# ผลของระยะเวลาในการงอกต่อสารชีวกิจกรรมบางชนิด และคุณภาพของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105

# EFFECT OF GERMINATION TIME ON SOME BIOACTIVE COMPONENTS AND QUALITIES OF GERMINATED BROWN RICE (GBR) CV. HOM MALI 105

วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย
VILAIPORN TRAKULPIBOONCHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2418-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ผลของระยะเวลาในการงอกต่อสารชีวกิจกรรมบางชนิด และคุณภาพของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105

# EFFECT OF GERMINATION TIME ON SOME BIOACTIVE COMPONENTS AND QUALITIES OF GERMINATED BROWN RICE (GBR) CV. HOM MALI 105

วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย

VILAIPORN TRAKULPIBOONCHAI

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....63309
วัน,เดือน,ปี.....25 ส.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2418-8

# EFFECT OF GERMINATION TIME ON SOME BIOACTIVE COMPONENTS AND QUALITIES OF GERMINATED BROWN RICE (GBR) CV. HOM MALI 105

VILAIPORN TRAKULPIBOONCHAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-15-2418-8

**COPYRIGHT 2006**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

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

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | ผลของระยะเวลาในการงอกต่อสารชีวกิจกรรมบางชนิดและคุณภาพของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 |
| **นักศึกษา** | วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย |
| **รหัสประจำตัว** | 46066616 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิทยาศาสตร์การอาหาร |
| **พ.ศ.** | 2549 |
| **อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์** | รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย |

# บทคัดย่อ


ศึกษาผลของสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัดสารฟีนอลิกด้วยเครื่องซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด คาร์บอนไดออกไซด์ (SFE-$CO_2$) ร่วมกับ methanol โดยแปรอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 3 ระดับคือ 5000, 6000 และ 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และระยะเวลาในการสกัด 3 ระดับคือ 10, 20 และ 30 นาที พบว่า สภาวะการสกัดที่ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลาในการสกัด10 นาที ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (24.17±0.50 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม นน.แห้ง) ระยะเวลาในการงอกของข้าวกล้องมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแกมมาโอรีซานอล กรดอะมิโน และกรดเฟอร์รูลิก ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ ($p \leq 0.05$) โดยที่ระยะเวลาในการงอก 96 ชั่วโมงให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและแกมมาโอรีซานอลสูงสุด เท่ากับ 19.80±0.90 และ 9.88±0.38 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแป้ง 100 กรัม (นน.แห้ง) ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาในการงอก 48 ชั่วโมง ให้ปริมาณกรดเฟอร์รูลิกสูงสุด เท่ากับ 74.43±2.65 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแป้ง 100 กรัม (นน.แห้ง) กรดอะมิโนที่พบส่วนใหญ่ในข้าวกล้อง ได้แก่ กรดกลูตามิก อาร์จีนีน และลิวซีน ภายหลังกระบวนการงอก พบการเพิ่มของกรดอะมิโน เช่น ไกลซีน อาร์จีนีน แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด โดยพบแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดในข้าวกล้องที่แช่นาน 96 ชั่วโมง และการลดลงของกรดอะมิโน ได้แก่ กลูตามิก แอสพาติก และไลซีน ระยะเวลาในการงอกของข้าวกล้องมีผลต่อระยะเวลาในการหุงต้ม (cooking time) การดูดซับน้ำ (water uptake ratio) และความแข็ง (hardness) เมื่อระยะเวลาในการงอกข้าวกล้องมากขึ้น สามารถลดระยะเวลาในการหุงต้มและความแข็งของข้าวกล้องงอก การดูดซับน้ำ ข้าวกล้องงอกที่ 0-48 ชั่วโมงมีการดูดซับน้ำมากกว่าข้าวกล้องงอกที่ใช้เวลางอกนาน 72 และ 96 ชั่วโมง ผู้ทดสอบคุณภาพ

ด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการฝึกฝน (n=8) ให้การยอมรับข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 24 ชั่วโมง ระยะเวลาในการงอกมีผลต่อลักษณะปรากฏ สี กลิ่น การเกาะตัวของเมล็ดข้าว เนื้อสัมผัส ความแข็ง และรสชาติ ($p \leq 0.05$) ของข้าวกล้องงอก

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Effect of Germination Time on Some Bioactive Components and Quality of Germinated Brown Rice (GBR) of cv. Hom Mali 105 |
| **Student** | Miss Vilaiporn Trakulpiboonchai |
| **Student ID.** | 46066616 |
| **Degree** | Master of Science |
| **Programme** | 2006 |
| **Thesis Advisor** | Assoc. Prof. Dr. Wanna Tungchareonchai |

# ABSTRACT

Effects of temperature, pressure and time to extract phenolic compounds in germinated brown rice of cv. Hom Mali 105 (GBR), by SFE-$CO_2$ using methanol as a modifier were studied. Extraction conditions included temperatures of 40, 60 and 80$^{\circ}$C ; pressures of 5000, 6000 and 7000 psi; and extraction times of 10, 20 and 30 minutes. Maximum concentration of total phenolic compounds (TPC) was obtained by a combination of 80$^{\circ}$C temperature, 7000 psi pressure, and 10 minute time. Germination time of brown rice was found related to concentration of bioactive components in GBR ($p \leq 0.05$). Germination by soaking brown rice at the room temperature for 96 hours resulted in 19.80±0.90 mg/100g of TPC, and 9.88±0.38 mg/100g of γ-oryzanol. However, soaking brown rice for 48 hours resulted in the highest concentration of ferulic acid (74.43±2.65 mg/100g flour). Presence of GABA in GBR was detected in a sample soaked for 96 hours. Physical property (hardness), cooking qualities (optimum cooking time, water uptake ratio), and sensory evaluation of GBR were determined. Germination time was found to have influence on the cooking time and the water uptake ratio ($p \leq 0.05$). An increase in the germination time was found to decrease the cooking time and hardness of GBR. Sensory evaluation of germinated brown rice using a 7-point Hedonic scale showed that germination time influenced the appearance, color, odor, cohesiveness, texture, hardness and taste of cooked GBR ($p \leq 0.05$). GBR soaked for 24 hours was mostly accepted by the trained panel (n=8).

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้ความรู้ ข้อคิดเห็นและคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ และ ดร. อุมา แสงคร้าม ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งคำแนะนำเพิ่มเติมแก่ข้าพเจ้า ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาในการศึกษาจนกระทั่งจบการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิต จังหวัดหนองคาย ที่ช่วยในการจัดหาข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิเพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณพี่นักศึกษาปริญญาเอก เพื่อนและน้องนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาตรีทุกท่านรวมทั้งเจ้าหน้าที่ที่อำนวยความสะดวกให้แก่ข้าพเจ้าในการปฏิบัติงานจนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์ของงานวิจัยนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... III

กิตติกรรมประกาศ ..... IV

สารบัญ ..... V

สารบัญตาราง ..... VII

สารบัญภาพ ..... IX

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 ความสำคัญและที่มา ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ..... 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา ..... 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 4

2.1 ข้าว ..... 4

2.2 ข้าวกล้อง ..... 6

2.3 ข้าวกล้องงอก ..... 6

2.4 สารประกอบฟีนอล ..... 11

2.5 สารประกอบโอรีซานอล ..... 14

2.6 การสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด ..... 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 21

3.1 วัตถุดิบ ..... 21

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง ..... 21

3.3 สถานที่ดำเนินการทดลอง ..... 21

3.4 วิธีดำเนินงาน ..... 22

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง ..... 26

4.1 ผลของสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยเครื่องซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด คาร์บอนไดออกไซด์ (SC- $CO_2$) ร่วมกับเมทานอลต่อในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 72 ชั่วโมง ..... 26

4.2 ผลการวิเคราะห์สารชีวกิจกรรมบางชนิดในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ..... 29

4.3 สมบัติทางกายภาพ คุณภาพการหุงต้มและลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ ..... 35

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ..... 42

บรรณานุกรม ..... 43

ภาคผนวก ..... 48

ภาคผนวก ก รูปภาพจากการทดลอง ..... 49

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์สารชีวกิจกรรมและสมบัติทางกายภาพในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ ..... 51

ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสข้าวกล้องงอก ..... 57

ภาคผนวก ง ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ..... 61

ประวัติผู้เขียน ..... 67

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ประโยชน์ของสารอาหารที่มีข้าวกล้องงอกต่อร่างกาย | 11 |
| 3.1 | ความหมายของคำศัพท์และตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละคุณลักษณะในการทดสอบด้านประสาทสัมผัสข้าวกล้องงอกหอมมะลิ | 24 |
| 4.1 | ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents, TPC) ในข้าวกล้องงอกที่สกัดด้วยสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัดที่ระดับต่างๆ ด้วย SC-$CO_2$ | 27 |
| 4.2 | ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและแกมมาโอรีซานอลในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง | 29 |
| 4.3 | ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง | 31 |
| 4.4 | ปริมาณกรดเฟอร์รูลิกในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง | 32 |
| 4.5 | ปริมาณกรดอะมิโนในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง | 34 |
| 4.6 | ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม (optimum cooking time) และการดูดซับน้ำ (water uptake ratio) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการ งอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง | 35 |
| 4.7 | ความแข็งของข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง | 37 |
| 4.8 | ผลการประเมินคุณภาพด้านความชอบในคุณลักษณะต่างๆ ของข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง | 41 |
| ง.1 | ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้านปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในข้าวกล้องงอกที่สกัดด้วยสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัดที่ระดับต่างๆ ด้วย SC-$CO_2$ | 62 |
| ง.2 | ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ105 ที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง | 62 |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลก ประชากรกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งเป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกข้าวที่สำคัญ โดยประเทศไทยผลิตข้าวได้เป็นอันดับ 6 ของโลกและสามารถส่งออกเป็นอันดับ 1 ของโลกอย่างต่อเนื่องกว่า 20 ปี ปัจจุบันมีสัดส่วนการตลาดประมาณเกือบ 30 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ข้าวจึงเป็นสินค้าที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก (ชวาลวุฒฒ ไชยนุวัติ, 2547)

ข้าวจัดเป็นอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เนื่องจากมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 80 ซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ของอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย นอกจากนี้ยังมีโปรตีนอยู่ร้อยละ 7 กรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 2 วิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด อีกทั้งยังมีใยอาหารด้วย ข้าวที่ผ่านการขัดสีน้อยจะมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวเหลืออยู่มากจึงอุดมด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่ข้าวที่คนไทยบริโภคส่วนใหญ่เป็นข้าวขาวหรือข้าวสารที่ผ่านการขัดสีถึง 3 ครั้งจนจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออกไปเกือบหมดจึงไม่เหลือสารอาหารที่เป็นประโยชน์ นอกจากแป้งซึ่งการบริโภคข้าวเพื่อให้ได้สารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายควรบริโภคข้าวที่ผ่านการขัดสีน้อยที่สุด ได้แก่ ข้าวกล้อง (brown rice) (วันดี กฤษณพันธ์, 2547)

ข้าวกล้อง หมายถึง เมล็ดข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกโดยไม่มีการขัดสีใด ๆ จึงยังคงมีจมูกข้าวหรือเอมบริโอ (embryo) และรำข้าวซึ่งเป็นเยื่อบาง ๆ หุ้มเมล็ดข้าวอยู่ ปัจจุบันมีคนหันมาบริโภคข้าวกล้องมากขึ้น เพราะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยแกลือแร่และวิตามินรวมกว่า 20 ชนิด ช่วยให้ร่างกายทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและเสริมสร้างร่างกายให้สมบูรณ์ (วิไล อุ่นบันเทิง, 2547) แต่การหุงข้าวกล้องโดยทั่วไปนั้น ข้าวกล้องที่ได้มีลักษณะร่วนและมีความแข็งเมื่อเทียบกับข้าวขาว (white rice) เพื่อให้ข้าวกล้องมีความนุ่มมากขึ้นจึงมีการพัฒนาเป็นข้าวกล้องงอก จากการวิจัยในประเทศญี่ปุ่นพบว่า ข้าวที่หุงจากข้าวกล้องงอก มีความนุ่ม อร่อย และมีสารอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวขาว ได้แก่ แกมมาอะมิโนบิวทิริก แอซิด ($\gamma$-aminobutyric acid, GABA)ใยอาหาร (dietary fiber) อินโนซิทอล (inositols) กรดเฟอร์รูลิก (ferulic acid) กรดไฟติก (phytic acid) โทโคไตรอีนอล (tocotrienols) แกมมาโอรีซานอล ($\gamma$-oryzanol) แร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ

เทคโนโลยีของของไหลในสภาวะเหนือจุดวิกฤต (supercritical fluid technology) เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสำหรับการใช้ประโยชน์ในกระบวนการสกัด (extraction process) และกระบวนการแยกลำดับส่วน (fractionation process) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้ในทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่

อุตสาหกรรมเคมี, อุตสาหกรรมการผลิตยา และอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น ซึ่งในการสกัดด้วยเทคโนโลยีนี้นิยมใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตเนื่องจากมีอุณหภูมิและความดันที่จุดวิกฤตต่ำนอกจากนี้ยังเป็นก๊าซที่ไม่มีพิษ ไม่ติดไฟ และราคาถูก (Devittori *et al.*, 2000) ได้มีหลายงานวิจัยที่นำเทคนิคการสกัดด้วยของไหลที่อยู่ในสภาวะเหนือจุดวิกฤตมาใช้ในการสกัดสารจากวัตถุดิบต่าง ๆ เช่น สกัดไลโคพีนจากมะเขือเทศ (Salud Gomez-Prieto *et al.*, 2003) สารประกอบฟีนอลและแทนนินจากเมล็ดองุ่น (Murga *et al.*, 2000), สกัด Antioxidative components จากเมล็ดมะขาม (Tsuda *et al.*, 1995) และสกัดน้ำมันจากรำข้าว (Kuk and Dowd, 1998; Shen *et al.*, 1997; Xu and Godber, 2000) และรำข้าวฟ่าง (Devittori *et al.*, 2000) เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาผลของสภาวะ ความดัน อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกหอมมะลิและวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content, TPC), แกมมาโอรีซานอล ($\gamma$-oryzanol), แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด กรดอะมิโน (amino acid) และกรดเฟอร์รูลิก (ferulic acid) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 รวมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ด้วยเครื่องซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิดแอกแทกชั่น (SFX 220, Isco, USA) โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับเมธานอล วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาโอรีซานอล แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด กรดอะมิโน และ กรดเฟอร์รูลิกในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน รวมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณภาพการหุงต้มและคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกโดยใช้เครื่องซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด แอกแทกชั่นโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับเมธานอล เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาโอรีซานอล แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด กรดอะมิโน และกรดเฟอร์รูลิกในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 รวมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณภาพการหุงต้มและคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

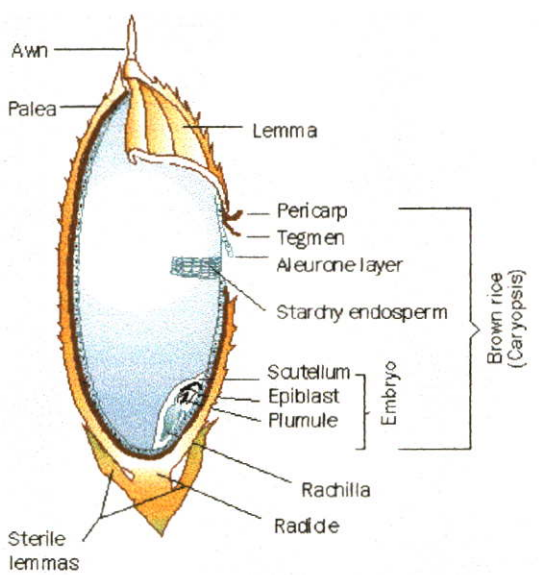
ทราบถึงสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 และทราบปริมาณสารชีวกิจกรรมที่มีในข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน รวมทั้งคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพการหุงต้มและคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องงอกเมื่อเปรียบเทียบกับของข้าวกล้องหอมมะลิ ผลจากการศึกษาสามารถนำไปใช้เพื่อผลิตในอุตสาหกรรม

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ข้าว (Rice)

ข้าวเป็นธัญพืช ซึ่งได้มาจากเมล็ดของธัญพืชพวกหญ้าวงศ์ แกรมมินีอี (Gramineae) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน เป็นพืชล้มลุกมีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ทำให้เกิดความหลากหลายของข้าวชนิดต่าง ๆ ที่แพร่กระจายไปทั่วโลกอย่างน้อย 23 ชนิด ซึ่งมีเพียง 2 ชนิดที่ปลูกเพื่อการบริโภค คือ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud) ประชากรกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะชาวเอเชียบริโภคข้าวมากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

ข้าว เป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียก เมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain หรือ rice seed) ซึ่งทางพฤกษศาสตร์ จะหมายถึง ผล (fruit) ที่มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (single fruit) เกิดจากรังไข่อันเดียวชนิดลอยตัวของดอกเดี่ยวในแต่ละดอกฝอย ที่เกิดรวมกันอยู่เป็นช่อดอก เมล็ดข้าว ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ (1) ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว เรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) และ (2) ส่วนเนื้อผล หรือ ผลแท้ (true fruit หรือ caryopsis grain) หรือข้าวกล้อง (brown rice) ดังภาพที่ 2.1 โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วน ดังนี้




**ภาพที่ 2.1** โครงสร้างของเมล็ดข้าว

**2.1.1 แกลบ (hull)** ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) ขน หาง ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ดซึ่งเชื่อมต่อกับก้าน (pedicel) เปลือกใหญ่เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านท้อง มีขนาดใหญ่อาจมีหางหรือไม่มีก็ได้ ลักษณะของเปลือกใหญ่จะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้ง 2 ด้านในลักษณะขบอยู่ข้างบนอย่างแน่นสนิท ประมาณ 2/3 ของเปลือกทั้งหมดตามแนวยาวของเมล็ด เปลือกเล็กเป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลัง ที่มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ประมาณ 1/3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาว ทำให้เปลือกทั้ง 2 ติดกันสนิท บนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น ขนจะขึ้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่ ขนนี้คือส่วนของเซลล์ผิวนอกที่เจริญกลายเป็นขน เพื่อทำหน้าที่ลดการระเหยน้ำ ป้องกันอันตรายต่อเมล็ดจากสภาวะภายนอกเมล็ด และเพื่อการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ หางเป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งยอดดอก ทำหน้าที่กระจายพันธุ์ ขั้วเมล็ดเป็นก้านสั้น อยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และยังติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก กลีบรองเมล็ดเป็นกลีบเล็ก 2 กลีบ อยู่ตรงข้ามกันใต้สุดของเมล็ด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

