43±0.01 <sup>a</sup> | <sup>c</sup> 2.27±0.03 <sup>a</sup> | <sup>a</sup> 4.91±0.10 <sup>a</sup> | <sup>d</sup> 1.39±0.03 <sup>a</sup> | <sup>c</sup> 2.20±0.04 <sup>a</sup> | <sup>b</sup> 4.46±0.03 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ <sup>A</sup>X\* ตัวอักษร A,B,C... คำนวณซ้ำกำกับในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ ), ตัวอักษร a,b,c... คำนวณซ้ำกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ ) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

\* control หมายถึง ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการทำงอก

### 4.3.2 ผลของการหุงสุกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

พันธุ์ข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวก่อนหุง และหลังหุง ( $p \leq 0.05$ ) จากตาราง 4.9 พบว่า ข้าวที่ผ่านการหุงสุกมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกลดลงเล็กน้อยจากตัวอย่างข้าวที่ไม่ผ่านการหุงสุก โดยเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการทำงอก 24 ชั่วโมง พบว่า ข้าวพันธุ์ กข23 หลังหุงสุก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยสุด เท่ากับ  $11.23 \pm 0.23$  มิลลิกรัมแกลลิกต่อ 100 กรัม ปริมาณสูงสุดพบในข้าวพันธุ์ ชัยนาท 1 เท่ากับ  $19.18 \pm 0.28$  มิลลิกรัมแกลลิกต่อ 100 และเมื่อเปรียบเทียบในระหว่างสายพันธุ์เดียวกันที่ระยะเวลาการงอกต่างกัน พบว่า เวลาการทำงอกเพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และจากการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดระหว่างระยะเวลาและพันธุ์ข้าว 3 สายพันธุ์ก่อนและหลังหุง พบว่า ข้าวกล้อง (control) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ก่อนหุง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ  $15.18 \pm 0.50$  มิลลิกรัมแกลลิกต่อ 100 กรัม พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข23 หลังหุง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยสุด เท่ากับ  $10.04 \pm 0.05$  และ  $10.33 \pm 0.39$  มิลลิกรัมแกลลิกต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ ก่อนและหลังหุง

| ระยะเวลา<br>(ชั่วโมง) | สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic/100 g dry basis) |                                      |                                       |                                      |                                      |                                       |
|-----------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
|                       | ก่อนหุง   |                                      |                                       | หลังหุง                              |                                      |                                       |
|                       | ขาวดอก<br>มะลิ105                                   | กข23                                 | ชัยนาท 1                              | ขาวดอก<br>มะลิ105                    | กข23                                 | ชัยนาท 1                              |
| control*              | <sup>B</sup> 13.66±0.67 <sup>c</sup>                | <sup>A</sup> 15.18±0.50 <sup>c</sup> | <sup>A</sup> 15.78±0.36 <sup>c</sup>  | <sup>C</sup> 10.04±0.05 <sup>c</sup> | <sup>C</sup> 10.39±0.06 <sup>b</sup> | <sup>B</sup> 12.97±0.28 <sup>a</sup>  |
| 0                     | <sup>B</sup> 15.00±1.06 <sup>b</sup>                | <sup>B</sup> 15.49±1.07 <sup>b</sup> | <sup>A</sup> 18.34±0.31 <sup>b</sup>  | <sup>C</sup> 10.33±0.39 <sup>b</sup> | <sup>C</sup> 10.81±0.25 <sup>b</sup> | <sup>C</sup> 11.23±0.02 <sup>b</sup>  |
| 24                    | <sup>C</sup> 16.56±0.14 <sup>a</sup>                | <sup>B</sup> 18.39±0.06 <sup>a</sup> | <sup>A</sup> 19.18±0.28 <sup>ab</sup> | <sup>B</sup> 12.49±0.21 <sup>a</sup> | <sup>D</sup> 13.53±0.02 <sup>a</sup> | <sup>D</sup> 13.42 ±0.08 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ <sup>A,X</sup> ตัวอักษร A,B,C...ด้านบนซ้ำกำกับในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ ), ตัวอักษร a,b,c...ด้านขวากำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ ) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

\* control หมายถึง ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการทำงอก

### 4.3.3 ผลของการหุงสุกต่อปริมาณแกลมมาอริซานอล

การหุงสุกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแกลมมาอริซานอลในข้าว 3 สายพันธุ์ ( $p \leq 0.05$ ) จากตารางที่ 4.10 พบว่า ข้าวที่ผ่านการหุงสุก พบว่ามีปริมาณแกลมมาอริซานอลลดลง (ตารางที่ 4.8) พบว่า ที่ระยะเวลางอก 24 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณแกลมมาอริซานอลสูงสุดทั้งก่อนหุงและหลังหุง เท่ากับ  $25.51 \pm 0.36$  และ  $24.34 \pm 0.50$  แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนหุงและหลัง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.10 ปริมาณแกลมมาอริซานอลในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ ก่อนและหลังหุง

| ระยะเวลา<br>(ชั่วโมง) | แกลมมาอริซานอล (mg/100 g dry basis)  |                                       |                                       |                                      |                                       |                                      |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
|                       | ก่อนหุง                              |                                       |                                       | หลังหุง                              |                                       |                                      |
|                       | ขาวดอกมะลิ<br>105                    | กข23                                  | ชัยนาท 1                              | ขาวดอกมะลิ<br>105                    | กข23                                  | ชัยนาท 1                             |
| control*              | <sup>B</sup> 20.89±0.23 <sup>b</sup> | <sup>AB</sup> 21.10±0.19 <sup>a</sup> | <sup>A</sup> 21.63±0.16 <sup>b</sup>  | <sup>D</sup> 19.27±0.34 <sup>b</sup> | <sup>D</sup> 18.86±0.22 <sup>b</sup>  | <sup>C</sup> 19.95±0.53 <sup>b</sup> |
| 0                     | <sup>A</sup> 20.07±0.09 <sup>c</sup> | <sup>B</sup> 19.96±0.34 <sup>b</sup>  | <sup>BC</sup> 17.99±0.09 <sup>c</sup> | <sup>C</sup> 17.50±0.86 <sup>b</sup> | <sup>D</sup> 15.20±2.55 <sup>ab</sup> | <sup>C</sup> 17.24±0.79 <sup>c</sup> |
| 24                    | <sup>A</sup> 25.69±0.22 <sup>a</sup> | <sup>B</sup> 21.05±0.49 <sup>a</sup>  | <sup>A</sup> 25.51 ±0.36 <sup>a</sup> | <sup>B</sup> 20.47±1.9 <sup>a</sup>  | <sup>C</sup> 19.95±0.53 <sup>a</sup>  | <sup>A</sup> 24.34±0.50 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ <sup>A</sup>X\* ตัวอักษร A,B,C... ด้านบนซ้ำกำกับในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ), ตัวอักษร a,b,c... ด้านขวากำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

