# ลักษณะของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิ

# CHARACTERISTICS OF INSTANT RICE PORRIDGE FROM UPLAND RICE VARIETY SARM DUEN RICEBERRY AND HOMMALI RICE

พิรานันท์ แก้วโพธิ์นันทกุล

PIRANUN KAEWPONUNTAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-AI-M-053-307

# ลักษณะของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือน ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวหอมมะลิ

# CHARACTERISTICS OF INSTANT RICE PORRIDGE FROM UPLAND RICE VARIETY SARM DUEN RICEBERRY AND HOMMALI RICE

**พิรานันท์ แก้วโพธิ์นันทกุล**

**PIRANUN KAEWPONUNTAKUL**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร**

**คณะอุตสาหกรรมเกษตร**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**พ.ศ.2561**

**KMITL-2018-AI-M-053-307**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT 2018**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะอุตสาหกรรมเกษตร**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

--------------------------

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** ลักษณะของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือน ข้าวไรซ์เบอรี่ และข้าวหอมมะลิ

CHARACTERISTICS OF INSTANT RICE PORRIDGE FROM UPLAND RICE VARIETY SARM DUEN RICEBERRY AND HOMMALI RICE

**ชื่อนักศึกษา** นางสาวพิรานันท์ แก้วโพธิ์นันทกุล
**รหัสประจำตัว** 59608033
**ปริญญา** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
**สาขาวิชา** วิทยาศาสตร์การอาหาร
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** ผศ.ดร.พอใจ ถามากร
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

| **คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์** | **ลายมือชื่อ** |
|---|---|
| ผศ.ดร.พอใจ ถามากร | |
| ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ | |
| ดร.กิตติชัย บรรจง | |
| ดร.ระจิตร สุวพานิช | |
| รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย | |

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 17 กรกฎาคม 2561 เวลา 09.30-12.30 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้อง C 309 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)
คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร
วันที่...20...เดือน...กรกฎาคม...พ.ศ...2561...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | ลักษณะของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิ |
| **ชื่อนักศึกษา** | นางสาวพิรานันท์ แก้วโพธิ์นันทกุล |
| **รหัสประจำตัว** | 59608033 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| **หลักสูตร** | วิทยาศาสตร์การอาหาร |
| **พ.ศ.** | 2561 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผศ.ดร. พอใจ ถามากร |

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด แล้วนำแปรรูปเป็นโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งและศึกษาลักษณะคุณภาพ จากผลการวิจัยพบว่าข้าวหอมมะลิมีปริมาณเถ้า ไขมัน เยื่อใยต่ำที่สุด และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าข้าวไร่พันธุ์สามเดือนประมาณ 4 เท่า และมากกว่าข้าวหอมมะลิประมาณ 8 เท่า และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวไร่พันธุ์สามเดือนทั้ง 4 ระยะ โดยที่ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าข้าวหอมมะลิอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP พบว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สำหรับผลการศึกษาในส่วนที่สองพบว่าโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นและ $A_w$ อยู่ที่ 3.47-5.30% และ 0.09-0.18 ตามลำดับ ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ(WAI) ของโจ๊กข้าวหอมมะลิมีค่า WAI สูงที่สุดตามด้วยข้าวไร่พันธุ์สามเดือน และข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง RVA พบว่าข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีคุณสมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่แตกต่างกันทั้งนี้อาจเป็นอิทธิพลจากปริมาณของอะมิโลสที่แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ข้าว นอกจากนี้ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลงพลังงานเมื่อตรวจสอบด้วย DSC โดยจากภาพถ่ายโครงสร้างของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากกล้อง SEM แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียลักษณะของเม็ดแป้งไปอย่างสมบูรณ์ และจากการวิเคราะห์หาปริมาณสตาร์ชพบว่าโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับเฉย ๆ ($n = 30$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไม่ได้มีการปรุงแต่งรสชาติของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Characteristics of instant rice porridge from upland rice variety Sarm Duen Riceberry and Hommali rice |
| **Student** | Miss Piranun Kaewponuntakul |
| **Student ID.** | 59608033 |
| **Degree** | Master of Science |
| **Program** | Food Science |
| **Year** | 2018 |
| **Thesis Advisor** | Asst. Prof. Dr. Porjai Thamakorn |


## ABSTRACT

The aim of this research was to investigate in proximate compositions, total phenolics content (TPC) and antioxidant activity of upland-rice variety Sarm Duen at 15, 20, 25 and 30 days of grain development after flowering and the maturity stage of Riceberry rice and Thai Hommali rice. Then instant rice porridge was produced by using drum dryer and studied for its characteristics. Thai Hommali rice had lowest ash, fat, and fiber content, and had highest carbohydrate content. The TPC of Riceberry rice was about 4 times higher than Sarm Duen rice at all stages and about 8 times higher than Thai Hommali rice. No significant difference on TPC in Sarm Duen rice at all grain development stages and they were significantly higher than Thai Hommali rice. The antioxidant activity determined by DPPH, ABTS and FRAP assays were generally followed a similar trend as TPC. Instant rice porridge samples had moisture content and water activity in the range of 3.47-5.30% and 0.09-0.18, respectively. The instant rice porridge produced by Thai Hommali rice had highest water absorption index (WAI) followed by Sarm Duen rice and Riceberry rice. Rapid Visco-amylograph (RVA) results showed the different of viscosity profiles among 3 rice varieties, it can be indicated that amylose content influenced viscosity profiles of instant rice porridge. Transition enthalpy was not found in DSC thermogram of all porridge samples. SEM micrographs of the instant rice porridge indicated that the starch granule had completely disruption and starch is the major constituent of instant rice porridge. The sensory test revealed that all samples of instant rice porridge exhibited a normal overall acceptance score, since the produced instant rice porridge was not flavouring.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง ลักษณะของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปผลิตจากข้าวไร่และข้าวนาในประเทศไทย เล่มนี้สำเร็จลงได้เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร. พอใจ ถามากร ที่ให้เกียรติมาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา แนะนำแนวทางให้การสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง ในความกรุณาเป็นคณะกรรมการ รวมทั้งคอยให้คำแนะนำช่วยเหลือแก้ไขทางด้านการศึกษาและการทำงานที่ดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางวิชาการให้แก่ข้าพเจ้า ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา ณ สถาบันฯ แห่งนี้ จนกระทั่งประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณ คุณฉวี คุณวันทนีย์ คุณรำพึง และนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน คำแนะนำ และให้กำลังใจมาโดยตลอด รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโทคณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย และหวังว่ารายงานการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ที่สนใจและผู้ที่ต้องการศึกษาต่อ

พิรานันท์ แก้วโพธิ์นันทกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ข้าว 5

2.2 การจำแนกประเภทของข้าว 5

2.2.1 จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด 5

2.2.2 จำแนกตามสภาพพื้นที่ปลูก 5

2.2.3 จำแนกตามอายุการเก็บเกี่ยว 6

2.2.4 จำแนกตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง 6

2.2.5 จำแนกตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร 6

2.2.6 จำแนกตามฤดูปลูก 7

2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าว 7

2.4 การเจริญเติบโตและสร้างเนื้อเมล็ดของข้าว 8

2.4.1 ช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative phase) 8

2.4.2 การเติบโตช่วงสืบพันธุ์ (reproductive phase) 8

2.4.3 การเติบโตช่วงเมล็ดแก่ (ripening phase) 9




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

2.5 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 9
2.6 ข้าวหอมมะลิ 9
2.7 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของข้าว 10
2.7.1 คาร์โบไฮเดรตหรือแป้งข้าว 10
2.7.2 โปรตีน 11
2.7.3 ไขมัน 11
2.8 สารให้กลิ่นรสในข้าว 11
2.9 สารประกอบฟีนอลิก 12
2.10 กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ 15
2.10.1 อนุมูลอิสระ 15
2.10.2 สารต้านอนุมูลอิสระ 16
2.10.3 วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 17
2.11 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19
2.11.1 องค์ประกอบและสาระสำคัญในเมล็ดข้าว 19
2.11.2 กระบวนการผลิตและการวิเคราะห์คุณภาพของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป 21

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 25
3.1 วัตถุดิบ 25
3.2 สารเคมี 25
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ 26
3.4 วิธีการทดลอง 27
3.4.1 การเตรียมตัวอย่างข้าว 27
3.4.2 การวิเคราะห์สาระสำคัญในตัวอย่างข้าว 27
3.4.3 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป 29
3.4.4 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป 30
3.4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ 32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 33

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) ของเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวหอมมะลิ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เจริญเต็มเมล็ด 33

4.2 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวหอมมะลิ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เจริญเต็มเมล็ด 35

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป 40

4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป 40

4.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ 41

4.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) 43

4.3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) 45

4.3.5 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป 48

4.3.6 การศึกษาปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch) 51

4.3.7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส 53

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 55

บรรณานุกรม 58

ภาคผนวก 66

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 66

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก 75

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 79

ภาคผนวก ง กราฟความหนืดของตัวอย่างเมื่อวัดด้วยเครื่อง RVA 85

ภาคผนวก จ ภาพการทดลอง 89

ประวัติผู้เขียน 92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือน (SD) ที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวหอมมะลิ (HL) และข้าวไรซ์เบอร์รี่ (RB) ที่เจริญสุกเต็มเมล็ด (องค์ประกอบโดยน้ำหนักแห้ง) 33

4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (B) ระหว่างกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันของตัวอย่างข้าว 37

4.3 ปริมาณความชื้นของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวหอมมะลิ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เจริญเต็มเมล็ด 40

4.4 ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวหอมมะลิ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เจริญเต็มเมล็ด 41

4.5 คุณสมบัติทางความหนืดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิ ที่เจริญเต็มเมล็ด 44

4.6 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด(Total starch)ของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวหอมมะลิ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เจริญเต็มเมล็ด 51

4.7 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิ ที่เจริญเต็มเมล็ด 54

ข.1 ปริมาณความเข้มข้นของกรดแกลลิก และค่าการดูดกลืนแสง 76

ค.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox และค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ 79

ค.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox และค่าการดูดกลืนแสง 81

ค.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox และค่าการดูดกลืนแสง 83




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า
2.1 การพัฒนาของเมล็ดข้าว 7
2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว 8
2.3 เมล็ดข้าวในระยะ milky stage, soft dough stage และ hard dough stage 9
2.4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน 10
2.5 โครงสร้างของอะไมโลส 11
2.6 โครงสร้างของ2-acetyl-1-pyrroline (2AP) 12
2.7 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดธัญพืช 13
2.8 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกพื้นฐาน 14
2.9 โครงสร้างของ hydroxycinnamic acids และอนุพันธุ์ 14
4.1 (A) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (B) กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวหอมมะลิ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เจริญเต็มเมล็ด ทำการวิเคราะห์โดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP 36
4.2 ลักษณะกราฟความหนืดและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA 43
4.3 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15[A], 20[B], 25[C] และ 30[D] วัน และข้าวหอมมะลิ[E] ข้าวไรซ์เบอร์รี่[F] ที่เจริญเต็มเมล็ด 46
4.4 โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15[A], 20[B], 25[C] และ 30[D] วัน และข้าวหอมมะลิ[E] ข้าวไรซ์เบอร์รี่[F] ที่เจริญเต็มเมล็ดแห้งแบบโดยวิธีการทำลูกกลิ้งทรงกระบอก 48
4.5 ภาพถ่ายระดับจุลภาคของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15[A], 20[B], 25[C] และ 30[D] วัน และข้าวหอมมะลิ[E] ข้าวไรซ์เบอร์รี่[F] ที่เจริญเต็มเมล็ด ที่กำลังขยาย 200X magnification 49
4.6 ภาพถ่ายระดับจุลภาคของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15[A], 20[B], 25[C] และ 30[D] วัน และข้าวหอมมะลิ[E] ข้าวไรซ์เบอร์รี่[F] ที่เจริญเต็มเมล็ด ที่กำลังขยาย 500X magnification 50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ข.1 กราฟมาตราฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของกรดแกลลิก และค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ... 76

ค.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสาร มาตราฐานTrolox และค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ... 80

ค.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสาร มาตราฐานTrolox และค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ... 82

ค.3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสาร มาตราฐานTrolox และค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร ... 84

ง.1 กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือน ที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ด 15 วัน ... 86

ง.2 กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือน ที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ด 20 วัน ... 86

ง.3 กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือน ที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ด 25 วัน ... 87

ง.4 กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือน ที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ด 30 วัน83 ... 87

ง.5 กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด ... 88

ง.6 กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่เจริญเต็มเมล็ด ... 88

**จ.1** ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ... 90

**จ.2** เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก ... 90

**จ.3** การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) ... 90

**จ.4** กล้อง Scanning electron microscopy ... 91



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าว จัดเป็นอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อประชากรโลก ข้าวเป็นแหล่งของอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายในแต่ละวันของคนไทย ไม่เพียงแต่เป็นแหล่งอาหารที่ให้คาร์โบไฮเดรตประจำวันเท่านั้นแต่ยังมีวิตามินและแร่ธาตุ เป็นแหล่งที่ให้พลังงานและความอบอุ่น อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการมากมายอีกด้วย ซึ่งสารอาหารเหล่านี้มีคุณประโยชน์มากมายที่จะช่วยส่งเสริมสุขภาพที่ดีให้แก่ร่างกาย และยังช่วยลดความเสี่ยงจากโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง, โรคหลอดเลือดหัวใจ, โรคระบบประสาทและสมอง, โรคอ้วน, โรคเบาหวาน และยังช่วยลดคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย ข้าวในประเทศไทยมีอยู่หลากหลายสายพันธุ์ ดังนั้นเพื่อให้ประเทศไทยสามารถสร้างโอกาสในการแข่งขันทางการตลาดระดับโลกจึงควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์

ข้าวหอมมะลิ ถือว่าเป็นข้าวที่เป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั่วโลก ข้าวหอมมะลิเป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย ปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย มีข้าวเปลือกสีฟาง ข้าวกล้องเมล็ดเรียว ยาว ปลายเมล็ดโค้งเล็กน้อย เมล็ดใส มีความเลื่อมมัน เป็นข้าวหอมไทยที่มีความหอมเป็นเอกลักษณ์โดยมีลักษณะกลิ่นหอมคล้ายใบเตย และมีความนุ่มเหนียวที่โดดเด่นเมื่อหุงสุก ซึ่งสารสำคัญที่ให้กลิ่นในข้าวคือ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวไทยที่ถูกพัฒนาพันธุ์ขึ้นมาใหม่ได้มากจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ105 โดยมีสีม่วงเข้ม รูปร่างเมล็ดเรียวยาวมีคุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการ คือมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ สารแอนโทไซยานิน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสี และมีโฟเลตสูง ซึ่งในปัจจุบันข้าวไรซ์เบอร์รี่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น

นอกจากการรับประทานข้าวในลักษณะที่เป็นเมล็ดข้าวสุกเต็มเมล็ดแล้วยังมีการรายงานว่ามีการบริโภคผลิตภัณฑ์จากข้าวที่ยังเจริญไม่สุกเต็มเมล็ดในตะวันออกกลางและอเมริกาเหนือมาเป็นเวลากว่าพันปี และจะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำนมข้าวมากมายที่มีวางขายตามท้องตลาดในประเทศไทยเนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการสารอาหารของข้าวที่ยังไม่สุกเต็มเมล็ดที่มีอยู่มาก(Lin and Lai , 2011) การปลูกและการเจริญเติบโตมาเป็นเมล็ดข้าวใช้เวลาประมาณ 100 – 120 วัน ขึ้นกับชนิดของข้าว แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้ 1) ช่วงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโตทางลำต้น เป็นระยะตั้งแต่เมล็ดข้าวงอกจนถึงเริ่มสร้างช่อดอก 2) การเติบโตช่วงสืบพันธุ์ เป็นระยะที่นับตั้งแต่ข้าวเริ่มสร้างช่อดอกจนถึงระยะดอกบาน และ 3) การเติบโตช่วงเมล็ดแก่ เป็นระยะตั้งแต่ดอกข้าวบานจนถึงเมล็ดข้าวแก่จัด แบ่งออกได้เป็น ระยะน้ำนม (milk stage) ระยะเมล็ดข้าวเริ่มแข็ง (dough stage) ระยะเมล็ดแก่ (maturation stage) สำหรับข้าวที่มีการเจริญช่วงเมล็ดแก่สมบูรณ์ใน 30 วัน ภายหลังจากดอกข้าวบานแล้ว จะพบเม็ดสตาร์ชในข้าวภายใน 4 วัน โปรตีนพบใน 7-8 วัน (Lu and Luh, 1991) การสังเคราะห์สตาร์ช โปรตีน และไขมัน ในเมล็ดข้าวเกิดอย่างรวดเร็ว โดยจะมีเนื้อเมล็ดแข็งสมบูรณ์ภายใน 14 วันหลังดอกบาน การสังเคราะห์โปรตีนจะสูงสุดใน 8-10 วันหลังบาน โดยกรดอะมิโนจะมีอยู่มากในระยะน้ำนม รวมถึงโปรตีนที่ข้าวสังเคราะห์ขึ้นจำพวกหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวเคมีในข้าว ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แป้ง น้ำตาล โปรตีน และเมตาบอลิซึมของกรดนิวคลีอิก เมตาบอลิซึมของไขมัน ซึ่งเวลาที่ใช้ในแต่ละระยะนั้นจะปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม ได้แก่ ภูมิอากาศ ช่วงของแสง น้ำ และพันธุ์ข้าว เป็นต้น (Juliano and Bechtel, 1985)

ข้าวไร่พันธุ์สามเดือน เป็นข้าวไร่ที่ได้จากการสำรวจและรวบรวมพันธุ์ข้าวไร่ในจังหวัดชุมพร ได้รับการยืนยันว่าเป็นข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองที่ใช้ปลูกในท้องที่ของจังหวัดชุมพรมาเป็นเวลานาน ในปี พ.ศ. 2544 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ได้รวบรวมพันธุ์มาปลูกศึกษาพันธุ์ จากการศึกษาพบว่าลักษณะพันธุ์ไม่บริสุทธิ์ มีคุณภาพไม่ดี ต่อมาในปี พ.ศ. 2548-2550 ได้นำเมล็ดพันธุ์สามเดือนมาปลูกคัดเลือกพันธุ์โดยการคัดเลือกเป็นหมู่เพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีหลาย genotype ทำให้ทนต่อสภาพแวดล้อมและมีอัตราปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้สูง ทนแล้ง เหมาะสำหรับปลูกเป็นข้าวไร่ในภาคใต้ เป็นพืชแซมในสวนยางพารา ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว และไม้ผล มีกลิ่นหอม เมล็ดค่อนข้างสั้น เหมาะสำหรับทำเป็นข้าวกล้อง ข้าวซ้อมมือ คุณภาพข้าวสุกมีความร่วน นุ่ม (ร่วมจิตร นกเขา, 2559)

ในปัจจุบันอาหารกึ่งสำเร็จรูปมีบทบาทต่อคนไทยมากขึ้น เนื่องจากสามารถตอบสนองกับวิถีชีวิตในปัจจุบันที่ต้องเร่งรีบแข่งกับเวลาและในช่วงที่ผู้บริโภคต้องประหยัดนั้น เพื่อตอบสนองต่อการใช้ชีวิตของผู้คนยุคใหม่ที่เร่งรีบและมีเวลาจำกัด อีกทั้งผู้บริโภคยังให้ความสนใจเรื่องโภชนาการและคุณค่าของอาหารเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจึงเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค เนื่องจากปรุงง่ายและสะดวกในการบริโภค เป็นอาหารที่ย่อยง่าย รับประทานได้ตลอดเวลา ทั้งเป็นอาหารเช้า อาหารว่างมื้อบ่ายและมื้อดึก นอกจากนี้ยังเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และในปัจจุบันคนเริ่มหันมาใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น จะเห็นได้จากอาหารเพื่อสุขภาพที่วางจำหน่ายอยู่มากมายในท้องตลาดที่ได้รับความสนใจและมีแนวโน้มของการตลาดที่ดีขึ้น ดังนั้นด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวที่ปลูกและได้รับความนิยมในประเทศไทย ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ นอกจากนี้ยังได้เลือกนำข้าวไร่พันธุ์สามเดือนจากจังหวัดชุมพร โดยทำการเพาะปลูกที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ในช่วงระยะการเจริญของเมล็ดมาพัฒนาเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์จากข้าว

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวหอมมะลิ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเต็มเมล็ด และไม่เต็มเมล็ด

1.2.2 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมมะลิ และข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเต็มเมล็ด และไม่เต็มเมล็ด

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในการวิจัยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design : CRD) โดยวัตถุดิบที่ใช้คือ ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ที่ทำการเพาะปลูกที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากเกษตรกร จังหวัดมหาสารคาม และข้าวหอมมะลิ จากเกษตรกร จังหวัดบุรีรัมย์ ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin Ciocalteu เทียบกับกรดแกลลิก และวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างข้าวทั้งสิ้น 3 วิธี ได้แก่ 1,1-Diphenyl-2-picryhydrazyl (DPPH) และ antioxidant assay, 2,2-Azinobis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) และ Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) จากนั้นนำตัวอย่างข้าวไปแปรรูปเป็นโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก รวมถึงวิเคราะห์คุณภาพของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด อันได้แก่ การวิเคราะห์หาความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid visco analyser (RVA) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) การศึกษาลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป การวิเคราะห์หาปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch) และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.3.1 เป็นการเพิ่มมูลค่าข้าวไทย โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวหอมมะลิ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เจริญสุกเต็มเมล็ด

1.3.2 เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้ถึงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวหอมมะลิ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เจริญสุกเต็มเมล็ด รวมถึงความรู้ด้านการผลิตและแปรรูปโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ข้าว

ข้าว (Rice) เป็นธัญพืชมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. เป็นแหล่งอาหารหลักที่ให้คาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในการดำรงชีวิตของประชากรโลก การจำแนกกลุ่มข้าวโดยอาศัยความรู้ด้านอนุกรมวิธาน สามารถแบ่งออกมาได้แก่ Oryza sativa L. ซึ่งปลูกกันโดยทั่วไปในส่วนต่าง ๆ ของโลก *Oryza glaberrima Strud* มีปลูกเฉพาะในแอฟริกาและข้าวป่า ซึ่งขึ้นอยู่ทั่วไป ตามธรรมชาติในส่วนต่าง ๆ ของโลกบางชนิดเชื่อว่า เป็นบรรพบุรุษของข้าวที่ปลูกกันอยู่ในปัจจุบัน

ข้าวเป็นอาหารอันดับหนึ่งของโลก โดยครึ่งหนึ่งของประชากรโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะประเทศไทย และชาวเอเชีย ส่วนประกอบหลักของข้าว คือ สตาร์ซ ซึ่งประกอบด้วย amylose และ amylopectin ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก และใช้จำแนกชนิดของข้าว ข้าวนอกจากรับประทานเป็นข้าวหุงสุกแล้วยังใช้เป็นวัตถุดิบ เพื่อการแปรรูป (food processing) เพื่อการถนอมอาหารและเพิ่มมูลค่า เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น แป้งข้าว ข้าวกระป๋อง ข้าวนึ่ง ขนมจีน เส้นหมี่ ก๋วยจั๊บ และนำมาหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ (alcholic fermentaion) เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น สาเก (sake)

## 2.2 การจำแนกประเภทของข้าว

### 2.2.1 จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด

2.2.1.1 ข้าวเจ้า ประกอบด้วยแป้งประมาณ 90% ซึ่งในส่วนของแป้งนี้จะประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนด้วยกัน คือ อะไมโลเพคติน (amylopetin) 60 – 90% และอะไมโลส (amylose) 10 – 30%

2.2.1.2 ข้าวเหนียว ประกอบด้วย อะไมโลคตินสูงถึง 95% มีปริมาณอะไมโลสน้อยมากหรือบางครั้งไม่พบเลย

### 2.2.2 จำแนกตามสภาพพื้นที่ปลูก

2.2.2.1 ข้าวไร่ (upland rice) เป็นข้าวที่ปลูกได้ทั้งบนที่ราบและที่ลาดชันไม่ต้องทำคันนาเก็บกักน้ำ นิยมปลูกกันมากใบบริเวณที่ราบสูงตามไหล่เขาทางภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 ข้าวนาสวน (lowland rice) เป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มทั่ว ๆ ไปในสภาพที่มีน้ำหล่อเลี้ยงต้นข้าวตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว โดยที่สามารถรักษาระดับน้ำได้และระดับน้ำต้องไม่สูงเกิน 1 เมตร ข้าวนาสวนนิยมปลูกกันมากแทบทุกภาคของประเทศคิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูก ประมาณร้อยละ 80 ของเนื้อที่เพาะปลูก

2.2.2.3 ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง (floating rice) เป็นข้าวที่ปลูกในแหล่งที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ บางครั้งระดับน้ำในบริเวณที่ปลูกอาจสูงกว่า 1 เมตร ต้องใช้ข้าวพันธุ์พิเศษที่เรียกว่า ข้าวลอย หรือข้าวฟ่างลอย ส่วนมากปลูกแถบจังหวัดพระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี ลพบุรี พิจิตร อ่างทอง ชัยนาทและสิงห์บุรี คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูก

**2.2.3 จำแนกตามอายุการเก็บเกี่ยว**

2.2.3.1 ข้าวเบา (early maturing rice) ออกดอกในช่วงปลายเดือนกันยายนถึงราววันที่ 20 ตุลาคม มีอายุเก็บเกี่ยว 90 – 100 วัน

2.2.3.2 ข้าวกลาง (medium maturing rice) ออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม ถึง 31 ตุลาคม มีอายุเก็บเกี่ยว 100 – 120 วัน

2.2.3.3 ข้าวหนัก (late maturing rice) ส่วนใหญ่ออกดอกเดือน พฤศจิกายน บางพันธุ์ออกดอกเดือนธันวาคมหรือมกราคม มีอายุเก็บเกี่ยว 120 วันขึ้นไป

**2.2.4 จำแนกตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง**

2.2.4.1 พันธุ์ข้าวไวต่อความยาวของช่วงแสง (photoperiod sensitive rice variety) โดยปกติข้าวเป็นพืชวันสั้น (short-day plant) ซึ่งต้องการสภาพช่วงวันหรือช่วงแสงสั้น ในขณะที่มีการเจริญเติบโตในระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นให้มีการสร้างและออกดอกหรือรวงข้าว ซึ่งมีวันออกดอกที่ค่อนข้างแน่นอนทุกปี

2.2.4.2 พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อความยาวของช่วงแสง (photoperiod insensitive rice variety) เป็นข้าวที่มีการออกดอกตามอายุ ซึ่งนับเป็นจำนวนวันตั้งแต่วันตกกล้าถึงวันออกรวง และจะเก็บเกี่ยวได้ภายหลังจากออกรวงประมาณ 30 วัน ซึ่งมักมีอายุตั้งแต่ 90-140 วัน สามารถปลูกได้ตลอดปีและนิยมปลูกในนาปรังที่มีน้ำเพียงพอต่อการปลูก

**2.2.5 จำแนกตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร**

2.2.5.1 ข้าวเมล็ดสั้น (Short grain) ความยาวของเมล็ด ไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร

2.2.5.2 ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (Medium grain) ความยาวของเมล็ด ตั้งแต่ 5.51- 6.60 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.3 ข้าวเมล็ดยาว (Long grain) ความยาวของเมล็ด ตั้งแต่ 6.61-7.50 มิลลิเมตร

2.2.5.4 ข้าวเมล็ดยาวมาก (Extra-long grain) ความยาวเมล็ดตั้งแต่ 7.51 มิลลิเมตรขึ้นไป

**2.2.6 จำแนกตามฤดูปลูก**

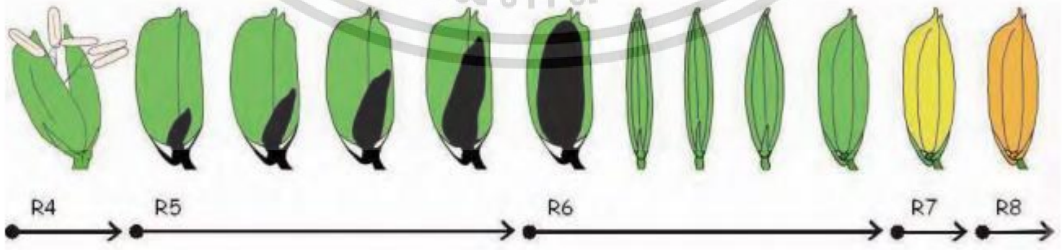
2.2.6.1 ข้าวนาปีหรือข้าวนาน้ำฝน คือ ข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมและเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้นล่าสุดไม่เกิน เดือนกุมภาพันธ์

2.2.6.1 ข้าวนาปรัง คือ ข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม ในบางท้องที่จะเก็บเกี่ยวอย่างช้าที่สุดไม่เกินเดือนเมษายน นิยมปลูกในท้องที่มีการชลประทานดี เช่น ในภาคกลาง

ซึ่งจากข้อมูลที่กล่าวมาในข้างต้นทำให้เกิดความหลากหลายในเมล็ดข้าว เกิดเป็นข้าวในสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีลักษณะ องค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไป

## 2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าว หมายถึง ส่วนที่เป็นแป้งที่เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) และส่วนที่เป็นคัพภะซึ่งห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่น เอ็นโดสเปิร์มเป็นแป้งที่เราบริโภค คัพภะเป็นส่วนที่มีชีวิตและงอกออกมาเป็นต้นข้าวเมื่อเอาไปเพาะ การที่ละอองเกสรตัวผู้ตกลงบนที่รับละอองเกสรของเกสรตัวเมียนั้น เรียกว่าการผสมเกสร(R4) หลังจากการผสมเกสรเล็กน้อยก็จะเข้าสู่ช่วงของการเจริญเติบโต(R5) ละอองเกสรตัวผู้ก็จะงอกลงไปในก้านของที่รับละอองเกสร เพื่อจะได้นำนิวเคลียส จากละอองเกสรตัวผู้ลงไปผสม โดยรวมตัวกับไข่และนิวเคลียสอื่น ๆ ในรังไข่ นิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับไข่จะเจริญเติบโตเป็นคัพภะ ส่วนนิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับนิวเคลียสอื่น ๆ (polar nuclei) ก็จะเจริญเติบโตเป็นแป้งที่เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม หลังจากการผสมเกสรในระยะแรกจะอยู่ในระยะน้ำนม (milky) (R6) เปลี่ยนเป็นแป้งอ่อน (dough) (R7) จนกระทั่งเมล็ดสุก (ripening) (R8) เป็นแป้งแข็งเป็นระยะสุกแก่หรือเก็บเกี่ยว (harvest maturity) จากนั้นประมาณ 30 วัน เมล็ดข้าวก็จะแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว (Moldenbauer *et al.,* 2013) ดังที่แสดงในภาพที่ 2.1

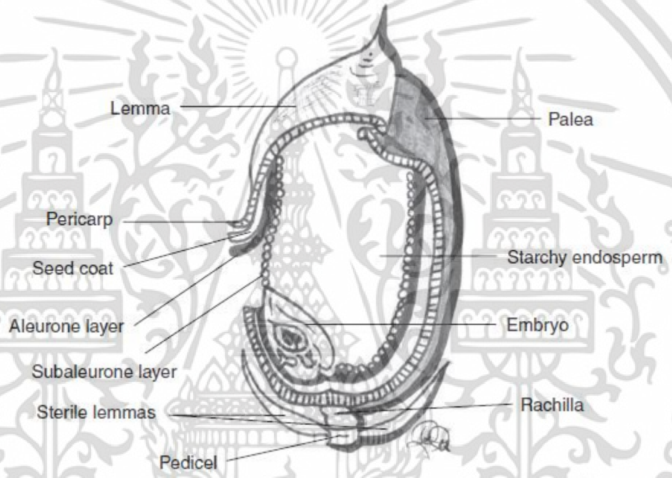



**ภาพที่ 2.1** การพัฒนาของเมล็ดข้าว

ที่มา : Moldenbauer *et al.,* 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแกะเปลือกนอกใหญ่ของเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมา จะได้เมล็ดข้าวที่เรียกว่า ข้าวกล้อง (brown rice) เมล็ดข้าวกล้องมักจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ๆ และเมื่อผ่าเมล็ดข้าวกล้องออกตามความยาวแล้วศึกษาลักษณะของเมล็ดข้าวอย่างละเอียด จะพบว่า เมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย เยื่อชั้นนอกบาง ๆ เรียกว่า เพอริคาร์พเลเยอร์ (pericarp layers) เยื่อชั้นกลางบางหนึ่งชั้น เรียกว่า เท็กเมน (tegmen) หรือ seed coat และเยื่อชั้นในบาง ๆ อีกหนึ่งชั้นเรียกว่า อะลูโรนเลเยอร์ (aleurone layer) ดังในภาพโครงสร้างของเมล็ดข้าว (ภาพที่ 2.2) ถ้าเพอริคาร์พเลเยอร์เป็นสีน้ำตาล เมล็ดข้าวกล้องก็จะเป็นสีน้ำตาล และถ้าเพอริคาร์พเลเยอร์เป็นสีแดง เมล็ดข้าวกล้องก็จะเป็นสีแดง ส่วนภายในที่เป็นแป้งจะมีลักษณะเป็นแป้งสีขาวหรือใส มีจำนวนน้อยมากที่มีแป้งเป็นสีแดง ข้าวเหนียวจะมีแป้งเป็นสีขาวขุ่น ส่วนข้าวเจ้ามีแป้งใสกว่า การที่แป้งของเมล็ดข้าวเจ้ามีจุดสีขาวขุ่นเกิดขึ้นที่ด้านข้างหรือตรงกลางของเมล็ดเรียกว่า ท้องไข่ หรือ ท้องปลาซิว (chalkiness หรือ white center)




**ภาพที่ 2.2** โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา : Arendt and Zannini , 2013

## 2.4 การเจริญเติบโตและสร้างเนื้อเมล็ดของข้าว

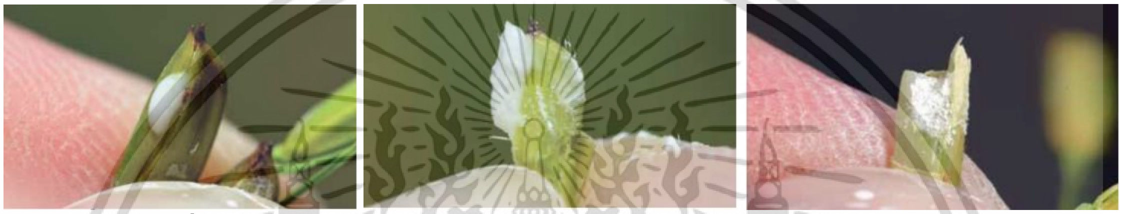
การปลูกและการเจริญเติบโตมาเป็นเมล็ดข้าว ตั้งแต่การเริ่มหว่านเมล็ดจนเก็บเกี่ยวข้าวได้นั้นใช้เวลาประมาณ 100-120 วันขึ้นกับชนิดข้าว โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้ (Lu and Luh, 1991)

**2.4.1 ช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative phase)** เป็นระยะที่นับตั้งแต่เมล็ดข้าวงอกจนถึงข้าวเริ่มสร้างช่อดอก แบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะกล้า (seeding stage) ใช้เวลาประมาณ 20-30 วัน และระยะแตกกอ (tillering stage) อีกประมาณ 45-60 วัน

**2.4.2 การเติบโตช่วงสืบพันธุ์ (reproductive phase)** เป็นระยะที่นับตั้งแต่ข้าวเริ่มสร้างช่อดอกจนถึงระยะดอกบาน แบ่งได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะเกิดช่อดอก (panicle stage) และระยะการออกรวง (heading stage) ใช้เวลาประมาณ 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4.3 การเติบโตช่วงเมล็ดแก่ (ripening phase)** เป็นระยะที่นับตั้งแต่ดอกข้าวบานจนถึงเมล็ดข้าวแก่จัด แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะน้ำนม (milk stage) เป็นระยะหลังการผสมพันธุ์ช่วงแรก ๆ ส่วนที่เป็นข้าวกล้องมีลักษณะเป็นน้ำเหนียวๆ ต่อมาจะเปลี่ยนเป็นน้ำนม ซึ่งใช้เวลาประมาณ 8-13 วัน ระยะเมล็ดข้าวเริ่มแข็ง (dough stage) เป็นระยะที่น้ำนมค่อยๆเปลี่ยนเป็นแป้งอ่อน (soft dough) และกลายเป็นแป้งแข็ง (hard dough) ตามลำดับ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 14-21 วัน (ดังแสดงในภาพที่ 2.3) ระยะเมล็ดแก่ (maturation stage) ใช้เวลาประมาณ 10-15 วัน เมล็ดจะแก่เต็มที่มีความแข็ง ความใส และปราศจากสีเขียวแล้วมากกว่าร้อยละ 90 (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534, Saichuk and Dunand, 2015)



**ภาพที่ 2.3** เมล็ดข้าวในระยะ milky stage, soft dough stage และ hard dough stage

ที่มา : Saichuk and Dunand, 2015

## 2.5 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Rice berry) เป็นข้าวไทยที่ถูกพัฒนาพันธุ์ขึ้นมาใหม่ ได้มาจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากการพัฒนาพันธุ์ข้าวพิเศษ โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีและให้ประโยชน์สูงสุดแก่ผู้บริโภค มีลักษณะโดดเด่นคือ สีม่วงเกือบดำ คุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการของข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ แอนโธไซยานิน เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล แทนนิน สังกะสี โฟเลตสูง มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้ นอกจากจะใช้รับประทานเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดี ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ทางการแพทย์ยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารโภชนบำบัดอีกด้วย โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีธาตุเหล็กและสารต้านอนุมูลอิสระสูง มีใยอาหารที่อยู่ในรำข้าวสูงจึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวกล้อง และข้าวขาวขัดทั่วไป จึงเหมาะกับผู้ป่วยเบาหวาน มีสรรพคุณช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล ช่วยทำให้ระบบขับถ่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 2.6 ข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิ (Thai Hom Mali rice) เป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย อยู่ในสายพันธุ์ indica ปลูกได้ทั่วภูมิภาคของประเทศไทย ข้าวเปลือกสีฟาง ข้าวกล้องเมล็ดเรียวยาว ปลายเมล็ดโค้งเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

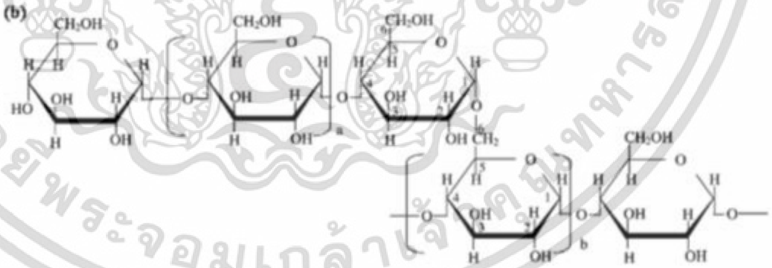
เมล็ดใส มีความเลื่อมมัน มีลักษณะจมูกข้าวเล็ก ซึ่งถือเป็นลักษณะที่ดีของข้าวสาร ปริมาณอะไมโลสอยู่ระหว่างร้อยละ 13-18 เป็นข้าวหอมไทยที่มีความหอมเป็นเอกสักษณ์ มีลักษณะกลิ่นหอมคล้ายใบเตย เป็นพันธุ์ข้าวซึ่งปลูกในประเทศไทยมีคุณภาพที่ดี ได้รับการกล่าวขวัญว่าเป็นข้าวที่อร่อยที่สุดในโลก จัดเป็นข้าวคุณภาพสูง เป็นข้าวนาปี ปลูกได้ปีละครั้ง เป็นธัญพืชที่มีคุณค่าทางอาหาร มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ เมื่อหุงสุกแล้วมีความนุ่มเหนียวที่โดดเด่น เมล็ดข้าวสวยจะอ่อนนุ่ม และอุดมด้วยแร่ธาตุ ประกอบด้วยเส้นใยอาหารสูง และมีวิตามินบี1 และบี2 ธาตุเหล็ก แคลเซียม ฟอสฟอรัส ไม่มีกลูเทน จึงไม่ก่อให้เกิดภูมิแพ้ในหมู่ผู้บริโภค

## 2.7 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของข้าว

### 2.7.1 คาร์โบไฮเดรตหรือแป้งข้าว

ข้าวจะมีแป้งอยู่ 90 % ของน้ำหนักแห้ง เม็ดแป้ง 20 – 60 เม็ดอัดรวมกันอยู่ในอมิโลพลาสและล้อมรอบเม็ดแป้งด้วยโปรตีน แป้งข้าวสามารถแยกออกเป็นองค์ประกอบย่อย 2 ชนิด ได้แก่ อะไมโลเพคติน (Amylopectin) และอะไมโลส (Amylose)

2.7.1.1 อะไมโลเพคติน เป็นแป้งที่เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสมีโครงสร้างโมเลกุลเหมือนกิ่งไม้(ดังแสดงในภาพที่ 2.4) โดยมีพันธะ $\alpha$ 1-4 D เชื่อมน้ำตาลกลูโคสเป็นเส้นยาว และพันธะ $\alpha$ 1-6 D เชื่อมน้ำตาลกลูโคสที่แตกแยกออกจากเส้นตรงมีการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุลแบบแยกเป็นกิ่งก้าน คุณสมบัติของอะไมโลเพคติน ทำปฏิกิริยากับสารไอโอดีนได้สีม่วงหรือน้ำตาลแดง ดูดซับไอโอดีนและเซลลูโลสได้ต่ำ และย่อยสลายด้วยเอนไซม์ $\beta$-amylase ได้ต่ำ

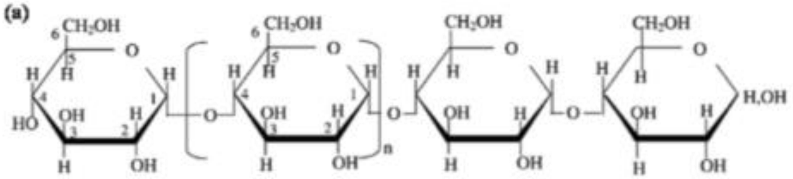


**ภาพที่ 2.4** โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา: Amagliani *et al.* (2016)

2.7.1.2 อะไมโลส เป็นแป้งที่เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเช่นกัน ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบเส้นตรงมีพันธะ $\alpha$ 1-4 D เชื่อมน้ำตาลกลูโคสเป็นเส้นยาว (ดังแสดงในภาพที่ 2.5) คุณสมบัติของอะไมโลส คือ ทำปฏิกิริยากับสารไอโอดีนได้สีน้ำเงินเข้ม ดูดซับไอโอดีนและเซลลูโลสได้มาก และย่อยสลายด้วยเอนไซม์ $\beta$-amylase ได้ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.5** โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: Amagliani *et al.* (2016)

**2.7.2 โปรตีน**

เมล็ดข้าวมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ประมาณ 4.3 – 18.2 % หรือเฉลี่ย 9.5 % เป็นอันดับสองรองจากแป้ง ปริมาณโปรตีนที่พบในเมล็ดข้าวมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับสถานที่ปลูกและสภาพแวดล้อม โปรตีนในเมล็ดข้าวสามารถแบ่งเป็น 4 ชนิดตามคุณสมบัติในการละลายได้แก่

2.7.2.1 อัลบูมิน (Albumin) มีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำ (Water soluble protein)

2.7.2.2 โกลบูลิน (Globulin) มีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำเกลือ (Salt soluble protein)

2.7.2.3 โปรลามิน (Prolamin) มีคุณสมบัติละลายได้ในแอลกอฮอล์ (Alcohol soluble protein)

2.7.2.4 กลูเตลลิน (Glutelin) มีคุณสมบัติละลายได้ในกรดหรือด่าง (Acid or alkali soluble protein)

**2.7.3 ไขมัน**

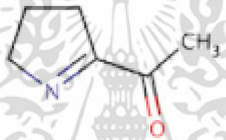
ไขมันที่อยู่ในเมล็ดข้าวมักจะอยู่ในสภาพเป็นหยดไขมันเล็ก ๆ ขนาดเล็กกว่า 1.5 ไมครอนอยู่บริเวณเยื่อหุ้มผิวเมล็ด (รำหยาบและรำละเอียด) และจมูกข้าว (คัพภะ) และส่วนของเนื้อเมล็ดจะมีไขมันประเภทมีขั้วอยู่มากโดยจะอยู่ร่วมกับโปรตีนหรือสตาร์ช โดยทั่วไปไขมันในข้าวกล้องอยู่ในช่วง 1-4% และข้าวสารอยู่ในช่วง 0.2-2% ส่วนใหญ่ไขมันมีปริมาณมากที่สุดในคัพภะ รองลงมาคือส่วนของรำข้าว ทั้งนี้ขึ้นกับพันธุ์ข้าวและสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก ไขมันที่ได้จากข้าวเป็นไขมันชนิดที่มีคุณภาพดี มีสารแกมม่า ออไรซานอล (Gamma Oryzanol) ช่วยในการควบคุมระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด และช่วยในการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ เด็กแรกเกิด และเด็กเล็ก

## 2.8 สารให้กลิ่นรสในข้าว

สารสำคัญที่ให้กลิ่นรสในข้าว ได้แก่ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.6 จากงานวิจัยของ Buttery และคณะ (1982) พบว่า 2AP เป็นสารสำคัญที่ให้กลิ่นข้าวหอมสุก มีกลิ่นคล้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวโพดคั่ว สารนี้สามารถพบได้ในน้ำมันหอมระเหยของใบเตย โดยที่ความเข้มข้นของ 2AP ในใบเตยมีมากกว่าข้าวหอมที่ผ่านการขัดสีแล้วถึง 10 เท่า นอกจากนี้ยังมีสารให้กลิ่นรสอื่นในข้าว ได้แก่ 2,4-decadienal, nonanal, hexanal, 2-nonenal และ octanal แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณและศักยภาพในการให้กลิ่นพบว่า 2AP เป็นสารให้กลิ่นรสหลัก จากการศึกษาสารตั้งต้นของ 2AP ในข้าวหอมมะลิพบว่า 2AP ถูกสร้างขึ้นในส่วนยอดของลำต้นข้าวในระหว่างการเพาะปลูก ปริมาณ 2AP จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีโพรลีน ออนิทีน หรือกลูตามีนในสารละลายที่ใช้เป็นอาหารเลี้ยงต้นอ่อน โดยเฉพาะสารละลายที่มีกรดอะมิโนโพรลีน ซึ่งชี้ให้เห็นว่ากรดอะมิโนโพรลีนเป็นแหล่งให้ไนโตรเจนในการเกิด 2AP (Yoshihashi, 2002) 2AP ที่เป็นสารให้กลิ่นรสในข้าวนั้นมีปริมาณแตกต่างกันไปในข้าวแต่ละสายพันธุ์ และพบ 2AP ในข้าวกล้องมากกว่าข้าวสารและข้าวขัดสี โดยข้าวที่มีการขัดสีเพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดลงของกลิ่นรส นั่นแสดงให้เห็นว่าสารให้กลิ่นส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณผิวเมล็ดข้าว

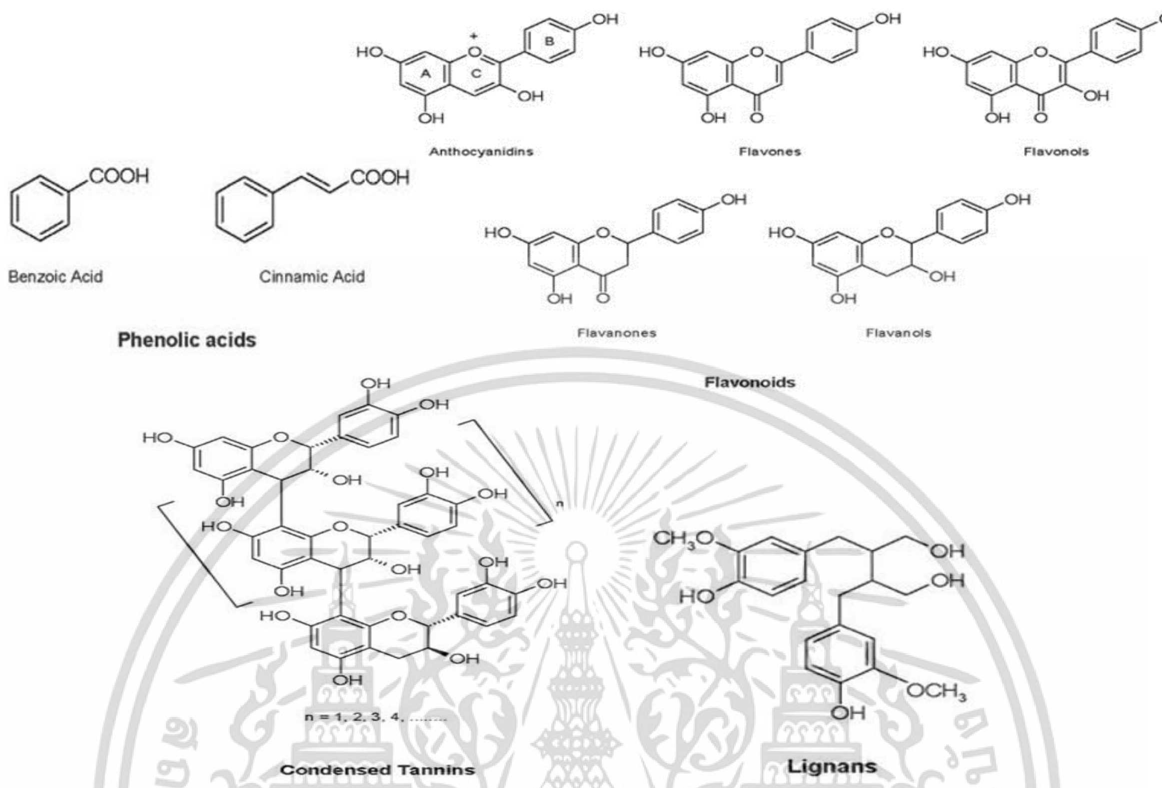



**ภาพที่ 2.6** โครงสร้างของ2-acetyl-1-pyrroline (2AP)
ที่มา: Nadaf *et al.* (2016)

## 2.9 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลลิก (phenolic compounds) หรือสารประกอบฟีนอล เป็นสารไฟโตเคมิคอลที่สำคัญที่พบตามธรรมชาติในพืชที่เป็นอาหารหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช เพราะทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารสำคัญต่าง ๆของพืชเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต ทั้งยังมีคุณสมบัติที่มีประโยชน์ในเชิงสุขภาพและการแพทย์อีกด้วย ซึ่งสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ สารประกอบในกลุ่มนี้สามารถจำแนกได้เป็นหลายกลุ่ม ที่พบทั่วไปในพืชคือ กลุ่มสารประกอบกรดฟีนอลิก (Phenolic acids) กลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) กลุ่มสารประกอบ (Tannins) และกลุ่มสารประกอบลิกแนน (Lignans) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 (Dykes and Rooney, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

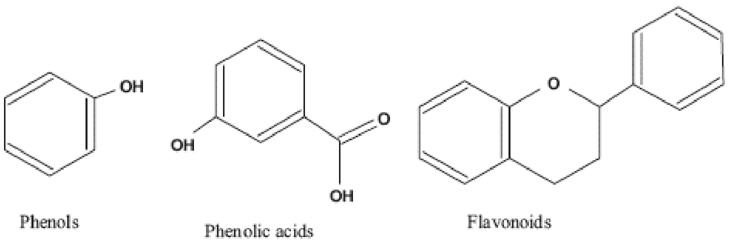



**ภาพที่ 2.7** โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดธัญพืช

ที่มา: Dykes and Rooney, 2007

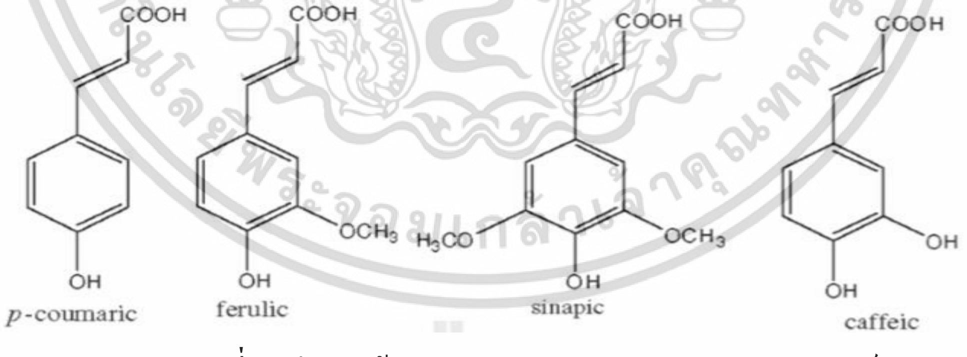
สารประกอบฟีนอล มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน ที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซิน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่สารประกอบฟีนอลพื้นฐาน (ดังภาพที่ 2.8) คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ ไฮดรอกซิล 1 หมู่ สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) สารประกอบฟีนอลิกกลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารประกอบฟีนอลที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่น ๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.8** โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกพื้นฐาน
ที่มา : Dykes and Rooney, 2007

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมี 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Hydroxybenzoic acids) และกลุ่มไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic acisds) ซึ่งพบมากในธัญพืช พืชตระกูลถั่ว พืชที่ให้น้ำมัน ผัก ผลไม้ และเครื่องดื่ม คือกลุ่มกรดไฮดรอกซีซินนามิก และอนุพันธุ์ เช่น กรดคูมาริก กรดคาเฟอิก กรดเฟอรูลิก และกรดไซแนปพิก โดยมีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในภาพที่ 2.9 พบได้ทั้งในรูปที่เกาะตรึง (insoluble-bound form) อยู่กับสารระกอบสำคัญในผนังเซลล์ของพืช เช่น เซลลูโลส ลิกนิน และในรูป soluble form ซึ่งพบในส่วนของไซโตพลาสซึมของเซลล์ สารประกอบไฮดรอกซีซินนาเมทมีฤทธิ์ในเชิงการแพทย์มากมาย เช่น มีความสามารถด้าน ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory), ยับยั้งแบคทีเรีย (antibacterial), ยับยั้งการแบ่งตัว(antiproliferative), ยับยั้งการเกิดมะเร็ง (anticarcinogenic) และมีความสามารถในการต้านทานการเกิดออกซิเดชั่น เป็นต้น (Cheng *et al.,* 2007)




**ภาพที่ 2.9** โครงสร้างของ hydroxycinnamic acids และอนุพันธุ์
ที่มา : chandrasekara and Shahidi, 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ

### 2.10.1 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (radical หรือมักใช้ว่า free radical) คือ สารที่มีอิเล็กตรอนที่ขาดคู่อยู่ในวงรอบนอกของอะตอม ทำให้โมเลกุลมีมีความเสถียร จึงจำเป็นต้องหาอิเล็กตรอนมาเข้าคู่เพื่อก่อให้เกิดความเสถียรขึ้นในโมเลกุล จึงเกิดการเข้าแย่งอิเล็กตรอนจากสารอื่นมาเข้าคู่กับอิเล็กตรอนอิสระของตัวเอง ซึ่งสารที่ถูกแย่งอิเล็กตรอนไปก็กลายเป็นโมเลกุลที่อิเล็กตรอนขาดคู่ เป็นโมเลกุลที่ไม่มีความเสถียรหรือกลายเป็นอนุมูลอิสระนั่นเอง กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเป็นลูกโซ่ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จึงก่อให้เกิดการสะสมของอนุมูลอิสระในระบบมากขึ้น หากไม่มีการกำจัดออกไปก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบได้ การเกิดอนุมูอิสระสามารถเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเมทาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตทั่วไป เช่น ของเสียที่เกิดจากกระบวนการย่อยอาหาร และร่างกายอาจรับมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น การสูบบุหรี่ อากาศที่เป็นพิษ และรังสีต่าง ๆ รวมถึงความเครียดก็ยังส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ในร่างกายได้อย่างง่ายดาย เช่น DNA ไขมัน โปรตีน จนก่อให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ได้ อนุมูลอิสระมีอายุสั้นและไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยาเคมีมาก นอกจากนี้ยังมีสารกระตุ้นอีกตัวหนึ่งที่สำคัญ เรียกว่า reactive oxygen species (ROS) คือโมเลกุลที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยา โดย ROS อาจจะเป็นอนุมูลอิสระหรือไม่ใช่อนุมูลอิสระ ตัวอย่างของอนุมูลอิสระ และ ROS ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide anion radical) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical) อนุมูลเพอร์ออกไซด์ (peroxide radical) อนุมูลเพอร์ออกซิล (peroxyl radical) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) โอโซน (ozone) ออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (singlet oxygen) อนุมูลไฮโดรเจน (hydrogen radical) และอนุมูลเมทิล (methyl radical) เป็นต้น(อนันต์ สกุลกิม, 2551)

อนุมูลอิสระเกิดขึ้นเป็นปกติจากปฏิกิริยาในร่างกายอยู่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีธาตุเหล็ก ทองแดง แมงกานีส โคบอลต์ โครเมียม นิกเกิลน้อย มักเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยร่างกายจะมีระบบกำจัดอนุมูลอิสระ แต่หากร่างกายได้รับสารอนุมูลอิสระจากภายนอก เช่น ได้รับจากอาหารบางชนิด จากขบวนการประกอบอาหาร เช่น การย่างเนื้อสัตว์ที่มีไขมันประกอบสูง การนำน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารที่อุณหภูมิสูง ๆ มาใช้อีก หรือจากสิ่งแวดล้อม เช่น แสงอาทิตย์ซึ่งมีรังสีอัลตราไวโอเลต การแผ่รังสี รังสีเอกซ์ หรือจากมลพิษ เช่น ควันบุหรี่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากไอเสียรถยนต์ มากเกินไป หรือในภาวะที่ร่างกายสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ลดลง ก็จะทำให้มีอนุมูลอิสระมากเกินไปอันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคภัยได้

อนุมูลอิสระมีความจำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์เพื่อรักษาสมดุลภายในร่างกายแต่ต้องการเพียงในระดับต่ำมาก หากมีการสะสมของอนุมูลอิสระในร่างกายมากเกินไปจะก่อให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress) ทำให้เซลล์และเนื้อเยื่อถูกทำลายจนเสียหาย ก่อให้เกิดความเสื่อมถอยของวัย (aging) โรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ โรคไขข้ออักเสบ โรคอัลไซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมอร์ และโรคพากินสัน เป็นต้น และเซลล์ที่เสียหายอาจเกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์จนกลายเป็นเซลล์มะเร็งได้ในที่สุด (Klaunig and Kamendulis, 2004)