**2.1.2 ข้าวกล้องหรือเนื้อผล** ประกอบด้วย เยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลอยู่ภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง น้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ เยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้ามา ประกอบด้วย เซลล์ 2 ชั้น รูปยาว เรียงตามขวาง และมีผนังบางกั้น (หนาประมาณ 0.5 ไมครอน) ภายในเซลล์มีไขมันและสารสี เช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผล ทำให้ข้าวกล้องมีสี นิวเซลลัส (nucellus) เป็นเซลล์ชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด แต่พันธะระหว่าง นิวเซลลัส กับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่น จึงแยกจากกันได้ง่าย มีความหนาประมาณ 0.8-2.5 ไมครอน เยื่อชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนานี้จะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าวเช่น เมล็ดข้าวป้อม-สั้นจะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น เซลล์แอลิวโรนจะไม่เชื่อมติดกับคัพภะในส่วนของใบเลี้ยงด้านท้องของเมล็ดลงมาถึงจุดเชื่อมระหว่างใบเลี้ยงกับเยื่อหุ้มรากอ่อน ซึ่งอยู่ข้างในเมล็ด คัพภะ (embryo) จะอยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ ส่วนท้องของเมล็ดมีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน (radicle) ต้นอ่อน (plumule) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (sctellum) ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงอุดมด้วยโปรตีนและไขมันในส่วนต่าง ๆ เนื้อเมล็ด หรือเนื้อข้าว (endosperm) มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) แบ่งเป็น 2

ส่วนคือ ส่วนชั้นซับแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ 2 ชั้น อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรน และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อเมล็ด (starchy endosperm) ในชั้นซับแอลิวโรนจะมีกลุ่มโปรตีนอยู่ภายใน 3 ลักษณะ คือ ลักษณะกลมใหญ่ (ขนาด 1-2 ไมครอน) กลมเล็ก (ขนาด 0.5-0.75 ไมครอน) และเป็นผลึกติดกันขนาด 2-3.5 ไมครอน แต่ในส่วนเนื้อของเมล็ดจะมีกลุ่มโปรตีนลักษณะกลมใหญ่เท่านั้น แทรกอยู่ในระหว่างเม็ดสตาร์ช (starch granule) มีขนาด 3-9 ไมครอน ที่มีอยู่มากอัดแน่นรวมเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ช (compound granules) อยู่ภายในเซลล์พาเรนไคมาที่มีผนังเซลล์บาง มีรูปร่างรี หรือสี่เหลี่ยม เข้าสู่ใจกลางเมล็ด โดยด้านนอกของเมล็ดจะรี และยาวมากกว่าด้านในของเมล็ด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

## 2.2 ข้าวกล้อง (*Brown rice*)

ข้าวกล้อง คือ ข้าวที่ผ่านการการกะเทาะเอาเปลือกออกเท่านั้น จึงหมายถึง ข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว ข้าวที่ได้จึงเป็นข้าวที่มีสีขาวขุ่น แต่เป็นข้าวที่ยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่มากซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารและเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เมื่อเทียบกับข้าวขาว (white rice) โดยเฉพาะอย่างยิ่งใยอาหาร วิตามินบี และวิตามินอี ถึงแม้ว่าข้าวกล้องจะเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ดีแต่พื้นที่ผิวที่อยู่ล้อมรอบเมล็ดชั้นนอกมีความแข็ง อุดมด้วยน้ำมันและเส้นใย ซึ่งเป็นส่วนที่ป้องกันการแทรกผ่านของความร้อนและการดูดซับน้ำ ทำให้การหุงข้าวภายใต้แรงดันบรรยากาศเกิดการเจลาติไนซ์ของสตาร์ชและการอ่อนตัวหรือการสลายตัวของเนื้อเยื่อชั้นนอกเกิดขึ้นได้ไม่ดีพอ ดังนั้น การหุงข้าวกล้องภายใต้ความดันทั่ว ๆ ไป ข้าวกล้องจะมีความแข็งและร่วน คุณภาพในการรับประทานต่ำเมื่อเทียบกับข้าวขาว จะเห็นได้ว่าการหุงข้าวกล้องแบบนี้มีข้อเสีย แต่อย่างไรก็ตาม ในการหุงข้าวภายใต้ความดันนั้น พบว่าการใช้อุณหภูมิสูง/ความดันสูงมีผลต่อสารอาหาร (วิตามิน) ในข้าวกล้องซึ่งจะสลายตัว ดังนั้น เมื่อข้าวกล้องได้รับความร้อนจนกระทั่งเยื่อหุ้มชั้นนอกอ่อนตัว ส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เยื่อหุ้มชั้นนอกก็จะมีเนื้อแน่นเนื่องจากเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ช จึงทำให้ข้าวกล้องมีลักษณะแข็ง ร่วน (Toyoshima *et al.*, 2004) ฉะนั้น เพื่อให้ข้าวกล้องมีลักษณะนุ่ม อร่อย และสามารถหุงได้ง่ายเช่นเดียวกับข้าวขาว จึงได้มีการพัฒนาเป็นข้าวกล้องงอก (germinated brown rice) ที่มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

## 2.3 ข้าวกล้องงอก (*Germinated brown rice : GBR*)

ข้าวกล้องงอก คือ ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 32-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22-24 ชั่วโมง จนส่วนของจมูกข้าวงอกมีความยาวประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของกระบวนการงอกของเมล็ดข้าว โดยช่วงที่มีการแช่ข้าวเมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ด เปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกจะ

นิ่มขึ้นช่วยให้ง่ายต่อการรับประทาน สารอาหารต่างๆ ภายในเมล็ดจะถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์เพื่อใช้ในการงอก (Toyoshima *et al.*, 2004) โดยสารอาหารหลักที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นคือ แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด ใยอาหาร อินโนซิทอล กรดเฟอร์รูลิก กรดไฟติก โทโคไตรอีนอล แมกนีเซียม โพแทสเซียม สังกะสี แกมมาโอรีซานอล และ สารยับยั้งเอนไซม์โพรลีเลนเปปติเดส (Ito and Ishikawa, 2004)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการงอกในข้าวบาเลย์ (O'Brien and Fowkes, 2005)

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของเมล็ด ใบเลี้ยง (scutellum) ซึ่งเป็นชั้นบาง ๆ ที่แยกระหว่างส่วนของเอมบริโอ (embryo) ออกจากส่วนของ เอนโดสเปิร์ม (endosperm) หลังจากกระบวนการงอก เอมบริโอจะผลิตกรดจิบเบอริลิกที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในการผลิตเอนไซม์ จาก pre-enzyme ที่มีในชั้นแอลิวโรนโดยกรดจิบเบอริลิกจะผ่านชั้นแอลิวโรนทาง scutellum aleurone junction มีผลให้เอนไซม์ในชั้นแอลิวโรนแพร่เข้าในส่วนของเอนโดสเปิร์มและเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งหมายถึง การแตกสลายของผนังเซลล์และการเปลี่ยนสตาร์ชไปเป็นน้ำตาลภายในเอนโดสเปิร์ม เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากชั้นแอลิวโรนในระหว่างกระบวนการงอก โดยองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์ที่ล้อมรอบสตาร์ชภายใน เอนโดสเปิร์มได้แก่

(1) β-glucan gums (ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ของผนังเซลล์)

(2) pentosan gums (ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ของผนังเซลล์)

กัมทั้ง 2 ชนิดนี้คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทั้งหมดในส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อเมล็ด โดยในระหว่างการมอลต์ pentosan gums มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในขณะที่ β-glucan gums มีการเปลี่ยนแปลงมาก β-glucan gums นี้ประกอบด้วยโมเลกุล β-glucose 500-20000 หน่วยเรียงต่อกันเป็นเส้นตรง เอนไซม์ β-glucanases จะสลาย β-glucan gums ไปเป็นโมเลกุล glucose (O'Brien and Fowkes, 2005)

นอกจากนี้กระบวนการงอก ยังเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมี (biochemical) สารอาหาร (nutritional) และลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยในระหว่างกระบวนการงอก สารประกอบที่เก็บในเมล็ดถั่ว จะเกิดการสลายตัวและมีการสังเคราะห์โปรตีนโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์อื่นๆ ไขมัน (fat) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) จะสลายตัว ในขณะที่ใยอาหารมีปริมาณเพิ่มขึ้น วิตามินและ secondary compound ที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จะเปลี่ยนแปลงมากในระหว่างกระบวนการงอก ส่วนปริมาณกรดไฟติก และใยอาหารจะเปลี่ยนแปลงในปริมาณที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ สารที่ไม่ใช่สารอาหารอื่น ๆ เช่น flatulence-producing α-galactosides, trypsin และ chymotrypsin inhibitor ที่มีผลต่อการย่อยโปรตีนมีปริมาณลดลงหลังจากกระบวนการงอก ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและ สารที่

ไม่ใช่สารอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของถั่ว และสภาวะในการงอก เช่น ระยะเวลา อุณหภูมิ แสง เป็นต้น (Kuo, 2004)

Rao และ Muralikrishna (2004) ทำการแยกโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (non-starch polysaccharide) ออกเป็นส่วนที่ละลายน้ำ (water-extractable, WEPs) และ ไม่ละลายน้ำ (water-unextractable, WUPs) จากธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี เรจจิ (ragi) และธัญพืชที่งอก (germinated cereal) ซึ่งโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช ได้แก่ อะราบิโนไซแลน และ บีต้า-ดี-กลูแคน ซึ่งในธัญพืชที่งอกมีปริมาณของโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชส่วนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น อาจเป็นไปได้ว่า ในระหว่างการงอกหรือการมอลต์ (malting) การจับกันของผนังเซลล์หลวมทำให้ความสามารถในการละลายของโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชที่ผนังเซลล์มีมากขึ้น โดยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชที่พบมากในแป้งธรรมชาติ (native) และธัญพืชที่งอกคือ อะราบิโนส ไซโลส และ กลูโคส และยังพบน้ำตาลเฮกโซส มากกว่า น้ำตาลเพนโตส ในระหว่างการมอลต์การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วน น้ำตาลเพนโตสต่อน้ำตาลเฮกโซส ในข้าว ข้าวโพด และเรจจิ ลดลง แสดงให้เห็นว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลเฮกโซส เช่น แมนโนสและกาแลคโตส สูงกว่า เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์แมนโนซิเดส และกาแลกโตซิเดส ดังนั้น การมอลต์มีผลให้ปริมาณ อะราบิโนส ไซโลส และ กลูโคส ในข้าว ข้าวโพด และเรจจิ เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของ Komatsuzaki และคณะ (2005) กล่าวว่า ข้าวกล้องงอกซึ่งแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณกรดอะมิโนแอสพาติก เซอร์รีน แอสพาราจีน และกลูตามิก ลดลง ในขณะที่กรดอะมิโนตัวอื่น ๆ เช่น ไกลซีน อะลานีน วาลีน มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกรดอะมิโนที่อยู่ในข้าวกล้องงอกจะสลายตัวเมื่อมีการดูดซับน้ำ และเปลี่ยนเป็นเอไมด์ นอกจากนี้กรดอะมิโนเหล่านี้ยังช่วยในการเจริญเติบโตของเมล็ดด้วย

Ito and Ishikawa (2004) กล่าวว่า ปริมาณของสารอาหารที่มีในข้าวกล้องงอกนั้น มีปริมาณแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดมากกว่าข้าวที่ขัดขาว 10 เท่า ส่วนใยอาหาร วิตามินอี ไนอะซิน และไลซีนมีมากกว่าประมาณ 4 เท่า ส่วนวิตามินบี 1 บี 6 และแมกนีเซียม มีมากกว่าประมาณ 3 เท่า Kayahara (2000) พบว่า การแช่ข้าวกล้องก่อนการหุงต้ม ทำให้มีสารอาหารเพิ่มขึ้น โดยข้าวกล้องงอกจะมีปริมาณใยอาหารมากกว่าข้าวกล้อง ปริมาณกรดอะมิโนไลซีนมากขึ้น 3 เท่าและปริมาณแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดมีปริมาณเพิ่มขึ้น 10 เท่า โดยการแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส (ประมาณ 90 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ทำให้เยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดข้าวนิ่มและดูดซับน้ำได้ง่ายขึ้น ทำให้หุงได้ง่ายขึ้นด้วย ข้าวที่งอกนี้จะมีรสหวาน เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์โดยย่อยแป้งเป็นน้ำตาล นอกจากนี้พบว่าการบริโภคข้าวกล้องงอกเป็นประจำอย่างต่อเนื่องมีผลดีต่อร่างกาย ดังตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ประโยชน์ของสารอาหารที่มีในข้าวกล้องงอกต่อร่างกาย

| สารอาหาร | ประโยชน์ของสารอาหาร |
|---|---|
| แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด | เร่งกระบวนการเผาพลาญพลังงานในสมอง ป้องกันอาการปวดศีรษะหรือภาวะที่ผนังเส้นโลหิตแดงหนาเนื่องจากความเครียด ป้องกันโรคนอนไม่หลับและป้องกันการเกิดความผิดปกติในวัยหมดประจำเดือน |
| ใยอาหาร | ป้องกันการเกิดท้องผูก และป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด |
| อินโนซิทอล | เร่งกระบวนการเผาพลาญไขมัน ป้องกันภาวะที่ผนังเส้นโลหิตแดงหนา |
| กรดเฟอร์รูลิก | เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยในการสร้างเม็ดสีให้แก่ผิว |
| กรดไฟติก | ป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น และป้องกันการตกตะกอนของเกล็ดเลือด |
| วิตามินอี | เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันผิวจากแสงแดด |
| แมกนีเซียม | ป้องกันโรคหัวใจ |
| โพแทสเซียม | ลดระดับความดันเลือด |
| สังกะสี | ป้องกันภาวะผนังเส้นโลหิตแดงหนา |
| แกมมาโอรีซานอล | ป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น ช่วยบำรุงผิว และลดระดับโคเลสเตอรอล |
| สารยับยั้งเอนไซม์โพลีเลน | ป้องกันการเกิดโรคสมองเสื่อม |
| โคเปปติเดส | |

**ที่มา** : ดัดแปลงจาก Ito and Ishikawa, 2004

**2.3.1 สารอาหารและประโยชน์ของข้าวกล้องงอก** (Ito and Ishikawa, 2004)

1) กรดอะมิโน (amino acid) แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย (essential amino acid) ร่างกายสังเคราะห์ไม่ได้ต้องได้รับจากอาหาร กรดอะมิโนเหล่านี้ เช่น ไลซีนโดยข้าวกล้องงอกมีปริมาณไลซีนเป็น 4 เท่าของข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี ส่วนกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ แอสพาราจีน กลูตาเมต อะลานีน แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดเป็นต้น

2) แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด เป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นชนิดหนึ่ง ซึ่งพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทในสมอง นอกจากกลูตาเมตและไกลซีน มีความสำคัญเป็นอันดับ 2 รองจาก กลูตาเมต ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทหลัก โดยถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของสารสื่อประสาทชนิดยับยั้งในระบบประสาทส่วนกลาง แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดได้จากปฏิกิริยา decarboxylation ของกรดกลูตามิก โดยเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase; GAD) (Komatsuzaki *et al.*, 2005) โดยช่วยให้ไตทำงานเป็นปกติ เร่งกระบวนการเผาผลาญพลังงานในสมอง ป้องกันอาการปวดหัวหรือภาวะที่ผนังเส้นเลือดแดงหนาและมีความยืดหยุ่นน้อยลงเนื่องจากความเครียด

กลูตามิก โดยเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase; GAD) (Komatsuzaki *et al.*, 2005) โดยช่วยให้ไตทำงานเป็นปกติ เร่งกระบวนการเผาผลาญพลังงานในสมอง ป้องกันอาการปวดหัว หรือภาวะที่ผนังเส้นเลือดแดงหนาและมีความยืดหยุ่นน้อยลงเนื่องจากความเครียด

3) วิตามิน ช่วยให้ร่างกายเผาผลาญอาหารได้ดี ช่วยในการสร้างกระดูกและเนื้อเยื่อ ช่วยในกระบวนการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรตเพื่อให้พลังงานแก่ร่างกาย วิตามินที่พบมากในส่วนของรำและจมูกข้าวได้แก่ วิตามิน B1 (thiamin) ในข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามิน B1 เป็น 4 เท่าของข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี ซึ่งช่วยให้ร่างกายย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดีขึ้น มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบประสาท หัวใจ และกล้ามเนื้อ วิตามิน B3 (niacin) ในข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามิน B3 เป็น 4 เท่าของข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี ซึ่งจะกระตุ้นการหมุนเวียนของเลือด และลดระดับโคเลสเตอรอล ช่วยให้ร่างกายดูดซึมโปรตีน น้ำตาล และไขมัน ลดความดันเลือด ช่วยบำรุงผิว วิตามิน B6 (pyridoxine) ในข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามิน B6 เกือบ 3 เท่าของข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีซึ่งช่วยในการสร้างกรดอะมิโน ช่วยให้ร่างกายใช้ไขมันและคาร์โบไฮเดรต ช่วยในการสร้าง antibody และรักษาสมดุลของโซเดียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย ลดการเกิดตะคริวกล้ามเนื้อ วิตามินอี เป็นสารหลักของกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ ข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามินอีเป็น 10 เท่าของข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี ซึ่งวิตามินอีช่วยชะลอความแก่ของเซลล์ ช่วยในการกระจายออกซิเจนไปในเลือด ป้องกันการสะสมของแคลเซียมในหลอดเลือด และป้องกันเซลล์เม็ดเลือดแดงจากสารพิษ