\* control หมายถึง ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการทำงอก

ปัจจัยของระยะเวลาการงอกแตกต่างกันในข้าว 3 สายพันธุ์ มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ( $p \leq 0.05$ ) พบว่า ในตัวอย่างข้าวกล้องมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างข้าวที่ผ่านการทำงอก และในตัวอย่างข้าวที่ผ่านการหุงสุก พันธุ์ กข 23 ขาวดอกมะลิ 105 พบว่ามีปริมาณลดลง (ตารางที่ 4.9) และเมื่อนำตัวอย่างข้าวกล้อง (control) มาเปรียบเทียบกับระหว่างข้าว 3 สายพันธุ์ทั้งก่อนหุงและหลังหุง พบ ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังหุงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข 23 ก่อนหุง และชัยนาท 1 หลังหุง พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.11 ผลของการหุงสุกต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP)

| ระยะเวลา<br>(ชั่วโมง)        | ก่อนหุง                               |   |  | หลังหุง                                |  |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|---|--|--|--|---------------------------------------|
|                              | ขาวดอกมะลิ                            | กข23                                    | ชัยนาท 1                               | ขาวดอกมะลิ                             | กข23                                   | ชัยนาท 1                              |
|                              | 105                                   |   |  | 105                                    |  |                                       |
| <b>DPPH (mg/g dry basis)</b> |                                       |   |  |  |  |                                       |
| control*                     | <sup>B</sup> 0.408±0.009 <sup>a</sup> | <sup>B</sup> 0.411±0.022 <sup>a</sup>   | <sup>C</sup> 0.374±0.007 <sup>a</sup>  | <sup>A</sup> 0.451±0.010 <sup>a</sup>  | <sup>C</sup> 0.364±0.002 <sup>a</sup>  | <sup>B</sup> 0.416±0.025 <sup>a</sup> |
| 0                            | <sup>D</sup> 0.302±0.003 <sup>b</sup> | <sup>B</sup> 0.360±0.001 <sup>a</sup>   | <sup>B</sup> 0.249±0.009 <sup>c</sup>  | <sup>A</sup> 0.401±0.019 <sup>ab</sup> | <sup>C</sup> 0.327±0.009 <sup>a</sup>  | <sup>B</sup> 0.365±0.023 <sup>b</sup> |
| 24                           | <sup>B</sup> 0.314±0.003 <sup>b</sup> | <sup>B</sup> 0.355±0.009 <sup>a</sup>   | <sup>AB</sup> 0.376±0.047 <sup>b</sup> | <sup>AB</sup> 0.376±0.022 <sup>b</sup> | <sup>B</sup> 0.354±0.049 <sup>a</sup>  | <sup>A</sup> 0.436±0.012 <sup>a</sup> |
| <b>FRAP (mg/g dry basis)</b> |                                       |   |  |  |  |                                       |
| control*                     | <sup>A</sup> 0.532±0.012 <sup>a</sup> | <sup>A</sup> 0.533±0.030 <sup>a</sup>   | <sup>B</sup> 0.450±0.033 <sup>a</sup>  | <sup>B</sup> 0.458±0.026 <sup>a</sup>  | <sup>C</sup> 0.372±0.007 <sup>a</sup>  | <sup>B</sup> 0.468±0.024 <sup>a</sup> |
| 0                            | <sup>B</sup> 0.353±0.038 <sup>b</sup> | <sup>A</sup> 0.436±0.018 <sup>b</sup>   | <sup>A</sup> 0.446±0.029 <sup>a</sup>  | <sup>A</sup> 0.463±0.043 <sup>a</sup>  | <sup>B</sup> 0.320±0.005 <sup>b</sup>  | <sup>A</sup> 0.405±0.019 <sup>b</sup> |
| 24                           | <sup>D</sup> 0.320±0.008 <sup>c</sup> | <sup>ABC</sup> 0.350±0.028 <sup>c</sup> | <sup>CD</sup> 0.348±0.003 <sup>b</sup> | <sup>B</sup> 0.376±0.001 <sup>a</sup>  | <sup>AB</sup> 0.357±0.007 <sup>a</sup> | <sup>A</sup> 0.502±0.006 <sup>a</sup> |

**หมายเหตุ**

<sup>A-X</sup> ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ด้านบนขวากำกับในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตัวอักษรพิมพ์เล็กด้านซ้ายกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

\* control หมายถึง ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการทำออก

อนุมูลอิสระ  $\alpha, \alpha$ -diphenyl- $\beta$ -picrylhydrazyl radical (DPPH radical) เป็นอนุมูลอิสระที่มีความคงตัวและทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนเรดิคัล (electron radical) หรือไฮโดรเจนเรดิคัล (hydrogen radical) เพื่อให้กลายเป็นโมเลกุลที่มีความคงตัวมากขึ้น โดยความสามารถของการรับอิเล็กตรอนของ  $\alpha, \alpha$ -diphenyl- $\beta$ -picrylhydrazyl radical แสดงด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร มีค่าลดลงมากแสดงว่ามีคุณสมบัติของการมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง ดังนั้น  $\alpha, \alpha$ -diphenyl- $\beta$ -picrylhydrazyl radical จึงใช้เป็นสับสเตรทเพื่อหาค่ากิจกรรมการต้านปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน (antioxidative activity) ของสารต้านอนุมูลอิสระ (Kim, 2005) ริคาร์ดน์ หน่อสุวรรณ (2550) ได้ทำการศึกษาสมบัติการจับอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ของวิตามินอีที่สกัดได้จากคัสติลเลดของน้ำมันรำข้าวที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1.25-700 mg/kg แสดงเป็นค่า DPPH scavenging effect (%) พบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของวิตามินอีสูงขึ้นในช่วง 1.25-10 mg/kg และเมื่อค่าความเข้มข้นของวิตามินอีสูงกว่า 10 mg/kg ค่า DPPH scavenging effect (%) ไม่เพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มข้นของวิตามินอี

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของระยะเวลาการงอกต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวกิจกรรมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องงอก 3 สาย ทั้งก่อนและหลังหุงสุก สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การดูดซับน้ำในข้าว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105, กข 23 และ ชัยนาท 1 พบปริมาณการดูดซับน้ำของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำเพิ่มขึ้น ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ดูดซับน้ำสูงสุดที่ระยะเวลาการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และ ข้าวพันธุ์ กข 23 ดูดซับน้ำสูงสุดที่ระยะเวลาการแช่น้ำ 3 ชั่วโมง

2. พันธุ์ข้าวและระยะเวลาของการงอกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล GABA วิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล GABA และวิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) สูงกว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ กข 23 ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ระยะเวลาการงอก 24 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล GABA และวิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) สูงที่สุด

3. ข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่อทำการหุงสุก และนำมาเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ระหว่างข้าวก่อนหุงและหลังหุง พบว่า การหุงต้มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทำให้ปริมาณสารดังกล่าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

การศึกษาผลของระยะเวลาการงอกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอก 3 สายพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าข้าวกล้องเมื่อนำมาเพาะให้งอกที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ข้าวกล้องมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล GABA น้ำตาลรีดิวซ์ และวิตามินอีเพิ่มขึ้น สามารถนำไปพัฒนาการผลิตข้าวกล้องงอกในระดับอุตสาหกรรมเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ อีกทั้งยังเป็นการช่วยเกษตรกรสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวได้อีกด้วย สิ่งที่จะเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป ควรจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดเพอร์ร็อก ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกชนิดที่มีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพรวมทั้งผลของการแปรรูปข้าวกล้องงอกต่อปริมาณของสารประกอบนี้

## บรรณานุกรม

- กรรมธิการ เอ็มแสง. 2550. (ออนไลน์) Available: <http://www.stkc.go.th.search.php>. เข้าถึงเมื่อ 2 กรกฎาคม 2552.
- จงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529.เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ธิดารัตน์ หน่อสุวรรณ. 2550. สมบัติของวิตามินอีที่สกัดจากคิสทิลเลตของน้ำมันรำข้าวโดยใช้ เฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นัยนา บุญทวีวัฒน์ และ เรวดี จงสุวรรณ. 2545. น้ำมันรำข้าวทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย. โอเคียนสโตร์ : กรุงเทพฯ.
- ลัดดาวัลย์ วรรณนุช. 2544. ข้าวเอกลักษณ์ของไทย ข้าวหอมมะลิไทย. วารสารเกษตรก้าวหน้า, 14 (3) .56-59.
- วราพร พงศ์ธรรมาภิข. 2543. การวิเคราะห์เอกลักษณ์และปริมาณโทโคเฟอร์รอลและโอรีซานอลในการบวนการผลิตน้ำมันรำข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วันชัย จันทร์ประเสริฐ .2537.สรีวิทยาเมล็ดพันธุ์.ภาควิชาพืชไร่.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย. 2549. ผลของระยะเวลาในการออกต่อสารชีวกิจกรรมบางชนิดและคุณภาพของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. อาหาร.32(4): 245-253.
- สมวงษ์ ตระกูลรุ่ง. 2546. ข้าวโภชนาการเพื่อสุขภาพและการใช้ประโยชน์อุตสาหกรรม. ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
- AOAC. 2000. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. International. Arlington. Virginia
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists International. Arlington. Virginia
- Anonymous .2552. Available: [www.Vita-Dose.com](http://www.Vita-Dose.com) เข้าถึงเมื่อ 5 พฤศจิกายน 2552.