**2.10.2 สารต้านอนุมูลอิสระ**

สารต้านอนุมูลอิสระอาจจะมาจากแหล่งธรรมชาติหรือเป็นสารสังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารชะลอ หรือป้องกันการเกิดออซิเดชันของสารเริ่มต้นหรือซับสเตรทนั้น ๆได้ สารต้านอนุมูลอิสระยับยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระโดยการให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระนั้นเพื่อให้เปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ ทำให้เซลล์ไม่ถูกทำลายจากอนุมูลอิสระของออกซิเจน(Bagchi *et al.,* 2000) สารอาหารหลายชนิดมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี วิตามินซี กลูต้าไธโอน โคเอนไซม์คิวเทน ซิลีเนียม แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ป้องกันหรือยับยั้งการเกิดออกซิเดชันโดยเข้ากำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในระบบ มีการศึกษาทางการแพทย์มากมายพบว่า การบริโภคผักและผลไม้ในปริมาณมากมีส่วนช่วยป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ ได้มากมาย รวมทั้งช่วยในเรื่องปัญหาต่าง ๆที่มาพร้อมกับวัยที่เพิ่มขึ้น เพราะในผักและผลไม้มีสารไฟโตเคมิคอลที่มีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจำนวนมาก สารต้านออกซิเดชันจะช่วยยับยั้งการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชันของเซลล์โดยเข้าไปแทรกแซงในขั้นต่าง ๆของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทั้งนี้วิธีการยับยั้งออกซิเดชันอาจเกิดจากหลายกลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ (Halliwell, 2007) สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีส่วนช่วยป้องกันไม่ให้เซลล์เกิดความเสียหายอันเกิดจากอนุมูลอิระได้ เป็นผลให้มีการยับยั้งหรือป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง หรือโรคเกี่ยวกับหัวใจได้ (Babich *et al.,* 2011)

สารต้านอนุมูลอิสระมีคุณสมบัติในการทำให้อนุมูลอิสระเหล่านี้กลับสู่สภาวะเสถียรโดยทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระโดยที่ตัวมันเองไม่เปลี่ยนตัวเองไปอยู่ในสภาวะอนุมูอิสระ จึงช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายภายในเซลล์ได้ เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระมความเสถียรของโมเลกุลทั้งก่อนและหลังการเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตามสมบัติการยับยั้งหรือป้องกันออกซิเดชันของตัวมันก็หมดไปด้วยหลังจากจ่ายอิเล็กตรอนให้แก่อนุมูลอิสระไปแล้ว กระบวนการเมทาบอลิซึมภายในเซลล์เกิดขึ้นตลอดเวลาทำให้มีการผลิตอนุมูลอิสระอยู่ตลอดวลาเช่นกัน ดังนั้นความเสี่ยงที่อนุมูลอิสระในร่างกายคนเราจะก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ มีอยู่เสมอ และจะเพิ่มขึ้นไปตามอายุ จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมเราจึงควรบริโภคหรือรับสารต้านอนุมูลอิสระเข้าสู่ร่างกายอย่างต่อเนื่องเพื่อเสริมสร้างระบบการต่อต้านการเกิดออกซิเดชันภายในร่างกายให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

สารต้านอนุมูลอิสระ คือโมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่น ๆได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวเนื่องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุติปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัวรีดิวซ์ อาทิ ไธออล กรดแอสคอร์บิก และโพลีฟีนอล สารต้านอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้เป็น 3 ชนิด คือ

- Preventive antioxidant ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ
- Scavenging antioxidant ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น
- Chain breaking antioxidant ทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง

**2.10.3 วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ**

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด จึงมีการคิดวิธีการทดสอบความสามารถของสารในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ยกตัวอย่างวิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบมี 3 วิธี ได้แก่

2.10.3.1 วิธี Scavenging activity of ABTS radical (Re *et al*., 1999)

วิธีนี้เป็นวิธีวัดทางอ้อมโดยใช้สาร 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) หรือ ABTS มีสูตรโมเลกุล $C_{18}H_{18}N_4O_6S_4$ มาทำให้เป็นอนุมูลอิสระโดยการถูกออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตให้กลายเป็น $ABTS^{+\bullet}$ ซึ่งเป็นอนุมูลที่มีสีฟ้า-เขียวมีความยาวคลื่นที่ 660, 734 และสูงสุด 820 นาโนเมตร แต่จะนิยมวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 nm โดยปรับค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น $ABTS^{+\bullet}$ ให้เป็น $0.700 \pm 0.02$ เมื่อเติมสารทดสอบที่มีกิจกรรมต้านออกซิเดชันจะทำให้ $ABTS^{+\bullet}$ ลดลงซึ่งจะทำให้สีจางลง และสามารถนำไปคำนวณเป็น %Inhibition ได้ตามสมการ

% Inhibition = [ ( A734 control – A 734 test sample ) / A734 control ] × 100

ผลการวิเคราะห์จะคำนวณเป็นค่าที่สัมพันธ์กับสารต้านอนุมูลอิสระมาตราฐาน Trolox จึงมีชื่อว่า Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC)

ข้อดีของวิธีนี้คือ ทำได้ง่ายอนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูลอิสระ $ABTS^{+\bullet}$ ละลายได้ทั้งในน้ำและสารทำละลายอินทรีย์ จึงทำให้ศึกษาได้ทั้งในสารที่ละลายในน้ำหรือละลายในไขมันส่วนข้อเสียของวิธีนี้ คือ ABTS ไม่เป็นสารตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุมูลในเซลล์หรือร่างกาย

$$\underset{734\ nm}{ABTS^{+\bullet}} \xrightarrow{+antioxidant} \underset{colourless}{ABTS}$$

2.10.3.2 วิธี DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical

อนุมูล DPPH• เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัวมีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้วโดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูลเหมือนกันกรณีอนุมูล $ABTS^{+\bullet}$ การวิเคราะห์เป็นการวัดความสามารถของสารทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอม การวัดทำโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) วัดการลดลงของสี เมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงไปโดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาว 517 นาโนเมตร

DPPH radical ใช้ในการทดสอบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารตัวอย่าง (scavenging activity) สารละลายของ DPPH• มีสีม่วงในเอทานอลและเมื่อได้รับ H จะเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลืองตามสมการดังนี้

$$DPPH^{\cdot} + RH \longrightarrow DPPH\text{-}H + R^{\cdot}$$

สีม่วง ตัวอย่างทดสอบ สีเหลือง

ค่าที่วัดได้จะแสดงความสามารถในการสารต้านอนุมูลอิสระออกมาในค่า % inhibition ตามสมการดังนี้

$$\% \text{ Inhibition} = [(\text{A517 control} - \text{A517 test sample})/ \text{A517 control})] \times 100$$

ข้อดีของวิธีนี้คือทำได้ง่ายนิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ

ข้อเสียของวิธีนี้คืออนุมูล DPPH• มีความคงตัวไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะจัดอันดับอนุมูลที่มีความไวสูงได้

2.10.3.3 วิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assay

วิธีการนี้ อาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน $[Fe(III)\,)TPTZ_2]^{3+}$ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็น $[Fe\,(II)\,)TPTZ)_2]^{2+}$ ดังสมการ

$$[Fe\,(III)\,(TPTZ)_2]^{3+} \xrightarrow{\text{antioxidant}} [Fe\,(II)\,(TPTZ)_2]^{2+}$$

ซึ่ง $[Fe\,(II)\,(TPTZ)_2]^{2+}$ มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ปริมาณของ $[Fe\,(II)\,(TPTZ)_2]^{2-}$ ที่เกิดขึ้นสามารถประมาณความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ในรูป FRAP value เทียบกับกราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ขั้นตอนโดยละเอียดของวิธีการนี้ได้แก่การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน $[Fe\,(III)\,(TPTZ)_2]^{3+}$ ประกอบด้วย นำสารละลาย TPTZ (-2,4,6tri (-2 pyridyl)-striazine) ที่ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางมาทำปฏิกิริยากับสารละลายอะซิเทตบัฟเฟอร์และสารละลายเฟอริกไตรคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต จากนั้นทำการรีดิวซ์เฟอร์ริกโดยการเติมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตหรือสารตัวอย่าง (สารต้านอนุมูลอิสระ) และตั้งทิ้งไว้ในที่มืด วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อยไม่แพงและสามารถทำซ้ำแล้วให้ผลเหมือนเดิม แต่ข้อเสียคือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะร่างกายและสารละลายที่ใช้อ้างอิงต้องใช้น้ำปราศจากไอออน (deionizedwater) ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดังกล่าว เช่น การตรวจพบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดเอทิลอะซิเทตและบิวทานอลของใบฝรั่ง สารสกัดรังกะแท้ ในประเทศจีนที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ และสารสกัดเมทานอลและเอทิลอะซิเทตในพืชวงศ์Lamiaceae และวงศ์Apiaceae จำนวน 7 ชนิดจากประเทศอิหร่าน

## 2.11 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.11.1 องค์ประกอบและสารสำคัญในเมล็ดข้าว

Mahatheeranont และคณะ (2001) ศึกษาปริมาณของสารให้กลิ่นรสที่สำคัญในข้าวหอมมะลิ 105 โดยเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้อง และข้าวสารจากแหล่งต่างกัน พบว่าข้าวกล้องที่เป็นข้าวใหม่มีปริมาณของ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) มากที่สุด (0.34 ppm) ส่วนข้าวกล้องที่ผ่านการเก็บรักษามานาน 12 เดือนนั้นมีปริมาณของ 2AP ลดลงมาก (0.12ppm) เมื่อเทียบกับข้าวกล้องใหม่และข้าวกล้องที่จำหน่ายในท้องตลาด (0.32 ppm) ส่วนข้าวสารมีปริมาณ 2AP น้อยกว่าข้าวกล้อง และพบว่าปริมาณ 2AP นั้นมีค่าแตกต่างกันในข้าวสารต่างยี่ห้อที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากความแตกต่างของอายุการเก็บของข้าว แหล่งเพาะปลูก และสภาวะการเก็บรักษา

Yang และคณะ (2008) ศึกษาคุณลักษณะของสารให้กลิ่นรสในข้าวดำที่ผ่านการหุงสุก โดยทำการแยกสารประกอบด้วยวิธี gas chromatography-mass spectrometry จากผลการศึกษาพบสารระเหยในข้าวดำมากถึง 35 ชนิด โดยจากสารระเหยทั้งหมดที่ตรวจพบมีแอลดีไฮด์ และ สารประกอบอะโรมาติกอยู่ในปริมาณสูงถึง 80.1% ของสารระเหยทั้งหมด ซึ่งมีความเข้มข้นของ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) อยู่ในปริมาณที่สูงมาก นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบหลักในสารให้กลิ่นรสที่สำคัญในข้าวดำและข้าวขาว ซึ่งมีการรายงานไว้ว่า 2AP, indole และ *p*-xylene มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อกลิ่นรสที่แตกต่างกันระหว่างข้าวดำ และข้าวขาว โดยพบว่า 2AP และ gualacol เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการสร้างกลิ่นรสที่โดดเด่นเป็นเอกลักษณ์ให้แก่ข้าวดำ

Lin และ Lai (2011) ได้ทำการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวสองสายพันธุ์ที่เมล็ดกำลังเจริญประกอบด้วยสายพันธุ์ KFSW (waxy indica red rice) และ TK16 (nonwaxy japonica rice) นำมาตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาวโวนอย์ของเมล็ดข้าวที่กำลังเจริญ พบว่ามีปริมาณมากกว่าในเมล็ดที่เจริญสุกเต็มที่แล้วอย่างมีนัยสำคัญ สารสกัดฟีนอลิกถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ free, soluble-ester และ insoluble-bound โดย ferulic acid เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในสารสกัดฟีนอลิกทั้งสามส่วนทั้งในเมล็ดข้าวที่ยังไม่เจริญสุกเต็มที่และที่เจริญสุกเต็มที่แล้ว จากผลการศึกษาพบว่า alpha-tocopherol ซึ่งเป็นวิตามินอีที่พบในปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงที่สุด รองลงมา คือ gamma-tocotrienol ใน KFSW และพบ alpha-tocotrienol เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุด ใน TK 16 นอกจากนี้ยังพบปริมาณของ free, soluble-ester ferulic acids, เยื่อใยอาหารที่ละลายได้ (soluble dietary fiber), total tocols และ oryzanols ที่มีปริมาณมากที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15 และ 18 วัน หลังการออกดอก แสดงให้เห็นว่าเมล็ดข้าวที่ยังเจริญไม่สุกเต็มที่ประกอบไปด้วยสารปะกอบทางชีวภาพมากมายที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งสามารถพัฒนามาประยุกต์ใช้ในอาหารที่เป็นโภชนเภสัช

Shao และคณะ (2014) ได้ศึกษาความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกความสามารถในการ , ต้านอนุมูลอิสระ และกรดฟีนอลิกในส่วนที่เป็น free, conjugated และ bound ของข้าวขาว ข้าวแดง และข้าวดำ ที่ระยะเวลา 1, 2, และ 3 สัปดาห์หลังจากที่ข้าวออกดอก และเมื่อเมล็ดข้าวสุกเต็มที่ ผลการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของข้าวขาว และข้าวแดงมีปริมาณมากอย่างมีนัยสำคัญที่ 1 สัปดาห์มากกว่าช่วงระยะการเจริญของเมล็ดช่วงอื่น ๆ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของข้าวดำมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเมล็ดข้าวสุกเต็มที่ และความสามาถในการต้านอนุมูลอิสระทำการวัดโดยวิธี DPPH free radical scavenging และ ORAC method ผลที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิก นอกจากนี้ยังศึกษาปริมาณสารแอนโทไซยานินที่พบเฉพาะในข้าวดำ โดยตรวจพบ cyaniding-3-glucoside (C3G) และ peonidin-3-glucoside (P3G) เป็นสารประกอบแอนโทไซยานินหลักที่พบในข้าวดำซึ่งพบว่าที่ระยะ 2 และ 3 สัปดาห์มีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าที่ 1 สัปดาห์และเมล็ดข้าวที่สุกเต็มที่

Jiamyangyuen และคณะ (2017) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวขาว(ข้าวหอมมะลิ) ข้าวแดง(ข้าวหอมมะลิแดง) และข้าวดำ(ข้าวไรซ์เบอร์รี่) ในช่วงระยะการเจริญของเมล็ด 5 ระยะ คือ 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน ได้รายงานว่าปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินสามารถพบได้เพียงในข้าวดำ และโปรแอนโทไซยานิดินพบได้ในข้าวแดงที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 14 ถึง 25 วัน สำหรับการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระได้ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH พบว่าค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงจากระยะการเจริญของเมล็ดที่ 7 ถึง 35 วัน และการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP พบว่าค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดในข้าวแดงที่ระยะการเจริญของเมล็ด 14 ถึง 21 วัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ และพิโอดินิน-3-กลูโคไซด์ สามารถพบได้ข้าวดำที่ระยะการเจริญของเมล็ด 21 ถึง 35 วัน โดยที่ไซยานิดินของข้าวดำที่ระยะการเจริญ 28 ถึง 35 วัน มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารแอนโทไซยานิน และโปรแอนโทไซยานิน โดยสามารถตรวจพบได้ครั้งแรกที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 14 ถึง 21 วันในข้าวแดง จากผลการทดลองเมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบหลักก็แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก และข้อมูลจากงานวิจัยนี้ได้ชี้ให้เห็นว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวแดงที่ระยะการเจริญของเมล็ด 14 วัน และข้าวดำที่ระยะการเจริญของเมล็ด 28 วัน เป็นระยะการเจริญของเมล็ดข้าวที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการเก็บเกี่ยวเพื่อที่จะได้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุดซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ

### 2.11.2 กระบวนการผลิตและการวิเคราะห์คุณภาพของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

สมโภชน์ ใหญ่เอี่ยม และคณะ (2551) ศึกษากรรมวิธีการผลิตโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูป โดยทำการหุงข้าวหอมมะลิแบบไม่เช็ดน้ำ ที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที และมีอัตราส่วนของข้าวหอมมะลิต่อน้ำเท่ากับ 1:1.25 จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 140°C ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นเกล็ดสีขาว และมีจุดสีน้ำตาลของเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิกระจายปนอยู่ ซึ่งทำให้มีกลิ่นหอม เหมาะสมต่อการนำไปทำผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูป ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ชิม มีคะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับปานกลาง ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพพบว่า มีค่าความชื้นร้อยละ 7.93 โปรตีนร้อยละ 17.94 คาร์โบไฮเดรทร้อยละ 66.89 ไขมันร้อยละ 2.20 เยื่อใยร้อยละ 4.26 เถ้าร้อยละ 0.78 และมีค่า $a_w$ เท่ากับ 0.48 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์หลังเก็บรักษานาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้องพบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม และไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรค

Srikaeo และ Sopade (2010) ศึกษาคุณสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์และคุณสมบัติด้านการย่อยสตาร์ช ของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิ จำนวน 10 ยี่ห้อ โดยในส่วนของคุณสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ ทำการตรวจสอบโดยใช้เครื่อง DSC และ RVA พบว่า DSC thermogram ของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจำนวน 1 ตำแหน่ง โดยการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบดูดพลังงานอยู่ที่ 56-82 องศาเซลเซียส อาจบอกได้ว่าสตาร์ชบางส่วนได้เกิดการเจลาทิไนซ์ไปในระหว่างกระบวนการแปรรูป ยกเว้น 2 ตัวอย่างที่ตรวจไม่พบการเปลี่ยนแปลงพลังงานซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างได้เกิดการเจลาทิไนซ์ไปอย่างสมบูรณ์แล้วในกระบวนการแปรรูป โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกระบวนการเจลาทิไนซ์ของสตาร์ชของข้าวที่เป็นองค์ประกอบหลังของผลิตภัณฑ์โจ๊ก การตรวจสอบด้วยเครื่อง RVA พบว่าคุณสมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์โจ๊กได้รับอิทธิพลจากกระบวนการแปรรูป โดยกราฟความหนืดที่ได้ค่อนข้างแตกต่างกันแม้ว่าตัวอย่างบางตัวอย่างจะมีส่วนผสมใกล้เคียงกันมาก นั่นอาจเป็นเพราะความแตกต่างกันของกระบวนการแปรรูป ชนิดของส่วนผสม และลักษณะของคุณสมบัติในการคืนรูปที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงพลังงานเมื่อตรวจสอบด้วย DSC กับค่าความหนืดที่เปลี่ยนไปเมื่อตรวจสอบด้วย RVA ในส่วนของคุณสมบัติด้านการย่อยสตาร์ชในข้าวพบว่า ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปทุกตัวอย่างจัดเป็นอาหารที่มีค่า GI (glycemic index) สูง โดยมีค่า GI อยู่ระหว่าง 68-97 งานวิจัยนี้ตรวจไม่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า GI กับคุณสมบัติด้านความหนืด และตัวอย่างผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ให้ค่า GI สูงจะพบว่าสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนซ์ไปอย่างสมบูรณ์แล้ว ทั้งนี้เป็นผลมาจากกระบวนการเจลาทิไนซ์ในสภาวะที่ไม่มีการเกิดรีโทรกราเดชั่นจะช่วยทำให้การย่อยเกิดดีขึ้น นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลขององค์ประกอบอื่น ๆ นอกเหนือจากข้าว ที่พบในผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป เช่น โปรตีนจากพืชหรือสัตว์ สารปรุงแต่งกลิ่นรส มีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่และอัตราการย่อยรวมถึงค่า GI ของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ผลิตเลือกใช้ส่วนประกอบเหล่านี้ให้เหมาะสม

โสรยา เกิดพิบูลย์ (2555) ศึกษาความสัมพันธ์ของสมบัติเชิงกระแสวิทยาและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งโดยพัฒนาเป็นโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปซึ่งเป็นการตรวจสอบคุณภาพของโจ๊กอบแห้งหลังการคืนรูป โดยทำการอบแห้งโจ๊กข้าวฮางโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกคู่ที่อุณหภูมิ 125, 130 และ 135°C และทำการคืนรูปโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง โดยทำการศึกษาผลของขนาดข้าวฮางที่ 0.5 มม. และ 2.0 มม. และใช้อัตราส่วนโจ๊กข้าวฮางอบแห้งต่อน้ำเท่ากันกับกรณีการเตรียมโจ๊กข้าวฮางก่อนการอบแห้งคือใช้อัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำเป็น 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12 และ 1:14 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าสภาวะการเตรียมโจ๊ก ตลอดจนสภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โจ๊กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็กมีค่าความหนืดต่ำ เมื่อนำมาอบแห้งจึงมีการหดตัวสูง นอกจากนี้ยังพบว่าโจ๊กข้าวฮางอบแห้งที่เตรียมโดยใช้สัดส่วนปริมาณน้ำมาก มีการหดตัวน้อยกว่า โจ๊กอบแห้งมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับถึง 4.7 ถึง 8.9 เท่า ขึ้นกับสภาวะการเตรียมการอบแห้ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดกลืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ เมื่อนำโจ๊กที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็กอบแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และการหดตัวสูง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดน้ำกลับมีค่าต่ำ การใช้สัดส่วนปริมาณน้ำในการเตรียมโจ๊กน้อย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีการหดตัวสูง และมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับเช่นเดียวกัน และยังพบว่าลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความสัมพันธ์กับสมบัติเชิงกายภาพของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคืนรูป โดยพบว่าโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคืนรูปมีความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความหนืดที่น้อยกว่าโจ๊กข้าวฮางก่อนการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ

Jittanit และคณะ (2012) ศึกษาการทำแห้งโจ๊กไก่ปรุงสุกด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่โดยใช้อุณหภูมิที่ 120 และ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.5 รอบต่อนาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 มม . เพื่อที่จะผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพด้านกายภาพและด้านประสาทสัมผัสของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตได้ และเพื่อประเมินต้นทุนพลังงานของกระบวนการทำแห้งโดยใช้ลูกกลิ้งคู่ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าสีของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ถูกทำแห้งที่อุณหภูมิ 120 และ 140 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์จากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เล็กน้อย โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส สามารถคืนรูปได้เร็วกว่าโจ๊กซึ่งผลิตที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ตัวอย่างโจ๊กซึ่งถูกทำแห้งที่อุณหภูมิ 120 และ 140 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านการคืนรูปแล้วจะมีค่าความหนืดและคะแนนจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุก ๆ ด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการทำแห้งมีค่าประมาณ 24.84 และ 35.82 บาท/กิโลกรัม สำหรับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 120 และ 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เบญจวรรณ วานมนตรี และคณะ (2556) ศึกษาการอบแห้งโจ๊กข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนชนิดลูกกลิ้งคู่ โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาระกอบด้วยอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 120 และ 140°C ความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง 0.5 และ 0.7 rpm และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 0.2 และ 0.25 mm เตรียมโจ๊กข้าวกล้องงอกในอัตราส่วนข้าวกล้องงอกต่อน้ำ คือ 1:3, 1:4, และ 1:5 โดยน้ำหนัก ซึ่งได้โจ๊กข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 63.47, 66.84 และ 87.16%wb ตามลำดับ ผลจากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง ความเร็วรอบการหมุน และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งมีผลต่อความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องงอก และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทุกสภาวะการอบแห้งมีความปลอดภัยในการเก็บรักษาและไม่เกิดปัญหาการจับตัวของผลิตภัณฑ์บนลูกกลิ้งที่ทุกสภาวะการทดสอบ ผลิตภัณฑ์โจ๊กอบแห้งที่ได้สามารถคืนตัวได้ดีในเวลาอันสั้น มีลักษณะการไหลแบบซูโดพลาสติก

พรพิมล มะยะเฉียว (2558) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวผสมถั่วกึ่งสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพ โดยทำวิจัยผลของพันธุ์ข้าว (ข้าวหอมมะลิและข้าวสังข์หยด) ชนิดของถั่ว (ถั่วเหลืองและถั่วเขียว) และร้อยละของถั่ว (ร้อยละ 10 20 และ 30) ที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ คุณสมบัติการเกิดเพส และคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวผสมถั่วกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีลูกกลิ้งหมุน รวมทั้งศึกษาผลของระยะเวลา ( 0 2 4 และ 6 เดือน) และสภาวะการเก็บรักษา (บรรยากาศปกตอและสุญญากาศ) ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป ผลการศึกษาพบว่าโจ๊กข้าวผสมถั่วเหลืองและถั่วเขียวมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน โจ๊กข้าวผสมถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่าโจ๊กขาวสังข์หยดผสมถั่วเขียว นอกจากนี้พบว่าการผสมถั่วส่งผลให้ค่าดัชนีการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวสังข์หยดและโจ๊กข้าวหอมมะลิลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ เมื่อร้อยละปริมาณของถั่วเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของผลิตภัณฑ์โจ๊กมีค่าเพิ่มขึ้น การผสมถั่วทั้งสองชนิดส่งผลต่อคุณสมบัติการเกิดเพสของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าว โจ๊กข้าวสังข์หยดผสมถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละ 20 มีคะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านการยอมรับรวมสูงที่สุด การเก็บรักษาโจ๊กข้าวสังข์หยดผสมถั่วเหลือง ร้อยละ 10 และ 20 เป็นระยะเวลา 6 เดือน ไม่ส่งผลต่อคุณภาพด้านสี และค่า $a_w$ ซึ่งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวสังข์หยดผสมถั่วด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ในสภาวะสุญญากาศช่วยลดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยระยะเวลาการเก็บรักษาไม่ส่งผลต่อค่า TBARS ของโจ๊กข้าวสังข์หยดผสมถั่วเหลืองที่บรรจุแบบสุญญากาศ

Thiyajai และคณะ (2016) ศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและปริมาณแกมมาออริซานอล และปริมาณ tocols ของแป้งข้าวกล้องงอกนึ่ง พบว่าผลของลักษณะทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกนึ่งที่ผลิตจากกระบวนการทำแห้งแต่ละวิธี ได้แก่ กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น (Extrusion process), กระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drying), กระบวนการแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying), กระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ และ กระบวนการทอด ส่งผลต่อปริมาณแกมมาออริซานอล และปริมาณ tocals คือ กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น, การทำแบบลูกกลิ้ง และการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะลดปริมาณของ แกมมาออริซานอล และปริมาณ tocals อยู่ที่ 7.7, 17.2 และ 26.8 มก./100 กรัม น้ำหนักแห้ง สำหรับแกมมาออริซานอล และ 2.2, 23.5 และ 49.9 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณ tocals มีความสัมพันธ์โดยส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆเช่น ความกรอบ การละลาย ความสามารถในการกระจายตัว และสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งคุณสมบัติทั้งหมดที่กล่าวถึงนั้นอยู่ในช่วงของการยอมรับทางประสาทสัมผัส ซึ่งพบว่าวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นแผ่นเกล็ดที่มีความวาวมีสีเหลืองอ่อนที่มีความเป็นรูพรุนทำให้ง่ายต่อการคืนน้ำ และมีความพร้อมในการใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# วิธีดำเนินงานวิจัย

## 3.1 วัตถุดิบ

3.3.1 ข้าวไร่พันธุ์สามเดือน อายุการเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าว 15, 20, 25 และ 30 วันหลังจากออกดอก เพาะปลูกที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

3.3.2 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากเกษตรกร จังหวัดมหาสารคาม

3.3.3 ข้าวหอมมะลิ จากเกษตรกร จังหวัดบุรีรัมย์

## 3.2 สารเคมี

3.2.1 กรดซัลฟูริกเข้มข้น ($H_2SO_4$)

3.2.2 กรดบอริก

3.2.3 กรดไฮโดรคลอริก

3.2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2.5 โพแทสเซียมซัลเฟต

3.2.6 คอปเปอร์ซัลเฟต

3.2.7 ปิโตรเลียมอีเทอร์

3.2.8 อะซิโตน

3.2.9 เอทานอล

3.2.10 เมทานอล

3.2.11 โซเดียมคาร์บอเนต

3.2.12 DPPH (2, 2-diphenyl-1-picryhydrazyl)

3.2.13 สารมาตราฐานTrolox

3.2.14 กรดแกลลิก

3.2.15 ABTS (2, 2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-suphonic acid)

3.2.16 โพแทสเซียมซัลเฟต

3.2.17 Acetate buffer

3.2.18 TPTZ (2,4,6- Tripyridyl-s-Triazine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.19 โฟลินรีเอเจนต์

3.2.20 กรดแกลเชียลแอซีติก

3.2.21 แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต

3.2.22 โซเดียมเอไซด์

3.2.23 ชุดตรวจสอบปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ( Total starch assay/kit (AA/AMG) 50 assays per kit) บริษัท Megazyme ประเทศไอร์แลนด์

## 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.3.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

3.3.2 เครื่องชั่งแบบละเอียด 2 ตำแหน่ง

3.3.3 เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง

3.3.4 เครื่องปั่นแห้ง

3.3.5 เครื่องครัวต่าง ๆ

3.3.6 เครื่องกะเทาะเปลือกข้าว

3.3.7 เครื่องบดแบบเข็ม (pin mill)

3.3.8 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

3.3.9 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)

3.3.10 เครื่อง mechanical shaker

3.3.11 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

3.3.12 พาราฟิล์ม

3.3.13 micro-pipettors และ Tips

3.3.14 โถสำหรับดูดความชื้น (desiccator)

3.3.15 magnetic stirrers และ stirring bars

3.3.16 เครื่อง vortex mixer

3.3.17 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

3.3.18 ตู้อบแบบถาด (tray dryer)

3.3.19 กระดาษฟอยล์อลูมิเนียม

3.3.20 เครื่องกรองชนิดสุญญากาศ (vacuum filter)

3.3.21 เตาเผาไฟฟ้า (muffle furnace)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.22 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

3.3.23 เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator)

3.3.24 UV-VIS Spectrophotometer

3.3.25 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer)

3.3.26 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahl apparatus)

3.3.27 เครื่องสกัดวิเคราะห์ไขมัน (soxhlet apparatus) และ ทิมเบิล

3.3.28 เครื่องวิเคราะห์เยื่อใยอาหาร (fiber extraction apparatus)

3.3.29 เครื่องวัดความต่างความต่างความร้อนของสาร (Differential Scanning Calorimetry ; DSC)

3.3.30 เครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser ; RVA)

3.3.31 กล้อง Scanning electron microscopy (SEM)

## 3.4 วิธีการทดลอง

### 3.4.1 การเตรียมตัวอย่างข้าว

ตัวอย่างเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่จากเกษตรกรจังหวัดมหาสารคาม ตัวอย่างข้าวหอมมะลิ จากจังหวัดบุรีรัมย์ และตัวอย่างเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนทำการเพาะปลูกที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ด้วยการเก็บเกี่ยวข้าวที่มีอายุการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วันหลังออกดอก แช่แข็ง 1 คืน และทำการขนส่งรวงข้าวที่ทำการแช่แข็งไว้แล้วห่อตัวอย่างด้วยกระดาษ บรรจุลงในกล่องโฟมที่มีน้ำแข็งบรรจุในกล่องโฟมเพื่อให้ความเย็นตลอดการขนส่ง ใช้เวลาในการขนส่งประมาณ 9 ชั่วโมง เมื่อขนส่งตัวอย่างมาถึงห้องวิเคราะห์ตัวอย่าง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแล้วทำการแช่แข็งตัวอย่างรวงข้าวที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จากนั้นนำรวงข้าวแช่แข็งมาทำการแยกเมล็ดข้าวออกจากรวง ล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง สะเด็ดน้ำด้วยตะแกรง นำมาทำแห้งโดยใช้การอบแห้งแบบถาด (Tray drying) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 ชั่วโมง แกะเปลือกออกจากเมล็ดด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกข้าวโดยไม่ผ่านการขัดสี จากนั้นนำตัวอย่างข้าวมาทำการบดละเอียดด้วยเครื่องบด Pin mill ที่ขนาดตะแกรง 100 mesh (0.15 มิลลิเมตร)

### 3.4.2 การวิเคราะห์สารสำคัญในตัวอย่างข้าว

นำตัวย่างข้าวทั้งหมด ได้แก่ ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด มาวิเคราะห์ตามวิธีการดังต่อไปนี้

3.4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างข้าว ดังนี้

- ความชื้น (Moisture) (AOAC, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เถ้า (Ash) (AOAC, 2005)
- โปรตีน (Crude protein) (AOAC, 2005)
- ไขมัน (Crude fat) (AOAC, 2005)
- เยื่อใยอาหาร (Crude fiber) (AOAC, 2005)
- คาร์โบไฮเดรต ( Carbohydrate ) (AOAC, 2005)

3.4.2.2 การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างข้าวที่บดละเอียดแล้วมาชั่ง 2.0 กรัม ผสมกับ 80% Ethanol ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ( 1:20 ) เขย่าด้วยเครื่อง Mechanical Shaker อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาที และนำไปเข้าเครื่อง Centrifugation ทำการปั่นเหวี่ยงที่ 4000×g เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองชนิดสุญญากาศ ทำการสกัดซ้ำโดยใช้ 80% Ethanol 3 รอบ จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้มารวมกันและนำไปกลั่นระเหยสารโดยใช้เครื่อง Rotary evaporator เมื่อทำการกลั่นระเหยสารแล้วทำการชะสารสำคัญที่สกัดได้ออกจากขวดแก้วระเหยสารด้วย methanol ปรับปริมาตรสารละลายให้ได้ 20 มิลลิลิตรเก็บใส่ขวดสีชา และเก็บรักษาโดยการแช่เย็น

3.4.2.3 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent โดยใช้วิธีของ Pourmorad et al. (2006) โดยดูดสารตัวอย่างจากข้อ 3.4.2.2 มา 0.5 ml มาทำปฏิกิริยากับ 5 ml ของสารละลาย Folin-Ciocalteu/น้ำกลั่น ที่อัตราส่วน 50:50 ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วปรับสภาพให้เป็นกลางโดย 4 ml ของโซเดียมคาร์บอเนต 1 M ทิ้งไว้อีก 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm.