4) เกลือแร่ เกลือแร่ที่พบในรำและจมูกข้าว ได้แก่ แมกนีเซียมในข้าวกล้องงอกมีปริมาณแมกนีเซียมเป็น 10 เท่าของข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี โดยแมกนีเซียมช่วยในการรักษาระดับการเต้นของหัวใจให้เป็นปกติ ช่วยให้ร่างกายใช้แคลเซียมและวิตามินซีได้ดี เปลี่ยนน้ำตาลเป็นพลังงาน ช่วยในการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ เหล็กในข้าวกล้องงอกมีปริมาณเหล็ก เป็น 1.5 เท่าของข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี ซึ่งเหล็กเป็นส่วนสำคัญของฮีโมโกลบินที่ใช้ในการส่งออกซิเจนจากปอดไปสู่เซลล์ และเป็นส่วนสำคัญในการส่งออกซิเจนเข้ากล้ามเนื้อ แคลเซียมในข้าวกล้องงอกมีปริมาณแคลเซียมเป็น 1.5 เท่าของข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี แคลเซียมใช้ในการสร้างกระดูกและฟัน ควบคุมการเต้นของหัวใจ ช่วยในการนอนหลับ ช่วยส่งสารอาหารไปทั่วร่างกาย รักษาการทำงานของระบบประสาท และกล้ามเนื้อ ลดความดันเลือด ทำให้การทำงานของไตเป็นปกติ

5) ใยอาหาร ในข้าวกล้องงอกมีปริมาณใยอาหารเกือบ 2 เท่าของข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี

6) สารต้านอนุมูลอิสระ ในข้าวกล้องงอกจะพบสารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารจำพวก วิตามิน แร่ธาตุ ฟลาโวนอย หรือเอนไซม์ที่ช่วยปกป้องร่างกายจากอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระเป็นสาเหตุของความแก่และก่อให้เกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยป้องกันร่างกายจากการเข้าทำลายของเชื้อไวรัสและแบคทีเรียได้

## 2.4 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

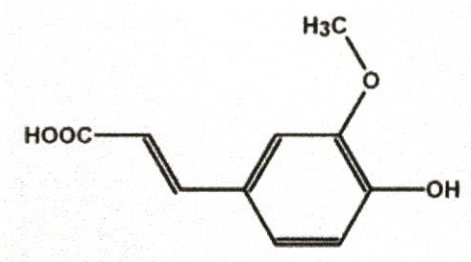
สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบฟีนอลิกในพืชแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันออกไป โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลจะเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ก็ได้ แต่น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก คือ กลูโคส (glucose) ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นที่พบ ได้แก่ กาแลกโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไซโรส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) และอนุพันธุ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucoronic acid) กรดกาแลกตูโรนิก (galacturonic acid) และอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเองหรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (organic acids) อะมีน (amines) และไขมันอีกด้วย สารประกอบฟีนอลิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งสามารถพบได้โดยทั่วไปและมีความสำคัญ ประกอบด้วยฟีนอล (phenols, $C_6$) กรดฟีนอลิก (phenolic acids, $C_6$-$C_1$) ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids, $C_6$-$C_3$) และ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ตัวอย่างของฟีนอล ได้แก่ ฟีนอล (phenol) ครีซอล (cresol) ไทมอล (thymol) รีซอซินอล (resorcinol) ออซินอล (orcinol) และอื่น ๆ ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องเทศ รวมทั้งไฮโดรควิโนน (hydroquinone) และอนุพันธุ์ สำหรับตัวอย่างของกรดฟีนอลิก ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดวานิลิก (vanillic acid) กรดไซรินจิก (syringic acid) กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (p-hydroxybenzoic acid) และอัลดีไฮด์ของกรดฟีนอลิก ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงและเฟิร์น ตัวอย่างของฟีนิลโพรพานอยด์ ได้แก่ กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acids) เช่น กรดพาราคูมาริก (p-coumaric acid) กรดเฟอร์รูลิก (ferulic acid) กรดซินนาปิก (sinapic acid) และอนุพันธุ์ของคูมาริน (coumarins) เช่น อัมบิลิฟีโรน (umbiliferone) แอกคูเลทิน (aceculetin) และสโคโพเลทิน (scopoletin) ซึ่งเป็นสารพวกกลัยโคไซด์ (glycosides) (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545)

สารประกอบฟีนอลิกสามารถพบได้ในอาหารและเครื่องดื่มที่ได้มาจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืช ต่าง ๆ ชา กาแฟ เป็นต้น แต่จะพบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปในพืชต่างชนิดกัน ในเมล็ดธัญพืชพบเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปอิสระ(free phenolic compound) และกลัยโคไซด์ ซึ่งมีทั้งส่วนที่ละลายได้ (soluble phenolic compound) และส่วนที่ไม่ละลาย (insoluble phenolic compounds) โดยที่ส่วนใหญ่จะจับกับโพลีแซคคาไรด์ที่มีกลูโคส อะราบิโนส ไซโลส กาแลกโตส แรมโนส และแมนโนส เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Tian *et al.*, 2004) ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดธัญพืชได้แก่ อนุ

พันธุ์ของกรดเบนโซอิกและกรดซินนามิก แอนโธไซยานิดิน ควิโนน ฟลาโวนอล ชาโคน ฟลาโวน ฟลาโวโนน นอกจากนี้ยังมี โทโคไตรอีนอล โทโคฟีรอล และในเมล็ดข้าวยังพบโอรีซานอล (Adom and Liu, 2002)

กรดฟีนอลิกที่สำคัญในข้าว ได้แก่

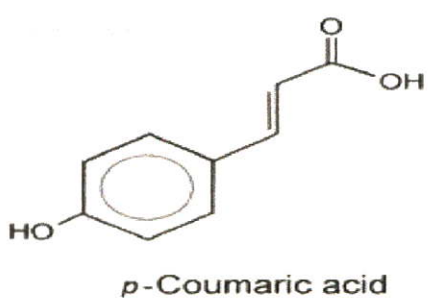
1) กรดเฟอร์รูลิก มีชื่อทางเคมีว่า 4-hydroxy-3-methoxycinnamic acid โดยมีสูตรทางเคมี คือ $C_{10}H_{10}O_4$ มีมวลโมเลกุล 194 ดาลตัน โครงสร้างของกรดเฟอร์รูลิก แสดงดังภาพที่ 2.2




**ภาพที่ 2.2** โครงสร้างทางเคมีของกรดเฟอร์รูลิก

กรดเฟอร์รูลิก อยู่ในกลุ่มของไฮดรอกซีซินนามิก พบได้ในใบไม้ ส่วนของลำต้น และเมล็ดของพืชหลายชนิด โดยเฉพาะในธัญพืช เช่น ข้าวกล้อง ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต และข้าวโพด นอกจากนี้กรดเฟอร์รูลิกยังพบในกาแฟ แอปเปิล ถั่วลิสง เป็นต้น กรดเฟอร์รูลิกมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยจะป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเซลล์ได้ และยังมีการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในสารอาหารอีกด้วย

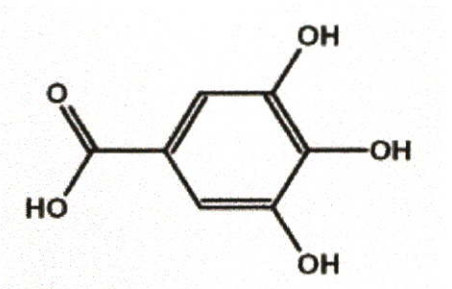
2) กรดคูมาลิก มีชื่อทางเคมีว่า p-coumaric acid crystalline, 4-hydroxycinnamic acid, 4-hydroxyphenylpropenoic acid โดยมีสูตรทางเคมีคือ $C_9H_8O_3$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 164.16 ดาลตัน โครงสร้างทางเคมีแสดงดังภาพที่ 2.3




**ภาพที่ 2.3** โครงสร้างทางเคมีของกรดคูมาลิก

กรดคูมาลิก อยู่ในกลุ่มของกรดไฮดรอกซีซินนามิก กรดคูมาลิกพบได้ในผักและผลไม้หลายชนิด ในผลไม้ เช่น แอปเปิล ลูกแพร์ นอกจากนี้ยังพบในถั่ว มันฝรั่ง มะเขือเทศและชา กรดคูมาลิกสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดจากอนุพันธุ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยาและต้านการเกิดออกซิเดชันของไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL)

3) กรดแกลลิก มีชื่อทางเคมีว่า 3,4,5- trihydroxybenzoic acid โดยมีสูตรทางเคมีว่า $C_7H_6O_5$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 170.12 ดาลตัน โครงสร้างทางเคมีดังรูป




**ภาพที่ 2.4** โครงสร้างทางเคมีของกรดแกลลิก

อนุพันธุ์หลักของกรดไฮดรอกซีซินนามิกมี 2 อนุพันธุ์ คือ β-D-fructofuranosyl-α-D-(6-O-(E)-feruloylglucopyraniside)(6'-O-feruloylsucrose) และ β-D-fructofuranosyl-α-D-(6-O-(E)-sinpoylglucopyraniside) (6'-O-sinapoylsucrose) ที่มีกรดเฟอร์รูลิกและกรดซินนาปินิกจับกับซูโครสด้วยพันธะเอสเทอร์ สามารถแยกและจำแนกได้จากสารสกัดเมทานอลในข้าว (Tian *et al.*, 2004) จากการศึกษาการกระจายตัวของกรดฟีนอลิกในเมล็ดข้าวโดย Zhou และคณะ (2004) พบว่า กรดฟีนอลิกที่พบส่วนใหญ่ในข้าวกล้องและข้าวที่ขัดสี คือ กรดเฟอร์รูลิก และกรดพารา-คูมาริก โดยมีปริมาณกรดแกลลิก กรดวานิลิก กรดแคเฟอิก และไซลินจิก เล็กน้อย ความเข้มข้นของกรดฟีนอลิกจะเพิ่มขึ้นจากส่วนของเอนโดสเปิร์มไปยังชั้นแอลิวโรน ซึ่งกรดพาราคูมาริกจะเชื่อมต่อกับลิกนินที่ผนังเซลล์ ในขณะที่กรดเฟอร์รูลิกจะเชื่อมต่อกับองค์ประกอบของผนังเซลล์ โดยที่ผนังเซลล์ของชั้นแอลิวโรนจะอุดมด้วยอะราบิโนสไซแรนจึงทำให้ชั้นแอลิวโรนมีปริมาณกรดเฟอร์รูลิกมาก

Tian และคณะ (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดฟีนอลิกในข้าวกล้องระหว่างกระบวนการงอก และวิเคราะห์ปริมาณ soluble phenolic และ insoluble phenolic compound ในข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอกด้วย HPLC พบว่า ข้าวมีปริมาณของ insoluble phenolic compound มากกว่า soluble phenolic compound โดย soluble phenolic compound ประกอบด้วยกรดฟีนอลิกอิสระและ hydroxycinnamate sucrose esters ในระหว่างกระบวนการงอก ปริมาณ feruloylsucrose และ sinapoylsucrose ลดลงประมาณ

70 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณ กรดเฟอร์รูลิกอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณของ insoluble phenolic compound พบว่าในข้าวกล้องงอกมีปริมาณ insoluble phenolic compound ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 18.47 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม เป็น 24.78 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม นอกจากนี้ข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าข้าวขาว ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่พบในส่วนรำของเมล็ดข้าว ซึ่ง insoluble phenolic compound ที่พบมากในข้าวขาว ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกคือ กรดเฟอร์รูลิก และ กรดคูมาริก ในระหว่างกระบวนการงอก ปริมาณของกรดฟีนอลิกอิสระเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของกรดเฟอร์รูลิกในข้าวกล้องเพิ่มขึ้นจาก 0.32 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม เป็น 0.48 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกเป็นการเพิ่มขึ้นในรูปของกรดฟีนอลิกอิสระเมื่อถูกย่อยด้วยด่าง จึงมีผลให้ข้าวกล้องงอกอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก

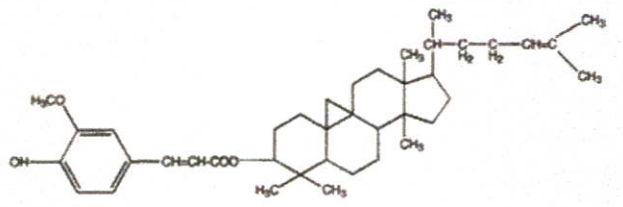
## 2.5 สารประกอบแกมมาโอรีซานอล (γ-Oryzanol)

แกมมาโอรีซานอลเป็นกลุ่มของสารที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นองค์ประกอบเอสเทอร์ของกรดเฟอร์รูริกและสเตียรอล หรือ ไตรเทอร์พีน แอลกอฮอล์ ปริมาณแกมมาโอรีซานอลที่ค้นพบในน้ำมันรำข้าวมีมากกว่าวิตามินอีประมาณ 20 เท่า แกมมาโอรีซานอลในน้ำมันรำข้าวมีปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่วิตามินอีมีปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ปริมาณแกมมาโอรีซานอลในน้ำมันรำข้าวยังมีความแปรปรวนอยู่มาก เช่น การตรวจสอบปริมาณแกมมาโอรีซานอลของน้ำมันรำข้าวที่มีขายอยู่ในประเทศญี่ปุ่นจะมีปริมาณ 1.5-2.9 เปอร์เซ็นต์ ประเทศอินเดียพบปริมาณ 1.5-1.9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่น้ำมันรำข้าวที่มีขายในสหรัฐอเมริกากลับมีปริมาณแกมมาโอรีซานอลเพียง 0.1เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น (Saska and Rossiter, 1998) ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของกระบวนการการผลิตน้ำมันรำข้าว แกมมาโอรีซานอลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับโทโคฟีรอล แต่มีฤทธิ์อ่อนกว่า

### 2.5.1. โครงสร้างของแกมมาโอรีซานอล

เอสเทอร์ของแกมมาโอรีซานอลประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ ส่วนแรกเป็นส่วนมีชั้วของกรดเฟอร์รูลิกที่เป็นองค์ประกอบหลัก อีกส่วนเป็นส่วนที่มี Functional group เป็นแอลกอฮอล์ ได้แก่ สเตียรอล และ ไตรเทอร์พีน แอลกอฮอล์ที่โครงสร้างมีลักษณะคล้ายโคเลสเตอรอล โอรีซานอลที่พบในน้ำมันรำข้าวมีชื่อเฉพาะว่า แกมมาโอรีซานอล โครงสร้างทางเคมีของแกมมาโอรีซานอล ดังภาพที่ 2.5 โดยในปี ค.ศ. 1954 มีการค้นพบโอรีซานอลครั้งแรก จนเมื่อปี ค.ศ. 1999 Xu and Godber ได้ทำการจำแนกองค์ประกอบแกมมาโอรีซานอลในน้ำมันรำข้าวโดยทำการจำแนกอนุพันธุ์ของแกมมาโอรีซานอลได้ 10 อนุพันธุ์ ได้แก่ เดลต้า-7 ซิกมาสเตอนิวเฟอร์รูเลต(deta-7 sigmastenyl ferulate) ซิกมาสเตอริวเฟอร์รูเลต (sigmasteryl

ferulate) ไซโคอาร์เทอนิวเฟอร์รูเลต (cycloartenyl ferulate) 24-เมธิลลีนไซโคอาร์เทอนิวเฟอร์รูเลต (24-methylene cycloartanyl ferulate) เดลต้า-7-แคมสเตอริวเฟอร์รูเลต (delta-7-campestenyl ferulate) แคมสเตอริวเฟอร์รูเลต (campesteryl ferulate) เดลต้า-7-ซิโตสเตอนิวเฟอร์รูเลต (delta-7-sitostenyl ferulate) ซิโตสเตอริวเฟอร์รูเลต (sitosteryl ferulate) แคมสตานิวเฟอร์รูเลต (campestanyl ferulate) และ ซิโตสตานิวเฟอร์รูเลต (sitostanyl ferulate) โดยอนุพันธ์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของแกมมาโอรีซานอลคือ ไซโคอาร์เทอนิวเฟอร์รูเลต 24-เมธิลลีนไซโคอาร์เทอนิวเฟอร์รูเลต ) และแคมสเตอริวเฟอร์รูเลต



**ภาพที่ 2.5** โครงสร้างทางเคมีของแกมมาโอรีซานอล

**2.5.2. คุณสมบัติของแกมมาโอรีซานอล**

แกมมาโอรีซานอลมีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือสีขาวปนเหลืองอ่อนๆ และละลายได้ดีในตัวทำละลาย คลอโรฟอร์ม รองลงมาเป็นอีเทอร์ ละลายได้เล็กน้อยในเฮปเทน และไม่ละลายในน้ำ มีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ 161.2 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 315, 291 และ 231 นาโนเมตร

**2.5.3. ประโยชน์ของโอรีซานอล** (Das *et al*., 1998)

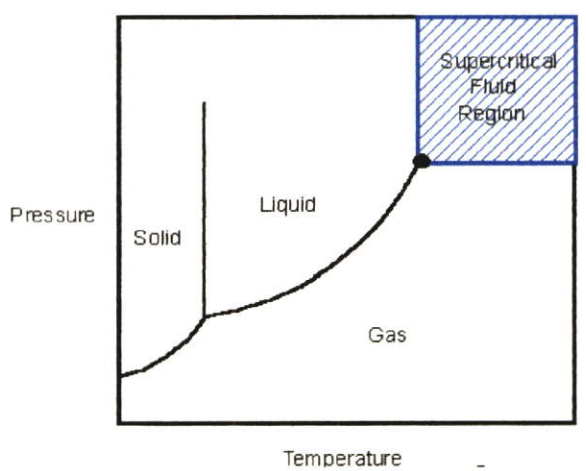
แกมมาโอรีซานอลมีประโยชน์มากมาย ในปี ค.ศ. 2001 Xu และ Godber ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ของแกมมาโอรีซานอล 3 ชนิดจากรำข้าวคือ ไซโคอาร์เทอนิวเฟอร์รูเลต 24-เมธิลลีนไซโคอาร์เทอนิวเฟอร์รูเลต ) และแคมสเตอริวเฟอร์รูเลตเทียบกับแอลฟาโทโคฟีรอลและกรดเฟอร์รูลิก พบว่าอัตราส่วนของอนุพันธุ์ของแกมมาโอรีซานอล 3 ชนิด ต่อกรดไขมันลิโนเลนิกที่อัตราส่วน 1:500 ไม่สามารถลดการผลิตไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เพราะประสิทธิภาพการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ของอนุพันธุ์ 3 ชนิดของแกมมาโอรีซานอลจะลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นในโมเดลของกรดไขมันลิโนเลนิก ส่วนประสิทธิภาพของแอลฟาโทโคฟีรอลและกรดเฟอร์รูลิกจะลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน การที่กรดเฟอร์รูลิกมีประสิทธิภาพมากกว่าเอสเทอร์ของกรดเฟอร์รูลิก เนื่องจากไม่มีส่วนของไตรเทอร์พีนแอลกอฮอล์ ทำให้มีโครงสร้างขนาดโมเลกุลเล็ก จากการศึกษามีการนำแกมมาโอรีซานอลไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งทางด้านอาหาร เครื่องสำอาง และทางการแพทย์ นอกจากนั้นผลการ