- Aguilar-Garcia, C., G. Gavino, M. Baragaño-Mosqueda, P. Hevia and V. C. Gavino. 2007. **Correlation of tocopherol tocotrienol  $\gamma$ -oryzanol and total phenolic content in rice bran with different antioxidant capacity assays.** Food Chemistry 102: 1228-1232.
- Bello, M., M. P. Tolaba and C. Suarez. 2004. **Factors affecting water uptake of rice grain during soaking.** Lebensm.-Wiss. U.-Technol. 37: 811-816.
- Bandara, J.M., A.K. Vithanage and G.A. Bean. 1991. **Effect of parboiling and bran removal on aflatoxin levels in Sri Lankan rice.** Mycopathologia. 115: 31-35.
- Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. **Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity.** Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. 28:25-30
- Correia, I., A. Nunes, I.F. Duate, A. Barros and I. Delgadillo. 2005. **Sorghum fermentation followed by spectroscopic techniques.** Food Chemistry. 90: 853-859.
- Choi, Y., H. S. Jeong., J. Lee., 2007. **Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea.** Food Chemistry. 103: 130-138.
- Chen, M. -H., C. J. Bergman. 2005. **A rapid procedure for analyzing rice bran tocopherol, tocotrienol and  $\gamma$ -oryzanol contents.** Journal of Food Composition and Analysis. 319-331.
- Cunha, S.C., J.S. Amaral, J.O. Fernandes and M.B.P.P. Oliveira. 2006. **Quantification of tocopherols and tocotrienols in Portuguese olive oils using HPLC with three different detection systems.** Journal of Agricultural Food Chemistry. 54: 3351-3356.
- Diplock, T.A., J.L. Charleux, G. Crozier-Willi, F.J. Kok, C. Rice-Evans, M. Roberfroid, W. Stahl and J. Viña-Ribes. 1998. **Functional food science and defence against reactive oxidative species.** British Journal of Nutrition. 80: 77-112.
- Feng, C., K. Suzuki, S. Zhao, N. Sugiura, S. Shimada and T. Maekawa. 2004. **Water disinfection by electrochemical treatment.** Bioresource Technology 94: 21-25.
- Hagiwara, H., T. Seki and T. Ariga. 2004. **The effect of Pre-germinated Brown Rice Intake on Blood Glucose and PAI-1 Levels in Streptozotocin-induced Diabetic Rats.** Biosci. Biotechnol. Biochem. 68: 444-447.
- Juliano, B.O., C.M. Perez, A.B. Blakenny, T. Castillo, N. Kongseeree, B. Laignelet, E.T. Lapis, V.V.S. Murty, C.M. Paule, and B.D. Webb. 1981. **International testing on the amylase content of milled rice.** Starch/Starke. 33 (5) :157-162

- Jorgensen<sup>§</sup>, E. M. 2009. **Howard Hughes Medical Institute and Department of Biology, University of Utah, Salt Lake City, UT 84112-0840 USA. Worm Book THE ONLINE REVIEW of C. elegans BIOLOGY.** เข้าถึงเมื่อ 29 ตุลาคม 2552.
- Joubert E. 1996. **HPLC quantification of the dihydrochalcones, aspalathin and nothofagin in rooibos tea (*Aspalathus linearis*) as affected by processing.** Food Chem. 55 (4) :403-411.
- Katagiri, M. and S. Shimizu. 1989.  **$\gamma$ -amino butyric acid accumulation in bean sprouts (soybean, black gram, green gram) treated with carbon dioxide.** Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi. 11: 916–919.
- Kayahara, H and K. Tsukahara. 2000. **Flavor Health and nutritional quality of pre-germinated brown rice.** Present at 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii. December 2000
- Kim, J.S. 2005. **Radical scavenging capacity and antioxidation activity of the E vitamer fraction in rice bran.** Journal of Food Science. 70: 208-213.
- Kim, K., R. Tsao, R. Yang and S.W. Cui., 2006. **Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions.** Food Chemistry. 95: 466-473.
- Kinefuchi, M., M. Sekiya, A. Yamazaki and K. Yamamoto. 1999. **Change in viable bacteria count in brown rice containing accumulated GABA by high pressure treatment, and properties of processed brown rice.** Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi 46: 329–333.
- Komastuzaki, N., K. tsukahara, H. Toyoshima, T. Suzuki, N. Shimizu and T. Kimura. 2007. **Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice.** Journal Food Engineering. 78: 556-560.
- Lim, K.T., J.H. Chung, J.H. Hong, J.H. Kim, E.T. Lee and A.L. Im. 2006. **Effect of Air-Phase germination with anion radiation and water-spraying on germination ratio, sprout growth and GABA content of germinated brown rice.** Agricultural & Biological. Eng. 7 (1): 42-47.
- Miller, A. and K. H. Engel. 2006. **Content of  $\gamma$ -oryzanol and composition of steryl ferulates in brown rice (*Oryza sativa* L.) of European origin.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54 : 8127-8133.

- Minhajuddin, M., ZH. Beg and J. Iqbal. 2005. **Hypolipidemic and antioxidant properties of tocopherol rich fraction isolated from rice bran oil in experimentally induced hyperlipidemic rats.** Food Chemistry Toxicology. 43: 747-753.
- Ohtsubo, K., K. Suzuki, Y. Yasui, and T. Kasumi. **Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder.** Journal of Food Composition and Analysis. 18: 303-316.
- Oloyo, R.A. 2004. **Chemical and nutritional quality changes in germinating seeds of *Cajanus cajan* L.** Food Chemistry. 85: 497-502.
- Palmiano, E. P. and B. O. Juliano. 1972. **Biochemical change in the rice grain during germination.** Plant Physiology. 49: 751-756.
- Perretti, G., E. Miniati, L. Montanari and P. Fantozzi, 2003. **Improving the value of rice by-products by SFE.** Journal of Supercritical Fluids. 26:63-71.
- Saman, P., J. A. Vázquez and S. S. Pandiella. 2008. **Controlled germination to enhance the functional properties of rice.** Process Biochemistry. 43: 1377-1382.
- Sasaka, M. and G. J. Rossiter. 1998. **Recovery of  $\gamma$ -oryzanol from rice bran with silica-based continuous chromatography.** Journal of American Oil Chemists Society. 75: 1421-1427.
- Sawai, Y., K. Konomi, Y. Odaka, H. Yoshitomi, Y. Yamaguchi and D. Miyama. 1999. **Repeating treatment of anaerobic and aerobic incubation increases the amount of  $\gamma$ -aminobutyric acid in tea shoots.** Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi 46: 462-466.
- Shoichi, I. 2004. **Marketing of value-added rice product in Japan : Germinated brown rice and rice bread.** FAO rice conference. Rome Italy. February 2004.
- Shyama Prasad Rao, R. and G. Muralikrishna. 2006. **Water soluble feruloyl arabinoxylans from rice and ragi: changes upon malting and their consequence on antioxidant activity.** Phytochem 67: 91-99
- Tian, S., K. Nakamura and H. Kayahara. 2004. **Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice and germination brown rice .** Journal of Agricultural and Food Chemistry 52: 4808-4813
- Trakulpiboonchai, W., W. Tungjaroenchai and P. Kosiyant. 2009. **Effect of germination time on contents of bioactive components and quality of germinated Brown rice of**