3.4.2.4 วิเคราะห์กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ

1. DPPH (DPPH free radical scavenging activity)

นำสารตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 3.4.2.2 ทำปฏิกิริยากับ DPPH (2, 2-diphenly-1-picryhydrazyl) ทำการทดสอบโดยใช้วิธีของ Thaipong et al. (2006) คือ เตรียมสารละลายstock solution DPPH โดย ละลาย DPPH 0.012 g ใน Methanol 50 ml จากนั้นเตรียมสารละลาย working solution DPPH โดยนำสารละลาย stock solution DPPH มา 10 ml. ผสมกับ Methanol อีก 45 ml. แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงให้มีค่าอยู่ที่ 1.1±0.02 ที่ความยาวคลื่น 515 nm. ทำการทดสอบโดยดูดสารตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 3.4.2.2 มา 300 µl มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH 5700 µl เขย่าให้สารเข้ากัน ปิดฝาหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์ม และปิดกันแสงด้วยกระดาษฟอยล์อลูมิเนียม แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงในที่มืด นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm.

2. ABTS (ABTS free radical-scavenging activity)

ABTS (2, 2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6- suphonic acid) จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระที่มีประจุบวกด้วยการเติมโปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สี โดยใช้วิธีทดสอบตามวิธีของ Thaipong et al. (2006) คือ เตรียมสารละลายผสมระหว่าง ABTS 7.4 mM กับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate) 2.6 mM ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำการเจือจางสารละลายด้วย methanol ในอัตราส่วน 1:60 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงให้มีค่าอยู่ที่ 1.1±0.02 ที่ความยาวคลื่น 734 nm. ทำการทดสอบโดยดูดสารตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 3.4.2.2 มา 300 µl ทำปฏิกิริยากับสารละลาย ABTS 5700 µl เขย่าให้สารเข้ากัน ปิดฝาหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์ม และปิดกันแสงด้วยกระดาษฟอยล์อลูมิเนียม ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงในที่มืด นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm.

3. FRAP (Ferric reducing antioxidant power)

เป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนอิสระ(reducing agent) โดยอาศัยคุณสมบัติในการเป็นตัวรีดิวซ์ในปฏิกิริยา redox-linked colorimetricmethod โดยที่ ferric tripyridyltriazine ($Fe^{3+}$-TPTZ) complex จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ทำให้เกิด $Fe^{2+}$-TPTZ complex โดยใช้วิธีทดสอบตามวิธีของ Thaipong et al. (2006) และ Benzie & Strain (1996) คือ เตรียมสารละลาย FRAP โดยผสม 300 mM acetate buffer pH 3.6 , 10 mM TPTZ (2,4,6- Tripyridyl-s-Triazine) ที่ผสมกับ 40 mM HCl และ 20 mM $FeCl_3 6H_2O$ ในอัตราส่วน 10:1:1 แล้วนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ก่อนใช้ ทำการทดสอบโดยดูดสารตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 3.4.2.2 มา 300 µl มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย FRAP 5700 µl เขย่าให้สารเข้ากัน กัน ปิดฝาหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์ม และปิดกันแสงด้วยกระดาษฟอยล์อลูมิเนียม แล้วทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm.

### 3.4.3 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

3.4.3.1 กรรมวิธีการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

นำตัวอย่างข้าวไร่พันธุ์สามเดือนทั้ง 4 ระยะ ข้าวหอมมะลิ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ มาทำการบดลดขนาดด้วยเครื่อง pin mill ขนาดตะแกรง 1 mesh (5 มิลลิเมตร) และนำตัวอย่างข้าวที่เตรียมได้มาแปรรูปเป็นโจ๊กโดยวิธีการดังนี้

- โจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือน นำข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15 วัน ที่ผ่านการบดแล้วผสมกับน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ 1:4 w/w จากนั้นนำมาต้มโดยการให้ความร้อนใน water bath ควบคุมอุณภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีการคนทุก 10 นาทีจนครบเวลา 30 นาที ทำการเตรียมตัวอย่างโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนเช่นเดิม แต่ใช้ตัวอย่างข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 20, 25 และ 30 วัน

- โจ๊กข้าวหอมมะลิ นำข้าวหอมมะลิที่ผ่านการบดแล้ว ผสมกับน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ 1:4 w/w จากนั้นนำมาต้มโดยการให้ความร้อนใน water bath ควบคุมอุณภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีการคนทุก 10 นาทีจนครบเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการบดแล้ว ผสมกับน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ 1:4 w/w ทำการแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาต้มโดยการให้ความร้อนใน water bath ควบคุมอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีการคนทุก 10 นาที จนครบเวลา 2 ชั่วโมง

นำตัวอย่างโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนทั้ง 4 ระยะ โจ๊กข้าวหอมมะลิ และโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ มาผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) โดยกำหนดอุณหภูมิเท่ากับ 125 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1 รอบต่อนาที

**3.4.4 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป**

นำตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปทั้งหมด ได้แก่ ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด มาทำการบดลดขนาดด้วยเครื่องปั่นแห้ง และวิเคราะห์ตามวิธีการดังต่อไปนี้

3.4.4.1 วิเคราะห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป (AOAC, 2005)

3.4.4.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (water activity: Aw)

ทดสอบค่า Water activity ของผลิตภัณฑ์โจ๊กด้วยเครื่อง Aw Aqualab

3.4.4.3 ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ (Water absorption index : WAI)

ทดสอบ Water absorption index (WAI) ดัดแปลงจากวิธีของ Nyombaire *et al.* (2011) ชั่งตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป 2.5 กรัม เติมน้ำที่อุณภูมิ 92 ± 1 องศาเซลเซียส ปริมาตร 20 มิลลิลิตร คงอุณหภูมิไว้ที่ 80 องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงแยก (Centrifuge) ที่ความเร็ว 2500xg เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนใสออกมา แล้วทำการชั่งน้ำหนักของตะกอน แล้วคำนวณหาความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับจากสมการ

$$\text{ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน (g)}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}$$

3.4.4.4 วิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA)

ใช้เครื่อง RVA (RVA4500, Perten Instruments) โดยใช้วิธีมาตรฐาน AACC International Method 76-21.01 เลือกใช้รูปแบบการวิเคราะห์แบบ 13 นาที ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดที่ 95 องศาเซลเซียส โดยชั่งตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่บดแล้ว 3.00 กรัม (ปรับปริมาณเทียบกับตัวอย่างที่ความชื้น 14%) นำมาใส่ canister จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป 25 มิลลิลิตร นำไปตรวจสอบโดยเครื่อง RVA บันทึกกราฟความหนืดที่เปลี่ยนแปลง และค่าความหนืด ณ จุดต่าง ๆ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น (trough viscosity) และความหนืดสุดท้าย (final viscosity)

3.4.4.5 วิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

นำตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 3.4 – 5.6% มาปรับความชื้นให้เท่ากันในทุก ๆ ตัวอย่าง โดยการชั่งตัวอย่างแบบละเอียด เติมน้ำกลั่นลงไปให้ความชื้นสุดท้ายเป็น 80% ให้มีน้ำหนักสุดท้ายที่ 20 ± 5 mg ใส่ใน DSC pan แบบอลูมิเนียม จากนั้นปิดฝาให้สนิททิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ความชื้นกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ( DSC 2 Module, Mettler Toledo) ใช้ DSC pan เปล่าเป็นตัวอ้างอิง ตั้งสภาวะของ DSC ดังนี้ equilibrate ที่ 30 องศาเซลเซียส, isothermal เป็นเวลา 5 นาที, ramp 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 120 องศาเซลเซียส บันทึก DSC thermogram และอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ได้แก่ onset temperature ($T_o$) peak temperature ($T_p$) และ endset temperature ($T_e$) รวมถึงพลังงานที่เปลี่ยนแปลง (transition enthalpy)

3.4.4.6 ลักษณะโครงสร้างของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

นำตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh มาทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้กล้อง Scanning electron microscopy (SEM, JEOL, model JSM-6400, Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 200X magnification และ 500X magnification

3.4.4.7 การตรวจสอบหาปริมาณสตาร์ชทั้งหมด

ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดทำการตรวจสอบโดยใช้ชุดตรวจสอบจาก Megazyme (Megazyme International Ireland Ltd., Ireland) โดยชั่งตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการบดแล้วมา 100 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติม ethyl alcohol 80% จำนวน 0.2 มิลลิลิตร แล้วนำไป vortex จากนั้นจึงเติม dimethyl sulphoxide (DMSO) จำนวน 2 มิลลิลิตร นำไป vortex และให้ความร้อนในน้ำเดือดทันทีเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาย่อยโดยใช้เอนไซม์ α-amylase (1:30) ใน Sodium acetate buffer (100 mM, pH 5.0) แล้วนำไปให้ความร้อน 6 นาที โดยทำการ vortex ทุก ๆ 2 นาที จากนั้นนำหลอดตัวอย่างไปพักไว้ใน water bath ที่อุณหภูมิ 50°C และเติมเอนไซม์ amyloglucosidase 0.1 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาทำการปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไป centrifuge ที่ 3000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้มาใส่ในหลอดทดลองจำนวน 0.1 มิลลิลิตร เติม GOPOD Reagent จำนวน 3 มิลลิลิตรในแต่ละตัวอย่าง บ่มที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ 550 nm ทำการวิเคราะห์ 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป โดยผู้ทดสอบทั่วไป 30 คน โดยพิจารณาคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้การทดสอบแบบ Hedonic scale ระดับ 5 คะแนน (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 3 = เฉยๆ, 5 = ชอบมากที่สุด)

**3.4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ**

การวิเคราะห์สารสำคัญในตัวอย่างข้าว และการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปในหัวข้อ การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC การศึกษาลักษณะโครงสร้างของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป และการตรวจสอบหาปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ทำการออกแบบการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และประเมินผลทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลการทดลองโดยใช้ DMRT โดยใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิจารณ์

## 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) ของเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และคาร์โบไฮดรต โดยนำข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญสุกเต็มเมล็ด มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมีโดยที่เถ้า โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตคิดเป็นร้อยละของฐานแห้งแสดงผลดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือน (SD) ที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (RB) และข้าวหอมมะลิ (HL) ที่เจริญสุกเต็มเมล็ด (องค์ประกอบโดยน้ำหนักแห้ง)

| องค์ประกอบทางเคมี (%db) | ตัวอย่างข้าว | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | SD15 | SD20 | SD25 | SD30 | RB | HL |
| เถ้า | $1.31 \pm 0.02^{ab}$ | $1.38 \pm 0.02^{ab}$ | $1.27 \pm 0.08^{ab}$ | $1.26 \pm 0.02^{b}$ | $1.61 \pm 0.00^{a}$ | $0.43 \pm 0.00^{c}$ |
| ไขมัน | $2.97 \pm 0.16^{ab}$ | $2.86 \pm 0.25^{ab}$ | $2.55 \pm 0.28^{b}$ | $2.79 \pm 0.33^{ab}$ | $3.04 \pm 0.03^{a}$ | $1.55 \pm 0.09^{c}$ |
| โปรตีน$^{ns}$ | $9.61 \pm 0.70$ | $9.56 \pm 0.18$ | $9.56 \pm 0.40$ | $9.77 \pm 0.55$ | $9.54 \pm 0.24$ | $8.98 \pm 0.27$ |
| เยื่อใย | $1.68 \pm 0.07^{a}$ | $1.70 \pm 0.08^{a}$ | $1.62 \pm 0.03^{a}$ | $1.51 \pm 0.02^{b}$ | $1.46 \pm 0.08^{b}$ | $0.72 \pm 0.01^{c}$ |
| คาร์โบไฮเดรต | $84.44 \pm 0.89^{b}$ | $84.51 \pm 0.34^{b}$ | $84.99 \pm 0.25^{b}$ | $84.67 \pm 0.86^{b}$ | $84.34 \pm 0.21^{b}$ | $88.32 \pm 0.35^{a}$ |
| ความชื้น (%) | $8.09 \pm 0.04$ | $8.57 \pm 0.26$ | $7.98 \pm 0.06$ | $7.92 \pm 0.08$ | $9.50 \pm 0.04$ | $10.01 \pm 0.03$ |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณความชื้นส่งผลต่อคุณภาพของข้าว ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกำหนดอายุการเก็บรักษา ปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวมีค่าอยู่ระหว่าง 7.92 ถึง 10.01% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นที่ปลอดภัย(14%) สำหรับการเก็บรักษาข้าวที่แปรรูป (Zhang *et al.,* 2015) สำหรับความแตกต่างของความชื้นที่พบในข้าวทั้งสามสายพันธุ์นี้อาจเป็นผลมาจากความชื้นของข้าวเปลือกภายหลังการเก็บเกี่ยว (Asaduzzaman *et al.,* 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เถ้าถือได้ว่ามีบทบาทที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณแร่ธาตุในตัวอย่างอาหาร (Mbatchou and Dawda, 2013) จากผลการทดลองพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณเถ้าสูงที่สุดคือ 1.61% ตามด้วยข้าวไร่พันธุ์สามเดือนทั้ง 4 ระยะ (ค่าเฉลี่ยคือ 1.22 ± 0.31%) และข้าวหอมมะลิมีปริมาณเถ้า 0.43% ตามลำดับ โดยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sompong และคณะ (2011) และ Verma และ Srivastav (2017) ซึ่งพบว่าปริมาณเถ้าของข้าวดำมีค่าอยู่ระหว่าง 1.42-1.74% และปริมาณเถ้าของข้าวขาวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.35-0.73% จากงานวิจัยของ Shayo และคณะ (2006) ได้ระบุไว้ว่าความแตกต่างของปริมาณเถ้าที่พบในข้าวอาจเนื่องมาจากความแตกต่างกันของปริมาณแร่ธาตุในดินและน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก

ข้าวจัดได้ว่าเป็นแหล่งของกรดไขมันลิโนเลอิค และกรดไขมันจำเป็นอื่น ๆ อีกทั้งยังพบว่าไขมันในข้าวนั้นไม่มีส่วนประกอบของคอเลสเตอรอล (Eggum *et al.,* 1982) นอกจากนี้ไขมันยังมีบทบาทในการให้รสชาติของข้าวที่ผ่านการปรุงสุกโดยข้าวที่มีปริมาณไขมันสูงมีแนวโน้มที่จะให้รสชาติมากขึ้น จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไขมันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างสายพันธุ์ข้าว โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 3.04% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sompong และคณะ (2011)ได้รายงานว่าปริมาณไขมันของข้าวดำมีค่าสูงที่สุด และข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีปริมาณไขมัน 2.55-2.97% ซึ่งเป็นข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีมีปริมาณไขมันสูงกว่าข้าวหอมมะลิ (1.55%) ซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีและขัดขาว สำหรับความแตกต่างของปริมาณไขมันที่พบในข้าวทั้งสามสายพันธุ์อาจพิจารณาได้จากความแตกต่างกันของระดับการสีข้าวเนื่องจากไขมันส่วนใหญ่จะพบที่บริเวณเยื่ออาลูโรน ของเมล็ดข้าว (Wang *et al.,* 2006)

โปรตีนในข้าวนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากโปรตีนจะเป็นส่วนช่วยในการสร้างเซลล์และซ่อมแซมเนื้อเยื่อในร่างกาย (Mbatchou and Dawda, 2013) โดยปริมาณโปรตีนมีอิทธิพลต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าว (Sompong *et al.,* 2011) ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างข้าวที่ทำการทดสอบทั้งหมดนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยปริมาณโปรตีนที่พบนั้นมีค่ามากกว่า 8% ซึ่งปริมาณโปรตีนที่พบทั่วไปในข้าวอยู่ที่ 7-8% (Verma and Srivastav, 2017) สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณของโปรตีนที่พบในข้าวนั้นอาจเกิดได้เนื่องจากหลายปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณน้ำ, การใช้ปุ๋ย (ปริมาณไนโตรเจนในดิน), ความเครียดจากสภาพแวดล้อม (เช่น ความเค็ม และความเป็นด่างของดิน อุณหภูมิ และโรคของพืชต่าง ๆ) ทั้งนี้ยังรวมถึงสถานที่ในการเพาะปลูก สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตอีกด้วย

เยื่อใยอาหารมีความสามารถในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และปริมาณน้ำตาลในเลือดภายหลังการรับประทานอาหารในผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Yeager, 1998) นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดความเสี่ยงของความผิดปกติในลำไส้ และลดอาการท้องผูก (FAO/WHO, 1998) ปริมาณเยื่อใยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ระหว่างสายพันธุ์ข้าว ซึ่งข้าวหอมมะลิมีปริมาณเยื่อใยต่ำที่สุดคือ 0.72% โดยที่มีค่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Verma และ Srivastav (2017) และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณเยื่อใยมากกว่าข้าวหอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะลิคือ 1.46%ในขณะที่ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 30 วันสังเกตได้ว่ามีปริมาณเยื่อใยต่ำที่สุด (1.51%) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, และ 25 วัน (1.68, 1.70 และ 1.62%ตามลำดับ) และจากผลการทดลองของ Lin และ Lai (2011) พบว่าปริมาณเยื่อใยในข้าวขาวลดลงในระยะที่เมล็ดข้าวเจริญสุกเต็มเมล็ดเนื่องจากปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่เพิ่มขึ้น

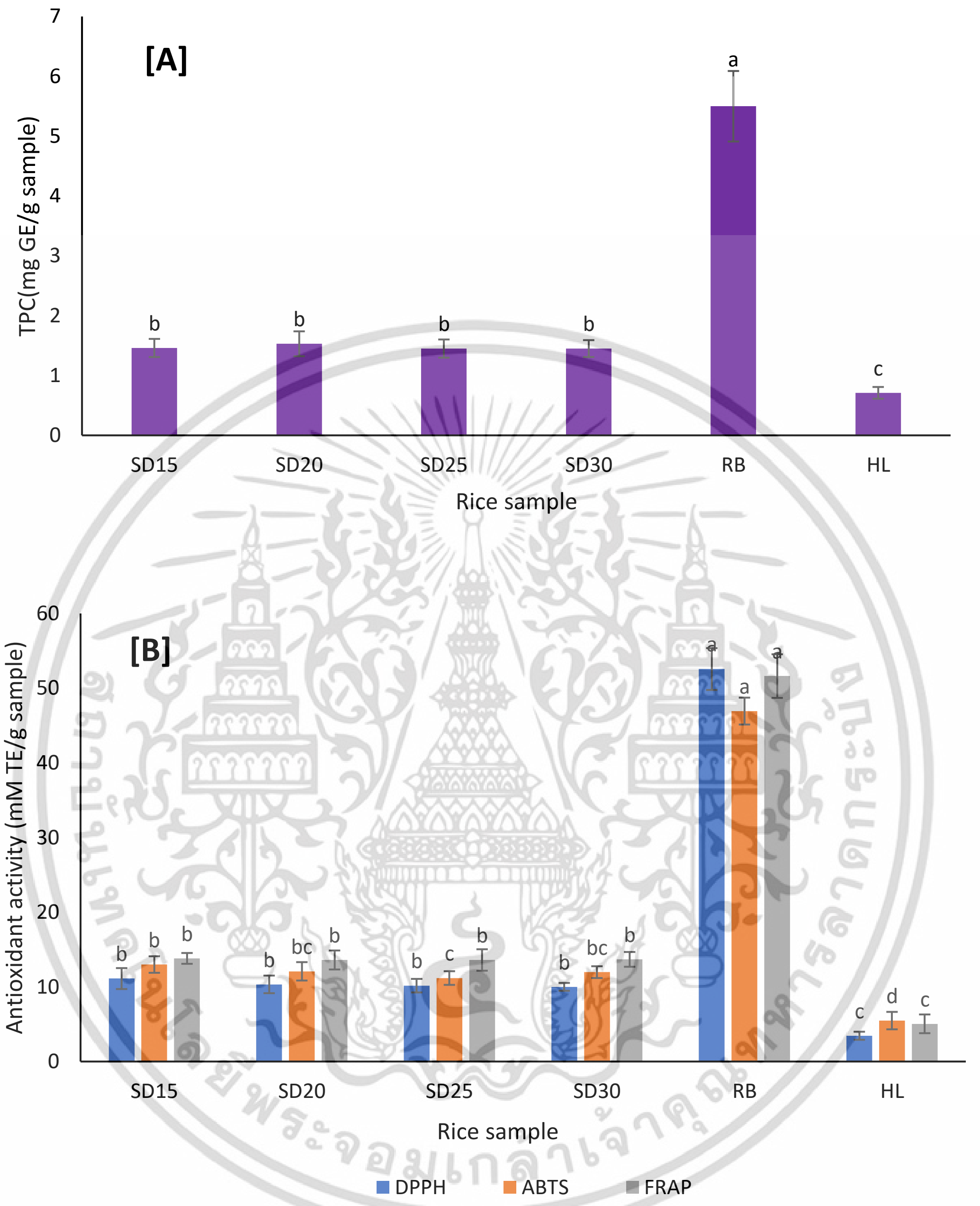
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดพบว่าตัวอย่างข้าวทั้งหมดที่ทำการทดสอบมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่า 70% ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sompong และคณะ (2011) และ Verma และ Srivastav (2017) ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าข้าวนั้นเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต

จากผลการทดลองพบว่าข้าวหอมมะลิมีปริมาณเถ้า, ไขมัน และเยื่อใยต่ำที่สุด และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากผลของกระบวนการขัดสีข้าวหอมมะลิ ซึ่งในงานวิจัยของ Monks และคณะ (2013) ได้รายงานไว้ว่ากระบวนการขัดสีข้าวมีผลในการลดปริมาณของเถ้า ไขมัน และเยื่อใยอาหารในข้าว อีกทั้งกระบวนการขัดสีข้าวนั้นจะเพิ่มปริมาณของคาร์โบไฮเดรตเนื่องมาจากมีการกำจัดส่วนของรำข้าวซึ่งอุดมไปด้วยโปรตีน เถ้า เยื่อใยอาหาร และไขมัน

## 4.2 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด ซึ่งข้าวที่นำมาทดสอบนั้นมีความแตกต่างกันของสายพันธุ์ข้าว และมีระยะการเจริญของเมล็ดที่แตกต่างกัน โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.1(A-B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 4.1** (A) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (B) กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด ทำการวิเคราะห์โดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันของวิธีการวิเคราะห์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.1 พบว่าผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างข้าวที่นำมาทดสอบนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสายพันธุ์ข้าว ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะการเจริญของเมล็ดข้าว ($p>0.05$) โดยที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 1.45 ถึง 1.53 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัม ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบในข้าวหอมมะลิคือ 0.71 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัม อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกพบสูงที่สุดในข้าวไรซ์เบอร์รี่คือ 5.50 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัม จากผลการทดลองที่ได้นี้พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shen *et al.* (2009) ที่ได้รายงานไว้ว่าปริมาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในข้าวขาวมีค่าอยู่ระหว่าง 108.1 ถึง 251.4 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/100กรัม และจากงานวิจัยของ Sompong *et al.* (2011) ได้พบว่าในข้าวดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ยอยู่ที่ 492.8 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/100กรัม ซึ่งจากแนวโน้มของผลการทดลองที่กล่าวมานั้นมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Shao *et al.* (2014) ที่ได้ระบุไว้ว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดข้าวดำที่เจริญเต็มเมล็ดมีปริมาณมากกว่าในเมล็ดข้าวขาวที่เจริญเต็มเมล็ดถึง 5 เท่า จากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณมากกว่าในข้าวไร่พันธุ์สามเดือนทั้ง 4 ระยะเป็น 3.5 เท่า และมีปริมาณมากกว่าในข้าวหอมมะลิเป็น 7.5 เท่า

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ DPPH, ABTS และ FRAP โดยผลการทดลองที่ได้แสดงในภาพที่ 4.1 (B) จากผลการทดลองจะสามารถสังเกตได้ว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกับผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธีที่มีค่าสูง โดยได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.2 ซึ่งนั่นสามารถยืนยันได้ว่าสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบได้ในตัวอย่างทดลอง

**ตารางที่ 4.2** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันของตัวอย่างข้าว

| | TPC | DPPH | ABTS | FRAP |
|---|---|---|---|---|
| TPC | 1 | | | |
| DPPH | 0.9989 | 1 | | |
| ABTS | 0.9989 | 0.9994 | 1 | |
| FRAP | 0.9988 | 0.9977 | 0.9986 | 1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ทำการวิเคราะห์โดยวิธี DPPH พบว่าค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 4.29-61.02 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม ระหว่างตัวอย่างข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์พบว่าข้าวหอมมะลิมีค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH น้อยที่สุดคือ 4.29 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดคือ 61.02 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม ในส่วนข้าวไร่พันธุ์สามเดือนนั้นมีค่าการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในระดับกลางโดยมีค่าอยู่ที่ 10.85-11.95 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะการเจริญของเมล็ด ($p>0.05$)

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ทำการวิเคราะห์โดยวิธี ABTS พบว่าค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 5.48-46.93 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม โดยพบว่าข้าวหอมมะลิมีค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS น้อยที่สุดคือ 5.48 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดคือ 46.93 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม ในส่วนข้าวไร่พันธุ์สามเดือนนั้นมีค่าการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในระดับกลางโดยมีค่าอยู่ที่ 11.18-11.97 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะการเจริญของเมล็ด ($p>0.05$)