ตรวจสอบความปลอดภัยระบุอย่างชัดเจนว่า ไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติของยีน ไม่เป็นสารก่อมะเร็งและเนื้องอก

## 2.6 การสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด (supercritical fluid extraction)

ซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิดหรือของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต ในที่นี้หมายถึง ก๊าซที่มีความหนาแน่นและความสามารถในการละลายใกล้ของเหลว แต่ไม่ใช่ของเหลว หรืออีกนัยหนึ่ง คือ ก๊าซที่อยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันสูงพอที่ก๊าซนั้นมีคุณสมบัติดังกล่าวและไม่สามารถควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวเมื่อมีการเพิ่มความดันให้สูงขึ้น มีผลทำให้ความหนาแน่นของก๊าซสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ณ พื้นที่ซุปเปอร์คริทิคอลฟลูอิด (supercrirical fluid region) ความสามารถในการละลายมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อความหนาแน่น ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบของความดัน (ณ อุณหภูมิคงที่) เมื่อความดันเพิ่ม ความหนาแน่นของก๊าซเพิ่ม คุณสมบัติในการละลายก็จะเพิ่มขึ้นด้วย คุณสมบัติทางกายภาพของสารอยู่ระหว่างของเหลวและก๊าซ การแพร่กระจายตัวสูงเท่าก๊าซ ความหนืดของสารต่ำ เนื่องจากแรงตึงผิวต่ำ ซึ่งมีผลทำให้ซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิดมีคุณสมบัติในการแพร่กระจายคล้ายก๊าซ แต่ยังคงคุณสมบัติการละลายได้ดีเหมือนของเหลว

การสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด เป็นการสกัดโดยอาศัยคุณสมบัติในการละลายของของไหลเหนือจุดวิกฤต ในกระบวนการสกัดจะมีการเพิ่มความดันของก๊าซ จนกระทั่งทำให้ของไหลนั้นเป็นของไหลเหนือจุดวิกฤต คือมีคุณสมบัติในการละลาย ความหนาแน่น ความหนืด และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายอยู่ระหว่างของเหลวและก๊าซใกล้กับของเหลว ดังภาพที่ 2.6




**ภาพที่ 2.6** เฟสไดอะแกรมของของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉลองกรุง


**สมบัติของของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต**

1) สมบัติการนำพาสาร (transportation property)

จากการที่ของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตมีความหนืดต่ำ และการแพร่กระจายสูง ทำให้สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง สามารถแทรกซึมเข้าเนื้อเยื่อตัวถูกละลายได้ดีและทำให้ตัวถูกละลายที่ละลายเข้าไปในของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตกระจายออกจากส่วนการสกัดไปบริเวณอื่นได้ง่าย มีอัตราการถ่ายเทมวลสารดี ส่งผลให้ของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตเป็นตัวทำละลายที่ดี ความหนืดและการแพร่กระจายมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และชนิดของของไหลที่สภาวะเหนือจุวิกฤต จึงต้องมีการปรับสภาวะให้เหมาะสม เพื่อให้สกัดสารที่ต้องการได้ดีที่สุด

2) ความแรงของตัวทำละลาย (solvent power)

ความแรงของตัวทำละลาย เป็นคุณสมบัติเด่นประการหนึ่งของของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตที่เหนือกว่าตัวทำละลายที่เป็นของเหลวทั่วไป เนื่องจากสามารถปรับให้มีค่ามากหรือน้อยได้ง่ายกว่า โดยการปรับสภาวะอุณหภูมิ โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวทำละลายที่เป็นของเหลว จะทำให้การละลายเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิจะก่อให้เกิดผล 2 ประการที่ขัดแย้งกันคือ

(1) การเพิ่มการละลายของตัวถูกละลาย

(2) การลดความหนาแน่น ทำให้โมเลกุลของของไหลที่สภาวะเหนือจุวิกฤต กับตัวถูกละลายอยู่ห่างกัน การละลายของตัวถูกละลายจึงลดลง

ผลรวมความขัดแย้งทั้ง 2 ประการนี้มีผลต่อความแรงของตัวทำละลาย ของของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตซึ่งข้อขัดแย้งในประการที่ 2 สามารถแก้ไขได้โดยใช้ความดันกับของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตเพื่อคงสภาพความหนาแน่นให้ใกล้เคียงกับสภาวะเดิมก่อนที่จะมีการเพิ่มอุณหภูมิ กล่าวโดยสรุปคือตัวแปรที่มีผลโดยตรงต่อความแรงของตัวทำละลายคือ อุณหภูมิ และความหนาแน่น

3) ความสามารถในการคัดเลือก (selectivity property)

ความสามารถในการคัดเลือกเป็นคุณสมบัติของของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตที่สามารถปรับอุณหภูมิและความดันเพื่อให้มีความแรงของตัวทำละลายที่เหมาะสมเฉพาะสารที่ต้องการสกัดให้ได้มากที่สุด โดยมีสารที่ไม่ต้องการออกมาน้อยที่สุด

**การเลือกชนิดของของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต**

สารที่ได้รับความสนใจมากที่สุดคือ คาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากมีอุณหภูมิที่จุดวิกฤตต่ำ ไม่เป็นพิษ ไม่ไวไฟ ไม่ก่อให้เครื่องมือเกิดสนิม ราคาถูก หาได้ง่าย ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และการที่มีอุณหภูมิที่จุดวิกฤตต่ำ ทำให้สามารถขจัดออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายเพียงทิ้งไว้ที่อุณหภูมิและความดันห้อง ทำให้ใช้กับสารที่ไม่ทนความร้อนได้ การสกัดแบบ Supercritical Fluid เป็นกระบวนการหนึ่งในการแปรรูปอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมน้ำมัน เช่น น้ำมันจากถั่วเหลือง ข้าวโพด รำข้าว อุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อแยกน้ำตาลออกจากอ้อย อุตสาหกรรมกลิ่นรส โดยสกัดกลิ่นรสธรรมชาติจากเครื่องเทศ สมุนไพร และน้ำมันเครื่องเทศ และอุตสาหกรรมอาหารอื่นๆ เช่น การสกัดคาเฟอีนจากเมล็ดกาแฟและชา ที่ใช้เตรียมสำหรับการอบแห้งแบบแช่แข็งหรือแบบพ่นฝอย การสกัดเม็ดสี (pigment) อุตสาหกรรมยา (เหมาะกับสารที่ไวต่อความร้อนหรือพวกขี้ผึ้งต่าง ๆ) และสารอาหารต่าง ๆ

**ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด**

ในกระบวนการสกัดคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกทำให้อยู่ในสภาวะของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต ซึ่งความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะนี้มีค่าใกล้เคียงกับของเหลว และมีความหนืดและการแพร่กระจายใกล้เคียงกับก๊าซ ดังนั้นการสกัดสารจากวัตถุดิบอาศัยคุณสมบัติที่สำคัญของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต 3 ประการ คือ การนำพาสาร ความแรงของตัวทำละลาย และความสามารถในการคัดเลือก ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นกับปัจจัย ดังนี้

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติทั้ง 3 ประการของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต โดยในปี ค.ศ. 2000 Baysal และคณะ ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดส่วนที่เหลือทิ้งจากมะเขือเทศ (tomato paste waste) ต่อปริมาณ ไลโคพีนและเบต้า-แคโรทีน โดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 35, 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการละลายของ แคโรทีนอยด์ เพิ่มขึ้น มีผลให้ผลผลิตสูง โดยอุณหภูมิในการสกัดที่ให้ผลผลิตสูงสุดคือ 65 องศาเซลเซียส

2) ความดัน

จากการทดลองของ Perretti และคณะ (2003) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากผลพลอยได้ของกระบวนการผลิตข้าวด้วยการสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และวิเคราะห์ปริมาณแกมมาโอรีซานอล พบว่าความสามารถในการละลายของน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อความดันและ

อุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้น โดยที่ความดัน 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) อุณหภูมิสกัด 80 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณแกมมาโอรีซานอลสูงสุดในส่วนที่เป็นรำข้าว นอกจากนี้การสกัดด้วยวิธีนี้ สามารถสกัดน้ำมันได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

Barth และคณะ (1995) ได้ศึกษาสภาวะอุณหภูมิ 3 ระดับคือ 30, 40, 50 องศาเซลเซียส ความดัน 3 ระดับคือ 300, 400, 500 ความดันบรรยากาศ (atm) และ เปอร์เซ็นต์ตัวทำละลายร่วม 2 ระดับคือ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ ($\alpha$-carotene และ $\beta$-carotene) จากแครอท ด้วยการสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด พบว่า ที่ความดันต่ำ (300 atm) เมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้น ความสามารถในการสกัด $\alpha$-carotene และ $\beta$-carotene เพิ่มขึ้น ทั้งเปอร์เซ็นต์ตัวทำละลายร่วมเท่ากับ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ และที่ความดันสูงขึ้น (400 และ 500 atm) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตสูงกว่าอุณหภูมิ 30 และ 50 องศาเซลเซียส สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์ ($\alpha$-carotene และ $\beta$-carotene) คือ การใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 300 ความดันบรรยากาศ และเปอร์เซ็นต์ตัวทำละลายร่วม 10 เปอร์เซ็นต์

3) ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณสมบัติความแรงของตัวทำละลายของกระบวนการสกัด โดยที่ความแรงของตัวทำละลายเป็นคุณสมบัติประการหนึ่งของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะจุดวิกฤตที่เหนือกว่าตัวทำละลายที่เป็นของเหลวทั่วไป เนื่องจากสามารถปรับให้มีค่ามากหรือน้อยได้ง่ายกว่า ตัวแปรที่มีผลโดยตรง คือ อุณหภูมิ และความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะจุดวิกฤต โดยความดันจะมีผลทางอ้อม

4) เนื้อเยื่อของตัวถูกทำละลาย

อัตราเร็วของการถ่ายเทมวลสาร นอกจากเป็นผลโดยตรงจากความหนืดและการแพร่กระจายของของไหลแล้ว ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของเนื้อเยื่อของตัวถูกละลาย ซึ่งเมื่อความหนาของ เนื้อเยื่อของตัวถูกละลายลดลง มีผลให้สามารถสกัดสารได้มากขึ้น

ในปี ค.ศ. 2000 Xu และ Godber ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีในการสกัดแกมมาโอรีซานอลจากรำข้าว ระหว่างการสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด และ การสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่า การใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซน 50 เปอร์เซ็นต์ และ ไอโซโพรพานอล 50 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรโดยปริมาตร) อุณหภูมิในการสกัด 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 45-60 นาที ให้ปริมาณแกมมาโอรีซานอลสูงสุด ส่วนการสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด การใช้ความดัน 680 atm อุณหภูมิ 55, 60 และ 75 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 10 นาที ให้ผลผลิตสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูง อาจทำให้สมบัติ

ทางกายภาพของรำข้าวเปลี่ยนแปลงไปและทำให้ของไหลแทรกซึมได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 วัตถุดิบ

ข้าวเปลือกหอมมะลิพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 จากศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิต จังหวัดหนองคาย

## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

3.2.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง พิกัดชั่ง 3100 กรัม (Ohaus, USA)

3.2.2 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง พิกัดชั่ง 110 กรัม (Ohaus, USA)

3.2.3 เครื่องบดละเอียด (Ultracentrifugal mill, ZM-200, Retsh, Germany)

3.2.4 เครื่องสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด (SFE :SFX 220, Isco, USA)

3.2.5 เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (R-200, Buchi, Japan)

3.2.6 เครื่องวัดความชื้น (HR-73, Mettler Toledo, Switzerland)

3.2.7 เครื่องยูวีสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (UV-1601, Shimadzu, Japan)

3.2.8 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer,TA-XT2i, UK)

3.2.9 เครื่องทำแห้งแบบระเหิด (Lyophilizer, Labconco, USA)

## 3.3 สถานที่ดำเนินการทดลอง

ห้องปฏิบัติการโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## 3.4 วิธีการดำเนินงาน

### 3.4.1 การเตรียมตัวอย่างและสภาวะการทำข้าวกล้องงอกหอมมะลิ

ใช้ข้าวเปลือกหอมมะลิพันธุ์หอมมะลิ 105 ความชื้นไม่เกิน 14±1 เปอร์เซ็นต์ กะเทาะเปลือกออกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก โดยไม่ทำให้ส่วนที่เป็นจมูกข้าวหลุดออกไป ได้เป็นข้าวกล้อง จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ไขมัน และอะมิโลส ตามวิธีของ AOAC จากการวิเคราะห์ทางเคมี ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 มีปริมาณความชื้น 12.28 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 3.01 เปอร์เซ็นต์ และอะมิโลส 14.06 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งคุณภาพการงอกของข้าวเปลือกและข้าวกล้องหอมมะลิ 105 โดยสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวกล้องจำนวน 100 เมล็ด วางบนกระดาษเพาะเมล็ด โดยวางเมล็ดข้าวระหว่างชั้นของกระดาษเพาะ 2 แผ่นที่มีความชื้น และบ่มในตู้เพาะ พบว่า ข้าวเปลือกมีคุณภาพการงอก 94.67 เปอร์เซ็นต์ ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 มีคุณภาพการงอก 86 เปอร์เซ็นต์

สภาวะการทำข้าวกล้องงอก ดัดแปลงตามวิธีของ Ohtsubo และคณะ (2005) โดยแช่ข้าวกล้องในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างน้ำให้สะอาดและแช่ในน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1: 4 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เปลี่ยนน้ำที่แช่ทุก ๆ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ได้ไปทำแห้งด้วยเครื่อง Lyophilizer และนำไปบดละเอียดด้วยเครื่อง Ultracentrifugal mill บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

### 3.4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิดร่วมกับเมทานอลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ

ชั่งตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 72 ชั่วโมง 5 ±0.0000 กรัม บรรจุใน cartridge ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 3 ระดับคือ 5000, 6000 และ 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะเวลาในการสกัด 3 ระดับคือ 10, 20 และ 30 นาที หลังจากสกัดเสร็จระเหยตัวทำละลายออก และนำน้ำมันที่ได้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2006) และ Goli *et al.* (2005) เพื่อหาสภาวะที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completed Randomized Design วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**3.4.3 การวิเคราะห์สารชีวกิจกรรมบางชนิดในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน**

ชั่งตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 5 ระดับคือ 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ประมาณ 5±0.0000 กรัม บรรจุใน cartridge และสกัดด้วยเครื่องซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.4.2 หลังการสกัดระเหยตัวทำละลาย ออก และวิเคราะห์หาปริมาณ สารชีวกิจกรรมบางชนิด ดังนี้

3.4.3.1 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2006) และ Goli *et al.*(2005)

3.4.3.2 แกมมาโอรีซานอล โดยใช้วิธีของ Perretti *et al.* (2003)

นำตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 5 ระดับคือ 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณ ดังนี้

3.4.3.3 น้ำตาลรีดิวซ์ ดัดแปลงจากวิธีของ Correia *et al.* (2005)

3.4.3.4 กรดเฟอร์รูลิก ดัดแปลงจากวิธีของ Ohtsubo *et al.* (2005)

3.4.3.5 กรดอะมิโน ใช้วิธีของ AOAC (1995)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**3.4.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณภาพการหุงต้ม และคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน**

โดยสมบัติทางกายภาพ คุณภาพการหุงต้มและคุณภาพด้านประสาทสัมผัสที่ศึกษาประกอบด้วย

3.4.4.1 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความแข็ง ดัดแปลงวิธีของ Okabe (1979)

3.4.4.2 คุณภาพการหุงต้ม ได้แก่

1) Optimum cooking time โดยใช้วิธีของ Mohapatra and Bal (2006)

2) Water uptake ratio โดยใช้วิธีของ Mohapatra and Bal (2006)

3.4.4.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ของข้าวกล้องงอกหุงสุก โดยใช้ตัวอย่างข้าวกล้องในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:2.3 หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ยี่ห้อพานาโซนิค (SR-G06G, Thailand) ทำการฝึกฝนกับผู้ทดสอบที่เป็นนักศึกษาปริญญาตรี โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 8 คน โดยฝึกฝนครั้งละ 3 ชั่วโมง

ต่อวัน เป็นเวลา 3 วัน รวมเป็นระยะเวลา 9 ชั่วโมง เสิร์ฟตัวอย่างข้าวกล้องที่หุงสุกแล้วในถ้วยพลาสติก อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส และประเมินตัวอย่างข้าวกล้องงอกด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา ซึ่งดัดแปลงจาก Yau and Huang (1996) โดยคุณลักษณะที่ทำการประเมินดังตารางที่ 3.1 และวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 7 ระดับ (7-point-Hedonic scale)