- Khao Dawk Mali 105 Cultivar.** Proceeding of The 11<sup>th</sup> Agro-Industrial Conference. June 2009. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand.
- Tsushida, T. and T. Murai. 1987. **Conversion of glutamic acid to  $\gamma$ -aminobutyric acid in tea leaves under anaerobic conditions.** Agricultural and Biological Chemistry 51: 2865–2871.
- Toyoshima, H., K. Ohtsubo, H. Okadome, K. Tsukahara, N. Komatsuzaki and T. Kohno. 2004. **Germinated brown rice with good safety and cooking property, process for producing the same, and processed food therefrom.** U.S. Patent.
- Velloglu, Y. S., G. Mazza, L. Cao and B.D. Oomah. 1998. **Antioxidant activity and total phenolics in selected fruit vegetables and grain product.** Food Chemmistry. 4 (6): 411-417.
- Varanyanond, W., P. Tungtrakul, V. Surojanametakul, L. Watanasiritham and W. Luxiang. 2005. **Effects of water soaking on gamma-aminobutyric acid (GABA) in germ of different thai rice varieties.** Kasetsart Journal. (Nat. Sci.) 39: 411-415.
- Watcharaarpapaiboon, W., S. Rattanavijitre, L. poomchan and W. Tungjaroenchai. 2004. **Gamma oryzanol content in rice bran of some rice cultivars.** Proc. Of the 1<sup>st</sup> KMITL International Conference on Intergration of Science & Technology for Sustainable Development, Bangkok, Thailand. 2: 410-412.
- Xu, Z. and J. S. Godber.1999. **Purification and identification of component of  $\gamma$ -oryzanol in rice bran oil.** Journal of Agricultural Food Chemistry. 47: 2724-2728.
- Xu, Z. and J. S. Godber.2000. **Comparison of supercritical fluid and sovent extraction method in extracting  $\gamma$ -oryzanol from rice bran.** Journal of American oil Chemists' Society. 77: 547-551.
- Yamakura, M., K. Haraguchi, H. Okadome, K. Suzuki, U. T. Tran, A. K. Horigane, M. Yoshida, S. Homma, A. Sasagawa, A. Yamazaki, and K. Ohtsubo.2005. **Effects of soaking and High-Pressure treatment on the qualities of cooked rice.** Journal of Applied Glycoscience. 52:85-93.
- Yang, F., T. K. Basu and B. Oraikul. 2001. **Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain.** Int. Journal of Food Science. 52 (4):319-330.

Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2004. **The distribution of phenolic acids in rice.** *Food Chemistry*. 87: 401-406.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ตารางค่าความแปรปรวนจากการศึกษาสายพันธุ์ข้าวและระยะเวลาการงอกที่มีผลต่อ  
น้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออริซานอล และความสามารถในการ  
ต้านอนุมูลอิสระ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางภาคผนวก ก-1 ค่าความแปรปรวนการวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวิซ์**

| Source       | SS      | df | MS     | F       | Sig.  |
|--------------|---------|----|--------|---------|-------|
| Time (A)     | 25.932  | 5  | 5.186  | 4.799   | .000* |
| Cultivar (B) | 46.813  | 2  | 23.407 | 2.166   | .000* |
| A * B        | 10.338  | 10 | 1.034  | 956.651 | .000* |
| Error        | 0.039   | 36 | 0.01   |         |       |
| Total        | 251.436 | 54 |        |         |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางภาคผนวก ก-2 ค่าความแปรปรวนการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด**

| Source       | SS        | df | MS     | F      | Sig.  |
|--------------|-----------|----|--------|--------|-------|
| Time (A)     | 61.236    | 5  | 12.247 | 29.387 | .000* |
| Cultivar (B) | 76.085    | 2  | 38.042 | 91.282 | .000* |
| A * B        | 26.080    | 10 | 2.608  | 6.258  | .000* |
| Error        | 15.003    | 36 | .417   |        |       |
| Total        | 14811.169 | 54 |        |        |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางภาคผนวก ก-3 ค่าความแปรปรวนการวิเคราะห์แกมมาออริซานอล**

| Source       | SS        | df | MS     | F       | Sig.  |
|--------------|-----------|----|--------|---------|-------|
| Time (A)     | 126.602   | 5  | 25.320 | 366.252 | .000* |
| Cultivar (B) | 14.299    | 2  | 7.149  | 103.415 | .000* |
| A * B        | 47.194    | 10 | 4.719  | 68.265  | .000* |
| Error        | 2.489     | 36 | .069   |         |       |
| Total        | 23828.569 | 54 |        |         |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางภาคผนวก ก-4 ค่าความแปรปรวนการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH**

| Source       | SS    | df | MS   | F      | Sig.  |
|--------------|-------|----|------|--------|-------|
| Time (A)     | .049  | 5  | .010 | 13.259 | .000* |
| Cultivar (B) | .027  | 2  | .013 | 18.403 | .000* |
| A * B        | .032  | 10 | .003 | 4.362  | .000* |
| Error        | .026  | 36 | .001 |        |       |
| Total        | 6.464 | 54 |      |        |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางภาคผนวก ก-5 ค่าความแปรปรวนการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP

| Source       | SS    | df | MS   | F      | Sig.  |
|--------------|-------|----|------|--------|-------|
| Time (A)     | .180  | 5  | .036 | 35.996 | .000* |
| Cultivar (B) | .014  | 2  | .007 | 7.192  | .000* |
| A *B         | .051  | 10 | .005 | 5.091  | .000* |
| Error        | .036  | 36 | .001 |        |       |
| Total        | 8.806 | 54 |      |        |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางภาคผนวก ก-6 ค่าความแปรปรวนการวิเคราะห์หน้าตาลีควิวซ์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

แกมมาออริซานอล และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าว 3 สายพันธุ์

ข้าวดอกมะลิ 105 กข 23 และชันนาท 1 ที่ระยะเวลาการรอกต่างกัน 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

|                                   | SS      | df | MS     | F       | Sig.  |
|-----------------------------------|---------|----|--------|---------|-------|
| <b>หน้าตาลีควิวซ์</b>             |         |    |        |         |       |
| Treatment                         | 83.083  | 17 | 4.887  | 4.523E3 | .000* |
| Error                             | .039    | 36 | .001   |         |       |
| Total                             | 83.122  | 53 |        |         |       |
| <b>สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด</b>    |         |    |        |         |       |
| Treatment                         | 163.400 | 17 | 9.612  | 23.063  | .000* |
| Error                             | 15.003  | 36 | .417   |         |       |
| Total                             | 178.403 | 53 |        |         |       |
| <b>แกมมาออริซานอล</b>             |         |    |        |         |       |
| Treatment                         | 188.095 | 17 | 11.064 | 160.044 | .000* |
| Error                             | 2.489   | 36 | .069   |         |       |
| Total                             | 190.583 | 53 |        |         |       |
| <b>ความสามารถกำจัดอนุมูล DPPH</b> |         |    |        |         |       |
| Treatment                         | .108    | 17 | .006   | 8.631   | .000* |
| Error                             | .026    | 36 | .001   |         |       |
| Total                             | .134    | 53 |        |         |       |
| <b>ความสามารถกำจัดอนุมูล FRAP</b> |         |    |        |         |       |
| Treatment                         | .245    | 17 | .014   | 14.428  | .000* |
| Error                             | .036    | 36 | .001   |         |       |
| Total                             | .281    | 53 |        |         |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )



**ตารางค่าความแปรปรวนจาการศึกษาการหุงสุกข้าว 3 สายพันธุ์ต่อน้ำตาลรีดิวซ์  
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาออร์ิซานอล  
และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ**