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ทำการวิเคราะห์โดยวิธี FRAP พบว่าค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 5.10-52.05 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม โดยพบว่าข้าวหอมมะลิมีค่าการต้านอนุมูลอิสระ FRAP น้อยที่สุดคือ 5.10 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดคือ 52.05 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม ในส่วนข้าวไร่พันธุ์สามเดือนนั้นมีค่าการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในระดับกลางโดยมีค่าอยู่ที่ 14.03-14.24 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์/กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะการเจริญของเมล็ด ($p>0.05$)

ในงานวิจัยของ Jiamyanyuen และคณะ (2017) ได้ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวในประเทศไทยที่มีระยะการเจริญของเมล็ดที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 ระยะ ได้แก่ 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน และได้สรุปไว้ว่าข้าวหอมมะลิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่าในข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยในข้าวขาวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่ระหว่าง 25-35 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/100กรัม และมีแนวโน้มที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะลดลงเมื่อเมล็ดข้าวมีการพัฒนาระยะการเจริญของเมล็ดมากขึ้น อีกทั้งยังพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Lin และ Lai (2011) และ Shao และคณะ (2014) ซึ่งได้รายงานไว้ว่าข้าวขาวที่มีระยะการเจริญของเมล็ดในระยะแรกนั้นจะประกอบไปด้วยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูง และต่อมาจะลดลงจนกระทั่งเมล็ดข้าวเจริญเต็มเมล็ด จากผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ขั้นตอนในการสกัดสารสำคัญจากตัวอย่างที่แตกต่างกันอาจสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายถึงผลการทดลองที่แตกต่างกันได้ กล่าวคือจากงานวิจัยที่ได้ยกตัวอย่างมาข้างต้นนั้นได้ทำการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากข้าวโดยแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ free, free/conjugated และ bound phenolics (Shao *et al.,* 2014) ในงานวิจัยของ Lin และ Lai (2011) พบว่าประเภทของสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากในข้าวขาวเป็น insoluble-bound phenolic ซึ่งจะมีปริมาณของ insoluble-bound phenolic สูงที่สุดในวันที่ 6 หลังจากการออกดอก และจะค่อยๆลดลงตั้งแต่วันที่ 6 ถึงวันที่ 8 ภายหลังการออกดอก ในการพัฒนาของเมล็ดข้าวสำหรับ insoluble-bound phenolic พบว่ามี ferulic acid เป็นองค์ประกอบหลัก ตามด้วยกรด *p*-coumaric โดย ferulic acid เป็นโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างสายโพลิแซคคาไรด์ด้วยกันเองหรือเป็นตัวเชื่อมระหว่างสายโพลิแซคคาไรด์กับลิกนิน ทำให้เกิดโครงข่ายของผนังเซลล์ที่แข็งแรง (Lin and Lai, 2011, Shao *et al.,* 2014, Wang *et al.,* 2015, Zhou *et al.,* 2004) นอกจากนี้ในข้าวขาว ข้าวดำ และข้าวแดงนั้น มีเพียงข้าวดำเท่านั้นที่มีองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานิน ซึ่งอาจเป็นสารที่ทำให้เกิดสีของข้าวที่ได้รับมาจากการสะสมของสารแอนโทไซยานิน โดยในข้าวดำสามารถพบอนุพันธุ์ของแอนโทไซยานินอยู่ 3 ชนิดคือ cyanidin, cyanidin-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside (He and Giusti, 2010, Jiamyangyuen *et al.,* 2017, Min *et al.,* 2012, Shao *et al.,* 2014, Zhang *et al.,* 2015)

จากผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้สามารถนำมาใช้ในการคัดเลือกข้าวที่มีความเหมาะสมที่สุดที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่สูง ข้าวหอมมะลินั้นไม่ได้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับจุดประสงค์นี้เนื่องจากมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพน้อย จากผลการทดลองการใช้เหตุผลสามข้อที่จะกล่าวดังต่อไปนี้อาจถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายความแตกต่างในข้อมูลของผลการวิจัยนี้ เหตุผลประการแรกคืออิทธิพลของปัจจัยทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในองค์ประกอบและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในสายพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยของ Ti และคณะ (2014) ได้รายงานไว้ว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสายพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน ซึ่งข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีความแตกต่างกันของสารพฤกษเคมีที่ทำให้เกิดความหลากหลายของสายพันธุ์ข้าว นอกจากนี้สภาพแวดล้อมก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในพืช เหตุผลประการที่สอง คือ กระบวนการขัดสีข้าวนับเป็นขั้นตอนสำคัญที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวและเกษตรกรในเชิงพาณิชย์ใช้ในการกำจัดน้ำมัน เปลือกข้าว และรำข้าว มีหลักฐานมากมายที่แสดงให้เห็นว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆมีอยู่ในส่วนของเปลือกข้าว และรำข้าวเป็นจำนวนมาก และยังมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงมาก นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุที่คงอยู่ในจมูกข้าวและส่วนเปลือกชั้นนอกของข้าว เพราะฉะนั้นการขัดสีข้าวอาจส่งผลให้สารอาหารเหล่านี้ลดลง ดังนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต้านอนุมูลอิสระของข้าวหอมมะลิ(ข้าวขัดสี) จึงมีปริมาณต่ำกว่าข้าวไร่พันธุ์สามเดือน(ข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี) และเหตุผลประการที่สาม คือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่จัดเป็นข้าวดำที่ประกอบไปด้วยรงควัตถุ ข้าวที่มีรงควัตถุจะมีสารพฤกษเคมีปริมาณสูงกว่าข้าวที่ไม่มีรงควัตถุ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim และคณะ (2014) ที่ได้มีการรายงานไว้ว่าการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระพบว่าเมล็ดข้าวดำมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเมล็ดข้าวขาว นอกจากนี้ยังพบว่าแอนโทไซยานินมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีมากในเมล็ดข้าวดำ ดังนั้นจึงนำไปสู่การคาดการณ์ว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวหอมมะลิ และข้าวไร่พันธุ์สามเดือน

## 4.3 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

### 4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

จากการศึกษาปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ปริมาณความชื้น และ Water activity ของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด

| ตัวอย่างข้าว | ปริมาณความชื้น (%db) | Water activity ($A_w$) |
|---|---|---|
| SD15 | $5.30 \pm 0.46^{a}$ | $0.18 \pm 0.03^{a}$ |
| SD20 | $4.89 \pm 0.50^{ab}$ | $0.17 \pm 0.03^{a}$ |
| SD25 | $4.77 \pm 0.44^{ab}$ | $0.16 \pm 0.03^{ab}$ |
| SD30 | $4.57 \pm 0.25^{ab}$ | $0.16 \pm 0.03^{ab}$ |
| RB | $3.47 \pm 0.10^{c}$ | $0.09 \pm 0.01^{b}$ |
| HL | $4.12 \pm 0.05^{bc}$ | $0.09 \pm 0.02^{b}$ |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่แตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความชื้นและ $A_w$ ของโจ๊กกึ่งสำร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ดพบว่ามีความชื้นอยู่ระหว่าง 3.47 – 5.3 % และปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.09 – 0.18 โดยข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญของเมล็ด 15 วันมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดคือ 5.3 % ทั้งนี้ยังมีปริมาณน้ำอิสระสูงสุดคือ 0.18 ตามด้วยข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 20, 25 และ 30 วัน มีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 4.57 – 4.89 % ปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.16-0.17 และตามด้วยข้าวหอมมะลิมีปริมาณความชื้นอยู่ที่ 4.12 % ปริมาณน้ำอิสระ 0.09 และพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดคือ 3.47 % มีปริมาณน้ำอิสระ 0.09 โดยจากผลการทดลองจะสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อย ค่าปริมาณน้ำอิสระจะลดลงตามไปด้วย ค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป จากผลการทดลองค่าความชื้นของตัวอย่างผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้ทั้งหมดนั้นมีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 ซึ่งตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป (มอก. 315-2548) นอกจากนี้ยังอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนโจ๊กข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ที่ได้กำหนดไว้ว่า ถ้าความชื้นของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจะต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 (มอช. 687/2547) โดยค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 10 นี้จะสามารถเก็บได้นาน เนื่องจากแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญได้ที่ความชื้นสูงกว่าร้อยละ 30 ส่วนเชื้อราสามารถเจริญได้ที่ความชื้นสูงกว่าร้อยละ 12 (สมโภชน์ ใหญ่เอี่ยม และคณะ, 2547)

**4.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ**

จากการศึกษาความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด

| ตัวอย่างข้าว | ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ |
|---|---|
| SD15 | $9.35 \pm 0.13^{b}$ |
| SD20 | $9.15 \pm 0.24^{b}$ |
| SD25 | $9.46 \pm 0.49^{b}$ |
| SD30 | $9.74 \pm 0.34^{ab}$ |
| RB | $5.20 \pm 0.11^{c}$ |
| HL | $10.28 \pm 0.01^{a}$ |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

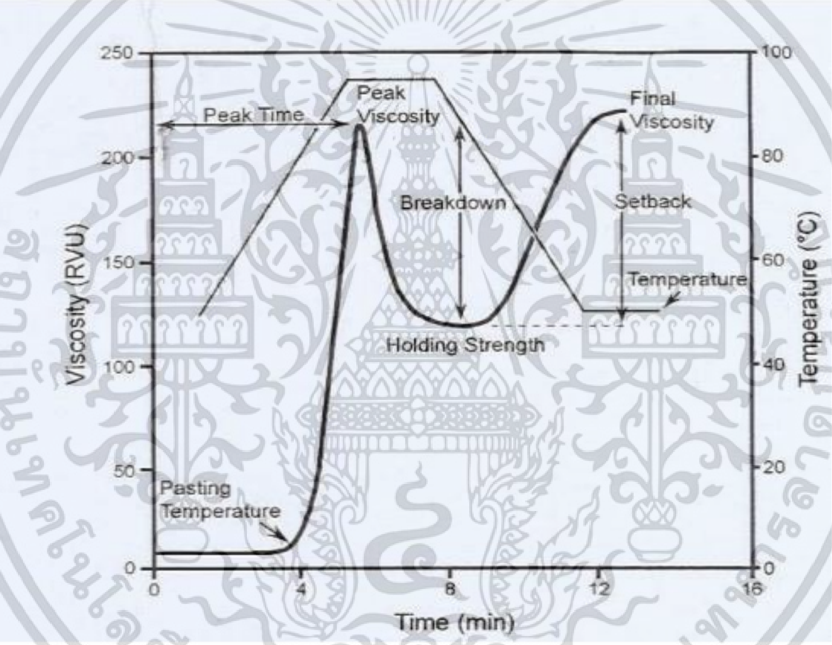
จากตารางที่ 4.4 แสดงความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กกึ่งสำร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปทั้งหมดมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับระหว่าง 5.20 ถึง 10.28 เท่า โดยที่ข้าวหอมมะลิมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับสูงที่สุด คือ 10.28 ตามด้วย ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 30, 25, 15 และ 20 วัน ตามลำดับ และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับน้อยที่สุด คือ 5.20 เมื่อพิจารณาผลของสายพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป พบว่าโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับสูงที่สุด ตามด้วยข้าวไร่พันธุ์สามเดือน และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับน้อยที่สุด

ค่าความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ (WAI) สามารถบ่งบอกถึงระดับการถูกทำลายของเม็ดสตาร์ชได้ โดยค่า WAI จะบ่งบอกถึงความสามารถในการพองตัวของสตาร์ช (Hagenimana *et al.,* 2006, Hashimoto and Grossmann, 2003) แป้งที่ผ่านกระบวนการพรีเจลาติไนซ์จะมีค่าการดูดกลืนน้ำกลับที่สูงกว่าแป้งดิบโดยขึ้นอยู่กับความรุนแรงของกระบวนการแปรรูปที่ใช้(Becker *et al.,* 2014) จากงานวิจัยของ Noosuk และคณะ(2005) รายงานไว้ว่าการพองตัวของเม็ดสตาร์ชเป็นผลเนื่องมาจากพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย และโมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ การที่มีอะมิโลสปริมาณมากในสตาร์ชข้าวจะช่วยเสริมให้อันตรกริยาระหว่างโมเลกุลภายในสตาร์ชมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลมีค่าลดลงและทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวทั้งสามสายพันธุ์ พบว่า โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิมีค่า WAI สูงที่สุด ตามด้วยข้าวไร่พันธุ์สามเดือน และข้าวไรซ์เบอร์รี่ เนื่องจากข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะมิโลสต่ำ ซึ่งทำให้อะมิโลเพคตินถูกทำลายด้วยความร้อน เกิดการแตกหักได้มากกว่าจึงมีค่า WAI สูง (Nakorn *et al.,* 2009) นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าค่าการดูดกลืนน้ำกลับมีค่าลดลงอย่างมากเนื่องมาจากปริมาณของสัดส่วนเยื่อใยที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณแป้งและการเพิ่มขึ้นของเยื่อใย (Singh *et al.,* 2007) จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่าข้าวไร่พันธุ์สามเดือน และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณเยื่อใยมากกว่าข้าวหอมมะลิ ส่งผลให้มีค่าการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปน้อยกว่าข้าวหอมมะลิที่มีปริมาณเยื่อใยต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Artz และคณะ (1990) ซึ่งรายงานไว้ว่าการลดลงของค่าความสามารถในการดูดกลืนน้ำจะลดลงเมื่อสัดส่วนของเยื่อใยอาหารต่อแป้งเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA)**

การวัดความหนืดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้เครื่อง RVA เป็นวิธีการวัดความหนืดอย่างรวดเร็วและใช้ตัวอย่างน้อย โดยเครื่องจะให้ความร้อนและแรงเฉือนในรูปแบบที่แน่นอนจากนั้นวัดความหนืดของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงผลเป็นกราฟดังตัวอย่างในรูปที่ 4.2 โดยมีค่าความหนืด อุณหภูมิ และเวลา ณ จุดต่างๆ ที่สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณลักษณะของตัวอย่างได้ เช่น ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด (peak time) ความหนืดลดลง (breakdown viscosity) ความคงทนต่อการกวน (holding strength) ความหนืดที่เพิ่มขึ้นอีกครั้ง (setback viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) โดนหน่วยของความหนืดสามารถวัดได้ทั้ง cP และ RVU




**ภาพที่ 4.2** ลักษณะกราฟความหนืดและค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

ที่มา : Lusas and Rooney (2001)

จากการศึกษาคุณสมบัติทางความหนืดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด โดยค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญบนกราฟความหนืดแสดงไว้ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** คุณสมบัติทางความหนืดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด

| Samples | RVA parameters | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Pasting temperature (˚C) | Peak viscosity (RVU) | Holding strength (RVU) | Final viscosity (RVU) |
| SD15 | 88.48 ± 0.60[a] | 47.46 ± 2.30[b] | 39.83 ± 2.24[c] | 73.79 ± 1.36[c] |
| SD20 | 88.08 ± 0.11[a] | 40.63 ± 1.94[b] | 32.17 ± 1.53[c] | 60.71 ± 3.59[d] |
| SD25 | 86.10 ± 1.63[a] | 49.33 ± 5.07[b] | 39.79 ± 2.89[c] | 74.75 ± 7.78[c] |
| SD30 | 82.75 ± 1.70[b] | 65.21 ± 0.18[b] | 52.29 ± 1.71[b] | 99.79 ± 0.06[b] |
| RB | 50.10 ± 0.00[c] | 203.00 ± 44.90[a] | 31.13 ± 1.71[c] | 42.38 ± 2.89[e] |
| HL | 50.13 ± 0.11[c] | 235.38 ± 22.21[a] | 69.54 ± 9.72[a] | 130.79 ± 7.25[a] |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่แตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สายพันธุ์ข้าว และสมบัติทางโครงสร้างของแป้ง เช่น ปริมาณอะมิโลส (amylose) และ อะมิโลเพคติน (amylopectin) เป็นต้น (Han and Hamaker, 2001) โดยพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting temperature) ของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ โดยค่า pasting temperature อยู่ในช่วง 82.75-88.48˚C สำหรับข้าวไร่พันธุ์สามเดือน ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสอยู่ที่ 19.5% (ร่วมจิตร นกเขา, 2559) และอยู่ในช่วง 50.10-50.13 สำหรับข้าวหอมมะลิ (ปริมาณอะมิโลส15.7-18.91% (Chueamchaitrakun *et al.,* 2011; Moongngarm, 2013)) และข้าวไรซ์เบอร์รี่(ปริมาณอะมิโลส 18.30% (Kraithong *et al.,* 2018)) ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่า สามารถอธิบายได้ว่า อาจเป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างอะมิโลสในข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้โมเลกุลอะมิโลสมีลักษณะโครงสร้างแบบเกลียวม้วน ส่งเสริมให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปในกลุ่มที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าจึงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะส่งผลต่อความหนืดสูงสุดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป โดยพบว่าค่าความหนืดสูงสุดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวในกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ จะมีแนวโน้มให้ค่าที่สูงกว่าโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวในกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่า เนื่องจากอะมิโลส สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมันได้ดีจึงยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชทำให้ค่าความหนืดจึงลดต่ำลง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2546) จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่าค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าต่ำที่สุดคือ 42.38 RVU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีค่าอยู่ที่ 60.71-99.79 RVU และโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิมีค่าสูงที่สุดคือ 130.79 RVU ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า สำหรับค่าความหนืดสุดท้ายคือค่าความหนืดที่เกิดขึ้นหลังจากที่ลดอุณหภูมิลงอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการศึกษาพบว่า Final viscosity ของข้าวแต่ละสายพันธุ์นั้นมีความแตกต่างกัน (Shafie *et al.,* 2016) และความแตกต่างกันระหว่างค่า Final viscosity และ Holding viscosity จะบอกถึงความคงตัวของสตาร์ชเรียกว่า Setback viscosity โดยค่า Final viscosity และค่า Setback viscosity มีความสัมพันธ์กับปริมาณของอะมิโลส (Kesarwani *et al.,* 2016) ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิด Final viscosity และ Set back viscosity คือเมื่อลดอุณหภูมิลงอะมิโลสที่ถูกปลดปล่อยจะเกิดการรวมตัวกันเรียกว่าการเกิดรีโทรกราเดชัน สตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีโอกาสเกิดรีโทรกราเดชันสูง เนื่องจากมีปริมาณของอะมิโลสที่ถูกปลดปล่อยสูง นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีเช่น ไขมัน โปรตีน เยื่อใยอาหาร และเถ้า มีผลทำให้แป้งข้าวมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยไขมัน ใยอาหารและเถ้า มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ Pasting temperature แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ peak viscosity และสำหรับแป้งข้าวขัดขาวมีค่า Final viscosity และ Setback viscosity สูงกว่าแป้งข้าวกล้อง เพราะแป้งข้าวขัดขาวมีใยอาหารน้อยแต่มีโปรตีนและไขมันหลงเหลืออยู่ องค์ประกอบเหล่านี้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเกิดรีโทรกราเดชัน (Vanderputte *et al.,* 2003)

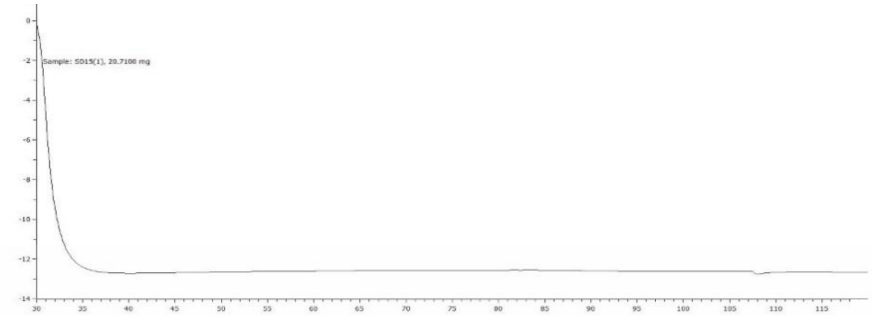
จากการศึกษาพบว่าค่าความหนืดที่แตกต่างกันนั้นขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในแป้งข้าว (Oko and Ugwu, 2011) จากงานวิจัยของ Kraithong และคณะ (2018) ได้รายงานไว้ว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงมีแนวโน้มที่จะให้ค่าความหนืดสูงสุด(peak viscosity) ความคงทนต่อการกวน (Holding strength) ที่ต่ำ แต่ให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting temperature) และความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ที่สูง ไม่เพียงแต่ปริมาณอะมิโลสเท่านั้นที่มีผลกับค่าความหนืดที่แตกต่างกันนี้ แต่ยังรวมถึงองค์ประกอบอื่น ๆอีก เช่น ไขมัน ที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืดที่เกิดขึ้นโดยผลของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากอะมิโลสและไขมัน จะช่วยส่งเสริมให้เกิดค่าความหนืดสุดท้ายที่สูง ในขณะเดียวกันสารประกอบเชิงซ้อนนี้ก็จะลดค่าความหนืดสูงสุดที่เกิดขึ้นด้วย(Alcazar-Alay and Meireles, 2015)

### 4.3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

จากการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[E] mW



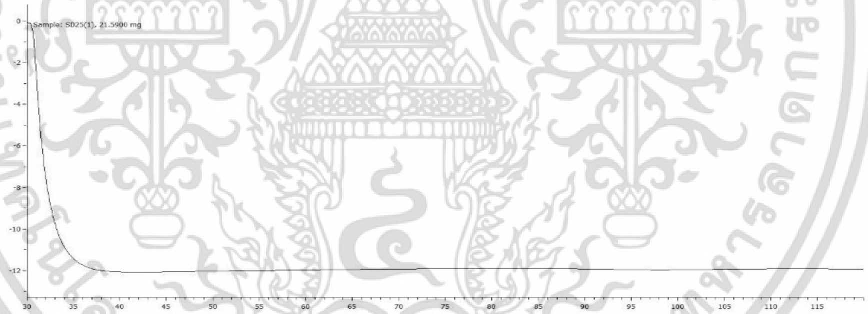

◦C

[F]

mW

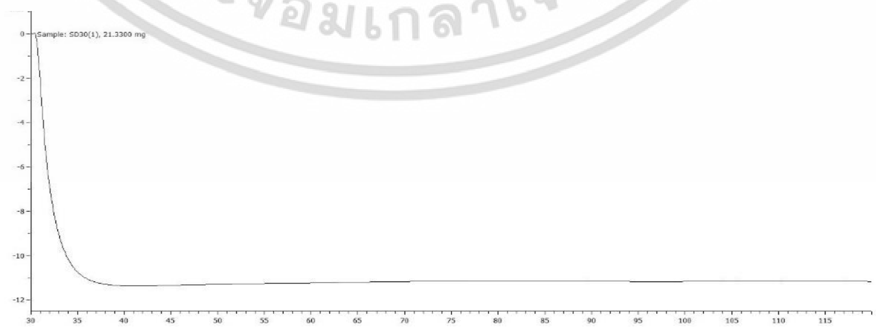
◦C

[C] mW




◦C

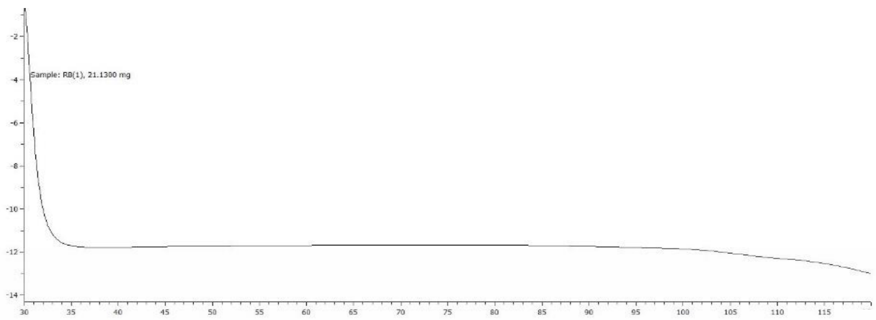
[D] mW




◦C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[E] mW




◦C

[F] mW

◦C

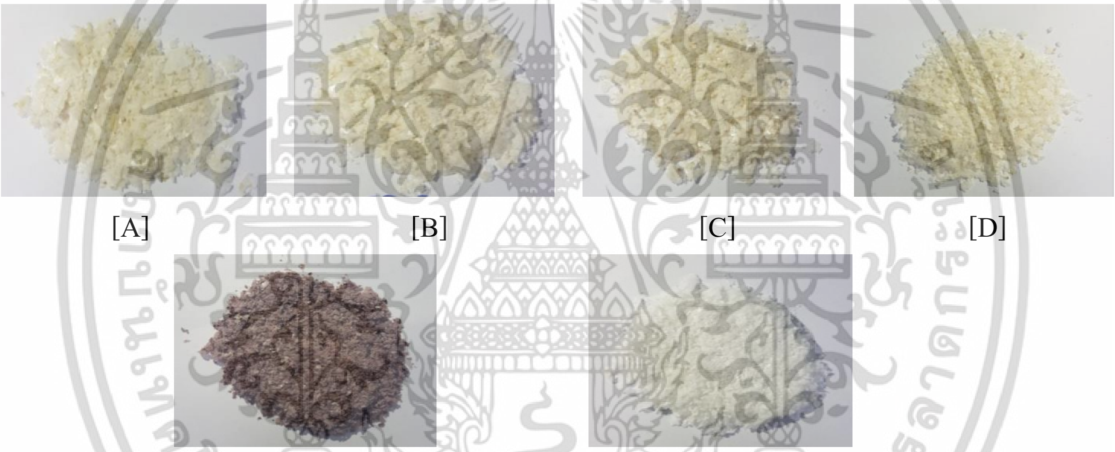
**ภาพที่ 4.3** พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15[A], 20[B], 25[C] และ 30[D] วัน และข้าวไรซ์เบอร์รี่[E] ข้าวหอมมะลิ[F]ที่เจริญเต็มเมล็ด

จากภาพที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง DSC พบว่าจากตัวอย่างข้าวทั้งหมดนั้นไม่พบการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยสังเกตได้ว่าไม่พบเส้นโค้งของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน จากงานวิจัยของ Srikaeo และคณะ (2010) ได้รายงานไว้ว่า เส้นโค้งการเปลี่ยนแปลงพลังงานแบบดูดพลังงานในช่วงอุณหภูมิ 50-80°C มักจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการเจลาติไนซ์ของสตาร์ช ดังนั้นจากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่าสตาร์ชในข้าวที่เป็นองค์ประกอบของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปได้ผ่านการเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.3.5 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป**

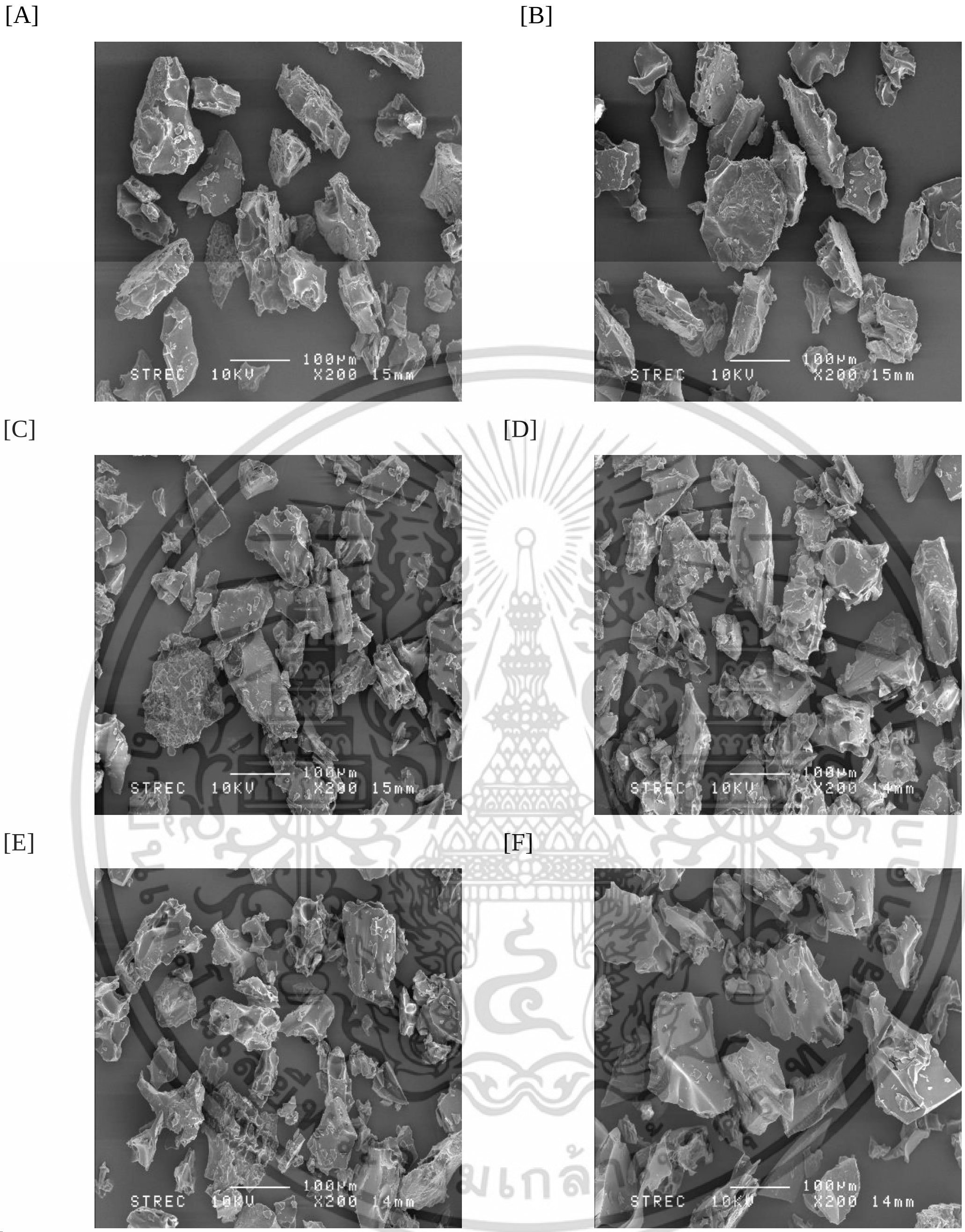
กระบวนการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกคู่นั้น วัตถุดิบจะมีการสัมผัสความร้อนโดยตงจากลูกกลิ้ง ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่น หรือเกล็ด สำหรับการอบแห้งโจ๊กข้าวไร่พันธุ์พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มีลักษณะเป็นเกล็ด โดยสังเกตเห็นได้ว่าข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วันมีส่วนที่เป็นสีขาวจากแป้งข้าว และส่วนที่เป็นสีเหลืองและเขียวจากส่วนของ Pericarp ที่เป็นองค์ประกอบในข้าวไร่พันธุ์สามเดือน (เนื่องจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนเป็นข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการขัดสีจึงยังคงมีส่วนของ Pericarp อยู่) ข้าวหอมมะลิได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกล็ดสีขาว และข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกล็ดสีม่วง ดังแสดงในภาพที่ 4.4




