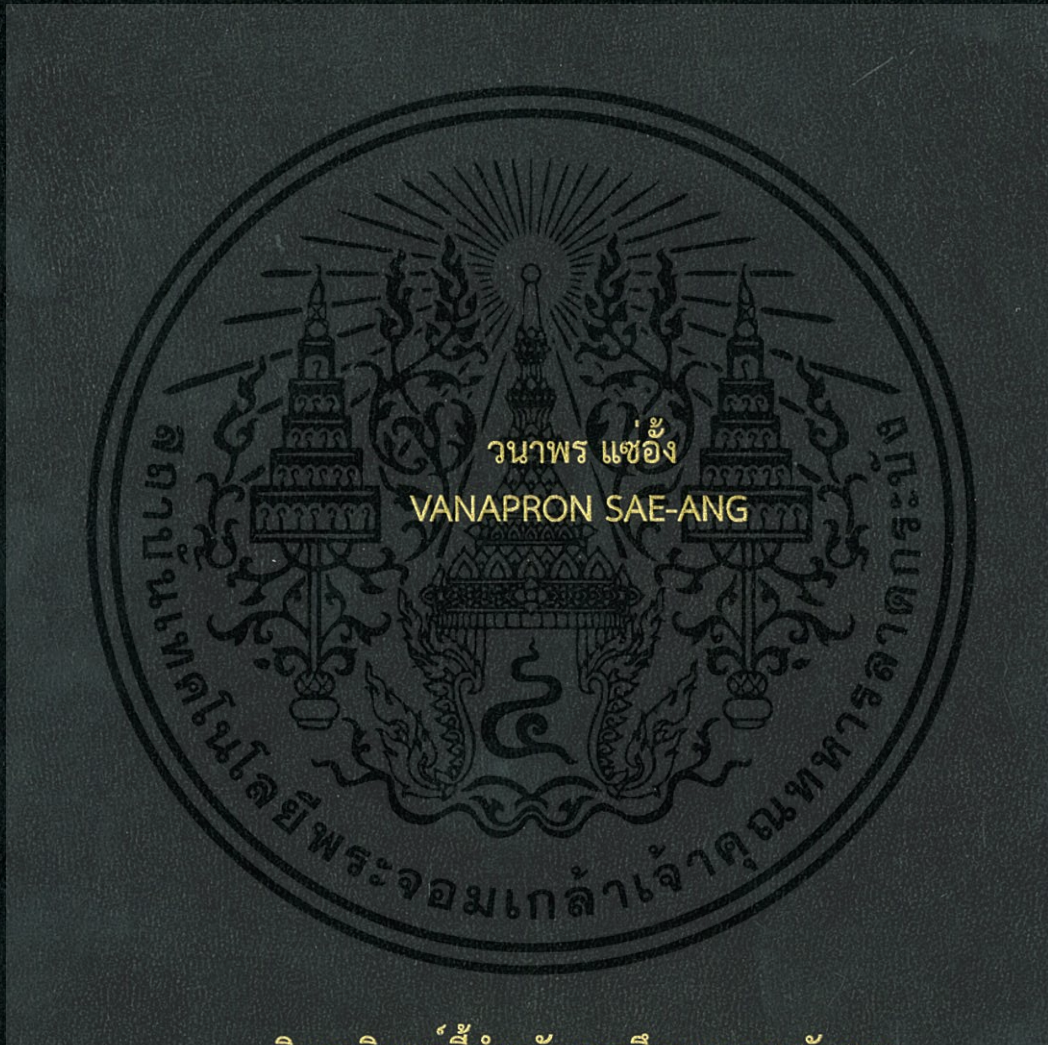


การสกัด และการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวไร้ง  
เพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

EXTRACTION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY EVALUATION  
OF UPLAND RICE BRAN OIL FOR COSMETIC  
PRODUCT APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษิตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ  
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ 2559

KMITL-2016-SC-M-020-030

การสกัด และการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวไร้  
เพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

EXTRACTION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY EVALUATION  
OF UPLAND RICE BRAN OIL FOR COSMETIC  
PRODUCT APPLICATIONS



เลขหมู่..... 143998  
ตงทะเบียน.....  
วันเดือนปี 10 ต.ค. 2559

b. 00266993  
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ  
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ 2559

KMITL-2016-SC-M-020-030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXTRACTION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY EVALUATION  
OF UPLAND RICE BRAN OIL FOR COSMETIC  
PRODUCT APPLICATIONS



A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (BIOTECHNOLOGY)  
DEPARTMENT OF BIOTECHNOLOGY FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
YEAR 2016

KMITL-2016-SC-M-020-030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

“การสกัด และการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวไร้  
เพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง”  
(EXTRACTION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY EVALUATION OF  
UPLAND RICE BRAN OIL FOR COSMETIC PRODUCT  
APPLICATIONS)

ชื่อนักศึกษา

นางสาววนาพร แซ่อั้ง

รหัสประจำตัว

57605109

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ)

ภาควิชา

ชีววิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.จิตติ ท่าไฉ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผศ.ดร.ดวงกมล เรือนงาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สร้อยญา พันธุ์ฤกษ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.พนา โลหะทรัพย์ทวี อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	
ผศ.ภญ.ดร.วิณา นุกูลการ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ	
ผศ.ดร.ดวงกมล เรือนงาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	
รศ.ดร.จิตติ ท่าไฉ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 09.00 - 12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 305 อาคารพระจอมเกล้า

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุชนิ ธนะบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น วันที่.....เดือน.....ปี.....  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัด และการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวไร้ เพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนาพร แซ่อั้ง
รหัสประจำตัว	57605109
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชา	ชีววิทยา
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.จิตติ ท่าไฉ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.ดวงกมล เรือนงาม

#### บทคัดย่อ

ข้าวไร้เป็นสายพันธุ์หนึ่งที่ปลูกมากทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งปลูกได้ในสภาวะน้ำน้อย รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าวและการขัดข้าวกล้องให้เป็นข้าวขาว เป็นแหล่งที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นจำนวนมาก รวมทั้งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ เช่น แกมมาออโรซานอล และสารประกอบฟีนอลิก งานวิจัยจึงทำการสกัดสารสำคัญออกจากรำข้าวไร้ทั้งหมด 4 สายพันธุ์ได้แก่ สายพันธุ์ดอกขาม ดอกข่า เข็มเงิน นางดำ และรำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งใช้เป็นสายพันธุ์ควบคุม จึงมีการพัฒนาการดัดแปลงรำข้าวด้วยกัน 2 วิธี คือ 1. การให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 450 650 และ 800 วัตต์ และผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาช่วง 3 ถึง 15 นาทีที่กัลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ 2. การบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสโดยเปลี่ยนแปลงการใช้อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์เป็น 1:4 1:6 และ 1:8 (w/v) ก่อนนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลเขย่า (Stiring) ในที่มีด จากนั้นนำสารสกัดน้ำมันรำข้าวทุกตัวอย่างมาวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ ปริมาณสารสำคัญแกมมาออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ ส่วนข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่การตรวจวัดสีรำข้าว รวมถึงทดสอบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ด้วยวิธี DPPH ABTS และ FRAP การดัดแปลงรำข้าวด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟก่อนการสกัดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยพบปริมาณน้ำมันรำข้าว (ดอกขาม  $0.18 \pm 0.02$  g/g DW) ปริมาณแกมมาออโรซานอล (ดอกขาม  $7.63 \pm 0.25$  mg/g DW) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ดอกขาม  $9.66 \pm 0.04$  mg GAE/g DW) และปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด (ดอกขาม  $18.63 \pm 0.84$  mg QE/g DW) ส่วนการดัดแปลงรำข้าวด้วยเอนไซม์ก่อนการสกัดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารสำคัญโดยพบปริมาณน้ำมันรำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าว (นางดำ  $0.20 \pm 0.01$  g/g DW) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ดอกขาม  $11.67 \pm 0.53$  mg GAE/g DW) และปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด (ดอกขาม  $18.66 \pm 0.45$  mg QE/g DW) ผลประเมินความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ได้พบว่าน้ำมันรำข้าวดอกขามและเข็มเงินมีปริมาณแกมมาออโรซานอลสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรำข้าวสายพันธุ์อื่นๆ โดยเฉพาะน้ำมันรำข้าวดอกขามมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดในทุกเทคนิคที่ใช้ในการทดสอบ งานวิจัยได้ขึ้นตำรับผลิตภัณฑ์บำรุงผิวเซรั่มและโลชั่น โดยเติมสารสกัดน้ำมันรำข้าวไร้ดอกขามและเข็มเงินเป็นส่วนประกอบ พบว่าผลิตภัณฑ์มีความคงตัวสูง ลักษณะทางกายภาพดี และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัคร 20 คน ทั้งปัจจัยความพึงพอใจโดยรวม การซึมซาบลงสู่ผิว กลิ่น ความหนืด และความชุ่มชื้น ซึ่งทุกปัจจัยในผลิตภัณฑ์เซรั่มและโลชั่นสูตรปรับปรุงได้รับคะแนนความพึงพอใจในช่วง 59 ถึง 87 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : แกมมาออโรซานอล น้ำมันรำข้าว รำข้าวไร้ สารต้านอนุมูลอิสระ



Thesis Title	Extraction and antioxidant activity evaluation of upland rice bran oil for cosmetic product applications
Student Name	Miss. Vanapron Sae-ang
Student ID	57605109
Degree	Master of Science (Biotechnology)
Department	Biology
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chitti Thawai
Thesis Co-advisor	Asst. Prof. Dr. Duangkamol Ruen-ngam

### Abstract

Upland rice is one type of Thai rice grown in the south of Thailand. The upland rice can be cultivated on the dry land without flooding enough to grow. Rice bran is a by product that is the most abundant and valuable from the rice milling process which polishes brown rice to white rice, it includes sources of various natural antioxidants and bioactive compounds that are beneficial to humans such as  $\gamma$ -oryzanol and phenolics compounds. Therefore, the research presents 4 types of upland rice bran which are Dok-kharm (DK), Dok-ka (D), Khem-ngen (KNG) and Nang-dam (ND). These 4 types were compare with Khao Dawk Mali 105 (MA) as the control. Rice bran was pretreated by 2 methods. First, the effect heat of microwave power was examined at 450, 650 and 800 watts for 1 minute, 800 watts for various heating times from 3 to 15 minutes. Second, the bran was incubated with  $\alpha$ -amylase enzyme by various ratios of rice bran to acetate buffer are 1:4, 1:6 and 1:8 (w/v) before being extracted by stirring methods in the dark with ethanol. Then rice bran oil extract of all samples was analyzed quantitatively and qualitatively by analyzing the amount of oil yield, the amount of  $\gamma$ -oryzanol with HPLC, the amount of total phenolic content (TPC), the amount of total flavonoid content (TFC) and color. Moreover, the antioxidant activity determination with 3 methods are DPPH, ABTS<sup>+</sup> and FRAP. Microwave pretreatment before extract has efficiency in terms of quantity and quality. The amount of oil yield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(DK, the most  $0.18 \pm 0.02$  g/g DW), amount of  $\gamma$ -oryzanol (DK, the most  $7.63 \pm 0.25$  g/g DW), amount of TPC (DK, the most  $9.66 \pm 0.04$  mg GAE/g DW) and TFC (DK, the most  $18.63 \pm 0.84$  mg QE/g DW). Enzyme pretreatment showed quantity and quality that the amount of oil yield (ND, the most  $0.20 \pm 0.01$  g/g DW), amount of TPC (DK, the most  $11.67 \pm 0.53$  mg GAE/g DW) and TFC (DK, the most  $18.66 \pm 0.45$  mg QE/g DW). The research showed that DK and KNG have the highest amount of  $\gamma$ -oryzanol in bran oil when compared to other types, especially DK has the highest antioxidant ability with DPPH, ABTS and FRAP. Therefore, the formulations of skincare products are body serum and lotion by adding DK and KNG bran oil. The results showed that serum and body lotion exhibited high stability and good physical properties including antioxidant activity. The products were evaluated by 20 volunteers for satisfaction in all factors which an overall satisfaction, absorbance into the skin, odor, the viscosity, moisture and showed 59-87 percent of the satisfaction for the lotion and serum formula product.

**Keywords:**  $\gamma$ -oryzanol , rice bran oil , upland rice, antioxidant activity

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีโดยได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.จิตติ ท่าไฉ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.ดวงกมล เรืองงาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ช่วยเหลือให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ระหว่างการดำเนินการค้นคว้าวิจัย ให้อาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่านเป็นตัวอย่างและรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ร่วมจิตร นกษา ให้ความอนุเคราะห์นำข่าวไร่ จังหวัดชุมพร ที่ใช้ในการทดลองและดำเนินการค้นคว้าวิจัย

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการและกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการค้นคว้าวิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาชีววิทยาทุกท่านที่ให้การเอื้อเฟื้ออุปกรณ์สำหรับการทดลอง และอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชายและญาติพี่น้อง รวมทั้งเพื่อนๆ และผู้มีส่วนร่วมกับให้การสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกๆ ด้าน และคอยเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

วนาพร แซ่อึ้ง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฐ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ณ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 ข้าว.....	4
2.1.1 การแบ่งประเภทข้าว.....	4
2.1.2 ข้าวไร่.....	4
2.1.3 ลักษณะทั่วไปของข้าว.....	4
2.1.4 รำข้าว.....	5
2.1.5 น้ำมันรำข้าว.....	6
2.1.6 สารสำคัญในน้ำมันรำข้าว.....	7
2.2 หลักการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ และสารสำคัญจากพืช.....	14
2.2.1 การเตรียมตัวอย่างพืช.....	14
2.2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด.....	14
2.2.3 การสกัด.....	16
2.2.4 การแยกส่วนประกอบ.....	16
2.2.5 การตรวจสอบเอกลักษณ์และการควบคุมคุณภาพ.....	16
2.2.6 การทดสอบฤทธิ์หรือสมบัติ.....	16
2.3 การเกิดอนุมูลอิสระ และการต้านอนุมูลอิสระ.....	17
2.3.1 อนุมูลอิสระ.....	17
2.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระ.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 หลักการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ .....	18
2.4.1 DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) .....	18
2.4.2 ABTS assay .....	19
2.4.3 FRAP assay .....	20
2.4.4 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก .....	21
2.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ .....	21
2.5 เครื่องสำอางสำหรับผิวหน้า .....	21
2.5.1 โครงสร้างและหน้าที่ของผิวหน้า .....	21
2.5.2 อิมัลชัน (emulsion) .....	22
2.5.3 จำแนกเครื่องสำอางที่ใช้สำหรับผิวหน้า (skin-care cosmetic) .....	23
2.5.4 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ครีมและโลชั่นบำรุงผิว .....	24
2.5.5 การประเมินคุณภาพอิมัลชันทางเครื่องสำอาง .....	24
2.5.6 การระคายเคืองและการแพ้ของผิวหน้า .....	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	26
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>32</b>
3.1 เครื่องมือและสารเคมี .....	32
3.1.1 เครื่องมือ .....	32
3.1.2 สารเคมี .....	33
3.1.3 ตัวอย่างรำข้าว .....	35
3.2 การวัดความชื้นในรำข้าว .....	36
3.3 การวัดสีรำข้าว .....	36
3.4 การเตรียมตัวอย่างรำข้าว และการดัดแปลง .....	36
3.4.1 การดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ .....	36
3.4.2 การดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส .....	37
3.5 การสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยตัวทำละลายเอทานอล .....	38
3.6 การวิเคราะห์เชิงปริมาณสารสำคัญในน้ำมันรำข้าว .....	38
3.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่ได้ (Yield) .....	38
3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าว .....	38
3.6.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด .....	39
3.6.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด .....	39

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ.....	40
3.7.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH.....	40
3.7.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS.....	41
3.7.3 ความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP .....	41
3.8 การผลิตผลิตภัณฑ์เวชสำอาง.....	42
3.8.1 วิธีการเตรียมและพัฒนาตำรับโลชั่น และเซรัม.....	42
3.8.2 การประเมินคุณภาพของตำรับผลิตภัณฑ์.....	50
3.8.3 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยวิธี DPPH.....	50
3.8.4 ทดสอบการก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนัง.....	51
3.8.5 ทดสอบความชุ่มชื้นของผิวเมื่อทาผลิตภัณฑ์.....	51
3.8.6 ทดสอบความพึงพอใจในอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์.....	51
3.9 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ.....	51
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>52</b>
4.1 ความชื้นรำข้าว.....	52
4.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้.....	53
4.3 เปรียบเทียบวิธีการสกัดระหว่างการสกัดแบบเขย่า และการสกัดด้วยชุดชอกท์เลต.....	54
4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันรำข้าว (Yield).....	54
4.3.2 ปริมาณแกมมาออโรซานอล.....	56
4.3.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก.....	59
4.3.4 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์.....	61
4.3.5 การต้านอนุมูลอิสระ DPPH.....	62
4.3.6 การต้านอนุมูลอิสระ ABTS <sup>+</sup> .....	65
4.3.7 ความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP .....	67
4.4 การดัดแปลงรำข้าว.....	70
4.4.1 การดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	70
4.4.2 การดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	104
4.5 ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง.....	137
4.5.1 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี.....	137
4.5.2 ทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเก็บในที่ร้อนสลับเย็น (heating and cooling cycle).....	142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.3 ประเมินคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ.....	142
4.5.4 ประเมินคุณสมบัติทางชีวภาพ.....	144
4.5.5 การทดสอบการระคายเคือง.....	144
4.5.6 การทดสอบความชุ่มชื้นของผิวเมื่อทาผลิตภัณฑ์.....	144
4.5.7 การทดสอบความพึงพอใจในอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์เวชสำอาง.....	146
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>147</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	147
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	149
เอกสารอ้างอิง.....	151
ภาคผนวก.....	163
ภาคผนวก ก.....	164
ภาคผนวก ข.....	166
ภาคผนวก ค.....	177
ภาคผนวก ง.....	182
ภาคผนวก จ.....	189
ภาคผนวก ฉ.....	190
ภาคผนวก ช.....	191
ภาคผนวก ซ.....	195
ภาคผนวก ฌ.....	198
ประวัติผู้เขียน.....	200