ตารางภาคผนวก ก-7 สารประกอบพืชนอกดินทั้งหมดในข้าวผ่านการหุงสุก 3 สายพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ105 กข23 และ ชัยนาท1 ที่ระยะเวลาการรอกต่างกัน 0 และ 24 ชั่วโมง

|                                 | SS   | df | MS   | F      | Sig.  |
|---------------------------------|------|----|------|--------|-------|
| <b>ข้าวดอกมะลิ105 (ก่อนหุง)</b> |      |    |      |        |       |
| Treatment                       | .051 | 2  | .026 | 46.041 | .006* |
| Error                           | .002 | 3  | .001 |        |       |
| Total                           | .053 | 5  |      |        |       |
| <b>ข้าวดอกมะลิ105(หลังหุง)</b>  |      |    |      |        |       |
| Treatment                       | .007 | 2  | .004 | 4.190  | .135  |
| Error                           | .003 | 3  | .001 |        |       |
| Total                           | .010 | 5  |      |        |       |
| <b>กข23 (ก่อนหุง)</b>           |      |    |      |        |       |
| Treatment                       | .050 | 2  | .025 | 37.865 | .000* |
| Error                           | .004 | 6  | .001 |        |       |
| Total                           | .054 | 8  |      |        |       |
| <b>กข23(หลังหุง)</b>            |      |    |      |        |       |
| Treatment                       | .004 | 2  | .002 | 23.956 | .001* |
| Error                           | .001 | 6  | .000 |        |       |
| Total                           | .005 | 8  |      |        |       |
| <b>ชัยนาท1 (ก่อนหุง)</b>        |      |    |      |        |       |
| Treatment                       | .020 | 2  | .010 | 15.381 | .004* |
| Error                           | .004 | 6  | .001 |        |       |
| Total                           | .024 | 8  |      |        |       |
| <b>ชัยนาท1 (หลังหุง)</b>        |      |    |      |        |       |
| Treatment                       | .015 | 2  | .007 | 22.295 | .002* |
| Error                           | .002 | 6  | .000 |        |       |
| Total                           | .017 | 8  |      |        |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางภาคผนวก ก-8 ตารางประกอบพินอลิกทั้งหมดก่อนและหลังหุงในข้าว 3 สายพันธุ์ ข้าวหอมมะลิ105 กข23 และชัยนาท1 ที่ระยะเวลาการงอกต่างกัน

|                       | SS      | df | MS     | F       | Sig.  |
|-----------------------|---------|----|--------|---------|-------|
| <b>ข้าวหอมมะลิ105</b> |         |    |        |         |       |
| Treatment             | 87.192  | 5  | 17.438 | 101.205 | .000* |
| Error                 | 2.068   | 12 | .172   |         |       |
| Total                 | 89.260  | 17 |        |         |       |
| <b>กข23</b>           |         |    |        |         |       |
| Treatment             | 136.569 | 5  | 27.314 | 66.974  | .000* |
| Error                 | 4.894   | 12 | .408   |         |       |
| Total                 | 141.462 | 17 |        |         |       |
| <b>ชัยนาท 1</b>       |         |    |        |         |       |
| Treatment             | 155.221 | 5  | 31.044 | 777.895 | .000* |
| Error                 | .479    | 12 | .040   |         |       |
| Total                 | 155.699 | 17 |        |         |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )



ตารางภาคผนวก ก-9 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวผ่านการหุงสุก 3 สายพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ105 กข23 และชัยนาท1 ที่ระยะเวลาการงอกต่างกัน 0 และ 24 ชั่วโมง

|                                 | SS   | df | MS   | F       | Slg.  |
|---------------------------------|------|----|------|---------|-------|
| <b>ข้าวดอกมะลิ105 (ก่อนหุง)</b> |      |    |      |         |       |
| Treatment                       | .013 | 2  | .007 | 172.020 | .001* |
| Error                           | .000 | 3  | .000 |         |       |
| Total                           | .013 | 5  |      |         |       |
| <b>ข้าวดอกมะลิ105(หลังหุง)</b>  |      |    |      |         |       |
| Treatment                       | .006 | 2  | .003 | 9.138   | .053  |
| Error                           | .001 | 3  | .000 |         |       |
| Total                           | .007 | 5  |      |         |       |
| <b>กข23 (ก่อนหุง)</b>           |      |    |      |         |       |
| Treatment                       | .027 | 2  | .014 | 189.973 | .000* |
| Error                           | .000 | 6  | .000 |         |       |
| Total                           | .028 | 8  |      |         |       |
| <b>กข23(หลังหุง)</b>            |      |    |      |         |       |
| Treatment                       | .002 | 2  | .001 | 1.285   | .343  |
| Error                           | .005 | 6  | .001 |         |       |
| Total                           | .007 | 8  |      |         |       |
| <b>ชัยนาท1 (ก่อนหุง)</b>        |      |    |      |         |       |
| Treatment                       | .004 | 2  | .002 | 2.344   | .177  |
| Error                           | .005 | 6  | .001 |         |       |
| Total                           | .010 | 8  |      |         |       |
| <b>ชัยนาท1 (หลังหุง)</b>        |      |    |      |         |       |
| Treatment                       | .008 | 2  | .004 | 7.828   | .021* |
| Error                           | .003 | 6  | .001 |         |       |
| Total                           | .011 | 8  |      |         |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางภาคผนวก ก-10 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระก่อนและหลังหุงในข้าว 3 สายพันธุ์ ข้าวหอมมะลิ105 กข23 และชัยนาท1 ที่ระยะเวลาการรอกต่างกัน

|                       | SS   | df | MS   | F      | Sig.  |
|-----------------------|------|----|------|--------|-------|
| <b>DPPH (control)</b> |      |    |      |        |       |
| Treatment             | .013 | 5  | .003 | 10.691 | .001* |
| Error                 | .003 | 11 | .000 |        |       |
| Total                 | .015 | 16 |      |        |       |
| <b>DPPH (0 hour)</b>  |      |    |      |        |       |
| Treatment             | .039 | 5  | .008 | 45.312 | .000* |
| Error                 | .002 | 11 | .000 |        |       |
| Total                 | .041 | 16 |      |        |       |
| <b>DPPH (24 hour)</b> |      |    |      |        |       |
| Treatment             | .023 | 5  | .005 | 4.717  | .015* |
| Error                 | .011 | 11 | .001 |        |       |
| Total                 | .034 | 16 |      |        |       |
| <b>FRAP (control)</b> |      |    |      |        |       |
| Treatment             | .055 | 5  | .011 | 18.511 | .000* |
| Error                 | .006 | 11 | .001 |        |       |
| Total                 | .061 | 16 |      |        |       |
| <b>FRAP (0 hour)</b>  |      |    |      |        |       |
| Treatment             | .038 | 5  | .008 | 12.654 | .000* |
| Error                 | .007 | 11 | .001 |        |       |
| Total                 | .044 | 16 |      |        |       |
| <b>FRAP (24 hour)</b> |      |    |      |        |       |
| Treatment             | .061 | 5  | .012 | 68.479 | .000* |
| Error                 | .002 | 11 | .000 |        |       |
| Total                 | .063 | 16 |      |        |       |

\* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )



**ภาคผนวก ข.  
กราฟมาตรฐาน**

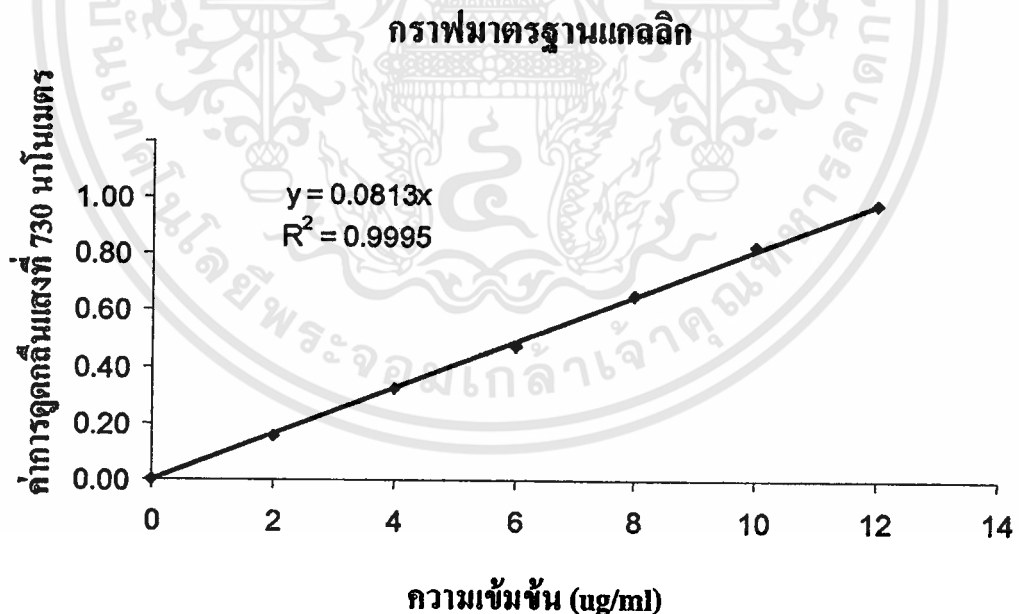
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