**ภาพที่ 4.4** โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15[A], 20[B], 25[C] และ 30[D] วัน และข้าวไรซ์เบอร์รี่[E] ข้าวหอมมะลิ[F]ที่เจริญเต็มเมล็ดโดยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก

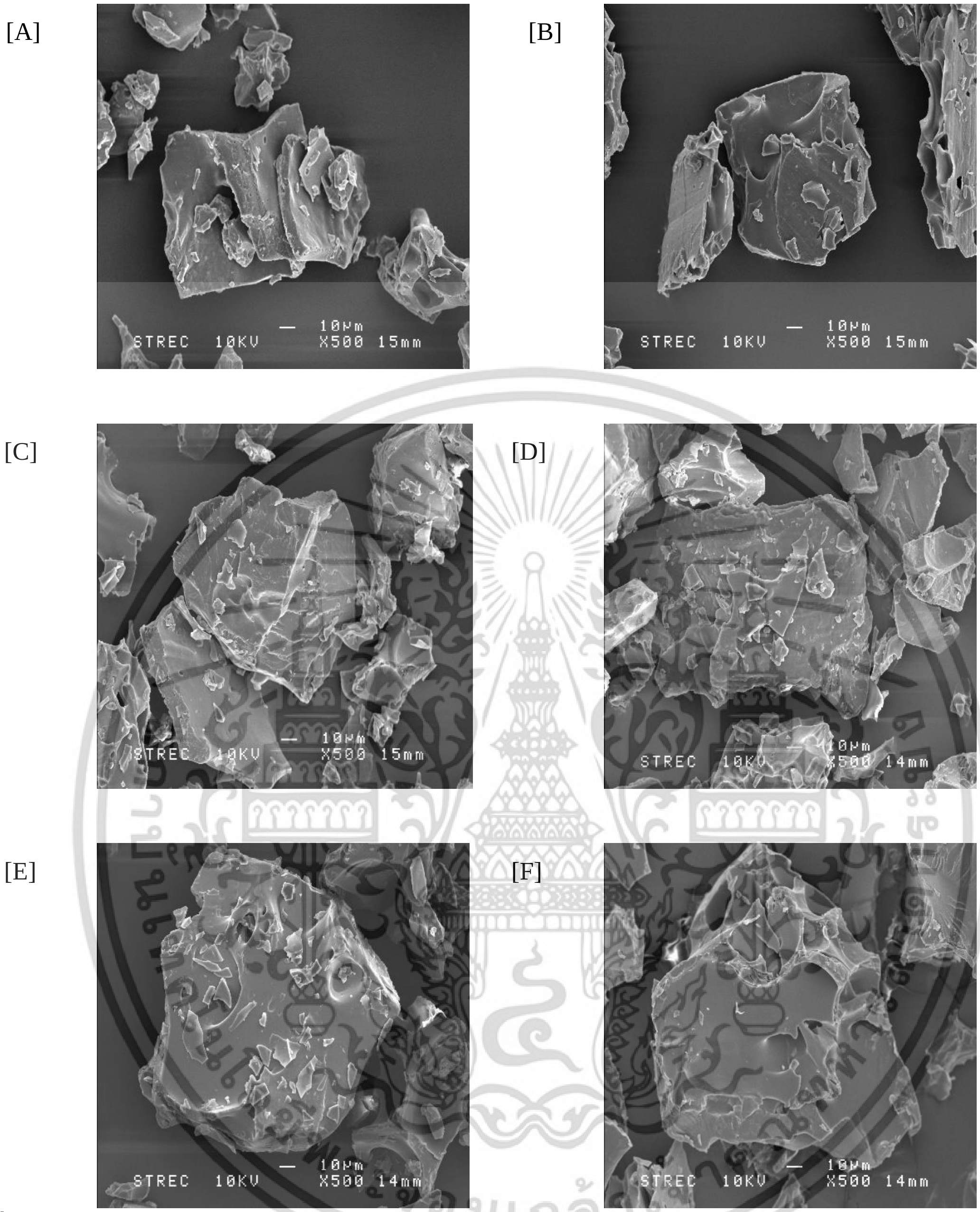
จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ดโดยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกสามารถสังเกตจากภาพถ่ายระดับจุลภาค Scanning Electron Micrograph ที่กำลังขยาย 200X magnification และ 500X magnification ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 4.5** Scanning Electron Micrograph ของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15[A], 20[B], 25[C] และ 30[D] วัน และข้าวไรซ์เบอร์รี่[E] ข้าวหอมมะลิ[F]ที่เจริญเต็มเมล็ด ที่กำลังขยาย 200X magnification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 4.6** Scanning Electron Micrograph ของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15[A], 20[B], 25[C] และ 30[D] วัน และข้าวไรซ์เบอร์รี่[E] ข้าวหอมมะลิ[F]ที่เจริญเต็มเมล็ด ที่กำลังขยาย 500X magnification

จากภาพที่ 4.5 และ 4.6 สามารถสังเกตเห็นลักษณะของกลุ่มเม็ดแป้งที่เกิดจากการรวมกันของเม็ดแป้งขนาดเล็กๆ โดยมีการสูญเสียลักษณะโครงสร้างของเม็ดแป้งไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเต็มเมล็ดได้เกิดการเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์ในระหว่างกระบวนการทำแห้งโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Yadav *et al.,* 2006) โดยลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกที่ปรากฏนั้นมีลักษณะโครงสร้างแบบลามินา (laminar structure) (Patindol *et al.,* 2012) จากงานวิจัยของ Yan และ Zhengbiao (2010) รายงานไว้ว่าลักษณะโครงสร้างของแป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกจะมีโครงสร้างแบบลามินา และมีการสูญเสียลักษณะของเม็ดแป้งไปอย่างสมบูรณ์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปมีอุณหภูมิสูง ทำให้เม็ดแป้งถูกทำลาย โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลจะถูกทำลายโดยความร้อน ซึ่งเป็นผลให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์และเกิดการทำลายโครงสร้างส่วน crystallite ของเม็ดแป้งไป นอกจากนี้ยังมีการรายงานอีกว่าจากการสูญเสียโครงสร้างของเม็ดแป้งจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมานั้นมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำได้ดีมากยิ่งขึ้น (Sabeetha *et al.,* 2017)

**4.3.6 การศึกษาปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch)**

จากการศึกษาปริมาณสตาร์ชทั้งหมดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด(Total starch)ของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด

| ตัวอย่างข้าว | ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด |
|---|---|
| SD15 | $82.15 \pm 0.10^{a}$ |
| SD20 | $79.65 \pm 0.23^{bc}$ |
| SD25 | $77.10 \pm 1.00^{d}$ |
| SD30 | $78.15 \pm 0.93^{cd}$ |
| RB | $70.61 \pm 0.61^{e}$ |
| HL | $80.78 \pm 0.36^{ab}$ |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่แตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch) ของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ด พบว่าโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีปริมาณ total starch อยู่ระหว่าง 77.10 – 82.15 % มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Friei และคณะ (2003) ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณ total starch ของข้าวไร่ที่อยู่ในลักษณะของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการขัดสี พบว่ามีปริมาณ total starch อยู่ที่ 72.0 – 82.0 % สำหรับโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวหอมมะลิพบว่ามีปริมาณ total starch 80.78 % ซึ่งมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Hu และคณะ (2004) ที่ได้ทำการศึกษาหาปริมาณ total starch ของข้าวขาวขัดสีพบว่ามีค่าเท่ากับ 83.0 % และงานวิจัยของ Moongngarm Anuchita (2013) ศึกษาปริมาณ total starch ของข้าวหอมมะลิที่ผ่านการขัดสี โดยรายงานปริมาณ total starch ไว้ที่ 73.78 % และปริมาณ total starch ของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าเท่ากับ 70.61 % ซึ่งค่าที่ได้พบว่ามีค่าไปในแนวโน้มเดียวกันกับงานวิจัยของ An และคณะ (2016) ที่รายงานปริมาณ total starch ของข้าวดำว่ามีปริมาณอยู่ที่ 69.88 %

โดยจากงานวิจัยของ Moongmgarm Anuchita (2013) กล่าวว่าในตัวอย่างข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสน้อยกว่า จะมีปริมาณของ total starch สูงกว่าในตัวอย่างข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสมากกว่า ยกตัวอย่างจากผลการทดลองในงานวิจัยดังกล่าวคือ ในตัวอย่างข้าวเหนียวได้ระบุว่ามีปริมาณอะไมโลสต่ำที่สุดจากตัวอย่างข้าวทั้งหมดคือ 2.13 % ในขณะที่ข้าวเหลือง 11 มีปริมาณอะไมโลสสูงที่สุดคือ 29.76 % พบว่าข้าวเหนียวมีปริมาณ total starch 74.76 % และข้าวเหลือง 11 มีปริมาณ total starch อยู่ที่ 68.57 % จากรายงานดังกล่าวข้างต้นอาจอธิบายได้ถึงผลของปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ข้าว ทำให้มีผลต่อปริมาณ total starch ที่แตกต่างกัน

สตาร์ช (Starch) เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งพบสะสมมากอยู่ในเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยโพลีแซคคาร์ไรด์สองชนิด คือ อะมิโลส และอะมิโลเพคติน ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งในแง่โครงสร้าง และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (Amagliani *et al,*. 2016) สตาร์ชของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ จะมีสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ลักษณะความหนืด การเกิดเจลาติไนเซชัน และเนื้อสัมผัสของเจลแตกต่างกันตามสายพันธุ์ข้าว สตาร์ชมีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร โดยสตาร์ชจะทำหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับอาหารในด้านเนื้อสัมผัส ความชื้น ความข้นหนืด ความคงตัว นอกจากนี้ยังมีการใช้สตาร์ชในการเป็นสารทดแทนไขมัน (Cheryl R. Mitchell, 2009) และในเชิงคุณค่าทางอาหารของสตาร์ช โดยทั่วไปสตาร์ชจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามอัตราและระยะเวลาในการย่อย ได้แก่ สตาร์ชที่สามารถถูกย่อยได้อย่างรวดเร็ว สตาร์ชที่ถูกย่อยได้อย่างช้า ๆ และสตาร์ชทนย่อยต่อเอนไซม์ จากการศึกษาพบว่าสตาร์ชทนย่อยสามารถพบได้ในอาหารธรรมชาติทั้งแบบดิบ และที่ผ่านการแปรรูปแล้ว โดยพบว่าสตาร์ชทนย่อยสามารถเกิดได้จากโครงสร้างของเม็ดแป้งที่แตกในขณะที่เกิดกระบวนการเจลาติไนเซชันของแป้ง โดยการให้ความร้อนในปริมาณน้ำที่มากเพียงพอ หลังจากที่ระบบเย็นตัวลงการจับกันใหม่ของสายโมเลกุลอะมิโลส และอะมิโลเพคตินจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (retrogradation) เทคนิคการแปรรูปต่าง ๆ จะส่งผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันในขณะที่เทคนิคการทำให้เย็น การทำให้สุกแล้วตามด้วยการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เย็นหลาย ๆ รอบล้วนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณสตาร์ชประเภททนย่อย ซึ่งจากงานวิจัยในครั้งนี้ขั้นตอนในกระบวนการแปรรูปโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่สามารถเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย สตาร์ชทนย่อยจัดเป็นอาหารที่มีใยอาหารสูง ทำให้ระบบการย่อย และการเผาผลาญกลูโคสได้ช้าลง จึงส่งผลดีต่อลำไส้ใหญ่ ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ ลดคอเรสเตอรอลไตรกลีเซอไรด์ (ธนาภร รติธรรมธร, 2560)

### 4.3.7 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปในการทดลองครั้งนี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15 วันมาใช้ในการทดสอบเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นหอมโดดเด่นจากโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 20, 25 และ 30 วัน ซึ่งสารที่ให้กลิ่นรสที่เป็น key odorant ที่สำคัญในข้าวก็คือ 2-Acetyl-1-pyrroline (2AP) ซึ่งจะมีลักษณะกลิ่นหอมคล้ายใบเตย (Jezussek *et al.*, 2002) โดยข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่นำมาใช้ในการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปนี้มีลักษณะอยู่ในรูปของข้าวกล้อง ซึ่งจากงานวิจัยของ Wei และคณะ (2017) ได้กล่าวไว้ว่าในข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการขัดสีจะสามารถพบ 2AP ได้มากกว่าในข้าวขาวที่ผ่านกระบวนการขัดสี ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ปัจจุบันข้าวไรซ์เบอร์รี่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการที่สูงรวมถึงข้าวไรซ์เบอร์รี่เองก็มีกลิ่นที่มีความเฉพาะตัวอยู่เช่นเดียวกัน จากงานวิจัยของ Yang และคณะ (2008) ได้รายงานไว้ว่าข้าวดำนั้นมีสารประกอบให้กลิ่นที่สำคัญเป็น key odorant อยู่สองตัวด้วยกัน คือ 2-AP และ guaicol จึงทำให้ข้าวดำมีกลิ่นที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว และข้าวหอมมะลิที่ถือได้ว่ามีชื่อเสียงเป็นอย่างมากในเรื่องของลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่มและกลิ่นหอมที่มีความโดดเด่นจึงเป็นตัวอย่างที่ดีของสายพันธุ์ข้าวที่ให้กลิ่นหอมโดยมีเอกลักษณ์ของกลิ่นได้เป็นอย่างดี (Lahakunjit and Kerdchoechuen, 2007)

การเตรียมตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเพื่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสทำโดย นำโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิ มาคืนรูป โดยการละลายตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปในน้ำร้อนอุณหภูมิ 92 ± 1°C อัตราส่วนโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปต่อปริมาณน้ำเท่ากับ 1 : 11 น้ำหนัก/ปริมาตร โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 30 คน ทำการประเมินความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้บริโภคในทุกด้านของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปแสดงไว้ดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.7** ค่าเฉลี่ยคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด

| Sensory parameters | Sample | | |
|---|---|---|---|
| | SD 15 | RB | HL |
| สี$^{ns}$ | 3.73 ± 0.83 | 3.60 ± 1.00 | 3.47 ± 1.01 |
| กลิ่น$^{ns}$ | 3.37 ± 0.76 | 3.43 ± 0.94 | 3.30 ± 0.53 |
| รสชาติ$^{ns}$ | 3.10 ± 1.03 | 3.07 ± 1.05 | 2.80 ± 0.85 |
| เนื้อสัมผัส | 2.67 ± 0.96$^{b}$ | 3.13 ± 1.17$^{ab}$ | 3.23 ± 0.77$^{a}$ |
| ความชอบโดยรวม$^{ns}$ | 3.13 ± 0.78 | 3.30 ± 1.18 | 3.00 ± 0.74 |

**หมายเหตุ** ตัวอักษรที่กำกับในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลค่าเฉลี่ยคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสต่อโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆได้แก่ ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะเจริญของเมล็ด 15 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด จากผลการทดลองพบว่าคะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากโจ๊กข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิ ที่เจริญเต็มเมล็ดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และคะแนนการยอมรับของเนื้อสัมผัสพบว่าข้าวหอมมะลิมีคะแนนสูงที่สุด ลำดับถัดมาคือข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 30 วันมีผลคะแนนการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด โดยผลคะแนนการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากงานวิจัยนี้อยู่ในระดับเฉย ๆ ทั้งนี้เนื่องจากโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดสอบนั้นยังไม่มีการปรุงแต่ง

จากผลการทดสอบด้านคุณลักษณะของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ลักษณะของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองมีคุณลักษณะที่ต้องการตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป มาตรฐานเลขที่ มอก. 315-2548 โดยมีระละเอียดดังนี้ โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวผ่านกระบวนการทำให้สุก และทำให้แห้ง มีลักษณะเป็นเม็ดหรือเกล็ดเล็ก ๆ พร้อมเครื่องปรุงแต่งกลิ่นรสต่าง ๆ อาจผสมเนื้อสัตว์หรือผักที่ทำให้สุกและแห้งแล้ว โดยรักษาคุณภาพและกลิ่นรสของส่วนประกอบไว้ได้ ทำให้สุกรับประทานได้ในระยะเวลาสั้นไม่เกิน 10 นาที โดยมีคุณลักษณะที่ต้องการคือ ลักษณะทั่วไปของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปต้องมีสีและกลิ่นตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้และไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ลักษณะเนื้อและกลิ่นรส เมื่อปรุงตามวิธีที่ระบุไว้ที่ฉลากแล้ว ต้องสุกและมีกลิ่นรสตามส่วนประกอบที่ใช้ ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก และโปรตีน ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่5
# สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งผลิตจากข้าวที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วันซึ่งไม่ผ่านการขัดสี ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านการขัดสี และข้าวหอมมะลิที่ผ่านการขัดสีที่เจริญเต็มเมล็ด พบว่าตัวอย่างข้าวที่นำมาใช้ในการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกัน รวมถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองที่แตกต่างกันอีกด้วย โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

**ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี**

ผลขององค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างข้าวที่นำมาทำการทดลองพบว่า ปริมาณเถ้ามีความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์โดยพบว่าผลของปริมาณเถ้า และปริมาณไขมันมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ ในข้าวไรซ์เบอร์รี่พบปริมาณเถ้า และไขมันสูงที่สุดคือ 1.61% และ 3.04% ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดทั้ง 4 ระยะซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.22% และ2.55-2.97% ตามลำดับ สำหรับข้าวหอมมะลิพบปริมาณเถ้า และไขมันน้อยที่สุดคือ 0.43% และ 1.55% ตามลำดับ ปริมาณเยื่อใยอาหารที่ได้จากการทดลองจะพบว่าข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ดทั้ง 4 ระยะมีปริมาณเยื่อใยอาหารสูงที่สุด คือ 1.51-1.70% ตามด้วยข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณเยื่อใยอาหารอยู่ที่ 1.46% และข้าวหอมมะลิมีปริมาณเยื่อใยอาหารต่ำที่สุดคือ 0.72% และในส่วนของปริมาณโปรตีนในตัวอย่างข้าวนั้นพบว่าปริมาณโปรตีนของตัวอย่างข้าวทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

**สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ**

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างข้าวที่นำมาทดสอบพบว่า สายพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน แต่ไม่พบความแตกต่างกันของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างระยะการเจริญของเมล็ดข้าว โดยพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด คือ 5.50 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัม ตามด้วยข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 1.45-1.53 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัม และข้าวหอมมะลิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุดคือ 0.71 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัม สำหรับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบในตัวอย่างข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คุณภาพของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป**

- ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นในตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่นำมาทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 3.47-5.3 % และปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.09-0.18 โดยจากปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองมีค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปผ่านตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

- ความสามารถในการดูดน้ำกลับของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

สำหรับความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองพบว่า ข้าวหอมมะลิมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับสูงที่สุด คือ 10.28 รองลงมาคือ ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 9.15-9.74 และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับได้น้อยที่สุดอยู่ที่ 5.20

- คุณสมบัติด้านความหนืดของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

การตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) พบว่าคุณสมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปมีความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ข้าว และผลของสมบัติทางโครงสร้างของแป้ง ที่ส่งผลให้กราฟของความหนืดมีความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ข้าว

- คุณสมบัติทางความร้อนของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

การตรวจสอบด้านคุณสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC พบว่า DSC thermogram ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปทั้งหมดที่นำมาทดสอบนั้นตรวจไม่พบการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวนั้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการเจลาติไนซ์ของสตาร์ชข้าวที่เป็นองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์โจ๊ก แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ใช้วิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Drum dryer) ทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ไปอย่างสมบูรณ์

- ลักษณะโครงสร้างของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

การศึกษาลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากภาพถ่ายระดับจุลภาคพบว่า ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองนั้นมีการสูญเสียลักษณะโครงสร้างของเม็ดแป้งไปแล้ว โดยลักษณะโครงสร้างของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกนั้นมีลักษณะโครงสร้างแบบลามิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ และสูญเสียโครงสร้างไปเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงที่ใช้ในการแปรรูป

- ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณ Total starch ของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองพบว่าโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีปริมาณ Total starch อยู่ระหว่าง 77.10-82.15% ข้าวหอมมะลิมีปริมาณ Total starch อยู่ที่ 80.78% และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณ Total starch เท่ากับ 70.61% ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าปริมาณ Total starch ที่แตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ข้าวนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ข้าว เช่น ปริมาณอะมิโลสที่แตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ข้าวส่งผลต่อปริมาณ Total starch ที่แตกต่างกัน

- ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปได้จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้บริโภคในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมนั้นไม่พบความแตกต่างของคะแนนการยอมรับระหว่างสายพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง และสำหรับคะแนนการยอมรับของเนื้อสัมผัสพบว่าข้าวหอมมะลิมีคะแนนสูงที่สุด โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปทั้งหมดที่ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสนั้นมีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับเฉย ๆ

**ข้อเสนอแนะ**

1. ในกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก อุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งจะมีความไม่คงที่อยู่ เพราะฉะนั้นจึงควรมีการตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งก่อนผลิตอยู่เสมอ

2. ควรทำการติดตั้งช่องป้อนผลิตภัณฑ์ที่เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก เพื่อให้การผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และป้องกันอันตรายจากการที่จะต้องป้อนผลิตภัณฑ์ใส่เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกด้วยผู้ปฏิบัติการ

3. ควรมีการพัฒนาการการสกัดสารสำคัญจากตัวอย่างข้าวที่แตกต่างออกไปจากงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาถึงผลของวิธีการสกัดต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถวิเคราะห์ได้

4. ควรมีการศึกษาต่อยอดพัฒนาโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวไร่พันธุ์สามเดือนโดยมีการตรวจสอบในเรื่องของคุณสมบัติในด้านการย่อย เพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพเนื่องจากข้าวไร่เป็นข้าวที่สามารถเพาะปลูกได้ทั้งปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมวัน สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพ ฯ.

ธนาภรณ์ รติธรรมธร. 2560. แป้งต้านทานการย่อย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. ปีที่ 22(1): 166-176.

พรพิมล มะยะเฉียว. 2557. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวผสมถั่วกึ่งสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพ. ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณพ.ศ. 2557. มหาวิทยาลัยทักษิณ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2546. การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. รายงานการวิจัยตีพิมพ์ลงหนังสือสัมมนาวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. 1-4 กุมภาพันธ์ 2546. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

ร่วมจิตร นกเขา. 2559. ข้าวไร่ Upland rice ; ข้าวเจ้าพันธุ์สามเดือน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://upland-rice.blogspot.com/2016/03/upland-rice1_46.html. 1 พฤษภาคม 2561.

สมโภชน์ ใหญ่เอี่ยม, ช่อลัดดา เที่ยงพุก, วัฒนา วิริวุฒิกร และ จารุวรรณ ศิริพรรณพร. 2547. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูป. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 34: 240-246.

โสรยา เกิดพิบูลย์. 2555. ผลของสมบัติเชิงวิทยากระแสของโจ๊กข้าวฮางที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตราฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป. 689/2547.

สำนักงานมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2549. มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป. 315-2548.

อนันต์ สกุลกิม. 2551. อนุมูลอิสระ สารอันตรายต่อสุขภาพและร่างกาย. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 8(1): 28-33.

AACC. 2008. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th edn., St. Paul, MN.

Alcazar-Aly, S.C., Meireles, M.A.A. 2015. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. Food Science Technology. 35: 215-236.

Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L. and O'Mahony, J. A. 2016. Chemistry, structure, functionality and applications of starch. Journal of Cereal Science. 70: 291-300



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An, J.S., Bae, I.Y., Han, S.I., Lee, S.J. and Lee, H.G. 2016. In vitro potential of phenolic phytochemicals from black rice on starch digestibility and rheological behaviors. Journal of Cereal Science. 70: 214-220.

AOAC. 2005. Official Mrthods of Analysis (18th edition) Association of Official Analytical. Chemists International. Maryland. USA.

Arendt, E. K. and Zannini, E. 2013. Cereal grains for the food and beverage industries. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, p. 114

Artz, W.E., Warren, C. and Villota, R. 1990. Twin-Screw Extrusion Modification of a Corn Fiber and Corn Starch Extrude Blend. Journal of Food Science. 55(3): 746-750.

Asaduzzaman, Md., Haque, Md.E., Rahman, J., Hasan, S.M., Ali, M.A., Akter, S. and Ahmed, M. 2013. Comparisons of physiochemical, total phenol, flavonoid content and functional properties in six cultivars of aromatic rice in Bangladesh. African Journal of Food Science. 7(8): 198-203.

Babich, H., Schuck, A.G., Weisburg, J.H.and Zuckerbraun, H.L. 2011. Research Strategies in the Study of the Pro-Oxidant Nature of Polyphenol Nutraceuticals. Journal of Toxicology. 1-12.

Bagchi, D., Joshi, S.S., Bagchi, M., Balmoori, J., Benner, E.J., Kuszynski, C.A., Stohsm, S.J. 2000. Cadmium- and chromium- induced oxidative stress, DNA damag, and apoptotic cell death in cultured human chronic myelogenous leukemic K562 cells, promyelocytic leukemic HL-60 cells, and normal human peripheral blood mononuclear cells. Journal of Biochemical and Molecular Toxicology. 14: 33-41.

Becker, F.S., Eifert, E.D.C. Soares, M.S.J. Tavares, J.A.S. and Carvalho, A.V. 2014. Physical and functiona evaluation of extrude flours obtained from different rice genotypes. Science and Agrotechnology. 38(4): 367-374.

Benzie, I.F.F. and Strain, J.J. 1996. The feric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Analytical Biochemistry. 239: 70-76.

Buttery, R.G., Ling, L.C. and Julino, B.O. 1982. 2-acetyl-1-pyrroline: an important aroma component of cppked rice. Chem Ind23:958.

Chandrasekkara, A. and Shahidi, F. 2010. Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 58: 6706-6714.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cheng, J.C., Dai, F., Zhou, B., Yang, L. and Liu, Z.L. 2007. Antioxidant activity of hydroxycinnamic acid derivatives in human low density lipoprotien: Mechanism structure-activity relationship. Food Chemistry. 140: 132-139.

Cheryl, R.M. 2009. Rice starches: Production and Properties, Starch: Chemistry and Technology (BeMiller, J. and Whistler, R. ed.). Food Science and Technology International Series. P.569-578.

Chueamchaitrakun, P., Chompreeda, P. and Haruthaithanasan, V. 2011. Physical properties of butter cake made from mixed Hom-Mali and glutinous rice flours. Kasetsart Journal-Natural Science. 45: 295-304.

Dykes, L. and Rooney, W. 2007. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits. Cereal Foods World. 52: 105-111.

Eggum, B.O., Juliano, B.O. and Maningat, C.C. 1982. Protein and energy utilization of rice milling fractions by rats. Plant Food for Human Nutrition (Qualitas Plantarum). 31: 371-374.

FAO/WHO. 1998. Obesity: Preventing and managing global epidemic. WHO technical report, Geneva, Switzerland: 11-12.

Frei, M., Siddhuraju, P. and Becker, K. 2003. Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. Food Chemistry. 83: 395-402.

Hagenimana, A., Ding, X. and Fang, T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. Journal of Cereal Science. 43: 38-46.

Halliwell, B. 2007. Biochemistry of antioxidative stress. Biochemical Society Transactions. 35(5): 1147-1150.

Han, X.Z. and Hamaker, B.R. 2001. Amylopectin Fine Structure and Rice Starch Paste Breakdown. Journal of Cereal Science. 34: 279-284.

Hashimoto, J.M. and Grossmann, M.V.E. 2003. Effect of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. International Journal of Food Science and Technolgy. 38: 511-517.

He, J., Giusti, M.M. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. Annu. Rev. Food Sci. Technol. 1: 163-187.

Hu, P., Zhao, H., Duan, Z., Linlin, Z. and Wu, D. 2004. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. Journal of Cereal Science. 40: 231-237.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jezussek, M., Juliano, B.O. and Schieberle, P. 2002. Comparison of key aroma Compounds in cooked brown rice varieties based on aroma extract dilution analyses. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 1101-1105.

Jiamyangyuen, S., Nuengchamnang, N. and Ngamdee, P. 2017. Bioactivity and chemical components of Thai rice in five stages of grain development. Journal of Cereal Science. 74: 136-144.

Jittanit, W., Lalitmassakul, C. and Charn-Utsar, P. 2012. Quality of Instant Congee and Energy Consumption in the Drying Process by Using Drum Dryer. The Journal of KMUTNB. 22(2): 256-264.