การทดลองในข้อ 3.4.4.1 และ 3.4.4.2 วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design และการทดลองในข้อ 3.4.4.3 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ 3.1** ความหมายของคำศัพท์และตัวอย่างอ้างอิงในแต่ละคุณลักษณะในการทดสอบด้านประสาทสัมผัสข้าวกล้องงอกหอมมะลิ

| คุณลักษณะ | ความหมาย | ตัวอย่างอ้างอิง | |
|---|---|---|---|
| | | น้อยที่สุด | มากที่สุด |
| **ลักษณะปรากฏ** | | | |
| ความเลื่อมมัน | ปริมาณความมันบนผิวหน้าของเมล็ดข้าว | ข้าวกล้อง | ข้าวกล้องคลุกน้ำมัน |
| ความขาว | ระดับความขาวของข้าวหุงสุก | ข้าวดั่ว | กระดาษสีขาว |
| ความร่วน | ระดับของความร่วนของเมล็ดข้าว | ข้าวเหนียว | ข้าวกล้อง |
| **กลิ่น** | | | |
| กลิ่นข้าวหุงสุก | ความเข้มของกลิ่นข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส | ข้าวกล้อง | ข้าวกล้องหุงสุกที่ 60 องศาเซลเซียส |
| กลิ่นข้าวหุงสุกที่ทิ้งให้เย็น | ความเข้มของกลิ่นข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส | ข้าวกล้อง | ข้าวกล้องหุงสุกที่ 18 องศาเซลเซียส |
| กลิ่นข้าวกล้องหุงสุก | ความเข้มของกลิ่นข้าวกล้องหุงสุกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส | ข้าวกล้อง | ข้าวกล้องหุงสุกที่ 60 องศาเซลเซียส |

**ตารางที่ 3.1 (ต่อ)**

| คุณลักษณะ | ความหมาย | ตัวอย่างอ้างอิง | |
|---|---|---|---|
| | | น้อยที่สุด | มากที่สุด |
| **กลิ่นรส** | | | |
| รสหวาน | ระดับความหวานหลังจากเคี้ยวข้าว 8 ครั้ง | น้ำเปล่า | กลูโคส (3 เปอร์เซ็นต์) |
| **เนื้อสัมผัส** | | | |
| ความเป็นเมล็ด | ระดับของเมล็ดข้าวที่ยังเกาะกันเป็นก้อนภายในปาก | โจ๊ก | ข้าวกล้องหุงสุก |
| ความแข็ง | แรงครั้งแรกที่ใช้ในการกัดเมล็ดข้าว | เต้าหู้ | ถั่วลิสง |
| ความเกาะติดกัน | ระดับการเสียรูปร่างของเมล็ดข้าวหลังจากเคี้ยว 4 ครั้ง | เต้าหู้ | ข้าวเหนียวหุงสุก |
| ความเหนียว | ระดับการติดฟันหรือเพดานปากของเมล็ดข้าวหลังจากเคี้ยว 4 ครั้ง | เต้าหู้ | ข้าวเหนียวหุงสุก |
| อัตราการเคี้ยว | ระดับของการคงเหลือของเมล็ดข้าวหลังจากเคี้ยว 8 ครั้ง | เต้าหู้ | ข้าวเหนียวหุงสุก |
| ความหยาบ | ระดับความหยาบของเมล็ดข้าวหลังจากเคี้ยว 8 ครั้ง | เต้าหู้ชนิดนิ่ม | ข้าวคั่ว |

**ที่มา** : ดัดแปลงจากวิธีของ Yau and Huang, 1996

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 4.1 ผลของสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยเครื่องซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด คาร์บอนไดออกไซด์ (SC-$CO_2$) ร่วมกับเมทานอล ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ที่ระยะเวลาในการงอก 72 ชั่วโมง

การสกัดสารออกจากวัตถุดิบอาศัยคุณสมบัติที่สำคัญของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต 3 ประการคือ การนำพาสาร ความแรงของตัวทำละลาย และ ความสามารถในการคัดเลือก ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน ความหนาแน่น ระยะเวลาในการสกัด ผลการศึกษาผลของสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 72 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยอุณหภูมิ ความดันและระยะเวลาในการสกัดมีอิทธิพลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิ พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัด 80 องศาเซลเซียสให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาผลของความดัน พบว่า การใช้ความดัน 6000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าที่ความดัน 5000 และ 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในขณะที่ผลของระยะเวลาในการสกัด พบว่า การใช้ระยะเวลาในการสกัดนาน คือ 20 และ 30 นาที สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้มากกว่าการใช้ระยะเวลาในการสกัด 10 นาที

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิและความดัน พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความดัน 5000 และ 6000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าที่ความดัน 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส ที่ระดับความดัน 6000 และ 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้ปริมาณสูงกว่าที่ระดับความดัน 5000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน ระยะเวลาในการสกัดนานให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการใช้ระยะเวลาในการสั้น และเมื่อพิจารณาผลของความดันและระยะเวลาในการสกัด พบว่า ที่ระดับความดัน 5000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงขึ้น ในขณะที่ความดัน 6000 และ 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วให้ปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาผลของทั้ง 3 ปัจจัย พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความดันเดียวกัน เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 16.29-21.63 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม โดยที่ความดัน 5000 ปอนด์

ต่อตารางนิ้ว เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ความดัน 6000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที ให้ปริมาณสูงกว่าระยะเวลาในการสกัด 10 และ 30 นาที เช่นเดียวกับที่ระดับความดัน 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 80 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 13.37-24.17 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ที่ระดับความดัน 5000 และ 6000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความดัน 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง จะเห็นว่าการใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นมีผลให้สมบัติทางกายภาพของตัวอย่างแป้งเปลี่ยนแปลงและทำให้ของไหลสามารถแทรกซึมได้มากขึ้นและความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย(solutes) เพิ่มสูงขึ้นด้วย (Xu and Godber, 2000) ซึ่งสภาวะที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดคือ การใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะเวลาในการสกัด 10 นาที ซึ่งจะใช้สภาวะดังกล่าวในการสกัดสารจากข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่งอกระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

**ตารางที่ 4.1** ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents, TPC) ในข้าวกล้องงอกที่สกัดด้วยสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัดที่ระดับต่างๆ ด้วย SC-$CO_2$

| อุณหภูมิ ($^{o}$C) | ความดัน (psi) | ระยะเวลา (นาที) | TPC (mg/100g dry basis) |
|---|---|---|---|
| 40 | 5000 | 10 | $C15.73\pm1.20^{C}_{b}$ |
| | | 20 | $C18.22\pm0.87^{C}_{a}$ |
| | | 30 | $C18.82\pm1.16^{C}_{a}$ |
| | 6000 | 10 | $C15.84\pm0.33^{A}_{b}$ |
| | | 20 | $C19.11\pm0.40^{A}_{a}$ |
| | | 30 | $C18.41\pm0.87^{A}_{a}$ |
| | 7000 | 10 | $C8.39\pm0.68^{B}_{b}$ |
| | | 20 | $C14.05\pm0.61^{B}_{a}$ |
| | | 30 | $C14.07\pm0.69^{B}_{a}$ |

**ตารางที่ 4.1 (ต่อ)**

| อุณหภูมิ (°C) | ความดัน (psi) | ระยะเวลา (นาที) | TPC (mg/100g dry basis) |
|---|---|---|---|
| 60 | 5000 | 10 | $\mathbf{B}16.29\pm1.97^{C}_{b}$ |
| | | 20 | $\mathbf{B}19.63\pm0.48^{C}_{a}$ |
| | | 30 | $\mathbf{B}20.75\pm0.58^{C}_{a}$ |
| | 6000 | 10 | $\mathbf{B}19.33\pm1.20^{A}_{b}$ |
| | | 20 | $\mathbf{B}21.63\pm0.95^{A}_{a}$ |
| | | 30 | $\mathbf{B}17.27\pm0.78^{A}_{a}$ |
| | 7000 | 10 | $\mathbf{B}18.69\pm0.75^{B}_{b}$ |
| | | 20 | $\mathbf{B}20.57\pm0.73^{B}_{a}$ |
| | | 30 | $\mathbf{B}19.76\pm0.31^{B}_{a}$ |
| 80 | 5000 | 10 | $\mathbf{A}13.37\pm2.08^{C}_{b}$ |
| | | 20 | $\mathbf{A}14.13\pm2.05^{C}_{a}$ |
| | | 30 | $\mathbf{A}18.24\pm0.44^{C}_{a}$ |
| | 6000 | 10 | $\mathbf{A}22.20\pm1.04^{A}_{b}$ |
| | | 20 | $\mathbf{A}21.17\pm0.72^{A}_{a}$ |
| | | 30 | $\mathbf{A}23.72\pm0.80^{A}_{a}$ |
| | 7000 | 10 | $\mathbf{A}24.17\pm0.50^{B}_{b}$ |
| | | 20 | $\mathbf{A}21.37\pm0.32^{B}_{a}$ |
| | | 30 | $\mathbf{A}21.62\pm1.54^{B}_{a}$ |

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

**หมายเหตุ**

$\mathbf{1}xx.xx\pm x.xx^{2}_{3}$

1 ที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน ณ ความดันและระยะเวลาในการสกัดแตกต่างกัน ตัวอักษรกำกับต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

2 ที่ระดับความดันเดียวกัน ณ อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดแตกต่างกัน ตัวอักษรกำกับต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

3 ที่ระยะเวลาเดียวกัน ณ อุณหภูมิและความดันแตกต่างกัน ตัวอักษรกำกับต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

## 4.2 ผลการวิเคราะห์สารชีวกิจกรรมบางชนิดในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

### 4.2.1 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและแกมมาโอรีซานอล

หลังจากสกัดสารที่มีในข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกันด้วยเครื่องซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิดที่สภาวะอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลาในการสกัด 10 นาที และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแกมมาโอรีซานอล แสดงผลดังตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาโอรีซานอลในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ105 ที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| ระยะเวลาในการงอก (ชั่วโมง) | สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม) (น้ำหนักแห้ง) | แกมมาโอรีซานอล (มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม) (น้ำหนักแห้ง) |
|---|---|---|
| 0 | $14.64\pm0.67^{c}$ | $8.24\pm0.68^{c}$ |
| 24 | $14.76\pm1.44^{c}$ | $8.28\pm0.14^{c}$ |
| 48 | $16.87\pm0.89^{b}$ | $8.49\pm0.44^{c}$ |
| 72 | $18.53\pm1.39^{a}$ | $9.15\pm0.02^{b}$ |
| 96 | $19.80\pm0.90^{a}$ | $9.88\pm0.38^{a}$ |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)
ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและโอรีซานอล ในข้าวกล้องงอก ที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยเมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดซึ่งใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน พบว่า ในข้าวกล้องงอกที่ 0 ชั่วโมงและข้าวกล้องงอกที่ 24 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.64 และ 14.76 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ตามลำดับ เมื่อใช้ระยะเวลาในการงอกที่นานขึ้น (48, 72 และ 96 ชั่วโมง) มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.87 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ที่ 24 ชั่วโมง เป็น 19.80 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ที่ 96 ชั่วโมง ซึ่งค่าที่ได้นั้นต่างจากงานวิจัยของ Tian และคณะ (2004) ที่รายงาน

มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ที่ 96 ชั่วโมง ซึ่งค่าที่ได้นั้นต่างจากงานวิจัยของ Tian และคณะ (2004) ที่รายงานว่า ข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำนาน 21 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ละลาย (total insoluble phenolic ) มีค่าสูงกว่าในข้าวกล้อง โดยในข้าวกล้องงอกมีปริมาณ 24.78 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ส่วนข้าวกล้องมีปริมาณ 18.47 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม เนื่องจาก ข้าวที่ใช้ในการศึกษาแตกต่างกัน ซึ่งข้าวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้าวพันธุ์อินดิกา ในขณะที่ของ Tian และคณะ ใช้ข้าวพันธุ์จาปอนิกา นอกจากนี้วิธีในการสกัดมีความแตกต่างกัน การที่สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการงอกของเมล็ด น้ำหรือความชื้นเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอก โดยเมล็ดจะดูดน้ำทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้น เกิดการย่อยสลายสารอาหาร (ชยพร แอคะรัจน์, 2546) และเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) ถูกทำลายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และ/หรือ การเจริญของจุลินทรีย์ มีผลให้ saccharolytic enzymes ย่อยแป้งในส่วนที่เป็น Hydroxycinnamate sucrose ester ได้เป็น free phenolic compound ดังนั้นเมื่อปริมาณ Hydroxycinnamate sucrose ester ลดลง จึงมีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอิสระเพิ่มขึ้น เช่น กรดเฟอร์รูลิก (Tian *et al.*, 2004) ส่วนปริมาณโอรีซานอล พบว่า ระยะเวลาในการงอกมีอิทธิพลต่อปริมาณแกมมาโอรีซานอล ($p \leq 0.05$) โดยไม่พบความแตกต่างของปริมาณโอรีซานอลในข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 0-48 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.4) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.24 ,8.28 และ 8.49 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ตามลำดับ แต่เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นเป็น 72 และ 96 ชั่วโมง ปริมาณโอรีซานอลเพิ่มขึ้นเป็น 9.15 และ 9.88 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ตามลำดับ การที่ปริมาณโอรีซานอลเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นเนื่องจาก โครงสร้างทางเคมีของโอรีซานอล จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรดเฟอร์รูลิกซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก และส่วนที่เป็นสเตียรอล ดังนั้นเมื่อสารประกอบฟีนอลิกอิสระเพิ่มขึ้น จึงมีผลให้มีปริมาณโอรีซานอลเพิ่มขึ้นด้วย โดย Oloyo (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการงอกของเมล็ด ถั่วนกพิราบ พบว่า กระบวนการงอกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารหลายชนิดภายในเมล็ด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดไฟติก มีปริมาณลดลง ในขณะที่ปริมาณไขมัน ใยอาหาร แร่ธาตุ แทนนิน และ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลางอก 5 วัน มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น 22.8 ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม เป็น 115 ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม

**4.2.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์**

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ดังแสดงดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ105 ที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ

| ระยะเวลาในการงอก (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อแป้ง 100 กรัม) |
|---|---|
| 0 | $0.68\pm0.07^{d}$ |
| 24 | $0.84\pm0.04^{d}$ |
| 48 | $1.38\pm0.09^{c}$ |
| 72 | $3.84\pm0.31^{b}$ |
| 96 | $5.41\pm0.49^{a}$ |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)
ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า ระยะเวลาในการงอกมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ($p\leq0.05$) โดยข้าวกล้องงอกที่ 0 ชั่วโมงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 0.68 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นเป็น 96 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นประมาณ 5 เท่า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.41 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม การที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น เพราะในระหว่างกระบวนการงอกสตาร์ชภายในเอนโดสเปิร์มมีปริมาณลดลง เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ($\alpha$-amylase) ในเม็ดสตาร์ช โดยในระยะเริ่มต้นเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจะทำงานได้มากกว่าเอนไซม์เบตาอะไมเลส ($\beta$-amylase), เอนไซม์ฟอสโฟรีเลส (phosphorylase) หรือ อาร์เอนไซม์ (R-enzyme) นอกจากนี้เอนไซม์ไฮโดรเลส ยังช่วยให้การย่อยแป้งไปเป็นกลูโคสเกิดได้สมบูรณ์มากขึ้น น้ำตาลรีดิวซ์ที่พบส่วนใหญ่คือ น้ำตาลกลูโคส และมีปริมาณของน้ำตาลฟรุกโตส มอลโตส และ มอลโตไทโอส เล็กน้อย (Palmiano and Juliano, 1972) ส่งผลให้ข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกจะมีรสหวาน

### 4.2.3 ปริมาณกรดเฟอร์รูลิก

ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอร์รูลิกในข้าวกล้องงอกจะทำการย่อยแป้งด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อสลายพันธะเอสเทอร์ระหว่างกรดไฮดรอกซีซินนามิกกับองค์ประกอบอื่นๆ ในผนังเซลล์ หลังจากนั้นปรับด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เอธิลอะซีเตต (ethyl acetate) จะได้ปริมาณกรดเฟอร์รูลิกในข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกันดังในตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ปริมาณกรดเฟอร์รูลิกในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| ระยะเวลาในการงอก (ชั่วโมง) | ปริมาณกรดเฟอร์รูลิก (มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม) |
|---|---|
| 0 | $68.05\pm1.53^{cd}$ |
| 24 | $71.43\pm1.00^{b}$ |
| 48 | $74.43\pm2.65^{a}$ |
| 72 | $66.24\pm1.47^{d}$ |
| 96 | $69.27\pm0.74^{c}$ |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)
ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากผลการทดลอง พบว่า ในข้าวกล้อง มีปริมาณกรดเฟอร์รูลิกเท่ากับ 68.05 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม เมื่อระยะเวลาในงอกเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดเฟอร์รูลิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการงอก 48 ชั่วโมง มีปริมาณกรดเฟอร์รูลิกสูงที่สุด 74.43 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม รองลงมาคือ 24 ชั่วโมง มีปริมาณ 71.43 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม โดย Tian และคณะ (2004) กล่าวว่า ในข้าวกล้องงอกมีปริมาณ total insoluble phenolic compound มากกว่าข้าวกล้อง 1-2 เท่า ซึ่งการเพิ่มของสารประกอบฟีนอลิกในข้าวกล้องงอก เป็นการเพิ่มในรูปอิสระ (free form) ในระหว่างการย่อยด้วยด่าง เนื่องจากผนังเซลล์ถูกทำลายในระหว่างการงอก ซึ่งกรดเฟอร์รูลิกพบมากในผนังเซลล์ของชั้นแอลิวโรน (Nordkvist *et al.*, 1984) และ Tian และคณะ (2004) กล่าวว่า ปริมาณของ 6'-O-feruloylsucrose และ 6'-O-sinapoylsucrose ซึ่งเป็น soluble phenolic compound ในข้าวกล้องมีปริมาณลดลงในระหว่างการงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่ปริมาณของกรดเฟอร์รูลิกอิสระและกรดซินนาปีนิกมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมตาบอลิซึมของสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจริญของจมูกข้าว (bud)

### 4.2.4 ปริมาณกรดอะมิโน

เมล็ดข้าวนอกจากประกอบด้วยโปรตีน อัลบูมิน (albumin) กลอบิวลิน (globulin) กลูเตลิน (glutelin) และโพรลามิน (prolamin) ซึ่งเป็นโปรตีนหลักที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนสะสม (storage protein) เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของกลูเตลินมีกรดอะมิโนหลายชนิดในปริมาณที่สมดุล (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) โดย Jones (2005) กล่าวว่า ในระหว่างกระบวนการงอกของข้าวบาเลย์ ชีวสารโมเลกุลขนาดใหญ่ (biopolymer) ที่ประกอบอยู่ในเมล็ดจะสลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กด้วยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis)