### ตัดแปลงจากวิธีของ Choi *et al.* (2007) และ Kim *et al.* (2006)

#### การเตรียมกราฟมาตรฐาน

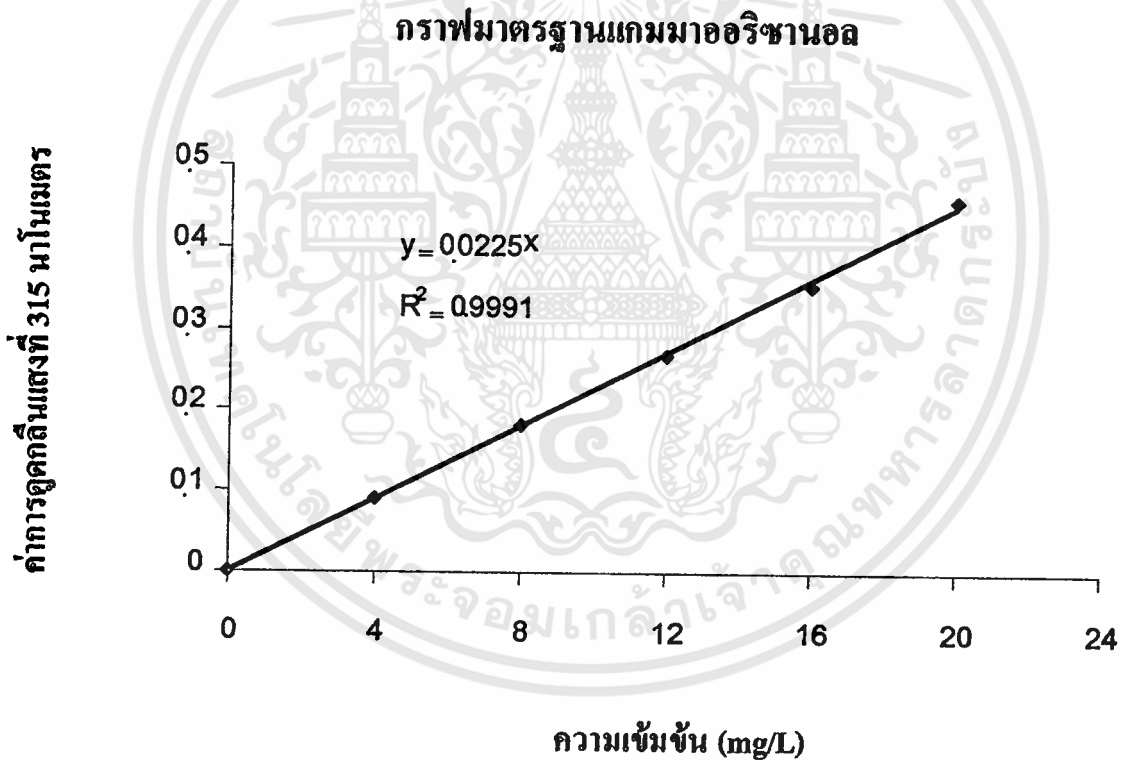
ใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน เตรียมโดย ชั่งกรดแกลลิกมา  $0.02 \pm 0.001$  กรัม ละลายในเมธานอลความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร จากนั้นปีเปตสารละลายกรดแกลลิกใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, และ 0.40 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรแต่ละหลอดด้วยน้ำกลั่นจนครบ 10 มิลลิลิตรซึ่งในแต่ละหลอดจะมีความเข้มข้นของกรดแกลลิก 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นกรดแกลลิก



## กราฟมาตรฐานแกมมาออร์ิซานอล ดัดแปลงจากวิธีของ Perretti et al. (2003)

### การเตรียมกราฟมาตรฐาน

ชั่งแกมมาออร์ิซานอลบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์  $5 \pm 0.001$  มิลลิกรัม ละลายใน Isooctane ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร จากนั้น ปิเปตสารละลายลงในหลอดทดลอง หลอดละ 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วย Isooctane จนครบ 25 มิลลิลิตรลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นของแกมมาออร์ิซานอล เท่ากับ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 315 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นแกมมาออร์ิซานอล

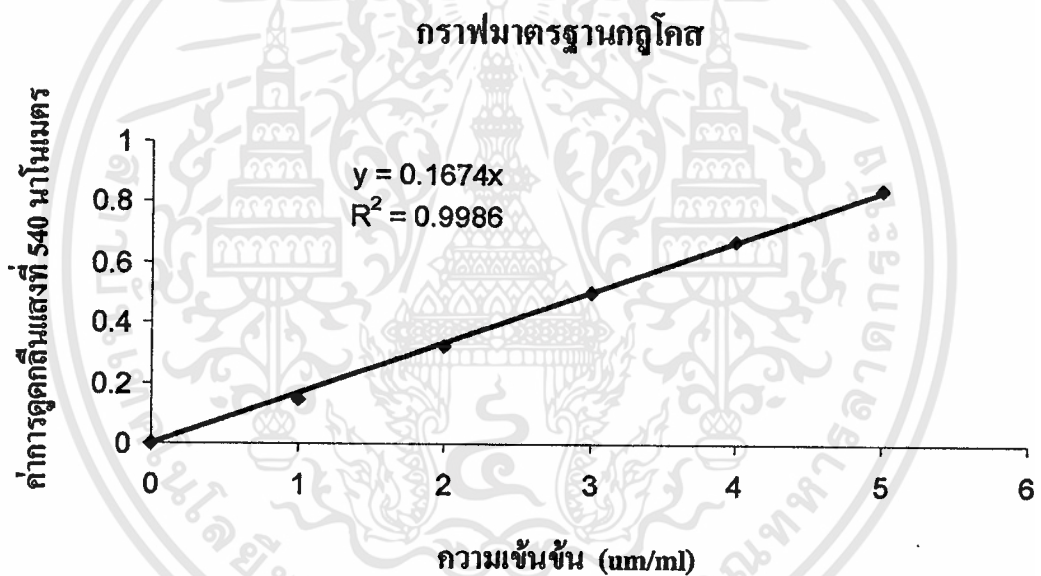


## กราฟมาตรฐานน้ำตาลรีดิวซ์

### คัดแปลงจากวิธีของ Correia *et al.* (2005)

#### การเตรียมกราฟมาตรฐาน

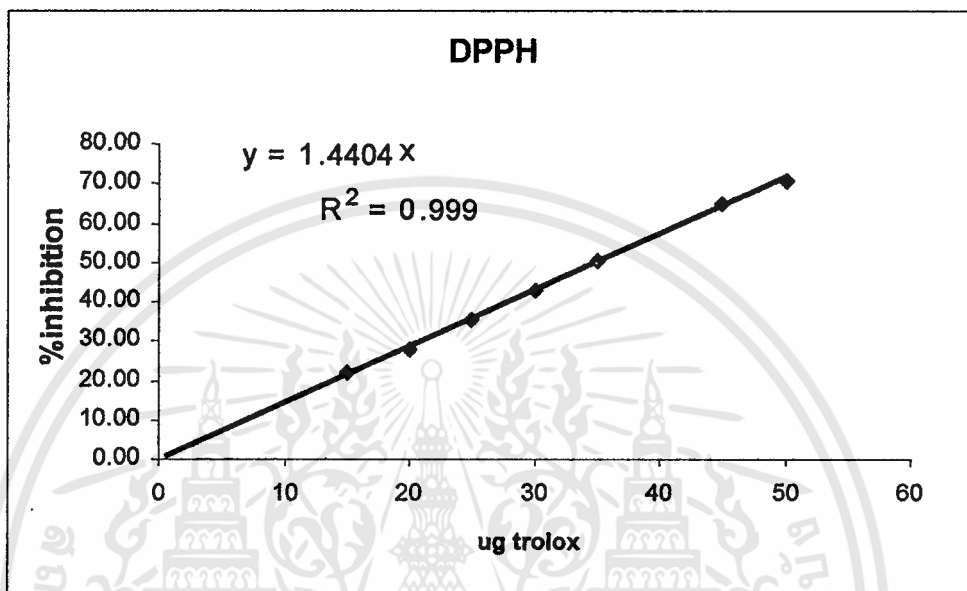
ปีเปตสารละลายกลูโคสมาตรฐาน (5 ไมโคร โมลต่อมิลลิลิตร) ใสในหลอดทดลองปริมาตร 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ นั้นเติมน้ำกลั่นโดยให้ปริมาตรในแต่ละหลอดเป็น 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติม DNS reagent หลอดละ 1 มิลลิลิตร ไปต้มในน้ำเดือดนาน 3-5 นาที ทำให้เย็นทันที เติมน้ำกลั่นในแต่ละหลอดปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกลูโคส



กราฟมาตรฐานความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ  
ดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams et al. (1995)

กราฟมาตรฐาน DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical)

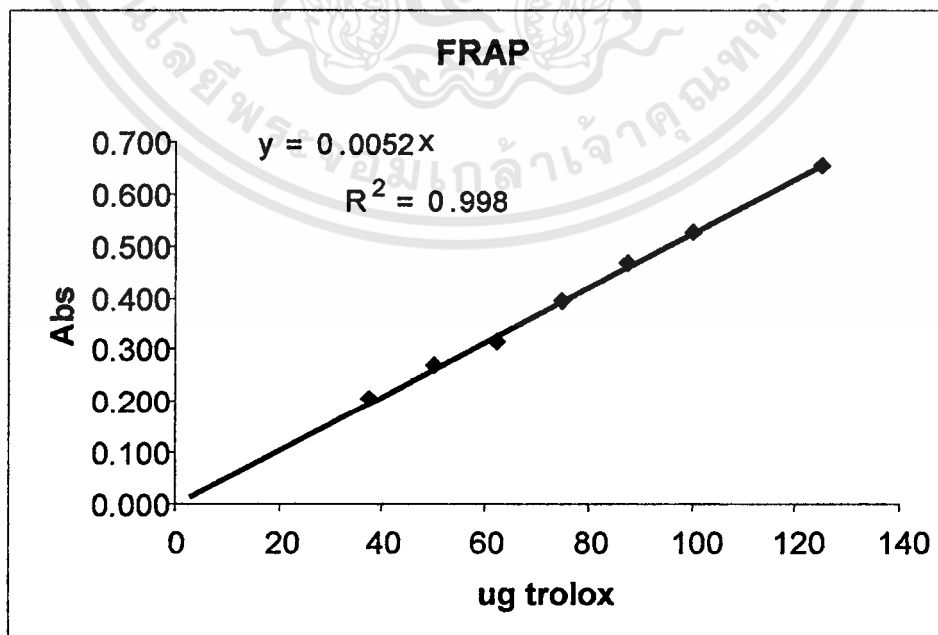
ความสัมพันธ์ระหว่าง %inhibition กับปริมาณ Trolox ได้เป็นสมการเส้นตรง  $y = 1.4404x$



กราฟมาตรฐาน FRAP (Ferric reducing antioxidative potential)

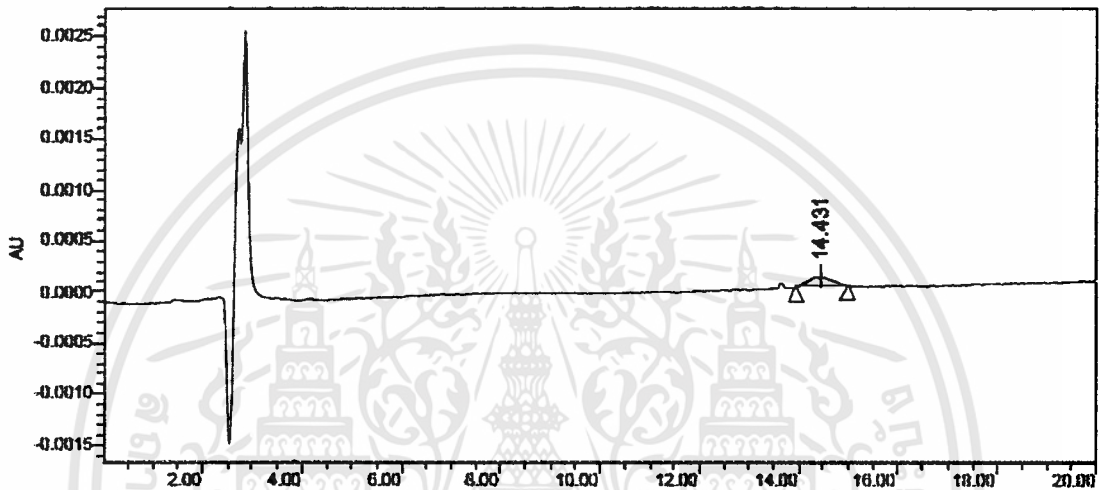
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณ Trolox ได้เป็นสมการเส้นตรง