Julino, B. O. and Bechtel, D.B. 1985. The rice grain and its gross composition, Rice: Chemistry and Technology (B.O. Juliano, ed.), American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, p. 17.

Kesarwani, A., Chiang, P. Y. and Chen, S. S. 2016. Rapid visco analyzer measurement of japonica rice cultivars to study interrelationship between pasting properties and farming system. International Journal of Agronomy.p. 1-6.

Kim, G.R., Jung, E.S., Lee, S., Lim, S.H., Ha, S.H., and Lee, C.H. (2014). Combined mass spectrometry-based metabolite profiling of different pigmented rice (Oryza sativa L.) seeds and correlation with antioxidant activities. Molecules. 19: 15673-15686.

Klaunig, J.E., Kamendulis, L.M. 2004. The Role of Oxidative Stress in Carcinogenesis. Annual Review of Pharmacology and Toxicology. 44: 239-267.

Kraithong, S., Lee, S. and Rawdkuen, S. 2018. Physicochemical and functional properties of Thai organic rice flour. Journal of Cereal Science. 79: 256-266.

Laohakunjit, N. and Kerdchoechuen, O. 2007. Aroma enrichment and the change during storage of non-aromatic milled rice coated with extracted natural flavor. Food Chemistry. 101: 339-344.

Lin, P.Y. and Lai, M. 2011. Bioactive compounds in rice during grain development. Food Chemistry. 127: 86-93.

Lu, S. and Luh, B.S. 1991. Properties of the rice caryopsis, Rice: Production, Vol. I(B.S. Luh, ed.), AVI Publishing Co., Westport, CT, p. 389.

Lusas, E.W. and Rooney, L.W. 2001. Snack food processing. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Company, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mahathreeranont, S., Keaxsa, S. and Dunri, K. 2001. Quantification of the rice aroma compound, 2-Acetyl-1-pyrroline, in uncooked Khao Dawk Mali 105 brown rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49: 773-779.

Mbatchou, V.C. and Dawda, S. 2013. The Nutritional Composition of Four Rice Varieties Grown and Used in Different Food Preparations in Kassena-Nankana District, Ghana. International Journal of Research in Chemistry and Environment. 3: 308-315.

Mitchell, C. R. 2009. Rice starches: Production and Properties, Starch: Chemistry and Technology (BeMiller, J. and Whistler, R. ed.). Food Science and Technology International Series. P.569-578.

Min, B., Gu, L., McClung, A.M., Bergman, C.J., and Chen, M.H. 2012. Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (Oryza sativa L.) of different bran colours. Food Chemistry. 133: 715-722.

Moldenbauer, K., Wilson, C. E., Counce, Jr. P. and Hardke, J. 2013. Rice Growth and Development, Arkansan Rice Production Handbook (J. T. Harke, ed.), University of Arkansan Division of Agriculture, p.9-20

Monks, J.L.F., Vanier, N.L., Casarill, J., Berto, R.M., Oliveira, M.D., Gomes, C.B., Carvalho, M.P.D., Dias, A.R.G., and Elias, M.C. 2013. Effects of milling on proximate composition, folic acid, fatty acids and technological properties of rice. Journal of Food Composition and Analysis. 30: 73-79. Biotechnology. 5(11): 1142-1145.

Moongngarm, A. 2013. Chemical compositions and resistant starch content in starchy foods. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 8(2): 107-113.

Nadaf, A., Mathure, S. and Jawali, N. 2016. Scented rice (Oryza sativa L.) Cultivars of India: A perspective on Quality and Dicversity. Springer India. doi: 10.1007/978-81-322-2665-9.

Nakorn, K.N., Tongdang, T. and Sirivongpaisal, P. 2009. Crystallinity and Rheological Properties of Pregelatinized Rice Starches Differing in Amylose Content. Journal of Starch. 61: 101-108.

Noosuk, P., Hill, S.E., Farhat, I.A., Mitchell, J.R. and Pradipasena, P. 2005. Relationship between Viscoelastic Properties and Starch Structure in Rice from Thailand. Starch. 57: 587-598.

Nyombaire, G., Siddiq, M. and Dolan, K.D. 2011. Physico-chemical and sensory quality of extrude light red kidney bean (Phaseolus vulgaris L.) porridge. LWT - Food Science and Technology. 44: 1597-1602.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oko, A.O. and Ugwu, S.I. 2011. The proximate and mineral compositions of five major rice in Abakaliki, South-Eastern Nigeria. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry. 3(2): 25-27.

Patindol, J., Shih, F., Ingber, B., Champagne, E. and Boue, S. 2012. Porous rice powder from the precipitation of gelatinized flour or starch paste with ethanol. Journal of Starch. 00: 1-8.

Pourmorad, F., Hosseinimehr, S.J., and Shahabimajd, N. 2006. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicical plants. African Journal of Biotechnology. 5(11): 1142-1145.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine 26:1231-1237

Sabeetha, S., Nazim, A.M. and Azmah, U.N. 2017. Physico-chemical characteristics of VitAtoTM flour from different drying processes. Journal of Tropical Agriculture and Food Science. 45(2): 199-207.

Saichuk, J. and Dunand, R. 2015. Rice Growth and Development, Louisiana Rice Production Handbook (J. Saichuk, ed.), Louisiana State University Agricultural Center, p. 41-53

Shafie, B., Cheng, S. C., Lee, H.H. and Yiu, P.H. 2016. Characterization and classification of whole-grain rice based on rapid visco analyzer (RVA) pasting profile. International Food Research Journal. 23(5): 2138-2143.

Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J. and Beta, T. 2014. Phenolic acids, anthocyanins, and antioxidant capacity in rice (Oryza sativa L.) grains at four stages of development after flowering. Food Chemistry. 143: 90-96.

Shayo, N.B., Mamiro, P., Nyaruhucha, C.M.N. and Mamboleo, T. 2006. Physico-chemical and grain cooking characteristics of selected rice cultivars grown in Morogoro. Tanzania Journal of Science. 32(1): 29-35.

Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y. and Bao, J. (2009). Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. Journal of Cereal Science. 49: 106-111.

Singh, B., Sekhon, K.S. and Singh, N. 2007. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. Food Chemistry. 100: 198-202.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sompong, R., Siebenhandl. E.S., Linsberger, M.G., and Berghofer, E. (2011). Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. Food Chemistry. 124: 132-140.

Srikaeo, K. and Sopade, P.T. 2010. Functional properties and starch digestibility of instant Jasmine rice porridges. Carbohydrate Polymers. 80: 952-957.

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros, Z.L., and Byrne, D.H. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. Journal of Food Composition and Analysis. 19: 669-675.

Thiyajai, P., Saetang, P., Kettawan, A. and Charoenkiatkul, S. 2016. Promissing industrial flour processing an household applications of parboiled germinated brown rice (Khao dok mali 105). LWT - Food Science and Technology. 73: 406-411.

Ti, H., Li, Q., Zhang, R., Zhang, M., Deng, Y., Wei, Z., Chi, J., and Zhang, Y. (2014). Free and bound phenolic profiles and antioxidant activity of milled fractions of different indica rice varieties cultivated in southern China. Food Chemistry. 159: 166-174.

Vandeputte, G. E., Derycke, V., Geeroms, J., Delcour, J. A. 2003. Rice starches. II. Structure aspects provide insight into swelling ans pasting properties. Journal of Cereal Science. 38: 53-59.

Verma, D.K., and Srivastav, P.P. (2017). Proximate composition, Mineral content and fatty acids analyses of a aromatic and non-aromatic indian rice. Rice science. 24(1): 21-31.

Wang, H.L., Wan, X.Y., Bi, J.C., Wang, J.K., Jiang, L., Chen, L.M., Zhai, H.Q. and Wan, J.M. 2006. Quantitative Analysis of Fat Content in Rice by Near-Infared Spectroscopy Technique. Cereal Chemistry. 83(4): 402-406.

Wei, X., Handoko, D.D., Pather, L., Methven, L. and Elmore, S. 2017. Evaluation of 2-acetyl-1-pyrroline in foods, with an emphasis on rice flavor. Food Chemistry. doi: http://dx.doi.org/10.1016/ j.foodchem.2017.04.005

Yadav, A.R., Guha, M., Tharanathan, R.N. and Ramteke, R.S. 2006. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. LWT - Food Science and Technology. 39: 20-26.

Yan, M. and Zhengbiao, G.U. 2010. Morphology of modified starches prepared by different methods. Food Research International. 43: 767-772.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yang, D.S., Lee, K.S., Jeong, O.Y., Kim, K.J. and Kays, S.J. 2008. Characterization of Volatile Aroma Compounds in Cooked Black Rice. Journal of Agriculteral and Food Chemistry. 56: 235-240.

Yeager, S. 1998. Fibre: The ultimate healer. The Doctors Book of Food Remedies. Emmaus, Pennsylvania: Rodale Press: 184-185.

Yoshihashi, T. 2002. Quantitative analysis on 2-Acetyl-1-pyrroline of an model studies on its formation during cooking. Journal of Food Science. 67(2): 619-622.

Zhang, H., Shao, Y., and Beta, T. (2015). Phenolic compounds and antioxidant properties of breeding lines between the white and black rice. Food Chemistry. 172: 630-639.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., and Blanchard, C. (2004). The distribution of phenolic acids in rice. Food Chemistry. 87, 401-46.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
# การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
# (Proximate Analysis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

## (Proximate Analysis)

การวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) หรือบางทีเรียกว่า approximate analysis เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอาหาร โดยเป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของอาหาร (major component) ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (moisture) ไขมัน (crude fat) โปรตีน (crude protein) ใยอาหาร (crude fiber) และเถ้า (ash) ถ้าต้องการทราบปริมาณคาร์โบไฮเดรต ให้รวมเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร และเถ้าที่วิเคราะห์ได้ นำไปหักออกจาก 100 จะได้เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างอาหารนั้นๆ ซึ่งเป็นค่าที่ร่วมทั้งน้ำตาลและโพลีแซคคาไรด์ การที่เรียกว่าการวิเคราะห์ “proximate” หรือในภาษาไทยแปลว่าการประมาณ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ที่เริ่มต้นจากการนำอาหารหรือวัตถุดิบไปวิเคราะห์ต่อเนื่อง โดยอาจเริ่มต้นจากการหาความชื้น นำตัวอย่างที่ได้จากการอบแห้งไปหาปริมาณไขมัน และนำตัวอย่างที่สกัดไขมันออกไปวิเคราะห์หาใยอาหารและเถ้า ส่วนปริมาณโปรตีนนำตัวอย่างไปย่อยโดยตรง และเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ไม่ซับซ้อน ไม่ต้องอาศัยเทคนิคที่ต้องทำให้องค์ประกอบบริสุทธิ์ เช่นการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน อาศัยเทคนิคการสกัดโดยตัวทำละลาย เพื่อสกัดเอาองค์ประกอบที่ละลายในตัวทำละลายออกมา สำหรับในอาหารองค์ประกอบที่ละลายในตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นไขมัน จึงเป็นการวิเคราะห์ปริมาณของไขมันแบบหยาบ (crude fat)

Proximate analysis มีประโยชน์ในการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร เช่น การทำ nutrition fact ที่ติดอยู่บนฉลากอาหาร ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกบริโภคอาหารและเครื่องดื่มได้อย่างเหมาะสม ในอุตสาหกรรมอาหารจำเป็นต้องวิเคราะห์องค์ประกอบทั้งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพื่อประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพและการแปรรูปอาหาร เช่น การหาความชื้นในวัตถุดิบเพื่อกำหนดราคาซื้อขายที่ยุติธรรม ตัวอย่างเช่นการซื้อขายข้าวเปลือก ราคาของข้าวจะขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น หรือวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารที่เป็นผงแห้งจำพวกนมผง น้ำตาล เกลือ ผู้ซื้อจะต้องการวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้ถ้ามีความชื้นสูงมีโอกาสที่จะดูดความชื้นกลับเข้าไปใหม่ ทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน จึงจำเป็นต้องควบคุมความชื้น เป็นต้น

Proximate analysis ในบทปฏิบัติการนี้ จะแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร และเถ้าของตัวอย่างอาหาร โดยมีรายละเอียดของวิธีการทดลองของแต่ละองค์ประกอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.1 ความชื้น (Moisture)

**อุปกรณ์**

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ถ้วยอลูมิเนียม (aluminum can)
3. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
4. โถดูดความชื้น (desiccator)
5. ที่คีบ (Tong)

**วิธีการทดลอง**

1. นำถ้วยอลูมิเนียมไปอบไล่ความชื้นที่ 100°C 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ใส่ในโถดูดความชื้น รอทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งจนได้น้ำหนักแน่นอน (4ตำแหน่ง) (W)

2. ใส่ตัวอย่างอาหารที่บดแล้วลงในถ้วยอลูมิเนียม ให้น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่บดแล้ว 3-5 กรัม บันทึกน้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียมกับตัวอย่าง (น้ำหนักแน่นอน) ($W_1$)

3. นำเข้าไปในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝาถ้วยอลูมิเนียม

4. เมื่อครบเวลา นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก อบซ้ำอีกครั้ง ครั้งละครึ่งชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ หรือผลต่างของน้ำหนัดที่ชั่งได้ 2 ครั้งต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.003-0.005 กรัม ($W_2$)

5. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอาหาร จากสมการ

$$\text{ความชื้น (เปอร์เซนต์)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารเริ่มต้น } (W-W_1) - \text{น้ำหนักอาหารแห้ง } (W-W_2)}{\text{น้ำหนักอาหารเริ่มต้น } (W-W1)} \times 100$$

หมายเหตุ เก็บตัวอย่างไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.2 เถ้า (Ash)

**อุปกรณ์**

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ถ้วยกระเบื้อง (crucible)
3. เตาเผาไฟฟ้า 9muffle furnace)
4. เตาไฟฟ้า (hot plate)
5. ที่คีบ (Tong)

**วิธีการทดลอง**

1. เผาถ้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 600°C นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด (4 ตำแหน่ง) บันทึก (W)

2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว 3-5 กรัม (4 ตำแหน่ง) ใส่ในถ้วยกระเบื้อง ($W_1$)

3. เผาตัวอย่างบนเตาไฟฟ้า (ทำในตู้ดูดควัน) จนหมดควัน

4. นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าที่ 600°C เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทา

5. รอให้เตาเผาไฟฟ้าเย็นลง จึงคีบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาไฟฟ้า ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา ($W_2$)

6. คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าของอาหาร จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{W_2 - W}{W_1 - W} \times 100$$

W = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง

$W_1$ = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

$W_2$ = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักเถ้าหลังเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.3 โปรตีน (Crude protein)

**อุปกรณ์**

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. หลอดย่อยโปรตีน
3. อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน (kjeldahl apparatus)
4. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ขวดชมพู่ ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
6. boiling chip

**สารเคมี**

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดบอริก 2% เตรียมได้จากการละลายกรดบอริค 2 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายมาตราฐานกรดไฮโดรคลอริก 1 N : ปิเปต 37% กรดไฮโดรคลอริก 8.26 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ก่อนปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% เตรียมจากชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
5. ตัวเร่ง (catalyst) (เตรียมจาก 1:8 ของ $CuSO_4$ / $K_2SO_4$)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์

เตรียม 0.1% เมทธิลกรีนใน alcohol 95%

เตรียม 0.2% เมทธิลเรด ใน alcohol 95%

**วิธีการทดลอง**

1. การย่อย

1.1 ชั่งตัวอย่าง 0.5-5 กรัม (4ตำแหน่ง) ถ้าเป็นของเหลว 10-30 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน พยายามอย่าให้ตัวอย่างเปื้อนข้างขวด (ปริมาณของตัวอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง ถ้าปริมาณโปรีนน้อยให้ใช้ตัวอย่างมาก) เติมตัวเร่ง 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 2-3 ลูก (ปริมาณตัวเร่ง และกรดซัลฟูริกที่ใช้ขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องย่อยที่ใช้)

1.2 นำหลอดย่อยโปรตีนวางลงในแลค (rack) ก่อนนำไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อย ปิดที่บังความร้อน (heat shield) และสวมที่ดูดควัน ที่ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรด (exhaust) ก่อนเปิดสวิทซ์ (power on)

1.3 ตั้งอุณหภูมิที่ใช้ย่อย 380-400 องศาเซลเซียส (ถ้าตัวอย่างเป็นของเหลวหรือมีฟองขณะทำการย่อย อาจลดอุณหภูมิ (preheat) มาที่ 250 องศาเซลเซียส นาน  15 นาที) ก่อนปรับไปที่อุณหภูมิที่ใช้ย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทำการย่อย จนได้สารละลายใสหรือสีฟ้าใส ซึ่งเวลาในการย่อยขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

1.5 ปิดสวิทซ์ พร้อมยกแลคที่มีหลอดย่อยตัวอย่างขึ้นพัก รอให้สารบะบานใสสีฟ้าเย็นลง ซึ่งในช่วงนี้ยังคงเปิดชุดกำจัดไอกรดไว้จนไม่มีไอกรด (สังเกตจากควันสีขาว) ก่อนนำไปต่อเข้ากับชุดกลั่น

2. การกลั่น

2.1 นำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้ากับชุกกลั่นโปรตีน ตรวจเช็คความเรียบร้อยของระบบน้ำสำหรับหล่อเย็น ถังน้ำกลั่น ถังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32% โดยสายยางต้องจุ่มลงในถังของน้ำกลั่นหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2 เติมกรดบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตรใส่ในขวดชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ทั้งสอง อย่างละ 1 หยด จะได้สารละลายสีชมพูม่วง วางขวดชมพู่ในชุดกลั่นเสียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเด็นเซอร์ลงในกรดบอริค เพื่อดักจับแก๊สแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้

2.3 เปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ

2.4 เปิดไอน้ำและตั้งเวลาในการกลั่น เวลาที่ใช้ในการกลั่นขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง

3. การไตเตรท

3.1 นำขวดชมพู่ที่บรรจุสารละลายที่กลั่นเสร็จแล้วซึ่งมีสีเขียว มาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 หรือ 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีชมพูม่วง บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

4. การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในอาหาร} = \frac{(A-B)\times N\times 14 \times 100}{W \times 100}$$

A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาณของกรดไฮดดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (normal)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

5. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง

เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหาร = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน × 6.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.4 ไขมัน (Crude fat)

**อุปกรณ์**

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ชุดสกัดซอกซ์เล็ต ( soxhlet apparatus ) พร้อมทิมเบิล (thimble) และบิกเกอร์ไขมัน
3. ตู้อบไฟฟ้า ( hot air oven )
4. โถดูดความชื้น ( desiccators )
5. ที่คีบ ( Tong )
6. Boiling chip จำนวน 2 เม็ด

**วิธีการทดลอง**

1. อบบิกเกอร์ไขมันพร้อมกับ boiling chip ที่อุณหภูมิ 130°C 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W)
2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดอบไล่ความชื้นแล้ว 5.00-10.00 กรัม (ปริมาณของตัวอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันในตัวอย่าง ถ้าปริมาณไขมันน้อยให้ใช้ตัวอย่างมาก) บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล (extraction thimble)
3. ตวงตัวทำละลายปิโตเลียมอีเทอร์จำนวน 140 – 180 มิลลิลิตรใส่ในบิกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิลใส่ตัวอย่างและบิกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง
4. เมื่อครบเวลานำบิกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105°C 30 นาที เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก
5. นำบิกเกอร์ไขมันใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อรอให้เย็น ก่อนนำบิกเกอร์ไขมันไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W)
6. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W1 = น้ำหนักของบิกเกอร์ไขมันก่อนสกัด

W2 = น้ำหนักของบิกเกอร์ไขมันหลังสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.5 ใยอาหาร (crude fiber)

**อุปกรณ์**

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร (fiber extraction apparatus)
3. ถ้วยชนิดทนไฟ (sinter glass crucible) ขนาดตัวกรอง(filter) ประมาณ 40-90 ไมครอน
4. เตาเผาไฟฟ้า (muffle furnace)
5. ตู้อบลมร้อน (hot air oven_
6. โถดูดความชื้น (desiccators)
7. ที่คีบ (Tong)

**สารเคมี**

1. กรดซัลฟูริก ($H_2SO_4$) เข้มข้น 0.255 N (1.25 เปอร์เซ็นต์): ปิเปตกรดซัลฟูริก 98.1% จำนวน 6.93 มิลลิลิตร หรือปิเปตกรดซัลฟูริก 96% จำนวน 7.10 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 N (1.25 เปอร์เซนต์) เตรียมจากชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

3. อะซิโตน

4. n-Octanil

**วิธีการทดลอง**

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แห้งและสกัดไขมันออกแล้ว 1 กรัม ๖น้ำหนักที่แน่นอน๗ ใส่ในถ้วยชนิดทนไฟ (ในกรณีที่ตัวอย่างกรองได้ยาก อาจมีการเติมสารช่วยการกรอง ซีไรท์ (celite) ประมาณ 1 กรัมลงบนตัวอย่าง)

2. นำถ้วยชนิดทนไฟ ต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ใยอาหารในส่วนของ hot extraction unit ปิดล็อคให้แน่น

3. เปิดฝาด้านบนของเครื่อง เติมกรดซัลฟูริก 0.255 N ที่อุ่นๆ จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในขวดย่อยของแต่ละตัวอย่าง

4. เติม n-Octanol ปริมาณ 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟองล้น ให้ความร้อนจนเดือด

5. ลดความร้อนลง และต้มต่อเป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กรองเอากรดออก โดยเลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง vacuum ถ้ากรองไม่ลงให้ใช้แรงดันที่ตำแหน่ง pressure ช่วย

7. ล้างกากด้วยน้ำกลั่นร้อนสามครั้ง ครั้งละประมาณ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง

8. ทำซ้ำข้อ 5 ถึง 7

9. ล้สงกากที่อยู่บนถ้วยชนิดทนไฟด้วยอะซิโตน 25 มิลลิลิตร กรองให้แห้ง

10. นำถ้วยชนิดทนไฟ ไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ($W_1$)

11. นำไปเปาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600°C นานประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ($W_2$)

12. คำนวณเปอร์เซ็นต์ใยอาหารจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของใยอาหาร} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

$W_1$ = น้ำหนักถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังอบแห้ง (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักถ้วยชนิดทนไฟและเถ้าหลังจากเผา(กรัม)

## ก.5 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข**

**การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก**

**(Phenolic content)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก

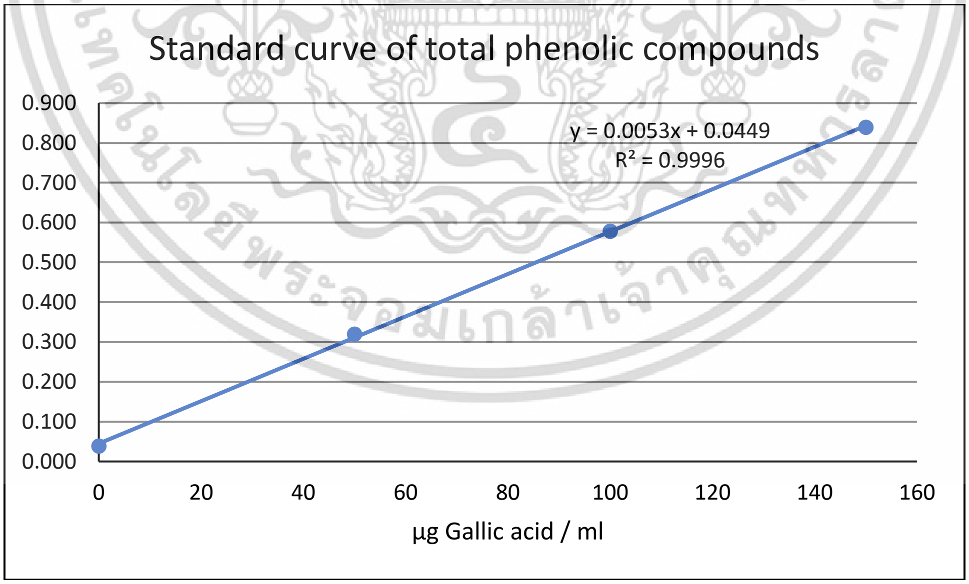
# (Phenolic content)

## ข.1 การคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัด

จากผลดังแสดงตารางที่ ข.1 สามารถสร้างกราฟมาตราฐานได้สมการคือ y = 0.0051x + 0.056 สามารถคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดได้ โดยการแทนค่าการดูดกลืนแสงเป็นตัวแปร y ในสมการแล้วคำนวณหาค่า x ซึ่งจะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

**ตารางที่ ข.1** ปริมาณความเข้มข้นของกรดแกลลิก และค่าการดูดกลืนแสง

| ปริมาณความเข้มข้นของกรดแกลลิก (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร |
|---|---|
| 0 | 0.039 |
| 50 | 0.320 |
| 100 | 0.578 |
| 150 | 0.839 |
| 200 | 1.102 |
| 250 | 1.319 |




**ภาพที่ ข1** กราฟมาตราฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของกรดแกลลิก และค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตัวอย่างการคำนวณ**

สารสกัดตัวอย่างของเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนในช่วงระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15 วัน โดยใช้ปริมาตรสารสกัดตัวอย่างข้าว 0.5 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ครั้งที่ 1 ได้ 0.389 จากกราฟมาตราฐานของกรดแกลลิก ดังภาพที่ ข.1 ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0053x + 0.0449$ , $R^2 = 0.9996$

แทนค่า y ในสมการ , $y = 0.389$

$x = 64.8616$ ไมโครกรัมสมมูลกรดแกลลิก/มิลลิลิตร

| | |
|---|---|
| สารสกัดตัวอย่าง | 0.5 มิลลิลิตร มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 0.065 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร |
| สารสกัดตัวอย่าง | 20 มิลลิลิตร มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 2.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร |
| สารสกัดตัวอย่าง | 20 มิลลิลิตร มาจากข้าว 2 กรัม |
| ดังนั้น ข้าว | 2 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 2.60 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร |
| ถ้า ข้าว | 1 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 1.30 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร |

ดังนั้นในสารสกัดตัวอย่างข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15 วัน การวัดค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่ 1 จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 1.30 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก / 1 กรัมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค

# การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

# (Antioxidant activities)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

# (Antioxidant activities)

## ค.1 การคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดด้วยวิธี DPPH

จากผลดังแสดงตารางที่ ค.1 สามารถสร้างกราฟมาตราฐานได้สมการคือ $y = 0.0011x - 0.0508$ สามารถคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดได้ โดยการแทนค่าการดูดกลืนแสงเป็นตัวแปร y ในสมการแล้วคำนวณหาค่า x ซึ่งจะได้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

**ตารางที่ ค.1** ปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox และค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ

| ปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox (ไมโครโมล/ลิตร) | ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระที่ 515 นาโนเมตร |
|---|---|
| 20 | 0.009 |
| 40 | 0.014 |
| 60 | 0.022 |
| 80 | 0.036 |
| 100 | 0.046 |
| 120 | 0.065 |
| 140 | 0.084 |
| 160 | 0.104 |
| 200 | 0.146 |
| 300 | 0.268 |
| 400 | 0.378 |
| 500 | 0.486 |
| 600 | 0.600 |
| 700 | 0.722 |

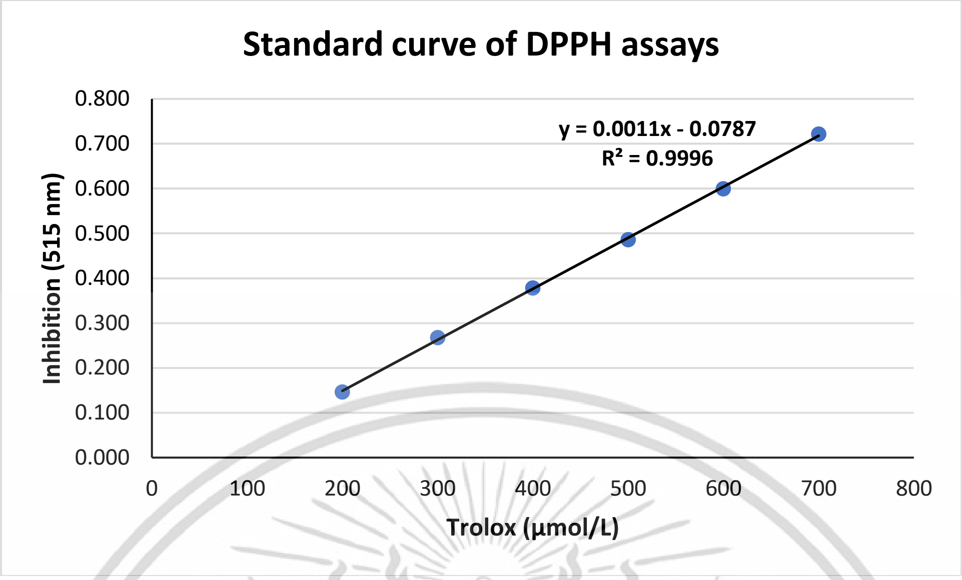
คำนวณหาค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระจากสมการ

$$\text{ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ} = A_{control} - A_{sample}$$

โดยที่ $A_{sample}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาจากตัวอย่างสารสกัดข้าว

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ ค.1** กราฟมาตราฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐาน Trolox และค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร

**ตัวอย่างการคำนวณ**

สารสกัดตัวอย่างของเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนในช่วงระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15 วัน โดยใช้ปริมาตรสารสกัดตัวอย่างข้าว 0.3 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ครั้งที่ 1 ได้ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ 0.275 จากกราฟมาตราฐานของสารมาตราฐาน Trolox ดังภาพที่ ค.1 ได้สมการเส้นตรง