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของน้ำมันรำข้าว .....	7
2.2 วิธีการดัดแปลงรำข้าว (pretreatment).....	15
2.3 ขนาดหยดอนุภาควัตถุภายในสัมพันธ์กับลักษณะภายนอกของอิมัลชัน .....	22
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการสกัดสารมีประโยชน์จากแหล่งต่างๆ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ร่วมด้วยในการสกัด .....	30
2.5 สรุปงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการสกัดสารจากข้าว .....	31
3.1 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรพื้นที่ 1 .....	43
3.2 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรพื้นที่ 2 .....	44
3.3 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรพื้นที่ 3 .....	45
3.4 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรปรับปรุง 1 (สูตรพื้นที่ 1 เดิมสารสกัดน้ำมันรำข้าว).....	46
3.5 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรปรับปรุง 2 (สูตรพื้นที่ 2 เดิมสารสกัดน้ำมันรำข้าว).....	47
3.6 ส่วนประกอบตำรับเซรั่มพื้น .....	48
3.7 ส่วนประกอบตำรับเซรั่มปรับปรุง.....	49
4.1 น้ำหนักแห้งและร้อยละความชื้นของรำข้าว .....	52
4.2 ลักษณะของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ในแต่ละสายพันธุ์.....	53
4.3 ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้จากรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบสภาวะเขย่า และการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต .....	55
4.4 เปรียบเทียบปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านสกัดแบบสภาวะเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต.....	58
4.5 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบสภาวะเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต.....	60
4.6 เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบสภาวะเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต.....	61
4.7 เปรียบเทียบค่า IC <sub>50</sub> ของสารมาตรฐานแต่ละชนิด .....	63
4.8 เปรียบเทียบค่า IC <sub>50</sub> ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ในการต้าน อนุมูลอิสระ DPPH ที่สกัดแบบสภาวะเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต.....	64
4.9 เปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS <sup>+</sup> เทียบเท่ากับสารมาตรฐานโทรลือกซ์ (TEAC) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบเขย่าและสกัดแบบชอกท์เลต...	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐาน เฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ ) และโทรลล็อกซ์ (TEAC) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าว สายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบเขย่าและสกัดแบบชอกท์เลต.....	68
4.11 เปรียบเทียบสีรำข้าว 5 สายพันธุ์ที่ผ่านการตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	71
4.12 ปริมาณน้ำมันรำข้าวจากสภาวะการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อน จากคลื่นไมโครเวฟ.....	74
4.13 ปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	80
4.14 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	84
4.15 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	88
4.16 เปรียบเทียบค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันรำข้าว ที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	92
4.17 ปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS <sup>•+</sup> เทียบเท่ากับสารมาตรฐานโทรลล็อกซ์ (TEAC) ในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	96
4.18 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐาน เฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ ) ในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	100
4.19 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐาน โทรลล็อกซ์ (TEAC) ในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	101
4.20 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดหลังผ่านการตัดแปลงด้วย วิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในรำข้าว 5 สายพันธุ์ต่าง.....	105
4.21 เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันรำข้าวระหว่างรำข้าวชุดควบคุมกับรำข้าวที่ผ่าน การตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	109
4.22 เปรียบเทียบสารแกมมาออโรซานอลระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าว ที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	114

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.23 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	118
4.24 เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	121
4.25 เปรียบเทียบค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	125
4.26 เปรียบเทียบปริมาณ TEAC ที่มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระ ABTS +• ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	129
4.27 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO <sub>4</sub> ) ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	133
4.28 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ (TEAC) ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.....	134
4.29 ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์โลชั่นพื้น 3 สูตร.....	138
4.30 ค่าความพึงพอใจในอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรพื้น.....	139
4.31 ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรปรับปรุง.....	140
4.32 ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์เซรั่มพื้นและสูตรปรับปรุง.....	141
4.33 การต้านอนุมูลอิสระของโลชั่นและเซรั่มด้วยวิธี DPPH.....	143
4.34 จำนวนโคโลนีที่พบในผลิตภัณฑ์.....	144
4.35 ค่าความชุ่มชื้นของผิวบริเวณที่ทดสอบผลิตภัณฑ์โลชั่น และเซรั่มสูตรปรับปรุง.....	145
4.36 ค่าความพึงพอใจในอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์โลชั่น และเซรั่มสูตรปรับปรุง.....	146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	5
2.2 รำข้าวหยาบ (ก) และ รำข้าวละเอียด (ข).....	6
2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารสำคัญต่างๆ ที่พบในน้ำมันรำข้าว.....	8
2.4 สูตรโครงสร้างทางเคมีของแกมมาออโรซานอล.....	9
2.5 โครงสร้างวิตามินอี.....	10
2.6 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์.....	11
2.7 โครงสร้างฟีนอลิก.....	12
2.8 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ.....	13
2.9 แสดงการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์ไลเปส.....	15
2.10 โครงสร้างอนุมูล DPPH.....	19
2.11 โครงสร้างอนุมูล ABTS <sup>+</sup> .....	20
2.12 ปฏิกิริยาของวิธี FRAP.....	20
2.13 โครงสร้างชั้นผิวหนัง.....	22
4.1 ปริมาณน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดใช้ชุดชอกห์เลต.....	56
4.2 ปริมาณแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกห์เลต.....	58
4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกห์เลต.....	60
4.4 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกห์เลต.....	62
4.5 ค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกห์เลต.....	64
4.6 ปริมาณ TEAC ต้านอนุมูลอิสระ ABTS <sup>+</sup> ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกห์เลต.....	66
4.7 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกห์เลต.....	69
4.8 ปริมาณ TEAC ในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกห์เลต.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ปริมาณน้ำมันรำข้าวในแต่ละสายพันธุ์รำข้าวผ่านการตัดแปลงด้วยความร้อนจาก คลื่นไมโครเวฟด้วยวิธีสกัดแบบเขย่า.....	77
4.10 ปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการตัดแปลงด้วย ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	81
4.11 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการตัดแปลงด้วย ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	85
4.12 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการตัดแปลงด้วย ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟด้วย.....	89
4.13 ค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่าน การตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	93
4.14 ปริมาณ TEAC ต้านอนุมูลอิสระ ABTS** ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่าน การตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	97
4.15 ปริมาณเฟอร์ริซัลเฟตในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่าน การตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	102
4.16 ปริมาณ TEAC ในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่าน การตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ.....	103
4.17 อัตราส่วนรำข้าวต่อโซเดียมอะซิเตทบัพเฟอร์.....	104
4.18 ปริมาณน้ำมันรำข้าวระหว่างรำข้าวชุดควบคุมกับรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วย วิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์.....	111
4.19 ปริมาณสารแกมมาออโรซานอลระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าว ที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน รำข้าวต่อบัพเฟอร์.....	115
4.20 ปริมาณสารแกมมาออโรซานอลจากน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วย วิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์.....	115
4.21 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าว ที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน รำข้าวต่อบัพเฟอร์.....	119

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าว ที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์.....	122
4.23 ค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับ น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์.....	126
4.24 ปริมาณ TEAC ต้านอนุมูลอิสระ ABTS <sup>++</sup> ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับ น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์.....	130
4.25 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับ รำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์.....	135
4.26 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลง ด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์.....	135
4.27 ปริมาณ TEAC ในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับ น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์.....	136
4.28 ปริมาณ TEAC ในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลง ด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์.....	136
4.29 ความชุ่มชื้นของผิวบริเวณที่ทดสอบผลิตภัณฑ์.....	145

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
DK	รำข้าวไร้สายพันธุ์ดอกขาม
D	รำข้าวไร้สายพันธุ์ดอกข่า
KNG	รำข้าวไร้สายพันธุ์เข็มเงิน
ND	รำข้าวไร้สายพันธุ์นางดำ
MA	รำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105
control	รำข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงก่อนการสกัด
IC <sub>50</sub>	ความเข้มข้นของสารสกัดที่ต้านอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50
TEAC	Trolox Equivalent Antioxidant Capacity
GAE	Gallic Acid Equivalent
QE	Quercetin Equivalent
(w/v)	โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
(v/v)	โดยปริมาตร
(w/w)	โดยน้ำหนัก
DW	น้ำหนักรำข้าวแห้ง
<i>et al.</i>	และคณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

“ข้าว” เป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ประชาชนกว่าครึ่งหนึ่งของโลกบริโภคเป็นอาหารหลักเฉลี่ยคนละประมาณ 130 กิโลกรัมต่อปีโดยเฉพาะชาวเอเชีย ดังนั้นข้าวจึงเป็นที่นิยมปลูกกันมากในทวีปเอเชีย ข้าวจัดเป็นพืชล้มลุกวงศ์หญ้า (Family: Gramineae หรือ Poaceae) สกุลออไรซ่า (Genus: *Oryza*) ซึ่งเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและอบอุ่น (นิลวรรณ และคณะ, 2548) ปัจจุบันประเทศไทยมีข้าวหลากหลายสายพันธุ์จัดได้ว่าเป็นแหล่งพันธุกรรมข้าวอันอุดมสมบูรณ์ ข้าวสายพันธุ์ทั่วไปต้องปลูกในที่น้ำท่วมขัง แต่ก็มีข้าวบางสายพันธุ์ เช่น ข้าวไร่ ซึ่งมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในการเจริญเติบโตที่แตกต่างจากข้าวทั่วไป สามารถปลูกได้โดยไม่ต้องมีน้ำขัง ทนแล้ง ต้านทานโรคและแมลง อาศัยเพียงน้ำค้าง น้ำฝน และความชื้นในดินก็สามารถเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้ยังมีคุณค่าทางโภชนาสูง เนื่องจากมีโปรตีน ธาตุเหล็กสูง และมีความหอมในบางสายพันธุ์ ดังนั้นข้าวไร่จึงเป็นพืชทางเลือกที่ควรส่งเสริมเพื่อปลูกในพื้นที่ที่มีน้ำน้อย ข้าวไร่สามารถปลูกได้ทุกภูมิภาคของประเทศไทยแต่นิยมปลูกมากทางภาคใต้โดยเฉพาะพื้นที่จังหวัดชุมพรมีข้าวไร่พันธุ์พื้นเมือง และมีการเก็บรักษาพันธุ์มาอย่างต่อเนื่องทั้งพันธุ์ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว เช่น ข้าวเจ้าพันธุ์เล็บนก ดอกขาม ข้าวดำ นางเขียน เล็บมือนาง และข้าวเหนียวดำพันธุ์ กาเขียว เป็นต้น (ร่วมจิตร และคณะ, 2553) ก่อนที่นำมาบริโภคเมล็ดข้าวครบเมล็ด (Whole rice) ต้องผ่านกรรมวิธีสีเอาเปลือกข้าวออก นอกจากนี้ในกรรมวิธีสีข้าวนั้นยังทำให้ได้สิ่งเหลือใช้ชนิดหนึ่งออกมา คือ รำข้าว (Rice bran) ซึ่งประกอบด้วยจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวน้ำตาลอ่อน รำข้าวเป็นผลพลอยได้ที่มีปริมาณสูงและคาดว่ามียาข้าวเหลือใช้ถึง 40 ล้านตันต่อปี (นัยนา และ เรวดี, 2545 ; Pourali *et al.*, 2009)

รำข้าว จัดเป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน กากใย วิตามินบีรวม และแร่ธาตุต่างๆ รวมไปถึงสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติหลายชนิด ได้แก่ แกมมาออโรซานอล แอลฟาโทโคฟีรอล และโทโคไตรอีนอล เป็นต้น (Saunders, 1985 ; Chen and Bergman, 2005 ; Lerma-Garcia *et al.*, 2009) นอกจากนี้รำข้าวยังเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Nicolosi *et al.*, 1994) โดยเฉพาะสารแกมมาออโรซานอลซึ่งเป็นสารที่พบเฉพาะในรำข้าวเท่านั้นมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) คล้ายกับวิตามินอี รวมถึงมีฤทธิ์ป้องกันการออกซิไดส์มากกว่าโทโคเฟอรอล โทโคไตรอีนอล การที่รำข้าวมีสารป้องกันการออกซิไดส์หลากหลายชนิดช่วยให้น้ำมันรำข้าวคงสภาพได้นานทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ (กลิ่น รส สี) และคุณสมบัติทางเคมี (สารสำคัญในน้ำมัน) (นัยนา และเรวดี, 2545 ; Chakuton *et al.*, 2012) เนื่องจากในรำข้าวมีปริมาณไขมันร้อยละ 12-25 โดยน้ำหนัก ปริมาณไขมันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าวนั้นๆ การที่รำข้าวมีปริมาณไขมันสูงจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเหม็นหืนซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในรำข้าวย่อยสลายไขมันทำให้ปริมาณไขมันรำข้าวลดลงและมีคุณภาพไม่ดี รวมถึงอาจส่งผลต่อปริมาณแกมมาออโรซานอล และสารสำคัญต่างๆ ที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง (Orthoefer, 2005 ; Carrol, 1990 ; Juliano, 1994) ดังนั้นหากต้องการที่จะได้ปริมาณน้ำมันรำข้าวมากและมีคุณภาพดี กระบวนการตัดแปรงรำข้าวก่อนการสกัดจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อทำลายหรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในรำข้าวให้เร็วที่สุด และวิธีการสกัดที่นิยมคือแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลตซึ่งขึ้นอยู่กับตัวทำละลายที่ใช้สกัด (Butsat and Siriamornpun, 2010 ; Arab *et al.*, 2011 ; Banat *et al.*, 2013) จากผลการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สาธารณสุขระบุชัดเจนว่าแกมมาออโรซานอลในรำข้าวมีความปลอดภัยสูงโดยไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติของยีน ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และเนื้องอก มีฤทธิ์ในการลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ทำให้ลดการตีบตันของหลอดเลือด เพิ่มการไหลเวียนของโลหิต รักษาอาการผิดปกติของสตรีวัยทองช่วยเสริมสร้างในด้านความจำ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางทั้งในอาหาร เครื่องสำอาง ซึ่งช่วยรักษาความคงทนของสีผลิตภัณฑ์ สามารถลดเลือนริ้วรอยแห่งวัย เพิ่มความชุ่มชื้นให้ผิว รักษาอาการผิวหนังแห้ง ใช้รักษาโรคผิวหนังอักเสบ นอกจากนี้ยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ (ชนันภรณ์ และคณะ, 2556 ; Cicero and Derosa, 2005)

ด้วยความหลากหลายทางสายพันธุ์ข้าวไร่และคุณสมบัติที่แตกต่างจากข้าวทั่วไป สารสำคัญต่างๆ ที่มีประโยชน์มากมายในรำข้าว จึงทำให้เกิดความสนใจในการศึกษาเพื่อให้ได้งานวิจัยที่ครบถ้วนสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในงานวิจัยอื่นๆ ในอนาคต การตัดแปรงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟและวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดน้ำมันรำข้าวจากข้าวไร่ในแต่ละสายพันธุ์ให้ได้ปริมาณสารสำคัญต่างๆ มาก และมีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดี เพื่อคัดเลือกน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ที่มีปริมาณสารแกมมาออโรซานอล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดมาเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เวชสำอาง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาเทคนิคการตัดแปรงรำข้าว ร่วมกับเทคนิคการสกัดเพื่อให้ได้น้ำมันรำข้าวปริมาณมาก
- 2) ศึกษาการสกัดและวิเคราะห์น้ำมันรำข้าวจากรำข้าวไร่สายพันธุ์ต่างๆ
- 3) ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์จากน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้
- 4) พัฒนารับผลิตภัณฑ์บำรุงผิวชนิดต่างๆ ได้แก่ เซรั่ม และโลชั่นบำรุงผิวที่มีน้ำมันรำข้าวเป็นส่วนประกอบ

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาและพัฒนาเทคนิคการตัดแปลงรำข้าว 2 วิธี คือวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ และวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสก่อนเทคนิคการสกัดน้ำมันจากรำข้าว 5 สายพันธุ์ และทำการศึกษาน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ วิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ อาทิเช่น สารแกมมาออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธี DPPH, ABTS<sup>+</sup> และ FRAP เพื่อนำน้ำมันรำข้าวที่มีคุณสมบัติเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่ดีที่สุดมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เวชสำอาง เช่น เซรั่ม และ โลชั่นบำรุงผิวที่มีลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ดี รวมถึงการประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัครเมื่อทาผลิตภัณฑ์

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบเทคนิคการตัดแปลงรำข้าว
- 2) ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการตัดแปลงรำข้าว การสกัดน้ำมันรำข้าวเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่มีสารสำคัญต่างๆ มาก
- 3) ทราบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของแกมมาออโรซานอลที่สกัดได้จากรำข้าวไร่
- 4) ได้ตำรับผลิตภัณฑ์ทางเวชสำอางชนิดต่างๆ เช่น เซรั่ม และโลชั่นบำรุงผิว

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ข้าว

#### 2.1.1 การแบ่งประเภทข้าว (อรอนงค์, 2547)

ข้าวเป็นธัญพืชที่มีบทบาทต่อวิถีชีวิตของคนไทย นิยมปลูกกันมากในเอเชียและใช้บริโภคประมาณร้อยละ 90 จึงถือเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ข้าวเป็นพืชล้มลุกจัดอยู่ในตระกูลหญ้า (Family : *Gramineae*) สกุลออไรซ่า (Genus : *Oryza*) เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและอบอุ่น (นิลวรรณ และคณะ, 2548) ในปัจจุบันประเทศไทยมีข้าวหลากหลายสายพันธุ์ถือเป็นแหล่งพันธุกรรมข้าว พันธุ์ที่รู้จักและนำมาปลูกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ *Oryza savita* Linn. นิยมเพาะปลูกในทวีปเอเชีย และ *Oryza glaberrina* Steud. นิยมเพาะปลูกในทวีปแอฟริกา ข้าวส่วนใหญ่ที่ทำการเพาะปลูก และซื้อขายกันในตลาดโลกเกือบทั้งหมดจะเป็นข้าวจากทวีปเอเชีย แบ่งเป็น 3 กลุ่ม (subspecies) ตามลักษณะสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาทั่วไป