$$y = 0.0052x$$

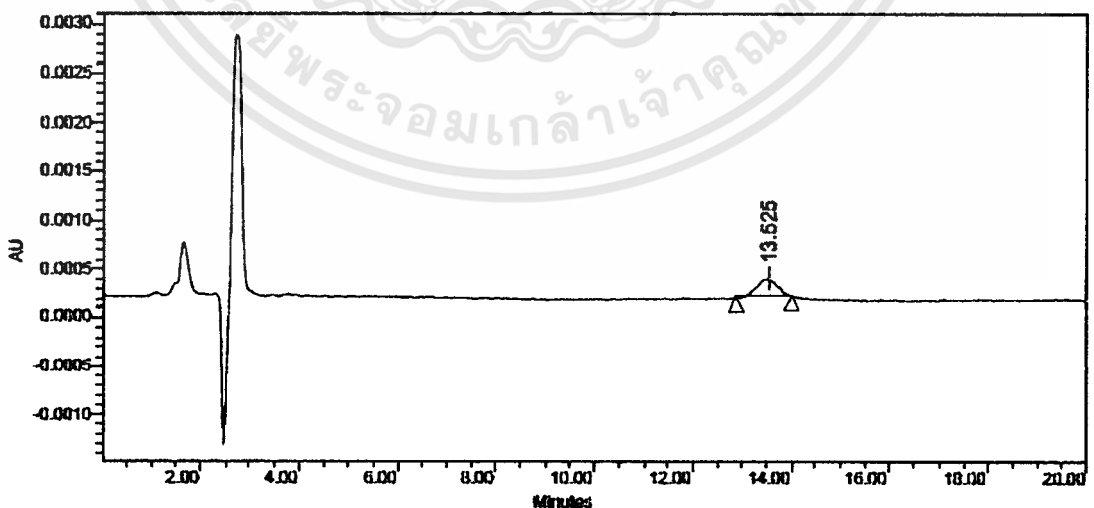


## กราฟมาตรฐานวิตามินอี

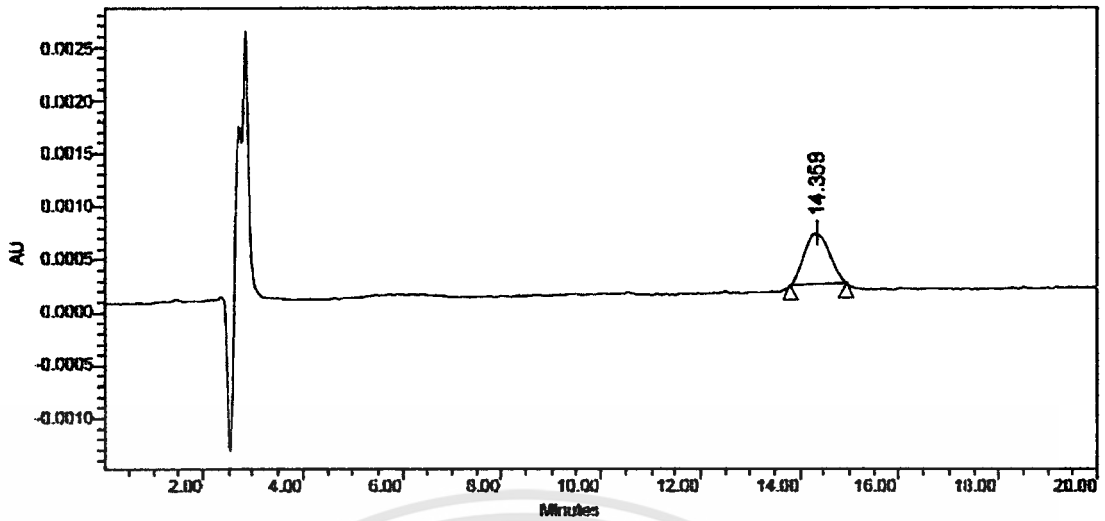
โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายเมทานอล : อะซีโทไนไตรด์ 50 : 50 ปริมาตรโดยปริมาตร และอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ เป็น 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร ปริมาตรในการฉีดวิเคราะห์คือ 20 ไมโครลิตร ที่ความเข้มข้น 0.5-10 ppm แสดงดังรูป



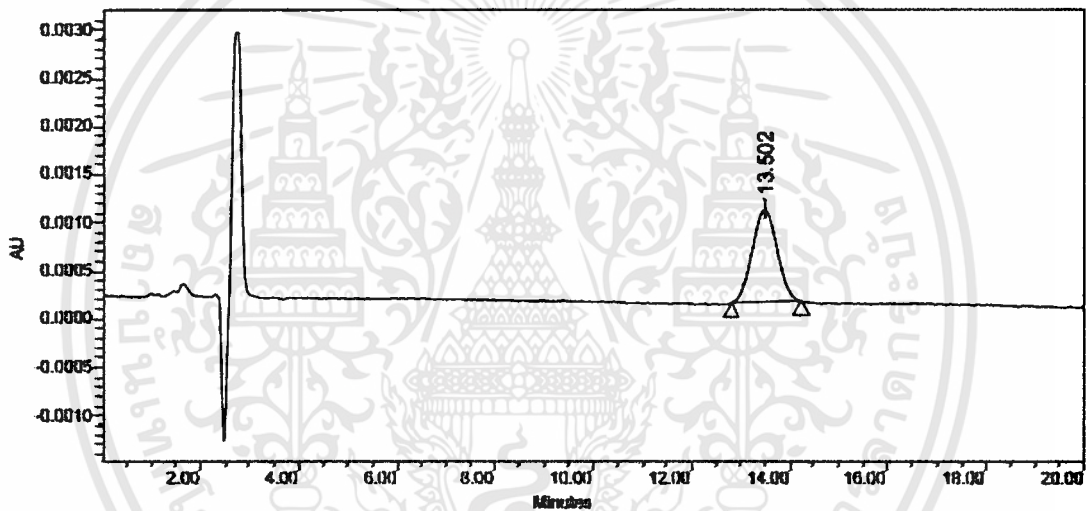
ภาคผนวก ข-1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 0.5 ppm



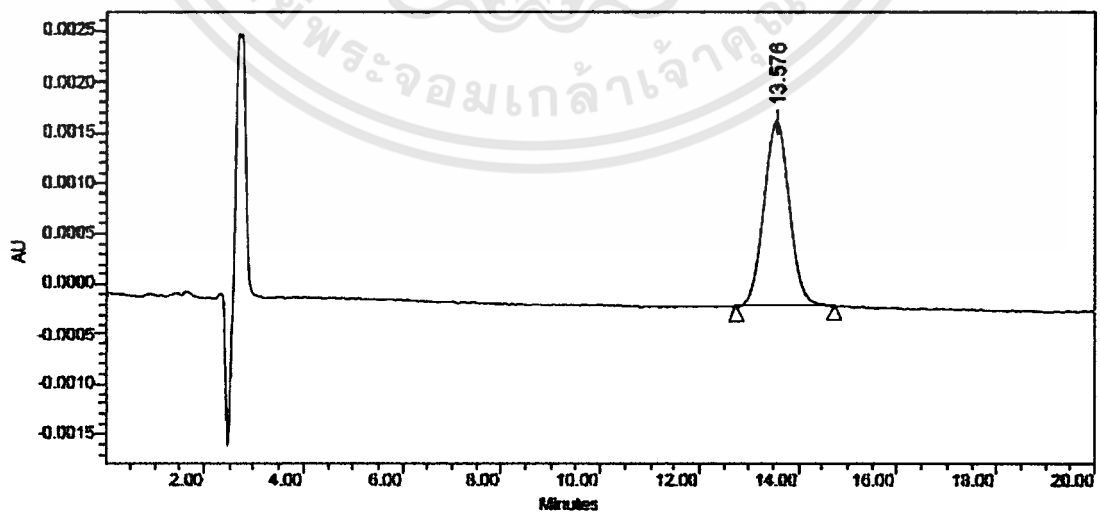
ภาคผนวก ข-2 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 1 ppm



ภาคผนวก ข-3 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 2.5 ppm



ภาคผนวก ข-4 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 5 ppm



ภาคผนวก ข-5 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 10 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

รูปข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาออกต่าง ๆ



ข้าวกล้อง

ระยะเวลาในการงอก 0 ชั่วโมง  
(หลังแช่น้ำ 3 ชั่วโมง)

ระยะเวลาในการงอก 6 ชั่วโมง



ระยะเวลาในการงอก 12 ชั่วโมง



ระยะเวลาในการงอก 18 ชั่วโมง



ระยะเวลาในการงอก 24 ชั่วโมง

### ภาพผนวก ก-1 รูปข้าวกล้องชัณษาท 1 ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน

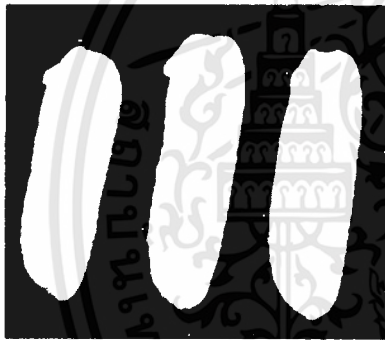
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข้าวกลี้ยง



ระยะเวลาในการงอก 0 ชั่วโมง  
(หลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง)



ระยะเวลาในการงอก 6 ชั่วโมง



ระยะเวลาในการงอก 12 ชั่วโมง



ระยะเวลาในการงอก 18 ชั่วโมง



ระยะเวลาในการงอก 24 ชั่วโมง

**ภาคผนวก ค-2 รูปข้าวกลี้ยงชาวดอกมะลิ 105 ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข้าวกล้อง

ระยะเวลาในการงอก 0 ชั่วโมง  
(หลังแช่น้ำ 3 ชั่วโมง)

ระยะเวลาในการงอก 6 ชั่วโมง



ระยะเวลาในการงอก 12 ชั่วโมง



ระยะเวลาในการงอก 18 ชั่วโมง



ระยะเวลาในการงอก 24 ชั่วโมง

ภาคผนวก ก-3 รูปข้าวกล้องกข 23 ที่ระยะเวลาการงอกแตกต่างกัน

## ประวัติผู้เขียน

|                 |   |
|-----------------|---|
| ชื่อ-นามสกุล    | นางสาว ปาริชาติ หิรัญพงษ์   |
| วันเดือนปีเกิด  | วันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2525  |
| ที่อยู่         | 109 หมู่ 4 ตำบลบ้านหม้อ อำเภอบ้านหม้อ จังหวัดสระบุรี 18130  |
| ประวัติการศึกษา | 2546 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ<br>2542 มัธยมศึกษาตอนปลายแผนการเรียนวิทย์-คณิต โรงเรียนพิบูลวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้