$y = 0.0011x - 0.0787, R^2 = 0.9996$

แทนค่า y ในสมการ , $y = 0.275$

$x = 321.848$ ไมโครโมล/ลิตร

สารสกัดตัวอย่าง 0.3 มิลลิลิตร มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 0.32 มิลลิโมล/ลิตร

สารสกัดตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 21.46 มิลลิโมล/ลิตร

สารสกัดตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร มาจากข้าว 2 กรัม

ดังนั้น ข้าว 1 กรัม มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 10.73 มิลลิโมลสมมูลของสารมาตราฐานTrolox / 1 กรัมตัวอย่าง

ดังนั้นในสารสกัดตัวอย่างข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15 วัน การวัดค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่ 1 จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดทั้งหมดเท่ากับ 10.73 มิลลิโมลสมมูลของสารมาตราฐานTrolox / 1 กรัมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดด้วยวิธี ABTS**

จากผลดังแสดงตารางที่ ค.2 สามารถสร้างกราฟมาตราฐานได้สมการคือ y = 0.0017x - 0.0058 สามารถคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดได้ โดยการแทนค่าการดูดกลืนแสงเป็นตัวแปร y ในสมการแล้วคำนวณหาค่า x ซึ่งจะได้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

**ตารางที่ ค.2** ปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox และค่าการดูดกลืนแสง

| ปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox (ไมโครโมล/ลิตร) | ค่าการยับยั้งที่ 734 นาโนเมตร |
|---|---|
| 20 | 0.036 |
| 40 | 0.073 |
| 60 | 0.085 |
| 80 | 0.123 |
| 100 | 0.156 |
| 120 | 0.200 |
| 140 | 0.224 |
| 160 | 0.265 |
| 200 | 0.344 |
| 300 | 0.513 |
| 400 | 0.675 |
| 500 | 0.837 |

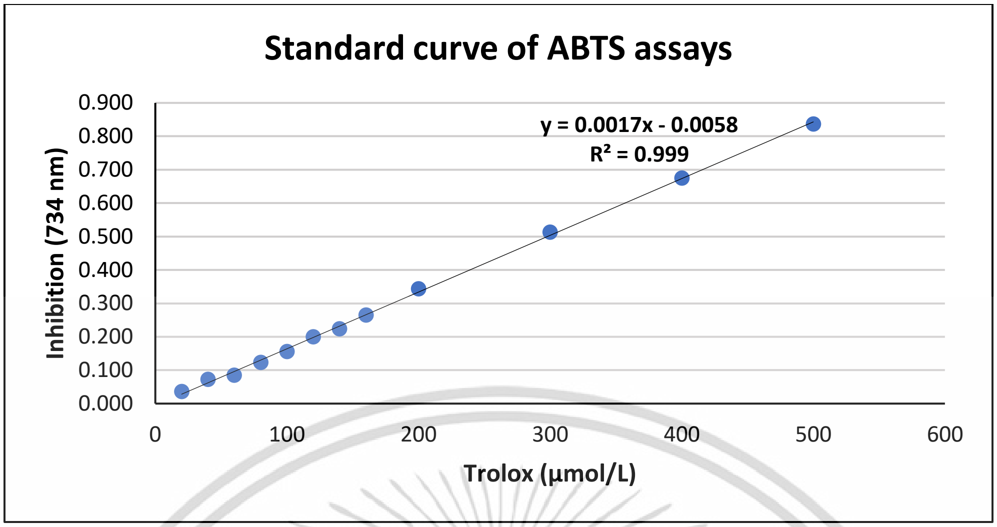
คำนวณหาค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระจากสมการ

$$\text{ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ} = A_{control} - A_{sample}$$

โดยที่ $A_{sample}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาจากตัวอย่างสารสกัดข้าว

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ ค.2** กราฟมาตราฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox และค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร

**ตัวอย่างการคำนวณ**

สารสกัดตัวอย่างของเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนในช่วงระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15 วัน โดยใช้ปริมาตรสารสกัดตัวอย่างข้าว 0.3 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ครั้งที่ 1 ได้ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ 0.616 จากกราฟมาตราฐานของสารมาตราฐาน Trolox ดังภาพที่ ค.2 ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0017x - 0.0058$, $R^2 = 0.999$

แทนค่า y ในสมการ , $y = 0.616$

$x = 365.961$ ไมโครโมล/ลิตร

สารสกัดตัวอย่าง 0.3 มิลลิลิตร มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 0.366 มิลลิโมล/ลิตรสารสกัดตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 24.4 มิลลิโมล/ลิตรสารสกัดตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร มาจากข้าว 2 กรัม

ดังนั้น ข้าว 1 กรัม มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 12.2 มิลลิโมลสมมูลของสารมาตราฐานTrolox / 1 กรัมตัวอย่าง

ดังนั้นในสารสกัดตัวอย่างข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15 วัน การวัดค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่ 1 จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดทั้งหมดเท่ากับ 12.2 มิลลิโมลสมมูลของสารมาตราฐานTrolox / 1 กรัมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดด้วยวิธี FRAP**

จากผลดังแสดงตารางที่ ค.3 สามารถสร้างกราฟมาตราฐานได้สมการคือ y = 0.0023x + 0.0016 สามารถคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดได้ โดยการแทนค่าการดูดกลืนแสงเป็นตัวแปร y ในสมการแล้วคำนวณหาค่า x ซึ่งจะได้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

**ตารางที่ ค.3** ปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox และค่าการดูดกลืนแสง

| ปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox (ไมโครโมล/ลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร |
|---|---|
| 20 | 0.046 |
| 40 | 0.092 |
| 60 | 0.142 |
| 80 | 0.175 |
| 100 | 0.242 |
| 120 | 0.282 |
| 140 | 0.330 |
| 160 | 0.354 |
| 200 | 0.452 |
| 300 | 0.691 |
| 400 | 0.906 |
| 500 | 1.172 |

คำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยวิธี FRAP จากสมการ

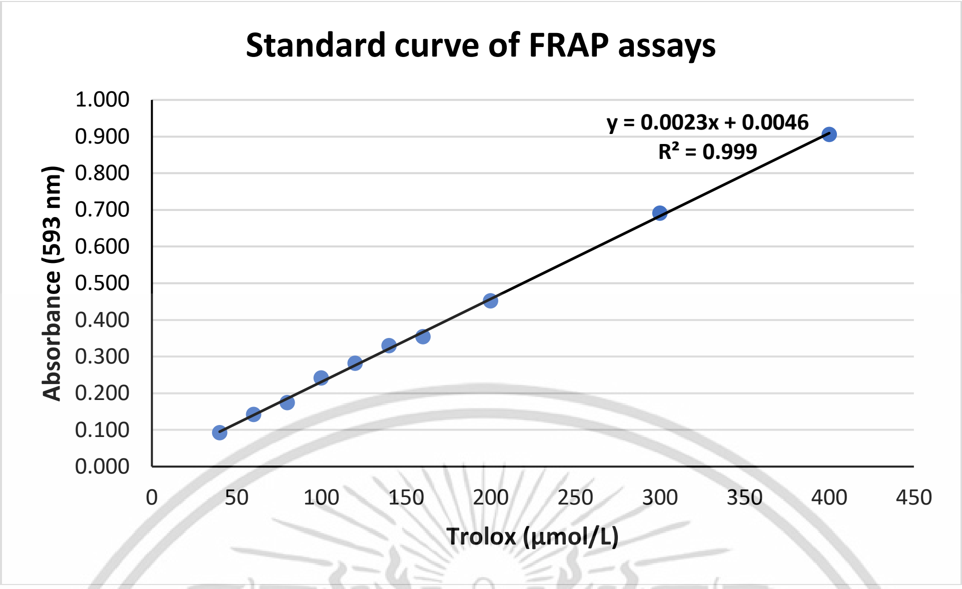
$$A_{FRAP} = A_{control} - A_{sample}$$

โดยที่ $A_{FRAP}$ = ค่าการดูดกลืนแสงด้วยวิธี FRAP

$A_{sample}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาจากตัวอย่างสารสกัดข้าว

$A_{contro}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ ค.3** กราฟมาตราฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสารมาตราฐานTrolox และค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร

**ตัวอย่างการคำนวณ**

สารสกัดตัวอย่างของเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนในช่วงระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15 วัน โดยใช้ปริมาตรสารสกัดตัวอย่างข้าว 0.3 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร ครั้งที่ 1 ได้ 0.089 จากกราฟมาตราฐานของสารมาตราฐาน Trolox ดังภาพที่ ค.3 ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0023x – 0.0046$, $R^2 = 0.999$

แทนค่า y ในสมการ , $y = 0.089$

$x = 40.551$ ไมโครโมล/ลิตร

สารสกัดตัวอย่าง 0.3 มิลลิลิตร มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 0.04 มิลลิโมล/ลิตร

สารสกัดตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 2.7 มิลลิโมล/ลิตร

สารสกัดตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร มาจากข้าว 2 กรัม

ดังนั้น ข้าว 1 กรัม มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 1.35 มิลลิโมลสมมูลของสารมาตราฐานTrolox / 1 กรัมตัวอย่าง

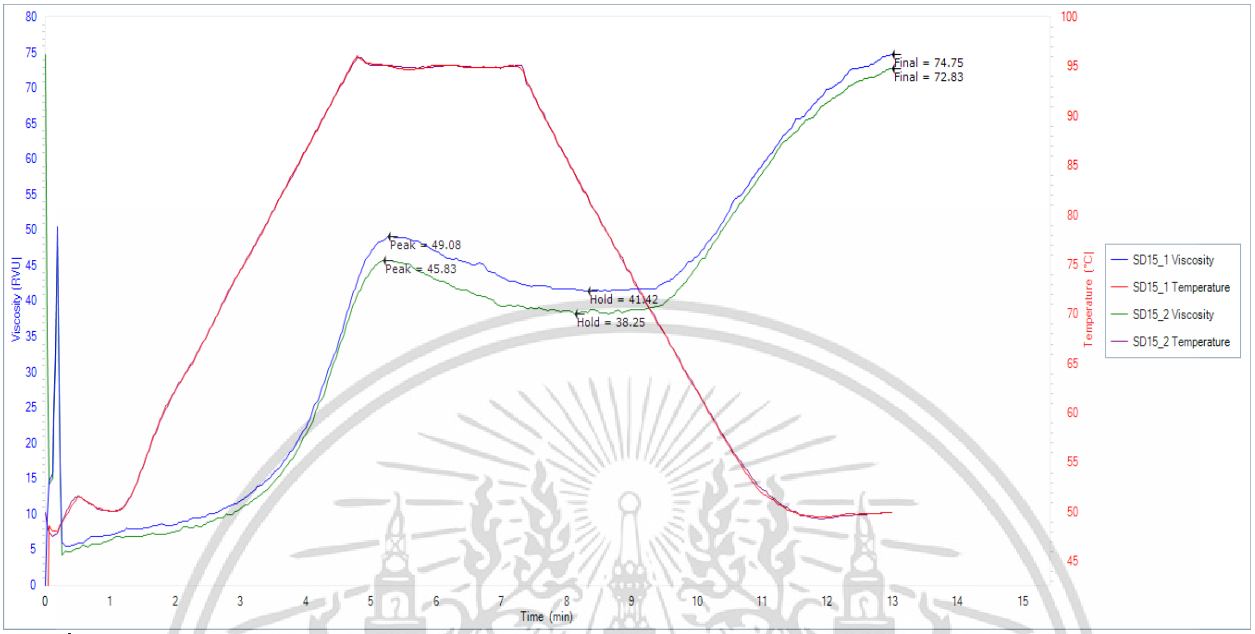
เนื่องจากสารสกัดตัวอย่างได้ทำการเจือจางที่ความเข้มข้น 1:10 จึงต้องทำการคูณกลับ ดังนั้นในสารสกัดตัวอย่างข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ดที่ 15 วัน การวัดค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่ 1 จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดทั้งหมดเท่ากับ 13.5 มิลลิโมลสมมูลของสารมาตราฐานTrolox / 1 กรัมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

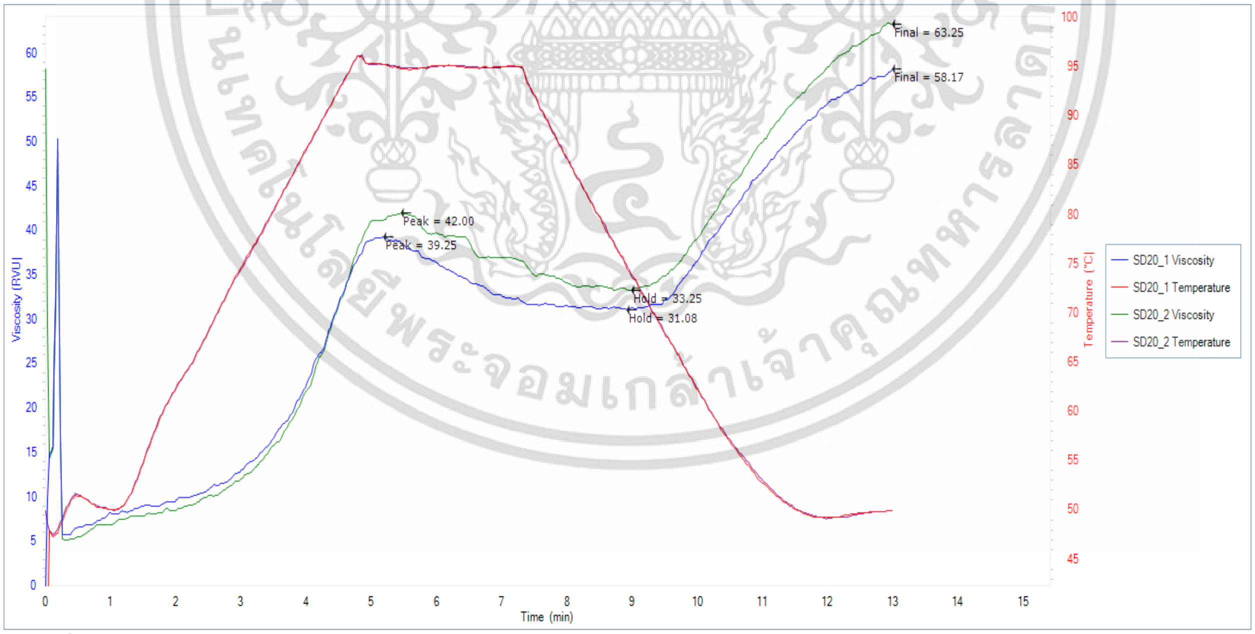
# ภาคผนวก ง
# กราฟความหนืดของตัวอย่างเมื่อวัดด้วยเครื่อง RVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กราฟความหนืดของตัวอย่างเมื่อวัดด้วยเครื่อง RVA

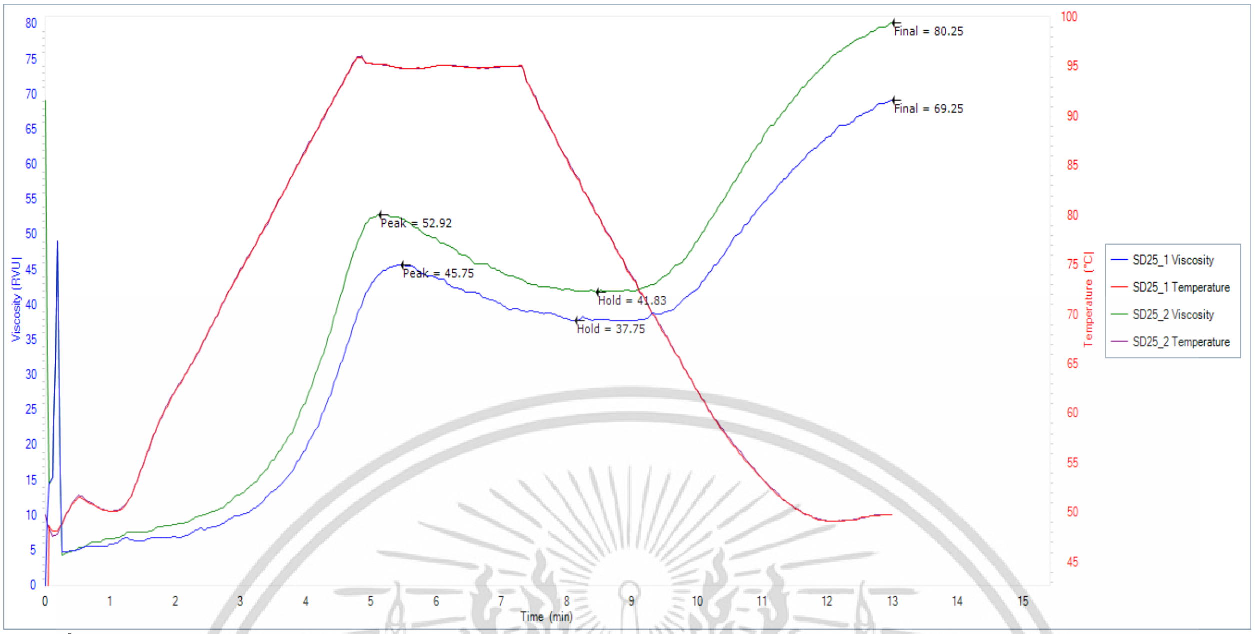



**ภาพที่ ง.1** กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ด 15 วัน

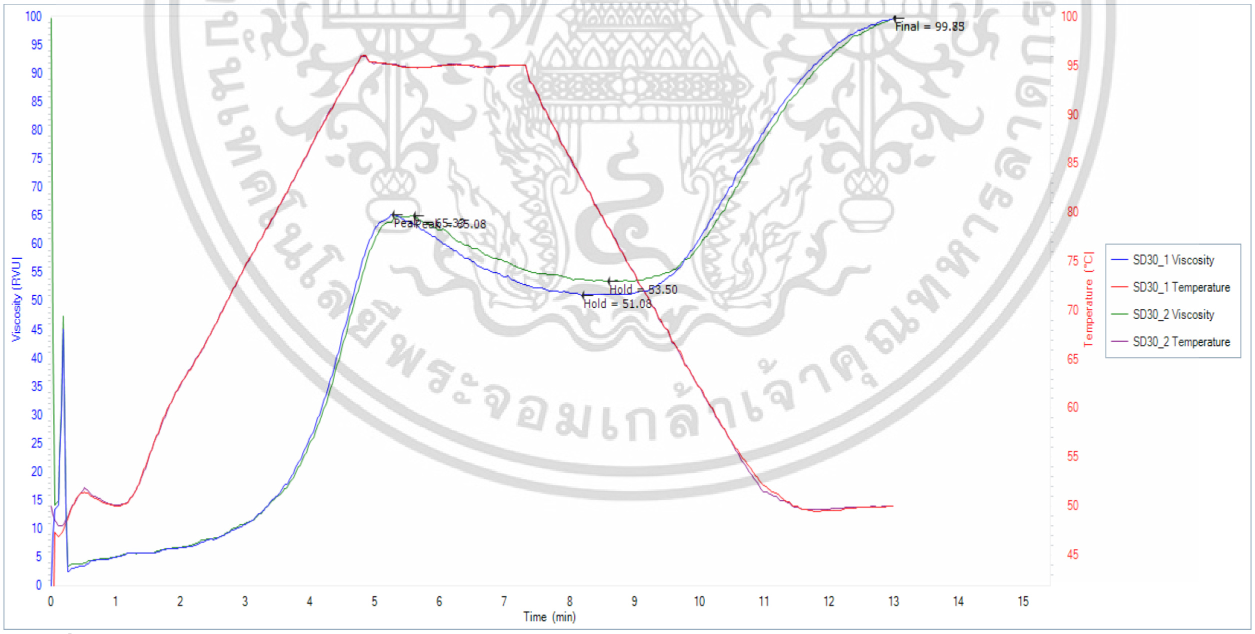



**ภาพที่ ง.2** กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ด 20 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

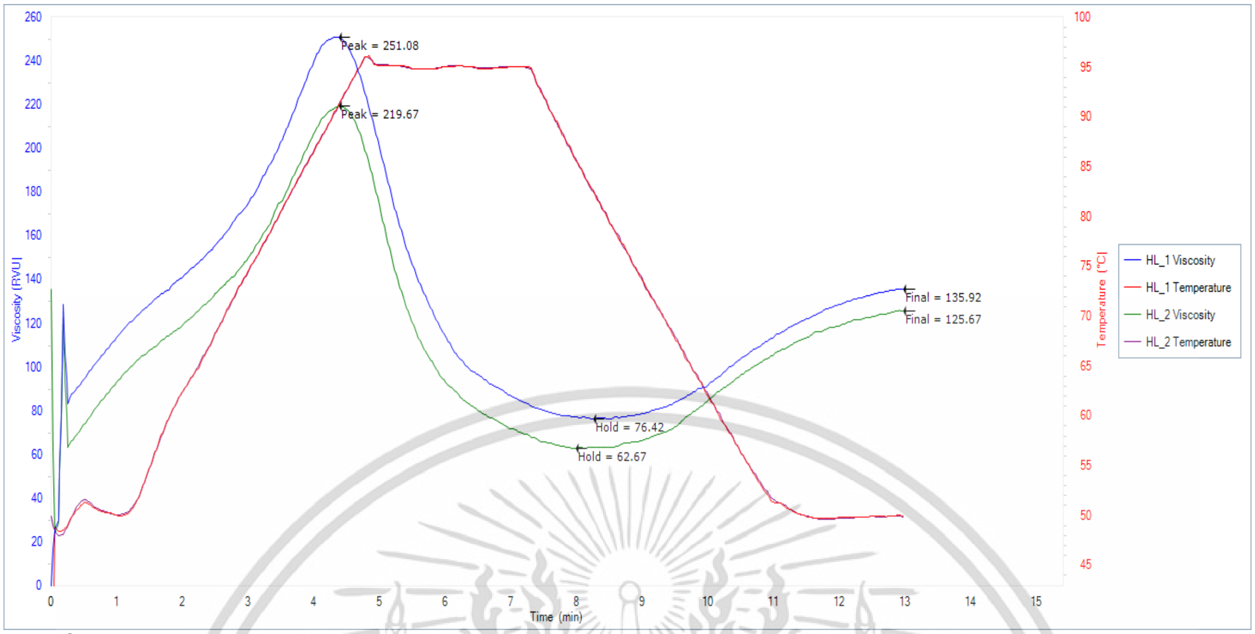



**ภาพที่ ง.3** กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ด 25 วัน

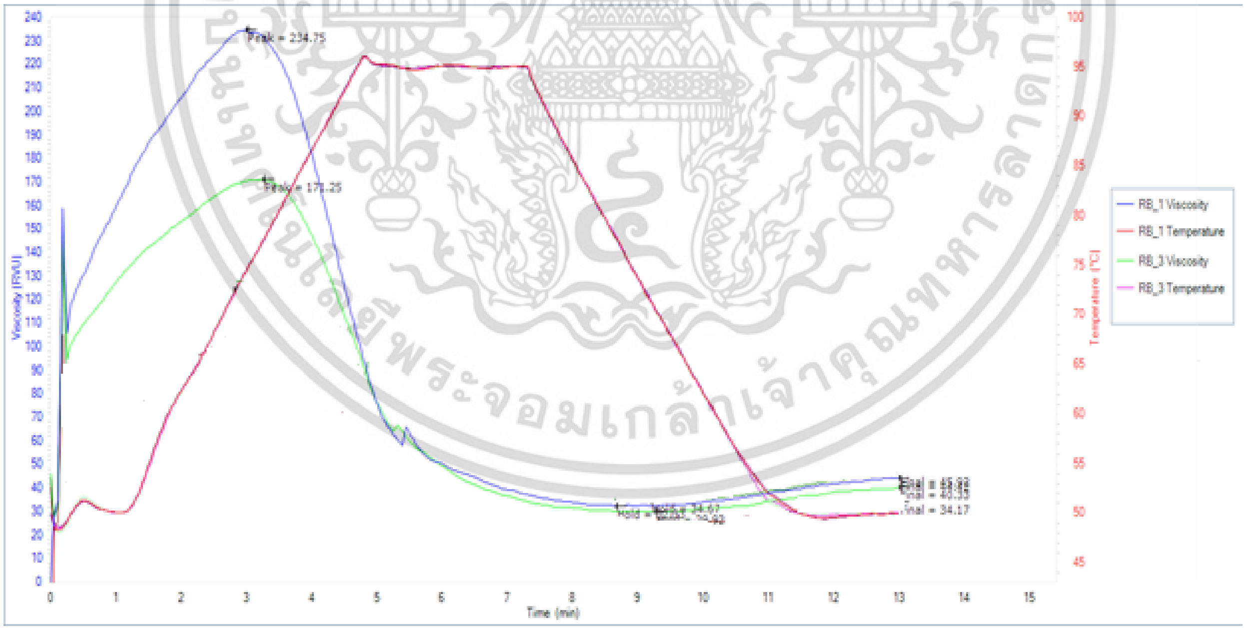



**ภาพที่ ง.4** กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากเมล็ดข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ช่วงระยะการเจริญของเมล็ด 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ ง.5** กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิที่เจริญเต็มเมล็ด




**ภาพที่ ง.6** กราฟความหนืดของตัวอย่างโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เจริญเต็มเมล็ด

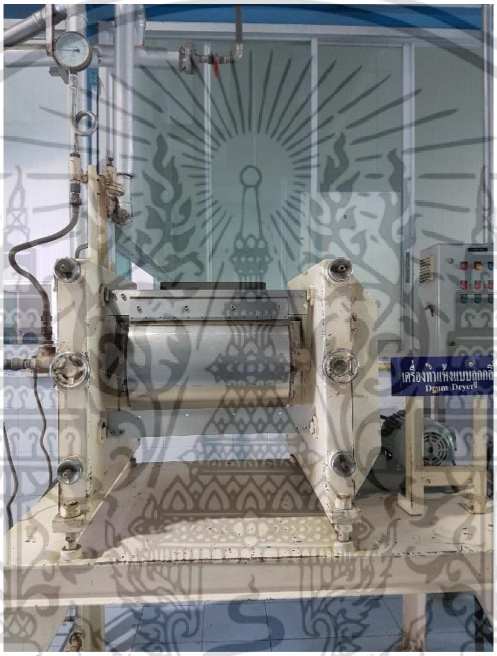
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก จ

# ภาพการทดลอง

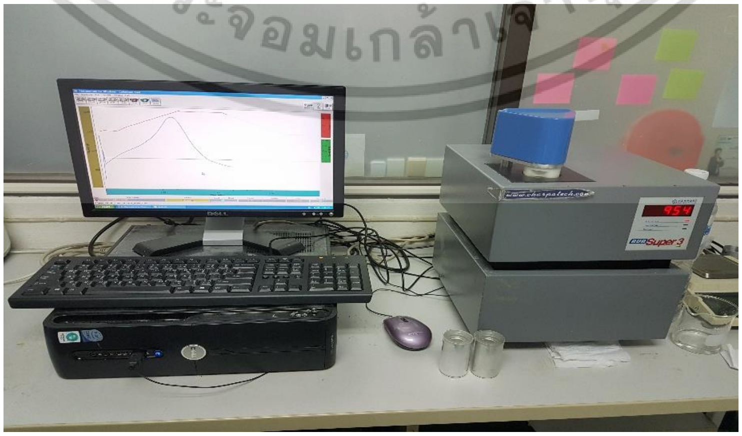
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ จ.1** ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่ระยะการเจริญของเมล็ด 15, 20, 25 และ 30 วัน



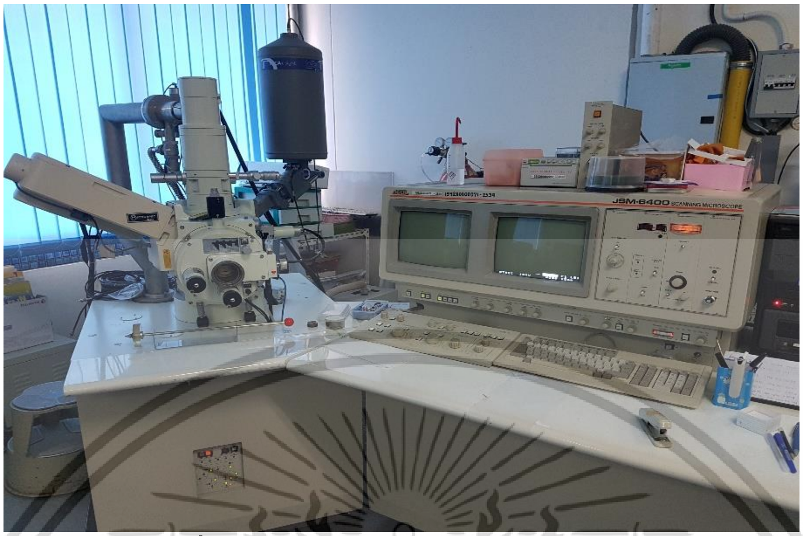
**ภาพที่ จ.2** เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สจล.



**ภาพที่ จ.3** การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ จ.4** กล้อง Scanning electron microscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวพิรานันท์ แก้วโพธิ์นันทกุล

วัน เดือน ปีเกิด 1 มีนาคม 2537 ที่กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ 30/327 ถนน หลวงแพ่ง ตำบลศีรษะจระเข้น้อย อำเภอบางเสาธง จ.สมุทรปราการ 10570 โทร. 096-907-1112

ประวัติการศึกษา
2551 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น: โรงเรียนสุรศักดิ์มนตรี
2554 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย: โรงเรียนสุรศักดิ์มนตรี
2559 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
(เกียรตินิยมอันดับ2)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2559 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.บ.)
คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์ทำงานและผลงานวิจัย
2559 ปัญหาพิเศษ “สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระยะการเจริญของเมล็ดข้าว”
2561 เจ้าหน้าที่ประกันคุณภาพ บริษัท กริฟฟิท ฟู้ดส์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้