2.1.1.1 ข้าวอินดิกา (*Indica*) เป็นข้าวเจ้าที่มีลักษณะเมล็ดเรียวยาวรี ลำต้นสูง

2.1.1.2 ข้าวจาปอนิกา (*Japonica*) เป็นข้าวเหนียวเมล็ดป้อม กลมรี

2.1.1.3 ข้าวจาวานิกา (*Javanica*) เป็นข้าวลักษณะเมล็ดป้อมใหญ่ พันธุ์ผสม

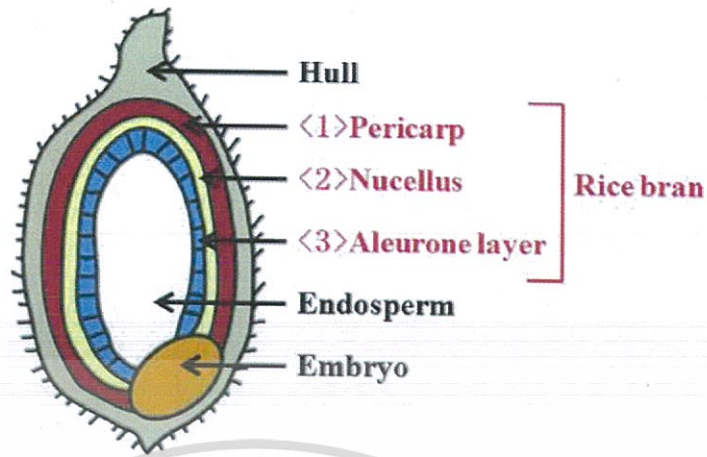
ระหว่างข้าวอินดิกาและจาปอนิกา

#### 2.1.2 ข้าวไร่ (Upland rice) (บุญหงษ์, 2549 ; ร่วมจิตร, 2557)

ข้าวไร่เป็นพืชทางเลือกสำหรับการผลิตอาหารในสภาพที่มีน้ำจำกัด เนื่องจากต้องการน้ำน้อย และทนแล้งได้ดี อาศัยเพียงน้ำค้าง น้ำฝน และความชื้นในดินก็สามารถเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้ ข้าวไร่มีต้นสูงปานกลางประมาณ 130-150 เซนติเมตร สามารถปลูกแซมในที่ว่างตามสวนปาล์ม สวนยางพารา ที่มีเนื้อที่ปลูกไม่มาก ข้าวไร่จึงเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ดีทางภาคใต้ และทุกภูมิภาคของประเทศไทยทั้งบนที่ดอนและที่ลาดชันโดยไม่ต้องมีน้ำขัง มีลักษณะเด่นในการต้านทานโรค และต้านทานแมลง

#### 2.1.3 ลักษณะทั่วไปของข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนกลีบ (hull) ร้อยละ 15-30 เปลือกหุ้มเมล็ดแบ่งเป็นเยื่อสีน้ำตาลชั้นนอก (pericarp coats) ร้อยละ 4-5 ถัดเข้ามาคือเยื่อชั้นกลางบาง (nucellus) 1 ชั้นเยื่อชั้นในสุด (aleurone layer) ร้อยละ 12-14 จมูกข้าว (embryo) ร้อยละ 2-3 และส่วนเมล็ดข้าวขาว (endosperm) ร้อยละ 65-67 โดยน้ำหนักเต็มเมล็ด (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว  
ที่มา : Mizushina *et al.* (2013)

#### 2.1.4 รำข้าว

รำข้าว เป็นส่วนเยื่อชั้นนอกห่อหุ้มเมล็ดธัญพืชประกอบด้วย เยื่อสีน้ำตาลชั้นนอก (pericarp coats) และ เยื่อชั้นในสุด (aleurone) ในรำข้าวบางสายพันธุ์มีสีรำข้าวบนเยื่อหุ้มเมล็ด เช่น สีแดง สีดำ เป็นต้น (Nam *et al.*, 2006 ; Qiu *et al.*, 2009) โดยทั้งส่วนรำและจมูกข้าวเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าว หรือ การขัดข้าวกล้องให้เป็นข้าวขาว รำข้าวพบประมาณ 5-8 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวทั้งหมด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท รำหยาบ (รูปที่ 2.2 ก) ที่ได้จากการขัดผิวข้าวกล้อง ส่วนรำละเอียด (รูปที่ 2.2 ข) ได้จากการขัดขาวและขัดมัน องค์ประกอบทางเคมีในรำข้าวประกอบด้วยใยอาหาร โปรตีน ไขมัน แป้ง รวมทั้งวิตามิน เกลือแร่ สารต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอลิกลิพิด (alkylresorcinol) (Gullón *et al.*, 2014 ; Landberg *et al.*, 2014) สารไฟโตสเตอรอล (phytosterols) และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด (phytochemical) ซึ่งส่วนรำข้าวอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการสำคัญคือ โทโคไตรอีนอล (tocotrienols) จัดอยู่ในกลุ่มของวิตามินอี และสารแกมมาออไรซานอล ( $\gamma$ -oryzanol) ประมาณ 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ที่พบในสารสกัดน้ำมันรำข้าว มีคุณสมบัติช่วยต้านการอักเสบ ด้านมะเร็ง เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Carrol, 1990 ; Juliano, 1994 ; Orthofer, 1996 ; Aggarwal *et al.*, 2010) ช่วยลดคอเลสเตอรอลในร่างกาย และการเกิดโรคเรื้อรัง เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (Juliano *et al.*, 2005 ; Lerma-Garcia *et al.*, 2009) ทำให้รำข้าวนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเป็นน้ำมันรำข้าว เนื่องจากในรำข้าวมีปริมาณไขมันสูงสามารถเกิดกลิ่นหืนได้ง่ายจึงเป็นปัญหาสำคัญสำหรับการใช้ประโยชน์รำข้าว ดังนั้นขั้นตอนการเก็บรักษาคุณภาพยืดอายุของรำข้าวเป็นระยะเวลาานต้องเก็บรำข้าวไว้ในที่แห้ง และมีอุณหภูมิต่ำ (Orthofer, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รำข้าวหยาบ (ก) และ รำข้าวละเอียด (ข)

ที่มา : รำข้าวสายพันธุ์นางดำ

### 2.1.5 น้ำมันรำข้าว

น้ำมันรำข้าว (Rice bran oil) ผลิตภัณฑ์นิยมบริโภคอย่างกว้างขวางเป็นสารสกัดจากน้ำมันที่ได้จากพืช มีลักษณะทางโภชนาการในเชิงบวก (Oliveira et al., 2012) พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดดังตารางที่ 2.1 แต่ส่วนใหญ่คือไตรกลีเซอไรด์ไฮโดรคาร์บอนสายตรงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันมีคุณสมบัติเป็นกลาง (neutral lipid) ไม่มีขั้ว (non-polar) และไม่ชอบละลายในน้ำ (hydrophobic) น้ำมันรำข้าวมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันพืชทั่วไปขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลว ชนิดกรดไขมัน และการหักเหแสงเป็นต้น (จิราภรณ์, 2549) ในน้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันที่มีคุณค่าเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งสารที่ละลายได้ในไขมันคือ สารแกมมาออโรซานอลที่พบปริมาณมาก จึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง นอกจากนี้ในน้ำมันรำข้าวพบสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารกลุ่มวิตามินอี 0.10 ถึง 0.14 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  และ  $\delta$ -tocopherols รวมทั้ง  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  และ  $\delta$ -tocotrienols โดยพบว่ามีปริมาณ  $\alpha$ -tocopherols สูงสุดในน้ำมันรำข้าว และสารแกมมาออโรซานอล 0.90 ถึง 2.90 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นสารที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของข้าว มีประสิทธิภาพลดระดับไขมันเกาะผนังหลอดเลือด (low density lipoprotein) ต้นเหตุการเกิดเส้นเลือดตีบ (Duvernay et al., 2005) แต่ปัจจุบันยังไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากคุณภาพของรำข้าวจะเสื่อมลงอย่างรวดเร็วหลังจากผ่านกระบวนการขัดสีเพราะการทำงานของเอนไซม์ไลเปส และกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายส่งผลให้ไขมันเปลี่ยนแปลงกลายเป็นกรดไขมัน หรือ กลีเซอรอลในน้ำมันเพิ่มขึ้น ลดคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้เกิดกลิ่นหืน (นัยนา และเรวดี, 2545) กรดไขมันเป็นปัจจัยสำคัญในการลดประสิทธิภาพของสารแกมมาออโรซานอลส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลงดังนั้นจึงต้องมีการรักษาเสถียรภาพของน้ำมันรำข้าว เพื่อคงคุณภาพน้ำมันรำข้าว และปริมาณสารสำคัญที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าว เทคนิคการดัดแปลงรำข้าวเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อหลีกเลี่ยงการเสื่อมของน้ำมันรำข้าว เช่นเทคนิคการใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ อุณหภูมิ พีเอช ความชื้นเป็นต้น (Saunders, 1990 ; Lehtinent et al., 2003 ; Lakkakula et al., 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำมันรำข้าว

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
Saponifiable lipids	90-96
Neutral lipids	88-89
Triglycerides	83-86
Diglycerides	3-4
Monoglycerides	6-7
Free fatty acids	2-4
Waxes	3-4
Glycolipids	6-7
Phospholipids	4-5
Unsaponifiable lipids	4.2
Phytosterols	43
Sterolesters	10
Triterpene alcohols	28
Hydrocarbons	18
Tocopherols	3

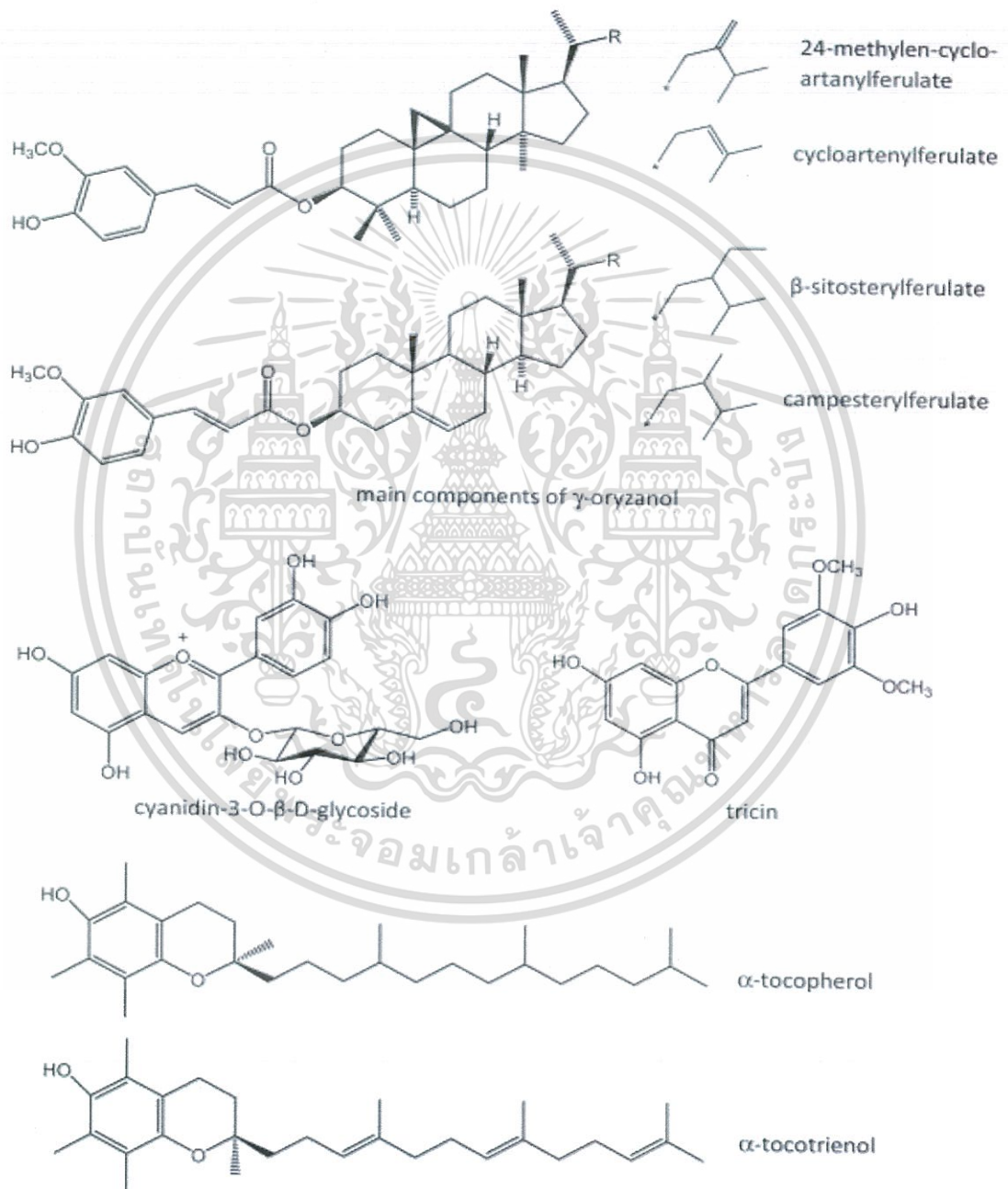
ที่มา : Kochhar (2002)

### 2.1.6 สารสำคัญในน้ำมันรำข้าว

สารประกอบทางเคมีตามธรรมชาติที่พบในรำข้าว หรือ เป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) มีหลากหลายชนิดโดยกลุ่มสารส่วนใหญ่ละลายอยู่ในส่วนน้ำมันรำข้าวโดย สารสำคัญที่เป็นเอกลักษณ์ที่มีความเข้มข้นสูงพบเฉพาะในน้ำมันรำข้าวคือ แกมมาออโรซานอล ( $\gamma$ -oryzanol) ปริมาณ 0.90 ถึง 2.90 เปอร์เซ็นต์ และวิตามินอี หรือสารกลุ่มโทโค ปริมาณ 0.10 ถึง 0.14 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 2.3) ปริมาณสารสำคัญในรำข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยของสายพันธุ์ข้าว สิ่งแวดล้อม เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบสารสำคัญอีกหลายชนิดที่มีความเข้มข้นต่ำ เช่น เลซิทีน (lecithin) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) กรดไฟติก (phytic acid) กรดไขมัน (unsaturated fatty acids) และ แอลกอฮอล์สายยาวออกทาโคซานอล (octacosanol) (Diack and Saska, 1994 ; Xu and Godber, 1999 ; Lloyd, *et al.*, 2000 ; Patel and Naik, 2004 ; Chen and Bergman, 2005a ; Stoggl *et*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*al.*, 2005 ; Ha *et al.*, 2006 ; Devi and Arumugan, 2007 ; Canan *et al.*, 2011) นอกจากนี้บริเวณผิวรำข้าว (pericarp) จะพบสารประกอบฟีนอลิก รวมถึงสารฟลาโวนอยด์ เช่น ฟลาโวน ไทรซิน (flavone tricin) (รูปที่ 2.3) สารโปรแอนโทไซยานินพบมากที่รำข้าวผิวสีแดง และสารแอนโทไซยานินพบมากที่รำข้าวผิวสีดำโดยเฉพาะ cyanidin-3-O- $\beta$ -D-glucoside (รูปที่ 2.3) (Mitsutoshi *et al.*, 2011 ; Walter and Marchesan, 2011).