(biopolymer) ที่ประกอบอยู่ในเมล็ดจะสลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กด้วยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis) โดยโปรตีนถูกย่อยไปเป็นเปปไทด์ (peptides) และกรดอะมิโน(amino acid) เพื่อใช้ในการเจริญของพืชโดย ในระยะเริ่มต้นของการย่อยโปรตีนจะถูกละลายโดยเอนไซม์เอนโดโปรติเอสและถูกย่อยต่อโดยเอนไซม์เอกโซโปรติเอส จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนในข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105 (ตารางที่ 4.5) พบว่า กรดอะมิโนหลักที่พบคือ กรดกลูตามิก (glutamic acid) มีปริมาณ 1.7 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 มิลลิกรัม อาร์จีนีน (arginine) มีปริมาณ 1.12 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 มิลลิกรัม และ ลิวซีน (leucine) มีปริมาณ 0.82 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 มิลลิกรัม หลังจากผ่านกระบวนการงอกมีผลให้ปริมาณกรดอะมิโนเพิ่มขึ้น เช่น ไกลซีน(glycine) เพิ่มจาก 0.49 เป็น 0.51 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 มิลลิกรัม อาร์จีนีน (arginine) เพิ่มจาก 1.12 เป็น 1.38 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 มิลลิกรัม ส่วนแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด ไม่พบในข้าวกล้อง แต่ที่ระยะเวลาในการงอก 96 ชั่วโมง พบการเพิ่มของแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด เป็น 0.02 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 มิลลิกรัมในขณะที่กรดอะมิโนบางชนิดมีปริมาณลดลง เช่น กรดกลูตามิก แอสพาติก (aspartic acid) และไลซีน (lysine) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Komatsuzaki และคณะ (2005) โดยในข้าวกล้องงอกที่แช่ในน้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณ แอสพาติก เซอรีน แอสพาราจีน และกรดกลูตามิกลดลง ในขณะที่กรดอะมิโนชนิดอื่นๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้น การที่ปริมาณของกรดกลูตามิกและแอสพาติกมมีปริมาณลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก กรดอะมิโนที่ประกอบเป็นโปรตีนสะสม (storage protein) จะสลายตัวเมื่อมีการดูดซับน้ำเข้าไป มีผลให้กรดอะมิโนเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเอไมด์ (amide) ที่ขนส่งได้และช่วยในการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าว และเมื่อมีการดูดซับน้ำ เอนไซม์กลูตาเมท ดีคาร์บอกซีเลซ (glutamate decarboxylase, GAD) จะทำงานและเปลี่ยนกรดกลูตามิกเป็นแกมมา-อะมิโนบิวทีริก แอซิด (Komatsuzaki *et al.*, 2005) นอกจากนี้กรดกลูตามิกยังเป็นกรดอะมิโนที่ให้รสชาติแก่ข้าว ซึ่งรสชาติของข้าวเป็นสิ่งที่สำคัญต่อคุณภาพการรับประทาน (Saikusa, Horino and Mori, 1994)

**ตารางที่ 4.5** ปริมาณกรดอะมิโนในข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| ระยะเวลาในการงอก (ชั่วโมง) | ชนิดกรดอะมิโน (มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 มิลลิกรัม) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Asp | Glu | Ser | Gly | His | Arg | Thr | Ala | GABA | Pro | Tyr | Val | Ile | Leu | Lys | Phe |
| 0 | 0.77 | 1.70 | 0.55 | 0.49 | 0.24 | 1.12 | 0.48 | 0.54 | 0 | 0.48 | 0.41 | 0.48 | 0.39 | 0.82 | 0.32 | 0.56 |
| 24 | 0.59 | 1.59 | 0.54 | 0.53 | 0.26 | 1.38 | 0.46 | 0.56 | 0 | 0.48 | 0.40 | 0.48 | 0.39 | 0.84 | 0.28 | 0.60 |
| 48 | 0.66 | 1.56 | 0.64 | 0.57 | 0.25 | 1.10 | 0.55 | 0.57 | 0 | 0.51 | 0.33 | 0.49 | 0.38 | 0.89 | 0.24 | 0.53 |
| 72 | 0.69 | 1.46 | 0.54 | 0.50 | 0.22 | 1.40 | 0.38 | 0.53 | 0 | 0.48 | 0.43 | 0.47 | 0.38 | 0.83 | 0.25 | 0.54 |
| 96 | 0.68 | 1.52 | 0.55 | 0.51 | 0.23 | 1.38 | 0.40 | 0.56 | 0.02 | 0.46 | 0.36 | 0.47 | 0.38 | 0.81 | 0.26 | 0.53 |

**หมายเหตุ** Asp : แอสพาติก Glu: กรดกลูตามิก Ser: เซอรีน Gly: ไกลซีน His: ฮีสทิดีน Arg: อาร์จีนีน
Thr: ไทโอนีน Ala: อะลานีน GABA: แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด Pro: โพรลีน Tyr: ไทโลซีน
Val: วาลีน Ile: ไอโซลิวซีน Leu: ลิวซีน Lys: ไลซีน Phe: ฟีนิวอะลานีน

## 4.3 สมบัติทางกายภาพ คุณภาพการหุงต้มและลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ

### 4.3.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม (Optimum Cooking time) และการดูดซับน้ำ (Water uptake ratio)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) และลักษณะเนื้อสัมผัส (textural characteristics) ได้แก่ พันธุ์ข้าว สภาวะในการทำแห้งและการเก็บรักษา ปริมาณความชื้น ปริมาณอะมิโลส ชนิดของเม็ดแป้ง ระดับการขัดสี อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อข้าว วิธีการหุงต้ม และอัตราส่วนของการดูดซับน้ำ (water uptake ratio) เป็นต้น (Mohapatra and Bal, 2006) ผลการทดสอบคุณภาพการหุงต้ม ได้แก่ การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม (optimum cooking time) และการดูดซับน้ำ (water uptake ratio) ของข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม (optimum cooking time) และการดูดซับน้ำ (water uptake ratio) ในข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| ระยะเวลาในการงอก (ชั่วโมง) | ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม (นาที) | การดูดซับน้ำ |
|---|---|---|
| 0 | $45.33\pm0.57^{a}$ | $3.9207\pm0.12^{ab}$ |
| 24 | $43.33\pm0.57^{b}$ | $4.0738\pm0.18^{a}$ |
| 48 | $41.66\pm0.57^{c}$ | $4.0197\pm0.12^{a}$ |
| 72 | $42.66\pm0.57^{bc}$ | $3.4204\pm0.15^{c}$ |
| 96 | $41.66\pm0.57^{c}$ | $3.6866\pm0.28^{b}$ |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)
ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากการทดลอง พบว่า ระยะเวลาในการงอกมีผลต่อระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม และการดูดซับน้ำ เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการหุงต้มลง โดยข้าวกล้องใช้ระยะเวลาในการหุงต้มประมาณ 45 นาที ซึ่งมากกว่าข้าวกล้องที่งอก 24-96 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.6) เพราะเส้นใยของรำข้าวกล้องมีผลให้การแพร่กระจายของความชื้นและการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชเกิดได้

เส้นใยของรำข้าวกล้องมีผลให้การแพร่กระจายของความชื้นและการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชเกิดได้ช้าลงในระหว่างการหุง (Gujral and Kumar, 2003) ส่วนการดูดซับน้ำเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักข้าวสุกต่อข้าวดิบ พบว่า การดูดซับน้ำของข้าวกล้อง ข้าวกล้องที่ใช้ระยะเวลาในการงอก 24 และ 48 ชั่วโมง มีการดูดซับน้ำมากกว่าข้าวกล้องที่ระยะเวลาในการงอก 72 และ 96 ชั่วโมง ทั้งนี้ในระหว่างการหุงต้มน้ำจะแทรกผ่านเข้าไปในเมล็ดข้าว มีผลให้ผนังเซลล์ถูกทำลาย โดยองค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น สตาร์ช คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ช ลิปิด และ โปรตีนจะละลายอยู่ในน้ำที่ใช้หุงข้าว ซึ่งปริมาณขององค์ประกอบที่ละลายออกมาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของผนังเซลล์ที่ถูกทำลาย (Ogawa *et. al.*, 2003) ในขณะที่ข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 72 หรือ 96 ชั่วโมง การดูดซับน้ำลดลง อาจเป็นไปได้ว่าสตาร์ชมีปริมาณลดลงเนื่องจากสตาร์ชที่มีอยู่ภายในเมล็ดถูกย่อยไปเป็นน้ำตาล จึงอาจมีผลให้ส่วนที่ดูดซับน้ำได้มีน้อย การดูดซับน้ำจึงน้อยด้วย

**4.3.2 ความแข็ง (Hardness)**

โดยหุงข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:2.3 ด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า รุ่น SR-G06G ยี่ห้อ พานาโซนิค หลังจากนั้นนำไปวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2i, UK) ซึ่งผลการทดสอบความแข็งของข้าวกล้องงอกหุงสุก พบว่า ระยะเวลาในการงอก มีอิทธิพลต่อความแข็ง โดยข้าวกล้องมีความแข็งมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 10977.72 g Force คิดเป็นค่าความแข็งเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น ความแข็งของข้าวมีค่าลดลง (ตารางที่ 4.7) โดยข้าวกล้องงอกที่ 72 และ 96 ชั่วโมง มีความแข็งน้อยที่สุด การที่ข้าวกล้องนั้นมีความแข็งสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 24-96 ชั่วโมง เนื่องจากข้าวกล้องยังมีส่วนของรำข้าวล้อมรอบเมล็ดข้าวอยู่ ซึ่งประกอบด้วยเส้นใย และโปรตีน โดยที่โปรตีนอาจมีผลในการขัดขวางการดูดซับน้ำและการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในขณะหุงต้มได้ (Kang *et .al*, 2003) จึงมีผลให้ข้าวกล้องมีความแข็งมากกว่า

**ตารางที่ 4.7** ความแข็งของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| ระยะเวลาในการงอก (ชั่วโมง) | ความแข็ง (กรัมแรง) | ความแข็งที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|
| 0 | 10977.72±911.84[a] | 100.0000±0.00[a] |
| 24 | 9435.16±678.35[b] | 85.9483±6.18[b] |
| 48 | 9614.59±576.46[b] | 88.1900±4.55[b] |
| 72 | 8629.08±660.55[c] | 79.2720±7.49[c] |
| 96 | 8626.40±882.64[c] | 78.5324±8.02[c] |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

### 4.3.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ที่หุงสุก

#### 4.3.3.1 การประเมินคุณภาพประสาทสัมผัสข้าวกล้องงอกด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา

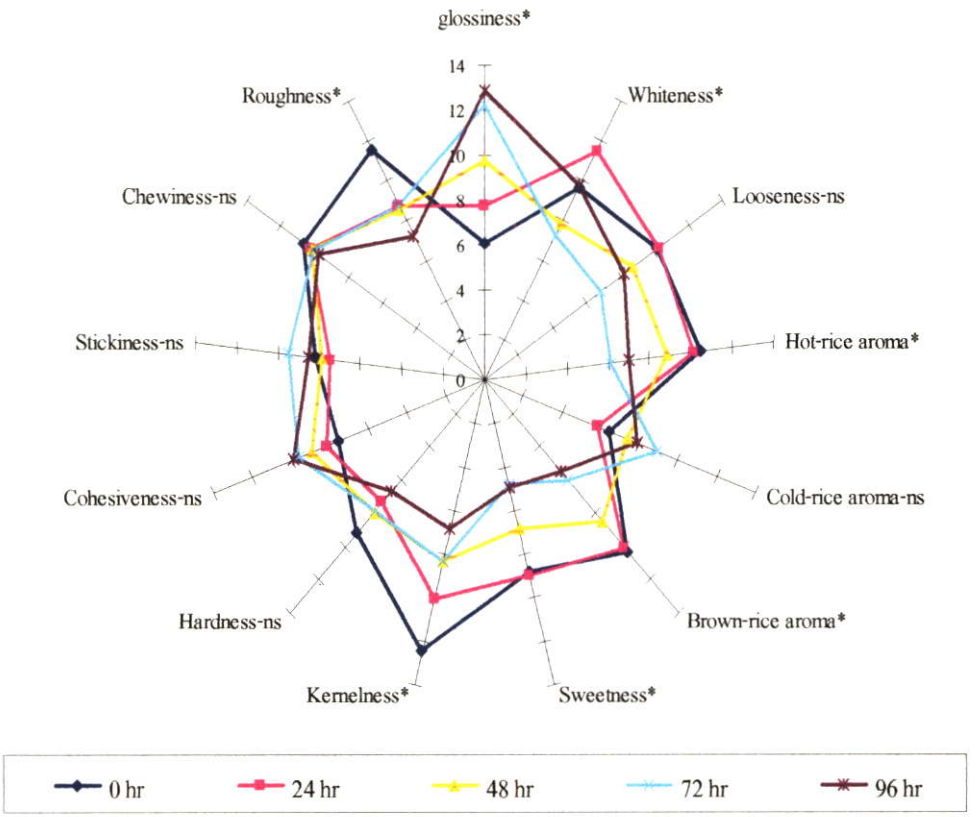
การประเมินคุณภาพด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา เป็นวิธีที่ใช้บอกลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปของปริมาณหรือตัวเลข ซึ่งสามารถนำไปคำนวณทางสถิติได้ สเกลที่ใช้สำหรับแต่ละคุณลักษณะเป็น Line scale ซึ่งมีความยาว 15 เซนติเมตร (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2536)

จากภาพที่ 4.1 พบว่า ระยะเวลาในการงอกมีผลต่อคุณลักษณะ ความเลื่อมมัน (glossiness) ความขาว (whiteness) กลิ่นข้าวหุงสุกใหม่ (hot-rice aroma) กลิ่นข้าวกล้อง (brown-rice aroma) ความหวาน (sweetness) ความเป็นเมล็ด (kernelness) และความหยาบของเมล็ดข้าว (roughness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างในคุณลักษณะด้านความร่วน (looseness) กลิ่นข้าวสุกที่ทิ้งให้เย็น (cold-rice aroma) ความแข็ง (hardness) การเกาะตัวกัน (cohesiveness) ความเหนียว (stickiness) และอัตราการเคี้ยวเมล็ดข้าว (chewiness) ($p \leq 0.05$)

การทดสอบด้านลักษณะปรากฏของข้าวกล้องงอก พบว่า มีความแตกต่างกันในด้านความเลื่อมมัน และความขาว แต่ไม่พบความแตกต่างในด้านความร่วนของเมล็ดข้าว โดยข้าวกล้องมีความเลื่อมมันของเมล็ดข้าวน้อยกว่าในข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนความเลื่อมมันเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการงอก ในขณะที่ความขาวผู้ทดสอบให้คะแนนอยู่ในช่วง 7.31-11.51 ซึ่งสีของข้าวกล้องจะมีสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น สีของเมล็ดข้าวมีสีน้ำตาล

ซึ่งสีของข้าวกล้องจะมีสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น สีของเมล็ดข้าวมีสีน้ำตาลอ่อนมาก การทดสอบด้านกลิ่น พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ 0, 24 และ 48 ชั่วโมง มีกลิ่นข้าวกล้องหุงสุกและกลิ่นข้าวที่หุงสุกใหม่ ชัดเจนกว่าข้าวกล้องงอกที่ 72 และ 96 ชั่วโมง ซึ่งผู้ทดสอบได้ระบุว่า ข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 24-96 ชั่วโมง จะมีกลิ่นหมักและเริ่มมีกลิ่นเหม็นเพิ่มขึ้น ในขณะที่กลิ่นข้าวหุงสุกที่ทิ้งไว้ให้เย็นไม่มีความแตกต่างกันซึ่งกลิ่นนี้จะมีกลิ่นแบบกลิ่นแป้งต้ม การทดสอบด้านรสชาติด้านรสหวาน พบว่า เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นความหวานมีแนวโน้มลดลง ซึ่งต่างจากผลวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ อาจเป็นไปได้ว่า ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ วิเคราะห์ส่วนที่แป้งโดยทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNS แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง ในขณะที่การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานของข้าว จะประเมินได้จากภายหลังการเคี้ยวไปแล้วอย่างน้อย 8 ครั้ง ซึ่งผู้ทดสอบแต่ละคนจะมีความแตกต่างกันด้านลักษณะของการใช้แรงในการเคี้ยวและปริมาณของน้ำลายในปากระหว่างการเคี้ยว อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของเมล็ดข้าวและการย่อยให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ดังนั้นความหวานของข้าวจึงไม่ใช่ผลที่มาจากระยะเวลาในการงอกเพียงอย่างเดียวแต่อาจมีผลจากตัวผู้ทดสอบเอง (Yau and Haung, 1996) การทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องงอก พบว่าระยะเวลาในการงอกมีผลต่อความเป็นเมล็ด และความหยาบของเมล็ดข้าว ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นความเป็นเมล็ดและความหยาบของข้าวมีค่าลดลง ซึ่งสังเกตได้จากการหุงข้าว ข้าวที่ระยะเวลาในการงอกนานจะมีลักษณะของความเป็นเมล็ดลดลงโดยเมล็ดจะแตก ในขณะที่ข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 24-96 ชั่วโมง ผู้ทดสอบให้คะแนนใกล้เคียงกัน และการเกาะตัวกัน ความเหนียว และอัตราการเคี้ยว พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน โดยค่าความแข็งมีความสอดคล้องกับค่าที่วิเคราะห์ได้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.7) โดยความแข็งลดลง เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น และความแข็งมีความสัมพันธ์กับอัตราการเคี้ยวของเมล็ดข้าว โดยมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการงอก โดยข้าวกล้องมีความแข็งมากที่สุด ทำให้ต้องใช้แรงในการเคี้ยวค่อนข้างมาก ในขณะที่เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น ความแข็งของข้าวลดลง อัตราการเคี้ยวจึงลดลง นอกจากนี้ความเป็นเมล็ดและการเกาะตัวกันของข้าวยังมีความสัมพันธ์กัน โดยข้าวที่มีความเมล็ดสูง (ข้าวกล้อง) จะมีการเกาะตัวกันน้อย แต่ข้าวที่งอกนาน 96 ชั่วโมง ความเป็นเมล็ดต่ำและมีการเกาะตัวกันสูง เนื่องจากเมล็ดข้าวแตก สำหรับความเหนียวของข้าว พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 7.50-9.54 ทั้งนี้ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างในเทอมคำว่า การเกาะตัวกัน และความเหนียว ซึ่ง Yau and Huang (1996) ได้อธิบายเทอมคำว่า "ความเหนียว คือ การยึดติดของเมล็ดข้าวกับพื้นที่ผิวของวัตถุอื่น" ซึ่งในการทดลองความเหนียวจะหมายถึง พื้นที่ผิวระหว่างเมล็ดข้าวและฟันหรือช่องว่างภายในปาก และ Eliasson and Gudmundsson (1996) กล่าวว่า ความเหนียวของข้าวมักจะเพิ่มขึ้นตามระดับของ