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารสำคัญต่างๆ ที่พบในน้ำมันรำข้าว

ที่มา : Burlando *et al.* (2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6.1 แกมมาออไรซานอล ( $\gamma$ -oryzanol) (Xu and Godber, 1999)

กลุ่มสารประกอบเอสเทอร์ระหว่างกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) มีขั้วเป็นองค์ประกอบหลักที่ไม่เปลี่ยนแปลงกับสเตอรอล (sterol) หรือไตรเทอพินแอลกอฮอล์ (triterpene alcohols) (Cheruvanky, 2003) (รูปที่ 2.4) มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือเหลืองอ่อน ไม่ละลายน้ำ สามารถละลายได้ในสารละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ เอทิลอะซิเตท และอะซิโตน เป็นต้น Xu and Godber (1999) ค้นพบอนุพันธ์ของแกมมาออไรซานอลทั้งสิ้น 10 อนุพันธ์ได้แก่ Delta-7stigmasteryl ferulate, stigmasteryl ferulate, cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartanyl ferulate, Delta-7-campestenyl ferulate, campesteryl ferulate, Delta-7-sitostenyl ferulate, sitosteryl ferulate, campestanyl ferulate และ sitostanyl ferulate โดยองค์ประกอบหลักของแกมมาออไรซานอลมีอนุพันธ์ 4 ชนิดเท่านั้น คือ cycloartenyl ferulate, 24-methylene cycloartanyl ferulate, sitosteryl ferulate และ campesteryl ferulate มีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.3



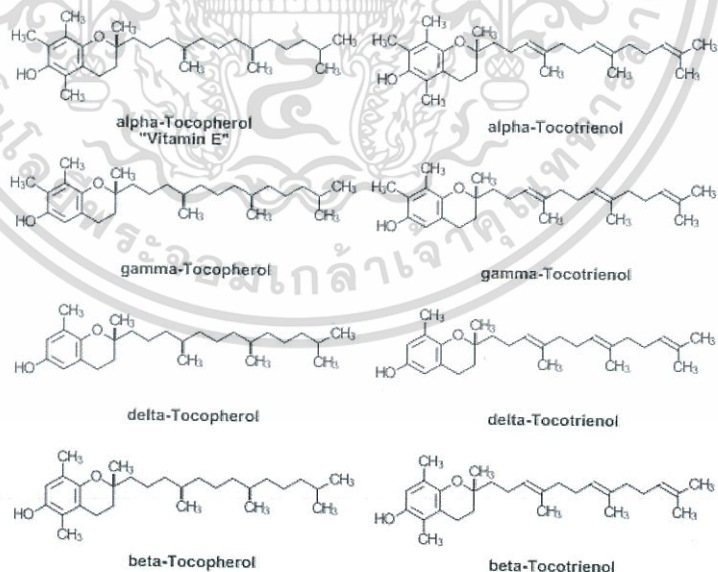
รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างทางเคมีของแกมมาออไรซานอล  
ที่มา : จิราภรณ์ (2549)

แกมมาออไรซานอลมีคุณสมบัติในการลดไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) โคลเลสเตอรอล (cholesterols) และไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ทำให้ลดการติดตันของหลอดเลือดเพิ่มการไหลเวียนของโลหิต เพิ่มระดับของไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูง (HDL) ในเลือด กระตุ้นการทำงานของต่อมใต้สมอง ยับยั้งการหลังกรดในกระเพาะอาหาร ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด มีฤทธิ์ในการลดความเครียดและรักษาอาการผิดปกติของสตรีวัยทอง นอกจากนี้ยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และยังป้องกันรังสียูวีได้ ทำให้ผิวหนังชุ่มชื้น ด้านการอักเสบเมื่อใช้กินหรือใช้ทา จากการวิจัยในอดีตยังไม่พบผลข้างเคียงของแกมมาออไรซานอลที่เป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลตามธรรมชาติเช่นเดียวกับโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล คงสภาพด้านคุณสมบัติทาง

กายภาพของน้ำมันรำข้าวได้นาน เช่น สี รส รวมทั้งคุณสมบัติทางเคมีก็ไม่เปลี่ยนแปลง (Patel and Naik, 2004)

### 2.1.6.2 วิตามินอี (Xu *et al.*, 2001)

วิตามินอีเป็นวิตามินที่ละลายได้ดีในไขมัน โครงสร้างประกอบด้วยส่วนหัวซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้วเรียกว่า วงแหวนโครแมน (chroman ring) และหมู่แทนที่ด้านข้างเป็นส่วนไม่มีขั้วได้มาจากหมู่ไฟทอล (phytol group) วิตามินอีมีหลายไอโซเมอร์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือโทโคฟีรอล (tocopherol) และโทโคไตรอีนอล (tocotrienol) โดยทั้ง 2 กลุ่มจะแบ่งเป็น 4 รูปแบบ คือ แอลฟา บีตา แกมมา เดลตา รวมอนุพันธ์ของวิตามินอีได้ทั้งหมด 8 ชนิด (รูปที่ 2.5) โทโคไตรอีนอลแตกต่างจากโทโคฟีรอลตรงหมู่แทนที่ด้านข้างซึ่งเป็นหมู่ไฟทอล ต่างกันที่จำนวนและตำแหน่งของหมู่เมทิลบนวงแหวนโครแมนจะมีพันธะคู่เพิ่มขึ้นมาอีก 3 แห่งที่ตำแหน่ง 3, 7, 11 ไพร์ม (Traber and Packer, 1995 ; Dionisi *et al.*, 1995 ; Abidi and Mounts, 1997 ; Eitenmiller, 1997) โดยแอลฟาโทโคฟีรอล ( $\alpha$ -tocopherol) เป็นไอโซเมอร์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุดในบรรดาไอโซเมอร์ทั้ง 8 ชนิด รวมด้วยแกมมาโทโคฟีรอล ( $\gamma$ -tocopherol) มีประสิทธิภาพมากกว่าในการเพิ่มระดับเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD) วิตามินอีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญของเมมเบรนที่มีลิพิดเป็นองค์ประกอบปกป้องไม่ให้เกิดลิพิดเปอร์ออกซิชั่น คุณสมบัติของวิตามินอีทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนแก่ลิพิดที่อยู่ในรูปอนุมูลลิพิด (L $\cdot$ ) ซึ่งมีความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันโรคที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบเรื้อรัง รวมถึงโรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคซรา และโรคอัลไซเมอร์



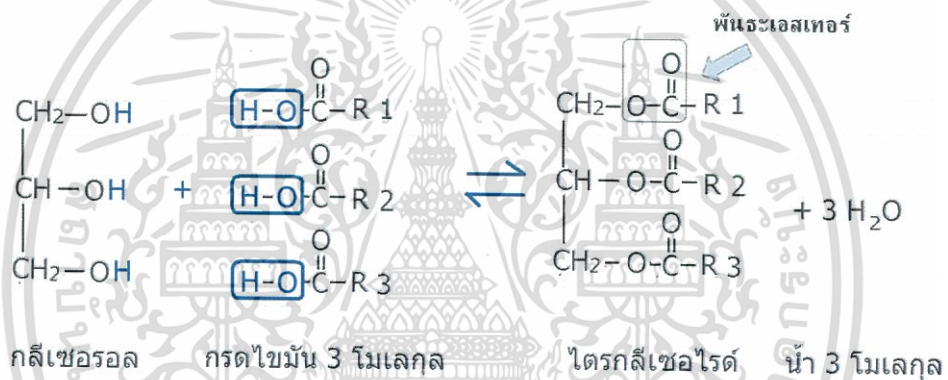
รูปที่ 2.5 โครงสร้างวิตามินอี

ที่มา : คลังความรู้ SCIMATH (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.3 กรดไขมัน (Fatty acid) (นัยนา และเรวดี, 2545 ; จิราภรณ์, 2549 ; Xu and Godber, 1999)

กรดไขมันมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) กรดไขมันที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นเลขคู่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4-24 อะตอม พบมากจำนวนคาร์บอน 16 และ 18 ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่ มีกิ่งก้าน (branch) หรือมีจำนวนคาร์บอนสูงกว่า 22 ตัว จะพบเพียงเล็กน้อย กรดไขมันในน้ำมันพืชส่วนใหญ่เป็นกรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) กรดไขมันมักรวมอยู่กับโมเลกุลอื่นและเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของไขมันอื่นๆ เกือบทุกชนิด โดยกรดไขมัน 3 โมเลกุลรวมตัวกับกลีเซอรอล (glycerol) ด้วยพันธะเอสเทอร์ กลายเป็นไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันทุกชนิด (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา (2010)

#### 1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid)

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีโครงสร้างเป็นสายตรงสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n}O_2$  เป็นกรดไขมันที่มีพันธะของคาร์บอนในโมเลกุลซึ่งไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีก น้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณมากจะมีจุดหลอมเหลวสูง และเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง จุดหลอมเหลวของกรดไขมันเพิ่มขึ้นตามจำนวนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการละลายน้ำของกรดไขมันจะต่ำลง กรดไขมันอิ่มตัวมักพบในไขมันจากสัตว์และน้ำมันมะพร้าว

#### 2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

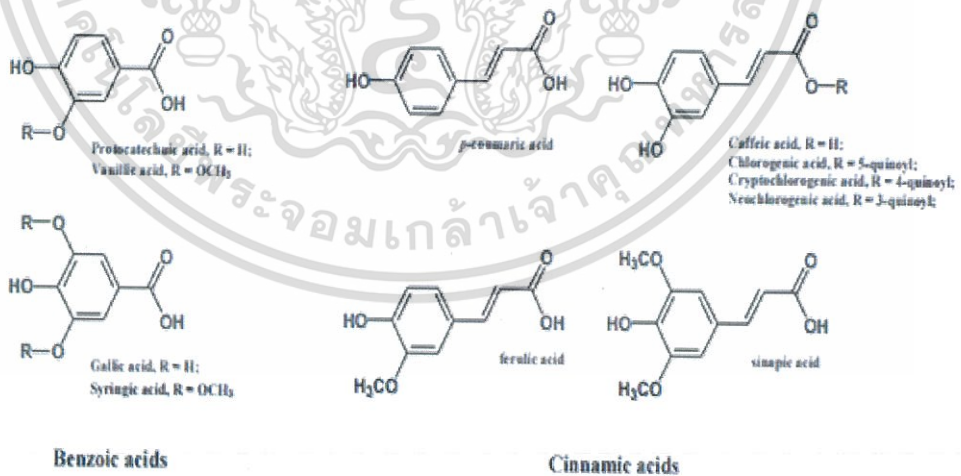
แบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามจำนวนพันธะคู่ได้เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มี 1 พันธะคู่ (monounsaturated fatty acids) มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-1}O_2$  เช่น กรดโอเลอิก (oleic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

acid; C18:1) พบมากในน้ำมันรำข้าว และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ (polyunsaturated fatty acids) เช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid; C18:2) หรือ โอเมก้า 6 กรดลิโนเลนิก (linolenic acid; C18:3) หรือ โอเมก้า 3 และกรดอะราคิโดนิก (arachidonic acid; C20:4) เป็นต้น

#### 2.1.6.4 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

ในกลุ่มของกรดฟีนอลิกที่สำคัญ ได้แก่ กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (p-hydroxybenzoic acid) กรดวานิลลิก (vanillic) กรดไซริงจิก (syringic) กรดพิกูมาริก (p-coumaric acid) กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) กรดแคฟเฟอิก (caffeic) กรดแกลลิก (gallic acid) และกรดซินแนปิก (sinapic acid) เป็นต้น ส่วนใหญ่อยู่ในรูปเอสเทอร์ของกรดอินทรีย์ หรือในรูปไกลโคไซด์พบมากในส่วนผนังเซลล์พืช โดยเฉพาะรำข้าวและส่วนกลีบ โดยฟีนอลิกจะอยู่ในรูปแบบอิสระหรือถูกไฮโดรไลซ์เมื่อย่อยสลายในสภาวะกรด ต่าง หรือโดยเอนไซม์ สามารถละลายน้ำได้ (Gao *et al.*, 2000 ; Adom *et al.*, 2002 ; Kim *et al.*, 2006 ; Pandey and Rizvi, 2009 ; Chandrasekara *et al.*, 2010 ; Liang *et al.*, 2014) ฟีนอลิก (Phenolic acid) เป็น non-flavonoid สารประกอบโพลีฟีนอลิกมีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก โดยมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่ หรือ มากกว่าหนึ่งหมู่ในโมเลกุลแบ่งออกเป็นสองประเภทขึ้นอยู่กับโครงสร้างจำนวนอะตอมคาร์บอนคือ อนุพันธ์กรดเบนโซอิก (benzoic acid,  $C_6C_1$ ) และอนุพันธ์กรดซินนามิก (cinnamic acid,  $C_6C_3$ ) (รูปที่ 2.7) แหล่งสารประกอบฟีนอลิกเปรียบเสมือนสารต้านอนุมูลที่ได้รับจากภายนอก (Eastwood, 1999)



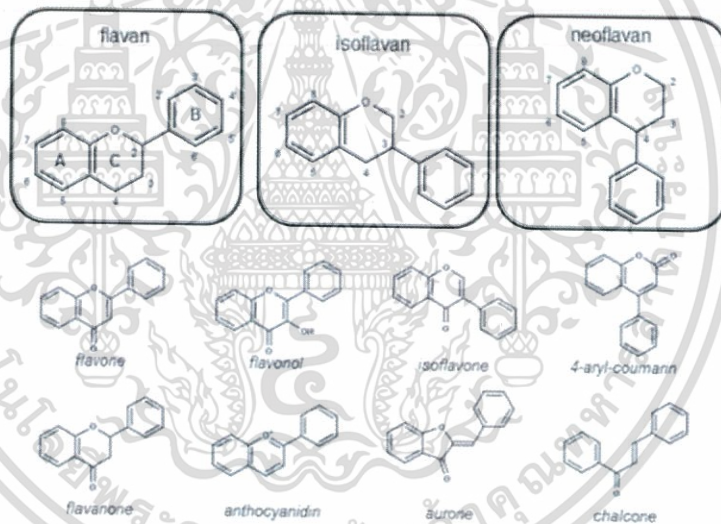
รูปที่ 2.7 โครงสร้างฟีนอลิก

ที่มา : Tsao (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6.5 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) (โอภา และคณะ, 2549)

สารฟลาโวนอยด์พบในพืชส่วนใหญ่เป็นสารที่มีสีได้แก่ สารสีแดง เหลือง ม่วง และน้ำเงิน เป็นต้น ฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารสำคัญของกลุ่มโพลีฟีนอลมีสูตรโครงสร้างหลักเป็น ฟลาเวน (Flavan) หรือ 2-ฟีนิลเบนโซไพแรน (2-phenylbenzopyran) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอมเรียงกันเป็นระบบ  $C_6C_3C_6$  โดยมีวงเบนซีน 2 วงจับกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม (รูปที่ 2.8) สารกลุ่มฟลาโวนอยด์แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้หลายกลุ่มตามความแตกต่างของสูตรโครงสร้างโดยเฉพาะที่วงซี ซึ่งเป็นวงที่มีอะตอมออกซิเจนอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น อีเทอร์ คีโตน รวมทั้งการมีหมู่ไฮดรอกซีแทนที่บนวงอะโรมาติกในโมเลกุล หมู่แทนที่คาร์บอนตำแหน่งต่างๆ โดยเฉพาะที่วงเอ และวงบี ส่วนใหญ่จะอยู่เป็นหมู่ไฮดรอกซี เมททอกซี และน้ำตาลต่างๆ (ในกรณีเป็นไกลโคไซด์) การแทนที่ของหมู่เหล่านี้ในตำแหน่งต่างๆ ทำให้เกิดเป็นสารฟลาโวนอยด์ในธรรมชาติที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมากดังตัวอย่างของสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์แสดงดังรูปที่ 2.8 เช่น ฟลาเวน (flavone) ฟลาโวนอล (flavonol) ไอโซฟลาเวน (iso-flavone) ฟลาวาโนน (flavanone) และซัลโคน (chalcone)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ

ที่มา : Pedro (2012)

### 2.1.6.6 กรดไฟติก (Canan et al., 2011)

กรดไฟติก (Phytic acid) หรือ เอนไซม์ไฟเตส (myo-inositolhexaphosphate) เป็นสารอินทรีย์ซึ่งสามารถจับกับแร่ธาตุประจุบวกได้แก่ เหล็ก สังกะสี และแคลเซียม ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโลหะถูกจับอยู่ในโมเลกุลโดยประจุลบจากแหล่งอื่นซึ่งไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ (Hurrel, 2004) พบมากที่ส่วนรำข้าวทั้ง 3 ชั้น ได้แก่ เยื่อสีน้ำตาลชั้นนอก เยื่อชั้นในสุด และจมูกข้าวมีปริมาณกรดไฟติกอยู่ในช่วง 5.94 ถึง 6.09 g/100 g (Kasim and Edwards, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6.7 ออกทาคอซานอล

น้ำมันรำข้าวเป็นหนึ่งในแหล่งที่มีออกทาคอซานอล (octacosanol) ปริมาณมากและมีประโยชน์ต่อสุขภาพเช่น ลดคอเลสเตอรอลหรือไขมันในเลือด เพิ่มความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อของร่างกายทำให้สามารถออกกำลังกายได้นานขึ้น ไม่มีผลข้างเคียง และมีฤทธิ์ทางชีวภาพ นิยมนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเสริม ยา และเครื่องสำอาง (Chen *et al.*, 2007 ; Kato *et al.*, 1995 ; Rapport, 2000 ; Shimura *et al.*, 1987)

## 2.2 หลักการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ และสารสำคัญจากพืช (พิมพ์, 2549)

### 2.2.1 การเตรียมตัวอย่างพืช

เป็นขั้นตอนสำคัญมากต้องมีการตรวจเอกลักษณ์ของพืชตามชนิดที่ต้องการควรมีข้อมูลเพาะปลูก เช่น แหล่งเพาะปลูก ช่วงเวลาในการเก็บพืชมาวิเคราะห์ จำต้องมีการควบคุมอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดความแปรผันในการผลิตสารสกัดแต่ละครั้ง

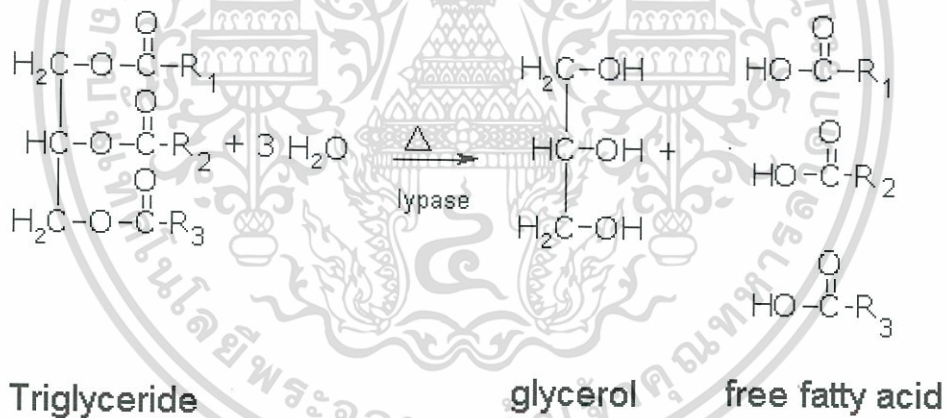
### 2.2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด (ดัดแปลงจากราพร, 2543)

รำข้าวจัดเป็นแหล่งของเอนไซม์หลายชนิดโดยเฉพาะไลเปส (lipase) เป็นเอนไซม์ที่ส่งผลต่อคุณภาพรำข้าวมากที่สุด สามารถไฮโดรไลซ์น้ำมันเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ (รูปที่ 2.9) เอนไซม์ไลเปสสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ 3 ปฏิกิริยาได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เอสเทอริฟิเคชัน (esterification) และทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) จากคุณสมบัติทางกายภาพของรำข้าวที่สามารถดูดซับความชื้นได้แปรไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ดังนั้น เอนไซม์ไลเปสในรำข้าวส่วนใหญ่จึงเหมาะสมต่อการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันในรำข้าวเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลต่อการเก็บรักษารำข้าวในระยะเวลานาน ดังนั้น หลักการดัดแปลง (pretreatment) หรือกระบวนการยับยั้งเอนไซม์ในรำข้าวมีหลายวิธีดังแสดงในตารางที่ 2.2 จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสามารถยับยั้งการเพิ่มของปริมาณกรดไขมันอิสระ ลดการเกิดกลิ่นหืน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษารำข้าว และส่งผลไปถึงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสำคัญที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าว เช่น แกมมาออโรซานอล โทโคฟีรอล เป็นต้น (Carrol, 1990 ; Juliano, 1994 ; Malekian *et al.*, 2000)

ตารางที่ 2.2 วิธีการดัดแปลงรำข้าว (pretreatment)

วิธีการดัดแปลง	สภาวะ	อ้างอิง
อบลมร้อน (hot air drying)	100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง	Sharma <i>et al.</i> , 2004
นึ่งไอร้อน (steaming)	100 องศาเซลเซียส 30 นาที	Rosniyana <i>et al.</i> , 2009
ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ (Microwave heating)	คลื่นความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต 800 วัตต์ นาน 3 นาที	Thanonkaew <i>et al.</i> , 2012
ฉายรังสี (infrared)	700 วัตต์ 30 นาที	Shin and Godber, 1996
ปมเอนไซม์เซลลูเลส (enzyme aided)	พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง	Wanyo <i>et al.</i> , 2014

ที่มา : ดัดแปลงจาก Amarasinghe and Gangodavilage. (2004) ; Abdul-Hamid *et al.* (2007) ; Lakkakula *et al.* (2004) ; Dhingra *et al.* (2012) ; Gul *et al.* (2015)



รูปที่ 2.9 แสดงการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์ไลเปส

ที่มา : จินดารัตน์ (2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 การสกัด

กระบวนการสกัดมีหลายวิธีควรเลือกใช้ตัวทำละลายให้เหมาะสมกับสมบัติของพืชและสารสำคัญที่ต้องการ และต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย

2.2.3.1 การสกัดแบบเขย่า (stirring) เป็นครั้งคราวที่อุณหภูมิห้องใช้เวลา 2-3 ชั่วโมงจนถึง 3 สัปดาห์แล้วแต่ชนิดของพืชเพื่อให้สารสำคัญถูกละลายออกมาจนหมด อาจมีการสกัดซ้ำเพื่อให้ได้สารสำคัญออกมามากที่สุด (นพมาศ, 2545)

2.2.3.2 การสกัดด้วยชุดซอกท์เลต (soxhlet extractor) เป็นวิธีการสกัดแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวทำละลายซึ่งมีจุดเดือดต่ำ ใช้ความร้อนทำให้ตัวทำละลายระเหยขึ้นไปแล้วกลั่นตัวกลับลงมาอีกรอบเวียนไปเรื่อยไปจนสารสกัดสมบูรณ์วิธีนี้จะประหยัดตัวทำละลายที่ใช้สกัด แต่ความร้อนอาจทำให้สารเคมีบางชนิดในพืชเสียสภาพ หรือ สลายตัวไป

### 2.2.4 การแยกส่วนประกอบ

กระบวนการสกัดมีหลายวิธีมักได้สารสกัดเป็นของเหลวซึ่งเจือจาง และมีปริมาณมาก จำเป็นต้องนำไปทำให้เข้มข้นเพื่อลดปริมาตรและสะดวกต่อการนำไปแยกส่วนผสม อาจทำได้หลากหลายวิธีเช่น การระเหยแห้งโดยกลั่นตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิต่ำ และลดความดันลงเทียบเท่าสุญญากาศด้วยเครื่องระเหยแห้งสุญญากาศ (vacuum evaporator) ส่วนการแช่แข็ง (freeze dry) เป็นการทำให้แห้งโดยไม่ผ่านความร้อน และการทำแห้งโดยวิธีสเปรย์ทราย (spray drying) เพื่อให้ได้สารสกัดหยาบ (crude) มีส่วนประกอบเป็นสารผสม หากต้องการสารสำคัญที่บริสุทธิ์ออกมาต้องอาศัยเทคนิคทางพิษเคมีในการแยก และผ่านขั้นตอนตรวจสอบเคมีเบื้องต้นจะได้สารบริสุทธิ์หรือสารกึ่งบริสุทธิ์ออกมา

### 2.2.5 การตรวจสอบเอกลักษณ์และการควบคุมคุณภาพ

ตรวจสอบสารสกัดที่ได้มีองค์ประกอบของสารสำคัญตรงตามต้องการหรือไม่ ทำการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative) หรือเชิงปริมาณ (quantitative) อาศัยเทคนิคต่างๆ โดยใช้โครมาโทกราฟี (chromatography) เช่น HPLC และ TLC เป็นต้น หรือใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี เช่น UV Visible และ IR เป็นต้น

### 2.2.6 การทดสอบฤทธิ์หรือสมบัติ

เป็นขั้นตอนเพื่อยืนยันสารสกัดว่ามีสมบัติหรือฤทธิ์ตามต้องการหรือไม่ โดยเริ่มทำการทดสอบในหลอดทดลองจนถึงขั้นตอนการทดสอบทางคลินิก

## 2.3 การเกิดอนุมูลอิสระ และการต้านอนุมูลอิสระ

### 2.3.1 อนุมูลอิสระ (โอภา และคณะ, 2549 ; Antolovich *et al.*, 2002)

อนุมูลอิสระ (free radicle) คืออิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลซึ่งจะแสดงด้วยจุดในตำแหน่งข้างบนของสัญลักษณ์ทางเคมี โดยเฉพาะอนุมูลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่าที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากอิเล็กตรอนเดี่ยวในออร์บิทัลวงนอกสุดจะไม่เสถียร และพยายามจับคู่กับอิเล็กตรอนเดี่ยวอื่น ดังนั้นอนุมูลอิสระจึงมีคุณสมบัติเฉพาะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีผลต่อการทำลายโมเลกุลอื่นๆ ต่อเนื่องไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ และสามารถคงอยู่ในสภาพอนุมูลได้นาน มีการบัญญัติศัพท์ขึ้นใหม่ให้ครอบคลุมทั้งอนุมูลอิสระและสารดังกล่าวว่าสารความไวสูง (reactive species) ในสิ่งมีชีวิตเกิดจากกระบวนการเผาผลาญของเซลล์โดยการใช้ออกซิเจนเป็นตัวเร่งเรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ตัวอย่างอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญในทางชีวภาพ ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน ( $O_2^-$ ) และอนุมูลไฮดรอกซี ( $OH^*$ ) เป็นอนุมูลที่พบในเซลล์มากกว่าอนุมูลอื่นๆ ส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) อนุมูลเหล่านี้มีบทบาทในปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นในเซลล์เป็นอย่างมากและมีความเป็นพิษสูง ถ้ามีมากในเซลล์จะเป็นอันตรายได้โดยมีผลทำลายดีเอ็นเอ เยื่อหุ้มเซลล์ และเซลล์อื่นๆ ในระยะสั้นอนุมูลอิสระมีผลต่อการอักเสบและการทำลายเนื้อเยื่อ ในระยะยาวมีผลต่อความเสื่อม หรือ การแก่ของเซลล์ ส่วนอนุมูลอิสระภายนอกได้รับจากแสงแดด รังสียูวี มลพิษในอากาศ และสารเคมีในอาหาร เป็นต้น

2.3.1.1 ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ (Antolovich *et al.*, 2002 ; บังอร และศศิลักษณ์, 2549)

ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระจัดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (free radical chain reaction) ซึ่งมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน คือ

#### 1. ระยะเหนี่ยวนำ (Initiation step)

ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ มักเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสลายพันธะด้วยน้ำ (hydrolysis) แสง (photolysis) รังสี (radiolysis) หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์อื่นๆ อีกหลายชนิดที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในเซลล์รวมถึงโมเลกุลที่มีความไวสูงในการทำปฏิกิริยา เช่น nitric oxide (NO) และ singlet oxygen ( $^1O_2$ ) ซึ่งหมายถึงออกซิเจนในสถานะที่ถูกกระตุ้น (excited state) สิ่งเหล่านี้ล้วนทำให้เกิดขั้นตอนอินิทิเอชันของปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ ดังเช่นสมการ

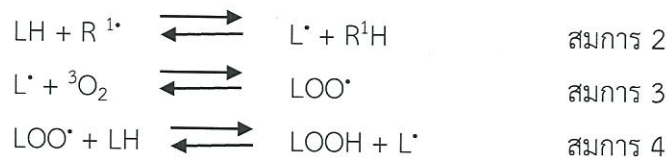


#### 2. ระยะเพิ่มจำนวน (Propagation step)

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในขั้นตอนอินิทิเอชันจะดำเนินปฏิกิริยาต่อไปในขั้นตอนพรอพาเกชัน โดยเกิดปฏิกิริยาขั้น 2 ทาง คือ การดึงเอาอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลข้างเคียง หรือ การทำปฏิกิริยากับโมเลกุลออกซิเจนที่อยู่ในสถานะ ground state ทำให้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาหรืออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมูลอิสระตัวใหม่ ดังสมการที่ 2-4



### 3 ระยะเวลาสิ้นสุด (Termination step)

เป็นขั้นตอนที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น 2 อนุมูลมารวมกันได้เป็นสารที่มีความเสถียร จึงเป็นการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ ดังสมการที่ 5 และ 6



### 2.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (โอภา และคณะ, 2549)

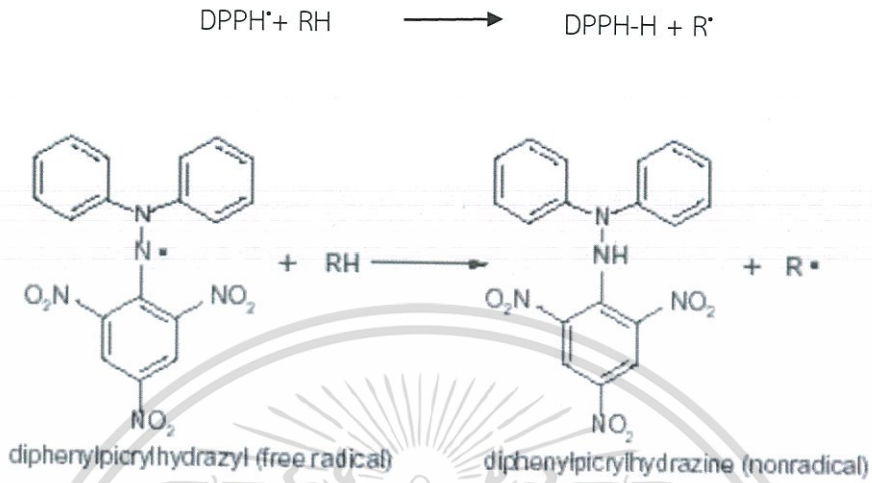
สารต้านอนุมูลอิสระเป็นคำศัพท์ที่แปลมาจากคำว่า antiradical ปัจจุบันคำศัพท์นี้ได้ถูกบัญญัติใหม่เป็นสารขจัดหรือกำจัดอนุมูลอิสระ (radical scavenger) เพื่อให้ถูกต้องตามการทำงานอาจใช้คำว่าสารแอนติออกซิแดนซ์ (antioxidant) หรือสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อยับยั้งอนุมูลอิสระให้หมดไป หรือ ต้านปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ โดยสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามแหล่งที่มาได้แก่ สารต้านอนุมูลแบบธรรมชาติ (natural antioxidant) พบในผัก ผลไม้ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก สารพลาไวโนอยด์ และ สารต้านอนุมูลแบบสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) ได้แก่ tert-butyl-4-hydroxyanisole (BHA) tert-butyl-hydroxytoluene (BHT) และ tert-butylhydroquinone (TBHQ) เป็นต้น

## 2.4 หลักการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ (โอภา และคณะ, 2549 ; Antolovich *et al.*, 2002)

### 2.4.1 DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

DPPH เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว (stable radical) มีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้ว โดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูล สารละลายมีสีม่วงตรวจวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์วัดการลดลงของสีเมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงไปซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 515-517 นาโนเมตร โดยอนุมูล DPPH<sup>•</sup> จะเกิดปฏิกิริยากับ antioxidant (RH) หรือกับ radical species (R<sup>•</sup>) (ดังแสดงในรูปที่ 2.10) ข้อดีของวิธีนี้คือ สะดวกเป็นวิธีสามัญทั่วไปจึงนิยมใช้ทดสอบฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ส่วนข้อด้อยของวิธีนี้คือ อนุมูล DPPH<sup>•</sup> มีความคงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์หรือร่างกาย อิเล็กตรอนเดี่ยวของ DPPH<sup>•</sup> จะถูกบด

บังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตรเจนในโครงสร้างอนุมูลทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูลหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง



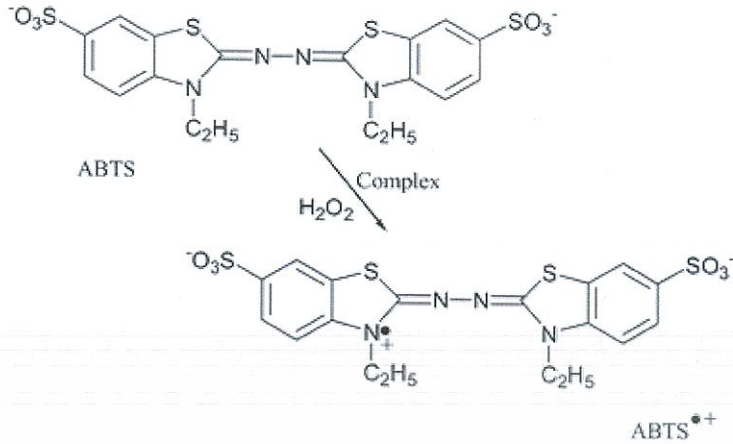
รูปที่ 2.10 โครงสร้างอนุมูล DPPH

ที่มา : Prior et al. (2005)

### 2.4.2 ABTS assay

ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)) เป็นสารที่ให้กำเนิดอนุมูล  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  เพื่อวัดความสามารถในการขจัดอนุมูล  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  ดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร อนุมูล  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  มีความคงตัว ถูกออกซิไดส์เมื่อเติมสารต้านอนุมูลลงไปทำให้มีสีลดลง (ดังแสดงในรูปที่ 2.11) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จะคำนวณเป็นค่าที่สมมูลกับสารต้านอนุมูลมาตรฐาน จึงมีชื่อว่า Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) พัฒนาริธีต่อมาทำโดยใช้สารอื่นในการทำให้เกิดอนุมูล  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  ได้แก่ แมงกานีสไดออกไซด์ ( $\text{MnO}_2$ ) หรือ โพตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) ทำให้สามารถวิเคราะห์สารต้านอนุมูลที่ละลายในลิพิด

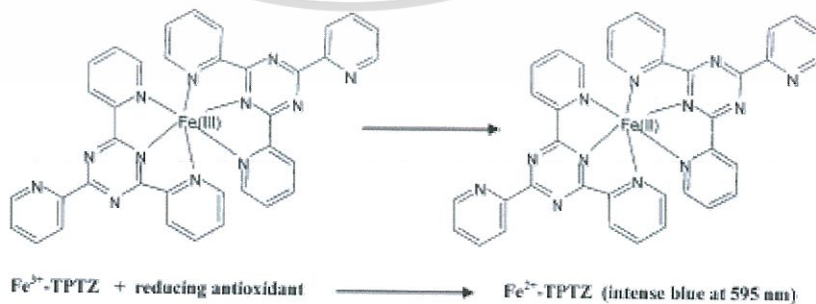
ข้อดีของวิธี TEAC คือ ทำได้ง่าย อนุมูล  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  จะทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูลภายในเวลา 5 นาที ปกติจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที การวิเคราะห์ทำได้ในช่วงพีเอชที่กว้าง สามารถศึกษาผลได้โดยละเอียด อนุมูล  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อใช้วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสารที่ละลายน้ำ หรือสารที่ละลายในไขมัน ส่วนข้อเสียของวิธีนี้ไม่เป็นสารตามธรรมชาติสามารถก่อให้เกิดอนุมูลในเซลล์หรือร่างกาย



รูปที่ 2.11 โครงสร้างอนุมูล  $\text{ABTS}^{\bullet+}$   
 ที่มา : โอภา และคณะ, 2549

2.4.3 FRAP assay

วิธีนี้เป็นวิธีวิเคราะห์หาค่า Total Antioxidant Capacity (TAC) โดยตรง มีหลักการว่าสารต้านอนุมูลออกซิเดชันในร่างกายทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนจึงเป็นสารรีดิวซ์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า TAC เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ วิธีนี้ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก  $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ (ferric tripyridyl triazine) เป็นสารทดสอบอะตอมเหล็กในสารนี้จะถูกรีดิวซ์ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ (ferrous tripyridyl triazine) ซึ่งมีสีน้ำเงินดุดกิ้นแสงที่มีความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 2.12) สารต้านออกซิเดชันจำพวกเดียวกันมีโครงสร้างที่คล้ายกันจะทำปฏิกิริยาได้ทั้งวิธีวิเคราะห์ FRAP และ ABTS แม้ว่าสองวิธีนี้จะมีความแตกต่างกันในเรื่องค่าพีเอช โดยวิธี ABTS วิเคราะห์ปฏิกิริยาในสภาวะเป็นกลาง ส่วนวิธี FRAP วิเคราะห์ปฏิกิริยาในสภาวะกรดที่มีค่าพีเอชต่ำเร่งการส่งผ่านอิเล็กตรอน และเพิ่มค่าต่างศักย์รีดอกซ์



รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาของวิธี FRAP  
 ที่มา : Prior et al. (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก (โอภา และคณะ, 2549 ; ณิชฐภรณ์, 2552)

วิธี Folin-Ciocalteu นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่ไม่สามารถระบุชนิดของโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ วิธีวิเคราะห์นี้เป็นปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน (reduction-oxidation) โดยโพลีฟีนอลถูกออกซิไดซ์ในสภาวะที่เป็นด่าง สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์วิธี Folin-Ciocalteu ประกอบด้วยโซเดียมทังสเตท (sodium tungstate) โซเดียมโมลิบเดต (sodium molybdate) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และ โซเดียมคาร์โบเนต (sodium carbonate) สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีจากปฏิกิริยาของไอออนโมลิบเดต (Mo(VI)) ซึ่งมีสีเหลืองเมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชันจะเปลี่ยนเป็น Mo(V) สีน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725-730 นาโนเมตร รายงานค่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (total polyphenol content) เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแกลลิก (gallic acid) กลไกการต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับจำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลของโครงสร้างกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก

#### 2.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์

วิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยใช้ colorimetric assay โดยกลไกในการต้านอนุมูลอิสระของสารฟลาโวนอยด์ทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจนเพื่อเพิ่มความเสถียรกับอนุมูล



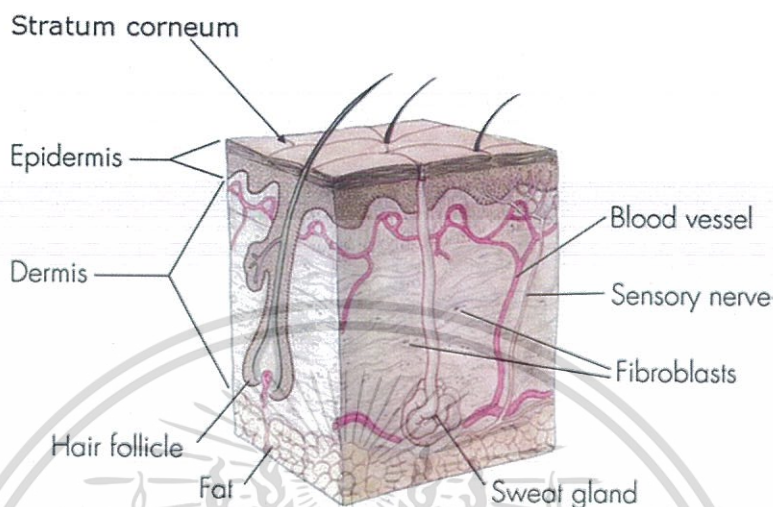
### 2.5 เครื่องสำอางสำหรับผิวหน้า

#### 2.5.1 โครงสร้างและหน้าที่ของผิวหนัง (Marty, 2009 ; พิมพ์, 2533 ; พิมพ์, 2537)

โครงสร้างของผิวหนังแบ่งเป็น 3 ชั้นดังนี้ ชั้นหนังกำพร้าเป็นผิวหนังชั้นนอกสุด (stratum corneum) ชั้นหนังแท้ (dermis) และชั้นใต้ผิวหนัง (hypodermis) (ดังแสดงในรูปที่ 2.13) โดยชั้นหนังแท้ด้านบนเป็นชั้นที่มีเส้นเลือดฝอยลูปและมีการจัดระเบียบอย่างหลวม กว้างหนังแท้ชั้นล่างประกอบด้วยคอลลาเจน กลุ่มไฟเบอร์ตาข่ายแน่นทำให้เกิดความตึงของผิวหนังและความยืดหยุ่น สามารถป้องกันความชื้น ยับยั้งการแพร่ของการติดเชื้อผิวหนัง ชั้นนี้มีทั้งต่อมไขมันเพื่อหล่อลื่นและปกคลุมผิว เส้นขน ต่อมกลิ่น และต่อมเหงื่อที่มีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ส่วนชั้นในสุดของผิว (hypodermis) คือชั้นรองรับผิวหนังที่ป้องกันอวัยวะภายในจากการถูกกระแทก และเป็นที่สะสมไขมันแก่ร่างกาย สาเหตุประการหนึ่งที่ทำให้เกิดริ้วรอยบนผิวหนัง คือ การที่ผิวหนังขาดความชุ่มชื้น ซึ่งเกิดจากสภาวะภายในของร่างกาย และการทำลายจากสิ่งแวดล้อม ผิวหนังชั้นนอกสุด จะต้องมียานมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบทั้งหมด เพื่อให้ส่วนประกอบทั้งหลายยังคงคุณสมบัติที่ดีเพียงพอที่จะทำให้ผิวหนังชั้นนอกสามารถรักษาหน้าที่ และคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำ การทำงานของเอนไซม์ เพื่อรักษาสภาพของผิวหนังให้ดูสวยงามนุ่มเนียนตลอดเวลาสัมผัส และทำให้เกิดการผลัดเปลี่ยนและหลุดออกของหนังกำพร้าตามปกติ ถ้าคุณสมบัติเหล่านี้เสียไปเพราะขาดน้ำ หรือขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชุ่มชื้นจากสาเหตุใดก็ตาม เช่น การอักเสบ การแห้งของอากาศ ผิวจะยิ่งแห้งขึ้นเรื่อยๆ และเกิดเป็นริ้วรอยที่สามารถสังเกตเห็นได้



รูปที่ 2.13 โครงสร้างชั้นผิวหนัง

ที่มา : Marty, 2009

## 2.5.2 อิมัลชัน (emulsion)

ผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด คือน้ำและน้ำมัน ผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยอาศัยตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) ลักษณะเนื้อเดียวนั้นเป็น 2 วัตถุประสงค์คือหยดเล็กๆ ของของเหลวเรียกว่า วัตถุประสงค์ภายใน (internal or dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า วัตถุประสงค์ภายนอก (external or continuous phase)

### 2.5.2.1 อิมัลชันแบ่งได้ตามลักษณะภายนอก

หยดของวัตถุประสงค์ภายในมีขนาดต่างกันมีผลต่อการกระจายแสงทำให้ลักษณะภายนอกของอิมัลชันแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขนาดหยดอนุภาควัตถุประสงค์ภายในสัมพันธ์กับลักษณะภายนอกของอิมัลชัน

ขนาดหยดอนุภาควัตถุประสงค์ภายใน	ลักษณะภายนอกของอิมัลชัน
< 0.05	โปร่งใส (transparent)
0.05-0.10	ขุ่นหรือโปร่งแสง (translucent)
0.10-1.00	สีขาวอมฟ้า
> 1.00	ขุ่นขาวทึบ

ที่มา : พิมพร, 2533 ; พิมพร, 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2.2 อิมัลชันแบ่งได้ตามของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและวัฏภาคภายนอก

- 1 อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำ วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำมัน เช่น ครีมล้างหน้า ครีมทาแก้ม คีร์มหน้า เป็นต้น
- 2 อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำ มีความเหนอะหนะน้อย ทาแล้วกระจายได้ดี ล้างน้ำออกง่าย เช่น ครีมทาแก้ม คีร์มหน้า ครีมรองพื้น เป็นต้น
- 3 อิมัลชันเชิงซ้อน (multiple emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีวัฏภาคภายในซ้อนกันอยู่เป็นของเหลวต่างชนิดกันเช่น W/O/W หรือ O/W/O

### 2.5.2.3 อิมัลชันแบ่งตามความหนืดได้ 2 ชนิด

- 1 โลชั่น (lotion) เป็นอิมัลชันที่มีความหนืดต่ำ พบทั้ง W/O และ O/W ในผลิตภัณฑ์ทาผิวเฉพาะผิวแห้งที่มีบริเวณกว้าง เพราะทาแล้วชุ่มชื้นไม่เหนอะหนะ ดูดซึมดี ให้ความรู้สึกสบายและล้างน้ำออกได้ง่าย
- 2 ครีม (cream) เป็นอิมัลชันที่มีความหนืดสูง เพราะมีส่วนประกอบของสารพวกไขแข็ง (waxes) และไขมัน (fatty acid or fatty alcohol) ซึ่งช่วยเพิ่มความหนืด และเนื้อครีมผสมอยู่กับน้ำมันในวัฏภาคน้ำมัน โดยครีมมักจะมี ความหนืดมากกว่าโลชั่น

## 2.5.3 จำแนกเครื่องสำอางที่ใช้สำหรับผิวหน้า (skin-care cosmetic)

2.5.3.1 เครื่องสำอางสำหรับทะนุบำรุงรักษาผิวหน้า (skin creams) แก้อ่อนนุ่มพร่องของผิวหน้า ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ชะลอความแก่ ขจัดสิว ขจัดฝ้า ทำให้ผิวขาว ผลิตภัณฑ์ครีม หรือโลชั่นที่ใช้สำหรับผิวหน้าเพื่อทะนุบำรุงรักษา และถนอมผิวพรรณให้มีความชุ่มชื้นนุ่มลื่นเมื่อสัมผัส จำเป็นต้องมีส่วนประกอบหลักเป็นสารมอยซ์เจอร์ไรเซอร์ที่ทำให้เกิดความชุ่มชื้นแก่ผิว ทำให้ผิวหน้าอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นดี และมีอิมัลลิลเลียนท์เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นมอยซ์เจอร์ไรเซอร์ หล่อลื่นผิวลดการเสียดทาน ทำให้ผิวชุ่มชื้นเนียนลื่นมือเวลาสัมผัส

2.5.3.2 เครื่องสำอางสำหรับปกป้องผิวหน้า (skin-protective cosmetics) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด และแมลงกัดต่อย

2.5.3.3 เครื่องสำอางสำหรับทำความสะอาด (skin-cleansing cosmetics) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดใบหน้า ร่างกาย และช่องปาก

2.5.3.4 เครื่องสำอางสำหรับแต่งความงามของผิวหน้า (colored cosmetics) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ตักแต่งตา ปาก แก้ม และเล็บ

## 2.5.4 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ครีมและโลชั่นบำรุงผิว

ครีมและโลชั่นบำรุงผิว เป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอิมัลชันที่มีองค์ประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วน คือ วัฏภาคน้ำมัน วัฏภาคน้ำ และตัวทำอิมัลชัน

### 2.5.4.1 องค์ประกอบที่ละลายในวัฏภาคน้ำมัน

องค์ประกอบที่เป็นวัฏภาคน้ำมันในรูปแบบอิมัลชันอาจเป็นน้ำมัน (oils) ไขมัน (fats) ไชแข็ง (waxes) ซึ่งได้จากธรรมชาติหรือการสังเคราะห์ มีตั้งแต่ของเหลวไปจนถึงของแข็งให้เลือกมากมาย สารต่างๆ เหล่านี้มีคุณสมบัติ ข้อดีและข้อเสียทั้งด้านคุณภาพต่อผิวหนังและคุณภาพต่อรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ ด้านคุณภาพต่อผิวหนังนั้นหน้าที่ที่สำคัญ ได้แก่ เป็นสารอิมอลเลี่ยนต์ (emollient) ซึ่งเป็นสารให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวหนัง (moisturizer) ทำหน้าที่หล่อลื่นผิวให้ชุ่มชื้นต่อการสัมผัสช่วยรักษาความชุ่มชื้น และเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับผิว คุณภาพเมื่อใช้ทาบนผิว เช่น การหล่อลื่น ความอ่อนนุ่ม ความเหนอะหนะ และการกระจายตัวบนผิวน้ำแตกต่างกันไป ส่วนคุณภาพต่อรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ตัวพา (Carrier) ที่ดีของน้ำหอม สี และกลิ่น กระจายตัวดี ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอและน่าใช้ เป็นสารเพิ่มความหนืดหรือ สารควบคุมความหนืดเป็นต้น

### 2.5.4.2 องค์ประกอบที่ละลายได้ในวัฏภาคน้ำ

ได้แก่ สารฮิวเมกแทนต์ (humectants) เป็นสารที่สามารถดูดเก็บความชื้นจากบรรยากาศรอบตัวมาเก็บในตัวได้ดี ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ และช่วยรักษาความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ สารเพิ่มความหนืด (thickener) เป็นสารช่วยเพิ่มความหนืดให้กับอิมัลชัน อาจเรียกว่าเป็นสารช่วยทำอิมัลชัน การเพิ่มความหนืดเป็นการเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะคุณสมบัติการไหลของอิมัลชันและความหนืดให้ดีขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เหลวจนเกินไป สารกันเสีย (preservative agent) เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิดในระหว่างการผลิต เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ ไม่เป็นพิษ ไม่ระคายเคืองผิวหนัง ไม่มีสี กลิ่น และไม่ระเหย

### 2.5.4.3 ตัวทำอิมัลชัน

ตัวทำอิมัลชันเป็นตัวสำคัญในการผสมผสานให้วัฏภาคน้ำ และวัฏภาคน้ำมันเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

## 2.5.5 การประเมินคุณภาพอิมัลชันทางเครื่องสำอาง

### 2.5.5.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory test)

ตรวจสอบประเมินผลขั้นต้นตามคุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ว่าเข้าเกณฑ์มาตรฐานตามที่ตั้งไว้หรือไม่ ซึ่งมีการทดสอบดังนี้

- 1 คุณสมบัติทางเคมี เช่น พีเอช
- 2 คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น สี การแยกชั้น ขนาดอนุภาคอิมัลชัน
- 3 วิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา เช่น ดูประสิทธิภาพสารกันเสียในผลิตภัณฑ์ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ทดสอบประสาทสัมผัส เช่น กลิ่น ความนุ่มนวล ความเนียน

2.5.5.2 การทดสอบคุณภาพด้านการใช้ของผลิตภัณฑ์ (Performance test)

การให้อาสาสมัครทดลองผลิตภัณฑ์ ทดสอบความพึงพอใจโดยตอบแบบสอบถามตามเกณฑ์ที่ผู้ผลิตตั้งไว้

2.5.5.3 การทดสอบผลต่อร่างกาย (Physiological test)

ทดสอบผลิตภัณฑ์ว่ามีผลเสียหรือเป็นอันตรายต่อร่างกายหรือไม่ เช่น การแพ้หรือการระคายเคือง

2.5.5.4 การทดสอบด้านการคงสภาพของผลิตภัณฑ์ (Stability test)

ทดสอบผลิตภัณฑ์หลังการเก็บไว้นาน หรือถูกกระทบกระเทือนด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ แสง เป็นต้น ดูการคงสภาพของอิมัลชัน เช่น การแยกชั้น การตกตะกอน การเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น รวมถึงภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์

## 2.5.6 การระคายเคืองและการแพ้ของผิวหนัง

ผิวหนังเป็นส่วนเผชิญกับสิ่งต่างๆ ที่มาสัมผัสกับร่างกาย ดังนั้นผิวหนังจึงมีกลไกต่อต้านเพื่อปกป้องร่างกาย ในกรณีที่ผิวหนังแสดงอาการรุนแรงมากจะเกิดอาการบวมแดง เป็นเม็ดพุพอง ลอกตกสะเก็ด และคันเป็นผื่นแดง อาการเหล่านี้อาจเกิดได้จากสาเหตุ 2 ประการ คือ การระคายเคือง (irritation) และการแพ้ (allergy or sensitization)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jerma-Gacia *et al.* (2007) วิเคราะห์ความสามารถต้านอนุมูลอิสระของรำข้าว และ แป้งข้าวกล้อง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ Cimarron, Zeta 15 และ FONAIAP-1 ทั้ง 2 วิธี คือ ferric reducing antioxidant power (FRAP) โดยเตรียมสารละลาย FRAP reagent ผสมสารละลาย Acetate buffer (pH 3.6) 300 มิลลิโมลาร์ กับ สารละลาย Ferric chloride solution 20 มิลลิโมลาร์ และ สารละลาย 2,4,6-Tris (2-pyridyl)-1,3,5-triazine (TPTZ) 10 มิลลิโมลาร์ ให้เข้ากันใน อัตราส่วน 10 : 1 : 1 (v/v) ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร และ 2,20-azinobis-3-ethylbenzotiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) โดยเตรียมสารละลาย ABTS radical cation reagent 7 มิลลิโมลาร์ เจือจางด้วยเอทานอล เพื่อทดสอบกับตัวอย่างปริมาณ 1 มิลลิลิตร เทียบผล กับสารมาตรฐานโทรลิกซ์ ( $\mu\text{mol TEAC/g DW}$ ) พบว่ารำข้าวมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 รูปแบบได้ดีกว่าแป้งข้าวกล้อง

Azrina *et al.* (2008) วิเคราะห์รำข้าวขนาด 600 ไมโครเมตร ที่ผ่านการตัดแปลงของรำข้าว ด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 750 วัตต์ โดยใช้ RP-HPLC ตรวจวัดปริมาณแกมมาออโรซานอลที่ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร คลอลัมน์ C18 เปรียบเทียบกับแกมมาออโรซานอลมาตรฐานความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตรตัวทำละลายของเฟสเคลื่อนที่ acetonitrile : methanol : isopropanol อัตราส่วน 50 : 45 : 5 โดยปริมาตร พบว่าปริมาณแกมมาออโรซานอลในรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงมีความเข้มข้น (23.7 ถึง 43.0 มิลลิกรัมต่อกรัม) สูงกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงเมื่อเก็บไว้นาน 2 สัปดาห์

Lai *et al.* (2009) วิเคราะห์รำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ 120 องศาเซลเซียส 3 นาที กำลังไฟฟ้า 550 วัตต์ ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ตและบ่มที่ความเย็น 1 คีวิน (heating-cooling process) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปส เมื่อเทียบกับรำข้าวไม่ผ่านการตัดแปลง เอนไซม์ปริมาณเพิ่มขึ้น 18.4 จาก control 3.8 เปอร์เซ็นต์เมื่อเก็บตัวอย่างรำข้าว 6 สัปดาห์ก่อนนำมาสกัด และตรวจความสามารถต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ใช้สารละลายอนุมูล DPPH เข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ในตัวทำละลายเมทานอล ทดสอบกับสารละลายตัวอย่างในอัตราส่วน 1:10 (มิลลิลิตร) ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร พบว่าสารสกัดน้ำมันรำข้าว ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรมีฤทธิ์การต้านอนุมูล 93 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลมากกว่าการใช้ตัวทำละลายเอทิลอะซิเตต และเฮกเซน

Butsat and Siriamornpun (2010) วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรำข้าวขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบทั้ง 4 ส่วนจากส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว ได้แก่ ส่วนแกลบ รำข้าว ข้าวกล้อง และเมล็ดข้าวขาว ด้วยวิธี DPPH ใช้ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 1.9 มิลลิลิตรผสมกับสารละลายสารสกัด 100 ไมโครลิตร บ่ม 30 นาที ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโนเมตร พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้จากมากไปน้อย คือ รำข้าว แกลบ ข้าวกล้อง และเมล็ดข้าวขาวตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของรำข้าวมีค่าสูงสุดถึง 85.9 ถึง 86.7 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าการต้านอนุมูล DPPH สูงกว่าสารมาตรฐาน BHT (0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม) ส่วน แกลบ 42.0 ถึง 89.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวกล้อง 37.5 ถึง 68 เปอร์เซ็นต์ และส่วนเมล็ดข้าวขาว 25.2 ถึง 39 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาออโรซานอลด้วยวิธี RP-HPLC คลอลัมน์ C18 อัตราการไหล 1.5 มิลลิกรัมต่อนาที ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร พบว่ารำข้าวมีปริมาณแกมมาออโรซานอลสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆ ของข้าว