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้ข้าวสุกและการสลายตัวของอะมิโลสจากเม็ดสตาร์ชในระหว่างการเกิดเจล (gelatinization)




**ภาพที่ 4.1** ผลการประเมินคุณภาพด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนาข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน

**4.3.3.2 การประเมินคุณภาพข้าวกล้องงอกด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (Preference test)**

การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกันด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (preference test) แบบ 7 ระดับ (7-point hedonic scale) ผลดังแสดงตารางที่ 4.8 พบว่า ระยะเวลาในการงอกมีผลต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอกในทุกคุณลักษณะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังจะเห็นได้จากลักษณะปรากฏของข้าวกล้องงอกมีการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบลดลง เช่นเดียวกับสีและกลิ่นของข้าว โดยสีของข้าวกล้องงอกจะมีสีน้ำตาลซีดและเริ่มมีกลิ่นหมักและกลิ่นเหม็นเมื่อระยะเวลาในการงอกนานขึ้น เมื่อพิจารณาความเกาะตัวกันของเมล็ดข้าว พบว่า เมื่อระยะเวลาในการงอกนานขึ้นการเกาะตัวของเมล็ดข้าวค่อนข้างมากซึ่งแตกต่างกับข้าวที่ไม่ผ่านการงอก (0 ชั่วโมง) ที่มีลักษณะเป็นเมล็ด ส่วนในด้านเนื้อ

สัมผัส ความแข็ง และรสชาติของข้าว พบว่า คะแนนความชอบมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวที่ใช้ระยะเวลาในการงอกนาน เมื่อหุงเสร็จแล้ว เมล็ดจะแตกและมีความเหนียวเพิ่มขึ้น และการยอมรับโดยรวมของข้าวกล้องงอก เห็นได้ว่า ข้าวที่ผ่านการทำให้งอกนานขึ้น คะแนนการยอมรับลดลงยกเว้นข้าวที่ผ่านการทำให้งอก 24 ชั่วโมงที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับไม่ต่างจากข้าวกล้อง เมื่อพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ จะเห็นได้ว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับข้าวกล้องที่ใช้ระยะเวลาในการงอก 24 ชั่วโมงมากที่สุด เพื่อให้มีการยอมรับข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกต่างๆ มากขึ้น ควรเปลี่ยนน้ำที่ใช้แช่ข้าวให้บ่อยขึ้น เพื่อลดกลิ่นที่เกิดต่อข้าวกล้องงอก

**ตารางที่ 4.8** ผลการประเมินคุณภาพด้านความชอบในคุณลักษณะต่างๆ ของข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| ระยะเวลาในการงอก (ชั่วโมง) | คุณลักษณะ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ลักษณะปรากฏ | สี | กลิ่น | การเกาะติดกัน | เนื้อสัมผัส | ความแข็ง | กลิ่นรส | การยอมรับโดยรวม |
| 0 | $5.63\pm1.06^{a}$ | $5.63\pm0.74^{a}$ | $5.63\pm0.92^{a}$ | $5.25\pm1.17^{a}$ | $5.50\pm1.31^{a}$ | $5.00\pm0.76^{a}$ | $6.00\pm0.76^{a}$ | $6.00\pm0.76^{a}$ |
| 24 | $4.50\pm1.69^{a}$ | $4.88\pm1.55^{ab}$ | $5.63\pm1.30^{a}$ | $4.63\pm1.41^{ab}$ | $5.13\pm0.84^{a}$ | $4.00\pm1.60^{ab}$ | $5.00\pm1.60^{ab}$ | $5.38\pm1.60^{ab}$ |
| 48 | $4.38\pm1.19^{a}$ | $4.88\pm0.84^{ab}$ | $3.75\pm1.58^{b}$ | $3.63\pm1.06^{b}$ | $3.50\pm1.07^{b}$ | $3.50\pm1.41^{b}$ | $4.13\pm1.46^{bc}$ | $4.25\pm1.39^{bc}$ |
| 72 | $4.38\pm1.06^{a}$ | $4.62\pm0.74^{ab}$ | $2.62\pm1.60^{c}$ | $3.50\pm1.41^{b}$ | $3.25\pm1.04^{b}$ | $4.25\pm1.04^{ab}$ | $4.13\pm1.55^{bc}$ | $4.13\pm1.13^{c}$ |
| 96 | $2.38\pm1.19^{b}$ | $3.75\pm1.28^{b}$ | $1.75\pm1.75^{c}$ | $3.38\pm0.92^{b}$ | $3.75\pm1.58^{b}$ | $4.25\pm1.17^{ab}$ | $3.25\pm1.91^{c}$ | $3.13\pm1.36^{c}$ |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

# บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

สภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัดที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดคือ การใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 7000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลาในการสกัด 10 นาที ซึ่งระยะเวลาในการงอกมีผลต่อสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอก โดยเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นมีผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แกมมาโอรีซานอล น้ำตาลรีดวซ์และกรดเฟอร์รูลิก มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการงอก 96 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและแกมมาโอรีซานอลสูงสุด ส่วนที่ระยะเวลาในการงอก 48 ชั่วโมงให้ปริมาณกรดเฟอร์รูลิกสูงสุด

ข้าวกล้องงอกมีปริมาณกรดกลูตามิก มากที่สุด ซึ่งเป็นสารประกอบที่ให้รสชาติแก่ข้าว และที่ระยะเวลาในการงอก 96 ชั่วโมง พบแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดปริมาณ 0.02 มิลลิกรัมต่อแป้ง100 มิลลิกรัม นอกจากนี้ระยะเวลาในการงอกมีผลต่อระยะเวลาในการหุงต้ม การดูดซับน้ำ และความแข็ง โดยเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น สามารถลดระยะเวลาในการหุงต้มและความแข็งของข้าว ส่วนการดูดซับน้ำ ข้าวกล้องงอกที่ 0-48 ชั่วโมงมีการดูดซับน้ำมากกว่าที่ 72 และ 96 ชั่วโมง ผลด้านประสาทสัมผัสข้าวกล้องงอกด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 7 ระดับ พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 24 ชั่วโมง มากที่สุด

# บรรณานุกรม


โครงสร้างของเมล็ดข้าว. 2549. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.oswego.org

โครงสร้างของกรดเฟอร์รูลิก. 2549. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.phytochemicals.info/phytochemicals/ferulic acid.php

โครงสร้างของกรดคูมาลิก. 2549. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.crsciencetific.com

โครงสร้างของกรดแกลลิก. 2549. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.axxora.com

โครงสร้างทางเคมีของโอรีซานอล. 2549. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.tsuno.co.jp

ชยพร แอคะรัจน์. 2546. **วิทยาการเมล็ดพันธุ์.** กรุงเทพฯ : ฐานเกษตรกรรม.

ชวาลวุฒฒ ไชยนุวัติ. 2547. เอกสารประกอบสัมมนาวิชาการ เรื่อง New Frontier of Rice Bran : มิติใหม่ของรำข้าว เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของบุคลากรและเครือข่ายในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่สินค้าข้าว. โรงแรมดิเอมเมอรัลด์ กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. **การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์.** กรุงเทพฯ : กลุ่มหนังสือเกษตร.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2536. **การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.** กรุงเทพฯ :มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เฟสไดอะแกรมของของไหลที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต. 2548. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.geog.uscb.edu

วันดี กฤษณพันธ์. 2547. **ข้าวกล้อง... อาหารอายุวัฒนะ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.siamstreet.com/health/sativa.html.

วิไล อุ่นบันเทิง. 2547. **ข้าวกล้อง ข้าวที่ไม่สวย...แต่มากด้วยคุณภาพ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.elib-online.com/dortors/food_rice 2.html.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. "บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ". **อาหาร.** 32(4) :245-253.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 366 หน้า

Adom, K.K. and R.H. Liu. 2002. "Antioxidant activity of grains." **Journal of Agriculture Food Chemistry.** 50 :6182-6187.

Adom, K.K., M.E. Sorrells and R.H. Lui. 2005. "Phytochemicals and antioxidant activity of milled fraction of different wheat varieties." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.**

53 :2297-2306.

Barth, M.M., C. Zhou, K.M. Kute and G.A. Rosenthal. 1995. "Determination of optimum conditions for supercritical fluid extraction of carotenoids from carrot (Daucus carota L.) tissue." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 43 :1876-2876.

Baysal, T., S. Ersus and D.A.J. Starmans. 2000. "Supercritical $CO_2$ extraction of β-carotene and lycopene from tomato paste waste." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 48 :5507-5511.

Correia, I., A. Nunes, I.F. Duarte, A. Barros and I. Delgadillo. 2005. "Sorghum fermentation followed by spectroscopic techniques." **Food Chemistry.** 90 :853-859.

Das, P.K., A. Chaudhuri, T.N.B. Kaimal and U.T. Bhalerao. 1998. "Isolation of γ-oryzanol through calcium ion induced precipitation of anionic micellar aggregates." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 46 :3073-3080.

Devittori, C., D. Gumy, A. Kusy, L. Colarow, C. Bertoli and P. Lambelet. 2000. "Supercritical fluid extraction of oil from millet bran." **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 77 :573-579.

Eliasson, A.C. and M. Gudmundsson. 1996. Starch: Physicochemical and Functional Aspect. In : **Carbohydrate in Food**. Eliasson, A.C. ed. New York :Marcel Dekker. pp: 431-503.

Goffman, F.D. and C.J.Bergman. 2004. "Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency." **Journal of Science and Food Agriculture.** 84 :1235-1240.

Goli, A.H., M. Barzegar and M.A. Sahari. 2005. "Antioxidant activity and total phenolic compound of pistachio (*Pistachia vera*) hill extracts." **Food Chemistry.** 92 :521-525.

Gujral, H.S. and V. Kumar. 2003. "Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice." **Journal of Food Engineering.** 59 :117-121.

Ito, S. and Y. Ishikawa. 2004. "Marketing of value-addes rice products in japan: germinated brown rice and rice bread." FAO International Rice Year, 2004 Symposium Rome, Italy.

Jones, B.L. 2005. "Endoproteases of barley and malt." **Journal of Cereal Science.** 42 :139-156.

Kang, H.J., I.K. Hwang, K.S. Kim and H.C. Choi. 2003. "Comparative structure an physicochemical properties of ilpumbyeo, a high-quality japonica rice, and its mutant, suweon 464." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 51 :6598-6603.

Kayahara, H. "Soaking brown rice before cooking makes it more nutritious." December, 2000. [Online]. Avialable : http://www.eurekalert.org /pub-releases/2000-12/ACS-Sbrb-1512100.php.

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.

Komatsuzaki, N., K. Tsukahara, H. Toyoshima, T. Suzuki, N. Shimizu and T. Kimura. 2005. "Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice." **Journal of Food Engineering.**

Kuk, M.S. and M.K. Dowd. 1998. "Supercritical $CO_2$ extraction of rice bran." **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 75 :623-628.

Kuo, Y.H., P. Rozan, F. Lambein, J. Frias and C. Vidal-Valverde. 2004. "Effects of different germination conditions on the contents of free protein and non-protein amino acids of commercial legumes." **Food Chemistry.** 86 :537-545.

Meilgaard, M. G.V. Civille and B.T. Carr. 1999. **Sensory Evaluation Techniques**. 3rd ed. Boca Raton :CRC Press.

Mohapatra, D. and S. Bal. 2006. "Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions." **Journal of Food Engineering.** 73 :253-259.

Murga, R., R. Ruiz, S. Beltran and J.L. Cabezas. 2000. "Extraction of natural complex phenols and tannins from grape seeds by using supercritical mixtures of carbon dioxide and alcohol." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 48 :3408-3412.

Nordkvist, E., A.C. Salomonsson and P. Aman. 1984. "Distribution of insoluble bound phenolic acid in barley grain." **Journal of Science and Food Agriculture.** 35 :657-661.

O' Brien, R. and N. Fowkes. 2005. "Modification patterns in germinating barley-malting II." **Journal of Theoretical Biology.** 233 :315-325.

Ogawa, Y., G.M. Glenn, W.J. Orts and D.F. Wood. 2003. "Histological structures of cooked rice grain." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 51 :7019-7023.

Ohtsubo, K., K. Susuki, Y. Yasui and T. Kasumi. 2005. "Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder." **Journal of Food Composition and Analysis.** 18 :303-316.

Okabe, M. 1979. "Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality." **Journal of Texture Studies.** 10 :131-152.

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 changes 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-product by SFE." **Journal of Supercritical Fluids.** 26 :63-71.

Rao, R. S. P. and G. Muralikrishna. 2004. "Non-starch polysaccharide-phenolic acid complexes from native and germinated cereals and millet." **Food Chemistry.** 84 :527-531.

Saikusa, T., T. Horino and Y. Mori. 1994. "Distribution of free amino acids in the rice kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 42 :1122-1125.

Salud Gomez-Prieto, M., M.M. Caja, M. Herraiz and G. Santa-Maria. 2003. "Supercritical fluid extraction of all-trans-lycopene from tomato." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 51 :3-7.

Saska, M. and Rossiter, G.J. 1998. "Recovery of $\gamma$-oryzanol from rice bran with silica-based continuous chromatography." **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 75 :1421-1427.

Shahidi, F. and M. Naczk. 2004. Cereals, legumes and nuts. In : **Phenolics in Food and Nutraceaticals.** Shahidi, F. and M. Naczk (eds.). New York : CRC Press. pp:17-42.

Shen, Z., M.V. Palmer, S.S.T. Ting and R.J. Fairclough. 1997. "Pilot scale extraction and fractionation of rice bran oil using supercritical carbon dioxide." **Journal of Agriculture** and **Food Chemistry.** 45 :4540-4544.

Singaravadivel, K. and S.A. Raj. 1979. "Leaching of phenolic compounds during soaking of paddy." **Journal of Food Science and Technology.** 16 :77-78.

Tian, S., K. Nakamura, T. Cui, and H. Kayahara. 2004. "Analysis of Phenolic Compounds in White Rice, Brown Rice, and Germinated Brown Rice." **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 52 :4808-4813.

Tian, S., K. Nakamura, T. Cui, and H. Kayahara. 2005. "High-performance liquid chromatographic determination of phenolic compounds in rice." **Journal of Chromatography A.** 1063 :121-128.

Toyoshima, H., K. Ohtsubo, H. Okadome, K. Tsukahara, N. Komatsuzaki, and T. Kohno. "Germinated brown rice with good safety and cooking property, process for producing the same, and processed food therefrom." U.S. patent no. 6685979, February 2004.

Tsuda, T., K. Mizuno, K. Ohshima, S. Kawakishi and T. Osawa. 1995. "Supercritical carbon dioxide extraction of antioxidative componenets from tamarind (Tamarindus indica L.) seed coat." **Journal of Agriulture and Food Chemistry.** 43 :2803-2806.

Xu, Z. and J.S. Godber. 1999. "Purification and identification of component of γ-oryzanol in rice bran oil." **Journal of Agriulture and Food Chemistry.** 47 :2724-2728.

Xu, Z. and J.S. Godber. 2000. "Comparison of supercritical fluid and solvent extraction methods in extracting γ-oryzanol from rice bran." **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 77 :547-551.

Yau, N.J.N. and J.J. Huang. 1996. "Sensory analysis of cooked rice. **Food Quality and preference.** 7 :263-270.

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

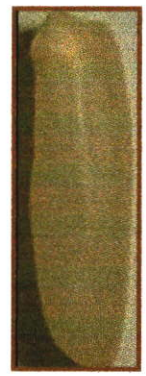
# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก.