Arab *et al.* (2011) วิเคราะห์รำข้าว Fajr และ Tarem ดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 550 วัตต์ 3 นาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปสกัดด้วยอัตราส่วนรำข้าว 5 กรัมในตัวทำละลายเอทานอล 20 มิลลิกรัม วัดปริมาณน้ำมันรำข้าว Fajr และ Tarem ที่สกัดได้ 13.2 และ 5.94 เปอร์เซ็นต์ และวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร พบว่า Fajr และ Tarem มีค่า  $1.67 \pm 0.01$  และ  $1.05 \pm 0.02$  mg GAE/g bran

Alrahmany *et al.* (2012) วิเคราะห์รำข้าวโอ๊ตที่ผ่านการดัดแปลงคาร์โบไฮเดรตส่วนผนังรำข้าวด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส  $7.5 \times 10^4$  ยูนิต์ พีเอช 6.2 บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง 200 รอบต่อนาทีก่อนทำการสกัด ส่วนใสที่แยกจากส่วนรำมาตรวจวัดน้ำตาลรีดิวซ์พบว่ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้บ่มเอนไซม์ รวมถึงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ตรวจวัดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร มีปริมาณ  $3.40 \pm 0.20$  mg GAE/g bran ซึ่งได้ปริมาณมากกว่า control

Iqbal *et al.* (2012) วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกในสารสกัดใบไม้ 3 สายพันธุ์ *Morus alba* L., *Morus nigra* L. และ *Morus rubra* L. ใช้วิธี Folin-Ciocalteu reagent เจือจางสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:10 ใช้ทดสอบปริมาณ 100 ไมโครลิตร กับสารละลายสารสกัดตัวอย่าง 200 ไมโครลิตร เติมโซเดียมคาร์โบเนต 7.5 เปอร์เซ็นต์ 2 มิลลิกรัม บ่มในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับสารมาตรฐานแกลกลิก ผลที่ได้พบว่า *M. alba* และ *M. nigra* มีปริมาณฟีนอลิกเป็น  $16.21 \pm 1.34$  และ  $24.37 \pm 2.14$  mg GAE/g of dried leaves

Thanonkaew *et al.* (2012) วิเคราะห์รำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟกำลังไฟฟ้าสูงสุด 800 วัตต์ 3 นาที อุณหภูมิ  $105 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ตได้สารสกัดน้ำมันรำข้าว  $4.81 \pm 0.24$  g/100 g bran วัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร มีปริมาณ  $16.27 \pm 1.10$  mg FAE/g oil และวัดปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ค่าที่ได้  $12.18 \pm 0.65$  mg CE/g oil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yao *et al.* (2013) วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล ABTS<sup>•+</sup> โดยเจือจางสารละลาย ABTS<sup>•+</sup> ด้วยเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ให้มีค่าการดูดกลืนแสงในช่วง  $0.70 \pm 0.05$  ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ก่อนนำมาทดสอบกับสารละลายตัวอย่าง *Pyrola incarnata* Fisch. ในอัตราส่วน 1:20 ไมโครลิตร เปรียบเทียบผลกับสารมาตรฐานโทรล็อกซ์

Chaiteerapatarapong *et al.* (2014) ศึกษาสภาวะการสกัดน้ำมันรำข้าวที่ทำให้ได้ปริมาณสารแกมมาออโรซานอลสูงสุดจากการสกัดรำข้าว 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวขาวดอกมะลิ และข้าวไร้ดอกพะยอม ด้วยวิธีการสกัดแบบหมักตัวทำละลายเฮกเซน เอทิลอะซิเตต อะซิโตน ไอโซโพรพานอล และเอทานอล บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลานาน 30 และ 60 นาที พบว่าตัวทำละลายที่สามารถสกัดปริมาณแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวมากที่สุดคือ ตัวทำละลายเอทานอล เวลาการสกัดที่ดีที่สุด 30 นาที ในอัตราส่วนรำข้าวต่อตัวทำละลายเอทานอลที่ 1:6 (w/v)

Kim and Lim (2016) วิเคราะห์รำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงเอนไซม์ 6 ชนิด ได้แก่ Viscozyme, AMG, Ultraflo พีเอช 4.6 Celluclast, Pentopan พีเอช 5.0 และ Termamyl พีเอช 6.0 ปริมาณ 100 ไมโครลิตร วิธีเขย่า 150 รอบต่อนาที นาน 12 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมความร้อน 50 องศาเซลเซียส ก่อนทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ 150 รอบต่อนาที นาน 2 ชั่วโมง 50 องศาเซลเซียส ตรวจวัดปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร พบว่ารำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงเอนไซม์มีปริมาณอยู่ในช่วง 9.9 ถึง 13.5 mg GAE/g bran ซึ่งมีปริมาณมากกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงเอนไซม์ (6.5 mg GAE/g bran) รวมทั้งตรวจวัดความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP โดยบ่มสารละลาย FRAP reagent 37 องศาเซลเซียส ก่อนทำการทดสอบตัวอย่างที่ละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ผลที่ได้เทียบกับสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (mmol FeSO<sub>4</sub>/g DW)

Ruen-Ngam *et al.* (2014) วิเคราะห์รำข้าวดอกพยอมสกัดแบบหมักด้วยตัวทำละลายเอทานอลอัตราส่วน 1:4 บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ได้สารสกัดน้ำมันรำข้าวนำมาวิเคราะห์สารแกมมาออโรซานอลโดยใช้ RP-HPLC ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร คอลัมน์ C18 ปริมาตรตัวทำละลายของเฟสเคลื่อนที่ methanol : isopropanol : ethylacetate อัตราส่วน 47.5 : 40 : 12.5 โดยปริมาตร ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที โครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำมันรำข้าวเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแกมมาออโรซานอล พบว่าพีคโครมาโทแกรมของสารแกมมาออโรซานอลน้ำมันรำข้าวดอกพยอมเกิดในช่วงเวลา 11.504 และ 12.363 นาที

Wanyo *et al.* (2014) วิเคราะห์รำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยการบ่มเอนไซม์เซลลูเลส พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับรำข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลง ก่อนนำตัวอย่างมาสกัดด้วยน้ำกลั่น 70 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วน 1:10 (w/v) นาน 2 ชั่วโมง วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent และวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงความเข้มของสี (colorimetric method) ตรวจวัดปริมาณสารแกมมาออโรซานอลด้วยวิธี RP-HPLC เฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วย acetonitrile : methanol อัตราส่วน 25:75 (v/v) ที่อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร รวมถึงตรวจความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 2 รูปแบบคือ วิธี DPPH ที่ความเข้มข้น 0.075 mM ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และวิธี FRAP ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร พบว่ารำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยการบ่มเอนไซม์ผลที่ได้คือ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก  $3.52 \pm 0.06$  mg GAE/g DW และ มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์  $3.88 \pm 0.09$  mg RE/g DW รวมถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ได้  $88.39 \pm 0.87$  เปอร์เซ็นต์ และวิธี FRAP มีค่า  $28.67 \pm 0.15$   $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g DW}$

Wiryawattana and Suwonsichon (2014) วิเคราะห์รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟกำลังไฟฟ้าสูงสุด 800 วัตต์ 3 นาที อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ตก่อนนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ คลื่นเสียงความถี่สูง 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร พบว่ารำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก  $5.66 \pm 0.07$  mg GAE/g bran ซึ่งมีปริมาณมากกว่าตัวอย่างรำข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลง ( $3.65 \pm 0.07$  mg GAE/g bran)

Ruen-Ngam *et al.* (2016) วิเคราะห์รำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ 3 สภาวะที่อุณหภูมิ 60 90 และ 110 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ตสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนในอัตราส่วน 1:4 (w/v) สภาวะเขย่า 200 รอบต่อ นาที นาน 60 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ตรวจวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ความเข้มข้นของสารสกัดน้ำมันรำข้าว 0.5 mg/ml พบว่าน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงอุณหภูมิ 60 90 และ 110 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ  $51.00 \pm 3.00$   $51.00 \pm 3.00$  และ  $50.00 \pm 2.00$  เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการสกัดสารมีประโยชน์จากแหล่งต่างๆ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมด้วยในการสกัด (ดวงกมล, 2557)

ลำดับ	ที่มา	วัตถุดิบ	สารประกอบ	ความถี่ (MHz) พลังงาน (W)	ชนิดตัวทำละลาย	ความเข้มข้น (ml/g)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)
1.	Zhou <i>et al.</i> (2006)	Tobacco leaves	Solanesol	2450 MHz, 700W	Hexane, Ethanol, hexane : ethanol (3:1, 1:1, 1:3) opt.hexane-ethanol 1:3 with 0.05 mol/l NaOH	-	60	5, 10, 20, 40, 60
2.	Chen <i>et al.</i> (2007)	Ganoderma atrum	Total triterpenoid saponins	2450 MHz, 800 W (100%)	95% ethanol, chloroform, ethyl acetate, n-butanol, acetone, and methylene chloride/methanol mixture (v/v,1:1)	95% ethanol 25	60, 70, 78, 100, 120	20
3	Mauricio <i>et al.</i> (2007)	Soybeans	Isoflavones	500W (5%)	Ethanol or Methanol, (vary water 30–70%) (opt. 50% ethanol)	50	50, 75, 100, 125, 150 (opt.50)	10, 15, 20, 25 and 30 (opt.20)

ตารางที่ 2.5 สรุปงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการสกัดสารจากข้าว (ดวงกมล, 2557)

ลำดับ	ที่มา	วัตถุดิบ	ขั้นตอนการสกัด	การวิเคราะห์	กิจกรรม	ผล
1	Azrina <i>et al.</i> (2008)	rice bran	Solvent extraction by chloroform : methanol mixture (3:2)	$\gamma$ -oryzanol: RP-HPLC	-	Products: $\gamma$ -oryzanol; 4 isomers of cycloartenyl ferulate, 24-methylene cycloartenyl ferulate, campestryl ferulate and mixtures of $\gamma$ -sitosterol ferulate and cycloartenyl ferulate
2	Butsat and Siriamornpun, (2010)	rice bran, rice husk, brown rice milled rice (Khao Dawk Mali 105)	Solvent extraction by shaker	Phenolics-acid composition: HPLC	DPPH and FRAP	Products: Phenolic acid composition, $\gamma$ -oryzanol, tocopherols
			Shaking in incubator 150 rpm	$\gamma$ -oryzanol RP-HPLC	-	High antioxidant from bran and husk
			80% methanol with 1:10, w/v	-	-	High content of $\gamma$ -oryzanol, tocopherols in bran
			-	-	-	All fractions compose Phenolic acids; ferulic, vanillic and p-coumaric acids
-	-	-	-	-	Rice bran and husk: value sources of antioxidant	

## บทที่ 3

# อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

### 3.1 เครื่องมือและสารเคมี

#### 3.1.1 เครื่องมือ

- 3.1.1.1 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography: HPLC) รุ่น Alliance 2690 บริษัท Waters ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.1.2 เครื่องระเหยแห้งสุญญากาศ (vacuum evaporator) รุ่น Hei-Vap Precision บริษัท Heidolph ประเทศเยอรมนี
- 3.1.1.3 เครื่องเขย่า (shaker) รุ่น OR-BIT 1900 บริษัท Labnet ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.1.4 เครื่องเขย่า (shaker) รุ่น IS-971R บริษัท Lab companion ประเทศไทย
- 3.1.1.5 เครื่องวัดความเข้มของแสง (spectrophotometer) รุ่น Biomate 3 บริษัท Thermo electron corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.1.6 เครื่องวัดความเข้มของแสง (spectrophotometer) บริษัท Thermo Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.1.7 เครื่องดูดสารอัตโนมัติ (automatic micropipette) รุ่น Transferpette บริษัท Brand ประเทศเยอรมนี และทีป (Tip)
- 3.1.1.8 เครื่องผสมสาร (vortex) รุ่น Genie 2 บริษัท Scientific industries ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.1.9 เครื่องไมโครเวฟ รุ่น GE87Q-5 บริษัท Samsung ประเทศไทย
- 3.1.1.10 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น Z36HK บริษัท Hermle ประเทศไทย
- 3.1.1.11 เครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ (microplate reader) รุ่น iEMS Labsystems ยี่ห้อ Labsystems ประเทศไทย
- 3.1.1.12 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น PB 3002 บริษัท Mettler Toledo ประเทศไทย
- 3.1.1.13 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น SI-234 บริษัท Denver ประเทศอังกฤษ
- 3.1.1.14 เครื่องคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasonic cleaner หรือ sonicator) รุ่น VGT-1990QTD บริษัท Bec Thai ประเทศไทย
- 3.1.1.15 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) รุ่น HM-35V บริษัท Hung Ta Instrument ประเทศไทย
- 3.1.1.16 เครื่องวัดสี (minolta) รุ่น CR-300 ประเทศญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.1.17 ตู้อบความร้อน รุ่น ULE-500 บริษัท memmert ประเทศเยอรมนี
- 3.1.1.18 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) บริษัท memmert ประเทศเยอรมนี
- 3.1.1.19 ไมโครเวลล์เพลทชนิด 96 หลุม บริษัท Corning Incorporated ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.1.20 ตู้แช่แข็ง (freezer) รุ่น DLT-21V-85V12
- 3.1.1.21 กระจกครอบวอทแมนเบอร์ 1
- 3.1.1.22 แผ่นกรองชนิดพีทีเอฟอี (PTFE) ขนาด 0.22 ไมโครเมตร
- 3.1.1.23 คอลัมน์ ACE 5 C18 ขนาด 250x4.6 มิลลิเมตร รุ่น ACE HPLC columns บริษัท Fortune Scientific co, LTD. ประเทศไทย
- 3.1.1.24 ตะแกรงร่อนขนาด บริษัท Endecotts ประเทศอังกฤษ
- 3.1.1.25 คิวเวทท์ (Cuvette)
- 3.1.1.26 เครื่องผสมโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) รุ่น IKA RW 20 digital บริษัท Bec Thai ประเทศไทย
- 3.1.1.27 แผ่นทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ยี่ห้อ MERCK
- 3.1.1.28 เตาให้ความร้อน (Hot plate) รุ่น Fisher scientific บริษัท Bec Thai ประเทศไทย
- 3.1.1.29 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น Sorvall RC5C plus
- 3.1.1.30 เครื่องทดสอบผิวหนังแบบหลายวิธี รุ่น Dermalab COMBO บริษัท Cortex Technology ประเทศไทย
- 3.1.2 สารเคมี
- 3.1.2.1 เอทานอล ความบริสุทธิ์ 95 เปอร์เซ็นต์ บริษัท ANTISEPTIC SOL. ประเทศไทย
- 3.1.2.2 เมทานอล HPLC grade บริษัท RCI Labscan ประเทศไทย
- 3.1.2.3 เอทิลอะซิเตต HPLC grade บริษัท RCI Labscan ประเทศไทย
- 3.1.2.4 ไอโซโพรพานอล HPLC grade บริษัท RCI Labscan ประเทศไทย
- 3.1.2.5 โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.2.6 Folin-Ciocalteu reagent บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.7 กรดแกลลิก บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.8 เควอซิทิน บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.9 อะลูมิเนียมคลอไรด์ ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.2.10 กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) บริษัท QREC ประเทศนิวซีแลนด์
- 3.1.2.11 โซเดียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.2.12 ไฮโดรคลอริก (HCl) บริษัท QREC ประเทศนิวซีแลนด์
- 3.1.2.13 2, 4, 6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.14 เฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.2.15 เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.2.16 น้ำกลั่น (Deionized water)
- 3.1.2.17 กรดแอสคอร์บิก บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.2.18 6-hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.19 Butylated hydroxytoluene (BHT) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.20 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.21 2, 2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.22 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.2.23  $\alpha$ -Amylase (*Aspergillus* sp.) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.24 กรดซัลฟูริก ความบริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์ บริษัท QREC ประเทศนิวซีแลนด์
- 3.1.2.25 DL-Alpha Tocopherol บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.26 3, 5-dinitrosalicylic acid reagent (DNS) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.2.27 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Carlo erba ประเทศไทย
- 3.1.2.28 โซเดียมไนไตรต์ ( $\text{NaNO}_2$ ) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.2.29 กลูโคส ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) บริษัท Carlo erba ประเทศไทย
- 3.1.2.30 โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต ( $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.2.31 ฟีนอล ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ ) ความบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์ บริษัท Applichem panreac ประเทศเยอรมนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.2.32 Hydrogenated Polydecene บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.33 Caprylic/Capric Triglyceride บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.34 Dimethicone บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.35 Isononyl Isonononate บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.36 Isopropyl palmitate บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.37 Microcare PM3 บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.38 Rice Bran Oil บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.39 C<sub>12-15</sub> Alkyl Benzoate บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.40 Butylated Hydroxytoluene บริษัท Namsiang group ประเทศไทย
- 3.1.2.41 Cetostearyl Alcohol (50:50) บริษัท Namsiang group ประเทศไทย
- 3.1.2.42 Shea Butter บริษัท Namsiang group ประเทศไทย
- 3.1.2.43 Na<sub>2</sub>EDTA บริษัท Namsiang group ประเทศไทย
- 3.1.2.44 Phenostat บริษัท Namsiang group ประเทศไทย
- 3.1.2.45 Cetyl Ethylhexanoate บริษัท Chemico inter corporation ประเทศไทย
- 3.1.2.46 Novemer EC-1 บริษัท Namsiang group ประเทศไทย
- 3.1.2.47 Xanthan Gum บริษัท Namsiang group ประเทศไทย
- 3.1.2.48 Methyl Glucose Sesquistearate บริษัท Namsiang group ประเทศไทย
- 3.1.2.49 PEG-20 Methyl Glucose Sesquistearate บริษัท Namsiang group ประเทศไทย
- 3.1.2.50 Neopentyl glycol diheptanoate (and) isododecane บริษัท Chemico intercorporation ประเทศไทย
- 3.1.2.51  $\gamma$ -oryzanol บริษัท TSUNO rice fine Chemicals ประเทศญี่ปุ่น