# รูปภาพจากการทดลอง

ก.1 ระยะเวลาในการงอก 0 ชั่วโมง

ก.2 ระยะเวลาในการงอก 24 ชั่วโมง



ก.3 ระยะเวลาในการงอก 48 ชั่วโมง

ก.3 ระยะเวลาในการงอก 72 ชั่วโมง

ก.4 ระยะเวลาในการงอก 96 ชั่วโมง

**ภาพผนวก ก.** ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ 105 ที่ระยะเวลาในการงอกแตกต่างกัน

# ภาคผนวก ข.

# วิธีการวิเคราะห์สารชีวกิจกรรมและสมบัติทางกายภาพในข้าวกล้องงอกหอมมะลิ

## วิธีวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีของ Kim *et al.* (2006) และ Goli *et al.* (2005)

**วิธีวิเคราะห์**

ชั่งตัวอย่างข้าวกล้องประมาณ 5 กรัม บรรจุใน cartridge ของเครื่องซุปเปอร์คริติคอลฟลูอิด ทำการสกัด จากนั้นระเหยเอาเมทานอลออก นำสารสกัดข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้มาละลายและปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น 25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย 1 มิลลิลิตร ในหลอดแก้วขนาด 15 x 160 มิลลิเมตร เติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu reagent 0.4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที ก่อนเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายส่วนใสที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

เตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0-120 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดลองดังข้างต้น นำผลที่ได้มาเตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้กรดแกลลิคเป็นสารละลายมาตรฐาน

## วิธีวิเคราะห์แกมมาโอรีซานอล ตามวิธีของ Perretti *et al.* (2003)

**วิธีวิเคราะห์**

ชั่งตัวอย่างข้าวกล้องประมาณ 5 กรัม บรรจุใน cartridge ของเครื่องซุปเปอณ์คริติคอลฟลูอิดทำการสกัด จากนั้นระเหยเอาเมทานอลออก นำสารสกัดข้าวกล้องงอกที่เตรียมได้มาละลายด้วย 2,2,4-ไตรเมทธิลเพนเทน (Merck) ก่อนปรับปริมาตรและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 315 นาโนเมตร และใช้แกมมาโอรีซานอลมาตรฐาน (Tsuno Rice Fine Chemicals, Japan) ในการเตรียมกราฟมาตรฐาน

## วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดวซ์ ดัดแปลงจากวิธีของ Correia *et al.* (2005)

**วิธีวิเคราะห์**

ชั่งตัวอย่างประมาณ 1.0000 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนครบ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง (ก่อนนำไปวิเคราะห์) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลอง เติม DNS reagent 3 มิลลิลิตร นำหลอดแช่ในน้ำเดือดนาน 3-5 นาที ทำให้เย็นทันที เขย่าให้

เข้ากันดี แล้วนำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร นำค่าที่อ่านได้มาคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคส

## วิธีการวิเคราะห์กรดอะมิโน ตามวิธี AOAC (1995)

**การเตรียมตัวอย่าง**

ชั่งตัวอย่างแป้ง 100 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 6 นอร์มัล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วย heating block ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ทำให้เย็นและเติมแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดซึ่งเป็น Internal standard ทำแห้งด้วยไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เจือจางตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยน้ำ deionized และกรองตัวอย่าง จากนั้นปิเปตตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร ผสมกับ AccQ·fluor derivatization buffer 70 ไมโครลิตร และเติม AccQ·fluor reagent 20 ไมโครลิตร ให้ความร้อนกับตัวอย่างที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ด้วย heating block

**การวิเคราะห์**

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ระบบ HPLC ประกอบด้วย Waters Alliance 2695 พร้อม heater , AccQ·Tag column (3.9 I.D. x 150 mm, particle size 4 μm) อุณหภูมิคอลัมน์ 37±1 องศาเซลเซียส , Waters 2475 Multi λ fluorescence Detector (EX: 250 nm, EM: 395 nm) ปริมาตรที่ฉีดตัวอย่างเท่ากับ 5 ไมโครลิตร Mobile phase : AccQ·Tag Eluent A, Acetronitrile, Deionized water และใช้ γ-Amino-butyric acid (Sigma) เป็นสารมาตรฐาน

## วิธีการวิเคราะห์กรดเฟอร์รูลิก ดัดแปลงตามวิธีของ Ohtsubo *et al.* (2005)

**การเตรียมตัวอย่าง**

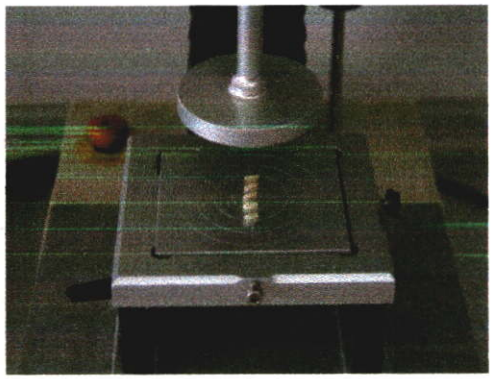
โดยชั่งตัวอย่างจำนวน 0.5 กรัม (±0.0001 กรัม) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 40±1 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วปรับสารละลายให้เป็นกลางด้วยกรดไฮดรคลอลิกความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 26 มิลลิลิตร สกัดด้วยเอทิลอะซีเตต ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง รวมเอทิลอะซีเตตที่สกัดได้และระเหยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และละลายด้วยสารละลายเมธานอล : น้ำ (1:1; ปริมาตรโดยปริมาตร) ก่อนปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร

**การวิเคราะห์**

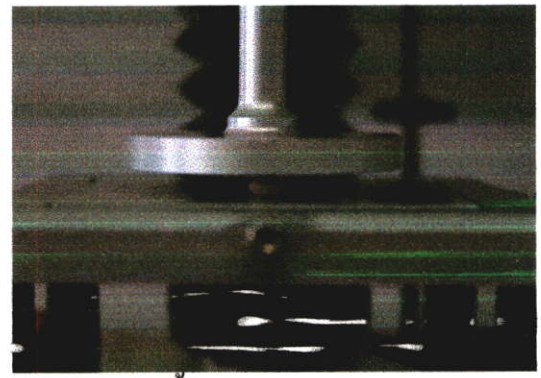
สารละลายที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์ด้วย HPLC ใช้คอลัมน์ Thermohypersil C18 normal phase.ใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และ อะซิโตไนไตร์ที่อัตราส่วน 80:20 (ปริมาตรโดยปริมาตร) เป็น mobile phase โดยมีอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ประมวลผลด้วย ultraviolet detector ที่ 320 นาโนเมตร ปริมาตรที่ฉีดตัวอย่างเท่ากับ 20 ไมโครลิตร โดยใช้กรดเฟอร์รูลิก (4-Hydroxy-3-methoxycinnamic acid, Sigma) เป็นสารมาตรฐาน และ ใช้กรดแคเฟอิก (3,4-Dihydroxycinnamic acid, Sigma) เป็น Internal standard

## การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ดัดแปลงวิธีของ Okabe (1979)

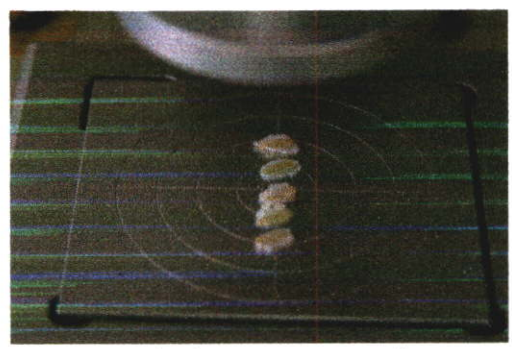
การเตรียมตัวอย่างสำหรับวัดเนื้อสัมผัส โดยหุงข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกต่าง ๆ กัน ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 2.3 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า รุ่น SR-G06G ยี่ห้อ พานาโซนิค หลังจากนั้นวัดเนื้อสัมผัส โดยเลือกเมล็ดข้าวจำนวน 5 เมล็ดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน เมล็ดข้าวสุกเต็มเมล็ด วางเรียงกันบน Plate form ที่แห้งสะอาด ดังภาพที่ ข.1 แล้ววัดเนื้อสัมผัสโดยใช้แรงกด (Compression) จากหัววัดแบบ Compression plate ขนาด 75 มิลลิเมตร ดังภาพที่ ข.2 เลือกการทดสอบแบบ Hold Unit Time ความเร็วของหัววัดที่เคลื่อนที่ลงก่อนสัมผัส (Pre-test speed) 1.5 มิลลิเมตร/นาที ความเร็วของหัววัดขณะเคลื่อนที่ลงในเนื้อข้าว (Test speed) 1.0 มิลลิเมตร/นาที โดยมีระยะพัก 30 วินาที ความเร็วของหัววัดขณะเคลื่อนที่ขึ้นจากเมล็ดข้าว (Post-test speed) 1.0 มิลลิเมตร/นาที เพื่อวัดความแข็งของข้าว โดยแสดงดังภาพที่ ข.4 ซึ่งจุดที่ลูกศรชี้คือ ค่าแรงที่สูงสุดที่ใช้ในการกดเมล็ดข้าว (Max force) แสดงเป็นค่าความแข็ง



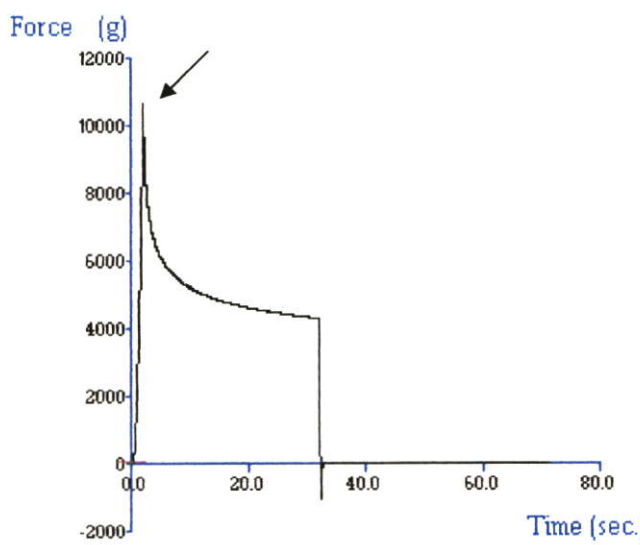
ข.1 ลักษณะการจัดเรียงเมล็ดข้าวสุก



ข.2 การวัดเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวสุก



ข.3 ลักษณะเมล็ดข้าวภายหลังถูกกดด้วยหัววัด




ข.4 ลักษณะกราฟที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

## วิธีการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้มและการดูดซับน้ำ

## ตามวิธีของ Mohapatra and Bal (2006)

โดยชั่งข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกต่าง ๆ ประมาณ 5 กรัม ต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส บันทึกเวลาตั้งแต่เริ่มใส่ข้าวกล้องงอก หลังจาก 10 นาทีและทุก ๆ 1 นาที สุ่มเมล็ดข้าว 10 เมล็ด และกดด้วยกระจกนาฬิกา โดยจะบันทึกระยะเวลาในการหุงต้มเมื่อเมล็ดข้าวสุกคิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าว จากนั้นให้ต้มต่ออีกประมาณ 2 นาทีเพื่อให้แน่ใจว่าเมล็ดข้าวสุกทั้งเมล็ด ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้มจะต้องบวกเพิ่มอีก 2 นาที ส่วนการดูดซับน้ำ ทำโดยชั่งข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอกต่าง ๆ 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร แล้วต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยต้มตามระยะเวลาที่ได้จากการหาระยะเวลาที่เหมาะสมข้างต้น จากนั้นเทน้ำออกและชั่งน้ำหนักของข้าวสุก คำนวณเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักข้าวดิบต่อน้ำหนักข้าวสุก

# ภาคผนวก ค.

# แบบประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสข้าวกล้องงอก

# แบบการประเมินการทดสอบด้านประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ผลิตภัณฑ์ : ข้าวกล้องงอก

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำชี้แจง : ทดสอบชิมตัวอย่างอ้างอิง (Reference samples) และตัวอย่างผลิตภัณฑ์แล้วทำเครื่องหมาย ( I) ลงบนเส้นให้ตรงกับความรู้สึกที่กำหนดในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

## 1. APPEARANCE

### 1.1 Glossiness

Raw rice — Oily cooked rice

Weakest — Strongest

### 1.2 Whiteness

Dry baked rice — White paper

Weakest — Strongest

### 1.3 Looseness

Cooked rice — Raw rice

Weakest — Strongest

## 2. AROMA

### 2.1 Hot-rice aroma

Raw rice — 60°C cooked rice

Weakest — Strongest

### 2.2 Cold-rice aroma

Raw rice — 18°C cooked rice

Weakest — Strongest

### 2.3 Brown –rice aroma

Raw rice — 60°C cooked rice

Weakest — Strongest

## 3. FLAVOUR

### 3.1 Sweetness

| Water | Glucose solution (3%) |
|---|---|
| Weakest | Strongest |

## 4. TEXTURE

### 4.1 Kernelness

| Congee | Cooked brown rice |
|---|---|
| Weakest | Strongest |

### 4.2 Hardness

| Tofu | Roast peanut |
|---|---|
| Weakest | Strongest |

### 4.3 Cohesiveness

| Tofu | Cooked waxy rice |
|---|---|
| Weakest | Strongest |

### 4.4 Stickiness

| Tofu | Cooked waxy rice |
|---|---|
| Weakest | Strongest |

### 4.5 Chewines

| Tofu | Cooked waxy rice |
|---|---|
| Weakest | Strongest |

### 4.6 Roughness

| Soft tofu | Dried baked rice |
|---|---|
| Weakest | Strongest |

# แบบประเมินการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

**ผลิตภัณฑ์ :** *Germinated Brown Rice*

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....

**คำชี้แจง : ทดสอบชิมตัวอย่างข้าวกล้องงอกทีละตัวอย่างแล้วให้คะแนนความชอบของแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่างตามคำอธิบายคะแนนความชอบ**

1 = ไม่ชอบมาก

2 = ไม่ชอบปานกลาง

3 = ไม่ชอบเล็กน้อย

4 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

5 = ชอบเล็กน้อย

6 = ชอบปานกลาง

7 = ชอบมาก

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **รหัสตัวอย่าง** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |
| **ลักษณะปรากฏของเมล็ดข้าว** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |
| **สีของเมล็ดข้าว** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |
| **กลิ่นของข้าว** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |
| **การเกาะตัวกันของเมล็ดข้าว** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |
| **เนื้อสัมผัสของข้าว (หลังเคี้ยว)** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |
| **ความแข็งของเมล็ดข้าว** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |
| **ความนุ่มของเมล็ดข้าว** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |
| **รสชาติของข้าว** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |
| **ความชอบโดยรวม** | ____ | ____ | ____ | ____ | ____ |

ข้อเสนอแนะ

_____

_____

_____

# ภาคผนวก ง
# ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

**ตารางที่ ง.1** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้านปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic contents) ในข้าวกล้องงอกที่สกัดด้วยสภาวะอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการสกัดที่ระดับต่างๆ ด้วย SC-$CO_2$

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Temperature | 2 | 536.682 | 268.341 | 255.398 | 0.000 |
| Pressure | 2 | 191.965 | 95.983 | 91.353 | 0.000 |
| Time | 2 | 134.856 | 67.428 | 64.176 | 0.000 |
| Temp x Pressure x Time | 8 | 115.231 | 14.404 | 13.709 | 0.000 |
| Error | 135 | 141.842 | 1.051 | | |
| Total | 162 | 56938.416 | | | |

**ตารางที่ ง.2** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4 | 124.504 | 31.126 | 25.553 | 0.000 |
| Error | 25 | 30.452 | 1.218 | | |
| Total | 30 | 8746.033 | | | |

**ตารางที่ ง.3** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณแกมมาโอรีซานอล (oryzanol) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4 | 11.779 | 2.945 | 17.456 | 0.000 |
| Error | 25 | 4.215 | 0.169 | | |
| Total | 30 | 2345.533 | | | |

**ตารางที่ ง.4** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4 | 105.219 | 26.305 | 362.694 | 0.000 |
| Error | 25 | 1.813 | 0.072 | | |
| Total | 30 | 284.869 | | | |

**ตารางที่ ง.5** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณกรดเฟอร์รูลิก (ferulic acid) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4 | 240.764 | 60.191 | 22.887 | 0.000 |
| Error | 25 | 65.747 | 2.630 | | |
| Total | 30 | 146846.9 | | | |

**ตารางที่ ง.6** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติความแข็ง (hardness) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4 | 5.6E+07 | 1.4E+07 | 24.521 | 0.000 |
| Error | 70 | 4.0E+07 | 567865.8 | | |
| Total | 75 | 6.8E+09 | | | |

**ตารางที่ ง.7** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้านระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม (optimum cooking time) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96ชั่วโมง

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4 | 27.600 | 6.900 | 20.700 | 0.000 |
| Error | 10 | 3.333 | 0.333 | | |
| Total | 15 | 27680.000 | | | |

**ตารางที่ ง.8** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้านการดูดซับน้ำ (water uptake ratio) ในข้าวกล้องงอกหอมมะลิที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4 | 1.459 | 0.365 | 10.840 | 0.000 |
| Error | 20 | 0.673 | 0.033 | | |
| Total | 25 | 367.760 | | | |

**ตารางที่ ง.9** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะต่างๆ ของข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F-value | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| **Appearance** | | | | | |
| Treatment | 4 | 44.000 | 11.000 | 7.196 | 0.000 |
| Penelists | 7 | 12.700 | 1.814 | 1.187 | 0.342 |
| Error | 28 | 42.800 | 1.529 | | |
| Total | 39 | 99.500 | | | |
| **Colour** | | | | | |
| Treatment | 4 | 14.500 | 3.625 | 3.306 | 0.024 |
| Penelists | 7 | 10.300 | 1.471 | 1.342 | 0.268 |
| Error | 28 | 30.700 | 1.096 | | |
| Total | 39 | 55.500 | | | |
| **Odor** | | | | | |
| Treatment | 4 | 97.750 | 24.437 | 22.325 | 0.000 |
| Penelists | 7 | 43.975 | 6.282 | 5.739 | 0.000 |
| Error | 28 | 30.650 | 1.095 | | |
| Total | 39 | 172.375 | | | |
| **Texture** | | | | | |
| Treatment | 4 | 33.100 | 8.275 | 6.564 | 0.001 |
| Penelists | 7 | 14.575 | 2.082 | 1.652 | 0.162 |
| Error | 28 | 35.300 | 1.261 | | |
| Total | 39 | 82.975 | | | |

**ตารางที่ ง.9 (ต่อ)** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติผลของการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะต่างๆ ของข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาในการงอก 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

| Source of variation | df | Sum of Squares | Mean Square | F-value | Sig |
|---|---|---|---|---|---|
| **Cohesiveness** | | | | | |
| Treatment | 4 | 21.650 | 5.412 | 3.952 | 0.011 |
| Penelists | 7 | 12.775 | 1.825 | 1.332 | 0.272 |
| Error | 28 | 38.350 | 1.370 | | |
| Total | 39 | 72.775 | | | |
| **Hardness** | | | | | |
| Treatment | 4 | 9.400 | 2.350 | 2.238 | 0.090 |
| Penelists | 7 | 23.600 | 3.371 | 3.211 | 0.013 |
| Error | 28 | 76.800 | | | |
| Total | 39 | 62.400 | | | |
| **Taste** | | | | | |
| Treatment | 4 | 34.750 | 8.688 | 4.939 | 0.004 |
| Penelists | 7 | 30.000 | 4.286 | 2.437 | 0.044 |
| Error | 28 | 49.250 | 1.759 | | |
| Total | 39 | 114.000 | | | |
| **Overall** | | | | | |
| Treatment | 4 | 40.650 | 10.162 | 7.959 | 0.000 |
| Penelists | 7 | 21.375 | 3.054 | 2.392 | 0.047 |
| Error | 28 | 35.750 | 1.277 | | |
| Total | 39 | 97.775 | | | |

# ประวัติผู้เขียน

นางสาว วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย เกิดวันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2546 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารในปี พ.ศ. 2546 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549