### 3.1.3 ตัวอย่างรำข้าว

- |                                       |                   |           |
|---------------------------------------|-------------------|-----------|
| 3.1.3.1 รำข้าวไร้สายพันธุ์ดอกขาม      | จังหวัดชุมพร      | ประเทศไทย |
| 3.1.3.2 รำข้าวไร้สายพันธุ์ดอกข่า      | จังหวัดพังงา      | ประเทศไทย |
| 3.1.3.3 รำข้าวไร้สายพันธุ์เข็มเงิน    | จังหวัดสตูล       | ประเทศไทย |
| 3.1.3.4 รำข้าวไร้สายพันธุ์นางดำ       | จังหวัดชุมพร      | ประเทศไทย |
| 3.1.3.5 รำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 | จังหวัดสุพรรณบุรี | ประเทศไทย |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การวัดความชื้นในรำข้าว (AOAC, 2000)

ซึ่งตัวอย่างรำข้าวที่ใช้สกัด 5 กรัม ในแต่ละสายพันธุ์ใส่เพลทแก้วกระจายรำข้าวให้ทั่วทั้งภาชนะ ทำการชั่งน้ำหนักรำข้าวก่อนอบ จากนั้นทำการอบแห้งรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำไปวางให้อุณหภูมิเย็นลงในโถดูดความชื้น 30 นาที นำมาชั่งน้ำหนักรำข้าวหลังอบ (Dry Weight, DW) คำนวณหาร้อยละของความชื้นในรำข้าวดังสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้น (\% dry weight basis)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างรำข้าวหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างรำข้าวหลังอบ (DW)}} \times 100$$

### 3.3 การวัดสีรำข้าว (ดัดแปลงจาก Shen *et al.*, 2009)

สำหรับตัวอย่างรำข้าวทั้งที่ไม่ผ่านการดัดแปลงใช้เป็นตัวควบคุมลักษณะทางกายภาพของรำข้าว สายพันธุ์ต่างๆ ส่วนตัวอย่างรำข้าวผ่านการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟสภาวะต่างๆ ทำการเปรียบเทียบกับตัวควบคุม โดยวัดสีรำข้าวด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR-300 จากนั้นนำหัววัดวางบนรำข้าว เพื่อใช้ในการวัดสีตัวอย่างจะได้ผลค่าสี Lightness ( $L^*$ ) Redness ( $a^*$ ) และ Yellowness ( $b^*$ ) วัดอย่างน้อย 3 จุดต่อตัวอย่างรำข้าว เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ย  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$

### 3.4 การเตรียมตัวอย่างรำข้าว และการดัดแปลงรำข้าว

รำข้าวไร้ทั้ง 5 สายพันธุ์ นำมาแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน ในงานวิจัยนี้ใช้รำข้าวขนาดใหญ่ 850 ไมโครเมตร จากนั้นทำการเก็บรักษารำข้าวในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เลี่ยงการโดนแสงจนกระทั่งนำตัวอย่างรำข้าวไปดัดแปลงด้วยวิธีการต่างๆ

#### 3.4.1 การดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

ตัวอย่างรำข้าวปริมาณ 5 กรัมใส่เพลทแก้วทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ การให้ความร้อนจากไมโครเวฟ (GE87Q-S, Samsung) เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ที่คลื่นความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต และการดัดแปลงรำข้าวเปลี่ยนแปลงเวลาในช่วงเวลา 3 ถึง 15 นาที ที่กำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ (ดัดแปลงจาก Ramezanzadeh *et al.*, 1999 ; Arab *et al.*, 2011 ; Thanonkaew *et al.*, 2012) ก่อนนำมาสกัด หรือทำการเก็บตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงแล้วที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เลี่ยงการโดนแสงจนกระทั่งนำไปสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเอทานอล

3.4.2 การดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (ดัดแปลงจาก Guan *et al.*, 2008 ; Wanyo *et al.*, 2014)

ตัวอย่างรำข้าวปริมาณ 5 กรัม ใส่ภาชนะขวดรูปชมพู่ ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้อัตราส่วนรำข้าวต่อโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ พีเอช 6 เปลี่ยนแปลงอัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 (w/v) จากนั้นทำการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) ความเข้มข้น 1,375 ยูนิตต่อ มิลลิลิตร 2 มิลลิลิตร บ่มในสภาวะเขย่า (stirring) 200 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาบ่มทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อแยกเอาส่วนรำข้าวมาสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเอทานอล และส่วนใสมาวัดปริมาณ น้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์

3.4.2.1 การวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยใช้วิธีฟีนอลซัลฟูริกแอซิด (Phenol-Sulfuric acid) (ดัดแปลงจาก Miller *et al.*, 1959)

นำสารละลายตัวอย่างจากส่วนใสที่ได้ พร้อมทำสารละลายแบลنگก์ด้วยน้ำ กลั่น 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นทำการดูดสารละลายฟีนอลร้อยละ 5 (v/v) 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายตัวอย่างอยู่ผสมสารให้เข้ากันแล้วจึงเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ลงบนผิวหน้าของเหลวโดยตรงผสมให้เข้ากันจะได้สารละลายสีเหลืองส้ม ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที ในตู้ดูดควัน เมื่อครบเวลานำมาบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงหาปริมาณน้ำตาล ทั้งหมดโดยการเทียบจากกราฟมาตรฐานกลูโคส

3.4.2.2 การวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ดัดแปลงจาก Harshal *et al.*, 2011)

นำสารละลายตัวอย่างจากส่วนใสที่ได้พร้อมทำสารละลายแบลنگก์ด้วยน้ำ กลั่น 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นทำการดูดสารละลาย 3,5-dinitrosalicylic acid reagent (DNS) ปริมาณ 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายตัวอย่างอยู่ ปิดฝาหลอดทดลองและผสมสารให้เข้ากันแล้วจึงนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลานำหลอดแก้ว ไปแช่น้ำเย็น 10 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปหลอดแก้วปริมาตร 6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันวัดค่า การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดย การเทียบจากกราฟมาตรฐานกลูโคส

### 3.5 การสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยตัวทำละลายเอทานอล (ดัดแปลงจาก Arab *et al.*, 2011)

รำข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลง (control) และรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงมาแล้วทั้ง 2 วิธี ดัดแปลงด้วยความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟ และการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 5 กรัม ทำการหมักรำข้าวแบบเขย่า (Stirring) ด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ทดลองจำนวน 3 ซ้ำ แต่ละขวดรูปชมพูใช้อัตราส่วน 1:5 กรัมต่อมิลลิลิตร (w/v) สกัดในสภาวะเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องแสงโดยการหุ้มฟอยด์ เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นทำการกรองเพื่อแยกส่วนรำข้าวออกจากสารสกัดในตัวทำละลายเอทานอลด้วยกระดาษกรองวอทแมนเบอร์ 1 จำนวน 2 ชั้น จากนั้นนำสารสกัดกรองอีกรอบด้วยแผ่นกรองขนาดรูพรุน 0.22 ไมโครเมตร ก่อนบรรจุสารสกัดลงในขวดไวแอลลีซา นำสารสกัดทั้ง 3 ซ้ำของตัวอย่างแต่ละสภาวะ นำมาระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดน้ำมันรำข้าวที่มีความเข้มข้นขึ้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำไปวิเคราะห์ต่อไป

### 3.6 การวิเคราะห์เชิงปริมาณสารสำคัญในน้ำมันรำข้าว

#### 3.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่ได้ (Yield)

ตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวในแต่ละสายพันธุ์ เพื่อคำนวณสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ได้ตั้งสมการแสดงในหน่วยกรัมต่อกรัมน้ำหนักรำข้าวแห้ง

$$\text{สารสกัดน้ำมันรำข้าว (กรัมต่อกรัมน้ำหนักรำข้าวแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักสารสกัดน้ำมันรำข้าว (กรัม)}}{\text{น้ำหนักรำข้าวแห้ง (กรัม)}}$$

#### 3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าว (ดัดแปลงจาก

Butsat and Siriamornpun, 2010 ; Wanyo *et al.*, 2014 ; Chaiteerapatarapong *et al.*, 2014)

เตรียมตัวอย่างน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้จากข้าวไรในแต่ละสายพันธุ์ละลายตัวอย่างน้ำมันรำข้าวด้วยเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ผสมสารละลายให้เข้ากัน สำหรับตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจะทำการละลายตัวอย่างน้ำมันรำข้าวด้วยน้ำกลั่นกับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ในอัตราส่วน 1:4 (v/v) ผสมสารละลายให้เข้ากันได้ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร กรองสารละลายน้ำมันรำข้าวผ่านแผ่นกรองตัวอย่างชนิดพีทีเอฟอี (PTFE) ขนาดรูพรุน 0.22 ไมโครเมตร ก่อนทำการฉีดตัวอย่างปริมาณ 20 ไมโครลิตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (isocratic pump system, Shimadzu) ที่มีตัวตรวจจับชนิดดูดกลืนแสงยูวี (UV detector) คอลัมน์ที่ใช้วิเคราะห์เป็น C18 ขนาด

250 x 4.6 มิลลิเมตร (ACE HPLC) เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ที่ใช้ประกอบด้วย เมทานอล ไอโซโพรพานอล และเอทิลอะซิเตตชนิด HPLC grade ในอัตราส่วน 47.5 : 40 : 12.5 (v/v) ตามลำดับ ในอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวตรวจจับถูกตั้งความยาวคลื่นไว้ที่ 330 นาโนเมตร ใช้เวลาในการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่างนาน 15 นาที ทำการบันทึกโครมาโตแกรม (chromatogram) ผ่านซอฟต์แวร์ LC Solution รายงานค่าเป็นมิลลิกรัมต่อน้ำหนักรำข้าว โดยเทียบพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างกับกราฟมาตรฐานแกมมาออโรซานอลที่มีความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ภายใต้สภาวะเดียวกันเพื่อคำนวณหาปริมาณแกมมาออโรซานอลในตัวอย่างของน้ำมันรำข้าวไร่แต่ละสายพันธุ์ เปรียบเทียบกับข้าวขาวดอกมะลิ (สายพันธุ์ควบคุม)

### 3.6.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Lai *et al.*, 2009)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดจากรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:9 (v/v) 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองจากนั้นทำการเติมสารละลายตัวอย่างน้ำมันรำข้าวที่ละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์ แอลฟาอะไมเลสจะทำการละลายตัวอย่างน้ำมันรำข้าวด้วยน้ำกลั่นกับตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ในอัตราส่วน 1:4 (v/v) ผสมสารละลายให้เข้ากันเตรียมที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 200 ไมโครลิตร ผสมสารให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการเติมสารละลายโซเดียมคาร์โบเนตร้อยละ 10 (w/v) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร บ่มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องในที่เลี้ยงแสง เมื่อครบเวลาดูดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) และคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยประเมินค่าเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) ที่ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณที่ได้แสดงในหน่วยมิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมรำข้าว (mg GAE/g DW)

### 3.6.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Yong *et al.*, 2012 ; Hwang *et al.*, 2014)

ตรวจสอบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในสารสกัดน้ำมันรำข้าวเตรียมตัวอย่างน้ำมันรำข้าวที่ละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจะทำการละลายตัวอย่างน้ำมันรำข้าวด้วยน้ำกลั่นกับตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ในอัตราส่วน 1:4 (v/v) ผสมสารละลายให้เข้ากันเตรียมที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองจากนั้นทำการเติมสารละลายโซเดียมไนไตรต์ (NaNO<sub>2</sub>) ร้อยละ 5 (w/v) ปริมาณ 150 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) ร้อยละ 10 (w/v) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 5 (w/v) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ผสมให้สารละลายทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เข้ากัน และทำการบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 40 นาที ก่อนจะนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) และคำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยประเมินค่าเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเคอควิซิน (Quercetin) ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, 200, 250 และ 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณที่ได้แสดงในหน่วย มิลลิกรัมของเคอควิซินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg QE/g DW)

### 3.7 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

3.7.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (ดัดแปลงจาก Butsat and Siriamornpun, 2010)

ความเข้มข้น DPPH 0.2 mM (200  $\mu$ M) ทดสอบปฏิกิริยากับตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ละลายด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เตรียมสารสกัดน้ำมันรำข้าวช่วงความเข้มข้น 0.02 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (two fold dilution) นำตัวอย่างสารละลายน้ำมันรำข้าวแต่ละความเข้มข้น ( $A_{\text{Blank sample}}$ ) และตัวทำละลายเอทานอล ( $A_{\text{Blank DPPH}}$ ) หยดลงในแต่ละหลุมของ 96 well-plate 100 ไมโครลิตร จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงสีของแบลงก์ตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ (microplate reader) จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมลงในแต่ละหลุมตัวอย่างสารละลายน้ำมันรำข้าวความเข้มข้นต่างๆ ( $A_{\text{sample}}$ ) ในอัตราส่วน 1:1 (v/v) และช่องเอทานอล ( $A_{\text{DPPH}}$ ) บ่มให้เกิดการทำปฏิกิริยาในที่มืดนาน 30 นาที ครบเวลานำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดโดยใช้กรดแอสคอร์บิก (Vitamin C) โทโรลิกซ์ (Trolox) และ Butylated hydroxytoluene (BHT) เป็นสารมาตรฐาน ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ใช้คือ 2.5 ถึง 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร คำนวณเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (การดักจับอนุมูลอิสระ) ทั้งสารสกัดตัวอย่างและสารมาตรฐานดังสมควร พร้อมทั้งรายงานผลเป็นค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ( $IC_{50}$ )

สมการคำนวณเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition)

$$\%inhibition = \frac{[(A_{\text{DPPH}} - A_{\text{Blank DPPH}}) - (B_{\text{sample}} - B_{\text{Blank sample}})]}{(A_{\text{DPPH}} - A_{\text{Blank DPPH}})} \times 100$$

โดย  $A_{\text{DPPH}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH  
 $A_{\text{Blank DPPH}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลายที่ใช้ละลายสาร DPPH  
 $B_{\text{Sample}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดในแต่ละความเข้มข้นทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$B_{\text{Blank Sample}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดในแต่ละความเข้มข้นก่อนทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

**3.7.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS (ดัดแปลงจาก Yao *et al.*, 2013 ; Hwang *et al.*, 2014)**

สารละลายผสม ABTS<sup>+</sup> เจือจางด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ให้มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง  $0.70 \pm 0.03$  ความยาวคลื่นแสง 734 นาโนเมตร (ใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์เป็นแบล็ก และ negative control)

เตรียมสารละลายน้ำมันรำข้าวที่ละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ช่วงความเข้มข้น 0.25 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ (positive control) ที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200 และ 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่าง เอทานอลแบล็ก หรือ สารมาตรฐานโทรล็อกซ์ ใส่ในหลอดทดลอง 40 ไมโครลิตร จากนั้นทำการเติมสารละลาย ABTS<sup>+</sup> ปริมาณ 2 มิลลิลิตร บ่มปฏิกิริยาในที่มืด 6 นาที เมื่อครบเวลา วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ และตัวอย่างสารละลายน้ำมันรำข้าวในแต่ละความเข้มข้นมาคำนวณหาปริมาณเทียบเท่ากับสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ แสดงในหน่วยมิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักรำข้าว (mg TEAC/g DW)

**3.7.3 ความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP (ดัดแปลงจาก Garcia *et al.*, 2007 ; Iqbal *et al.*, 2012)**

วิธีการ FRAP นี้อาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน  $\text{Fe}^{3+} [(\text{TPTZ})_2]^{3+}$  (ferric tripyridyltriazine) จะถูกรีดิวซ์เป็น  $\text{Fe}^{2+} [(\text{TPTZ})_2]^{2+}$  (ferrous tripyridyltriazine) มีสีฟ้าเข้มสามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร วัดความสามารถในการรีดิวซ์ (total reducing power) ของสารต้านอนุมูลอิสระเทียบกับสารมาตรฐานคือเฟอร์รัสซัลเฟตและโทรล็อกซ์ เตรียมสารละลาย FRAP reagent โดยผสมสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ 300 มิลลิโมลาร์ พีเอช 3.6 กับ สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 20 มิลลิโมลาร์ และสารละลาย 2,4,6-Tris (2-pyridyl)-1,3,5-triazine (TPTZ) 10 มิลลิโมลาร์ ให้เข้ากันในอัตราส่วน 10 : 1 : 1 (v/v) แล้วนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เตรียมสารละลายน้ำมันรำข้าวที่ละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ช่วงความเข้มข้น 0.25 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 0.25 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย FRAP reagent ลงไป 0.75 มิลลิลิตร บ่มให้เกิดปฏิกิริยา และวัดค่าการดูดกลืนแสงในนาที่ที่ 5 ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) นำผลค่าการดูดกลืนแสงคำนวณปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต ความเข้มข้น 0.025, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิโมลาร์ รายงานผลเป็นค่ามิลลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมลาร์เฟอร์รัสซัลเฟตต่อกรัมน้ำหนักรำข้าว ( $\text{mM FeSO}_4/\text{g DW}$ ) รวมทั้งคำนวณปริมาณ TEAC เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รายงานผลเป็นค่ามิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักรำข้าว ( $\text{mg TEAC/g DW}$ )

### 3.8 การผลิตผลิตภัณฑ์เวชสำอาง

#### 3.8.1 วิธีการเตรียมและพัฒนาตำรับโลชั่น และเซรัม

กำหนดโลชั่นสูตรพื้นในรูปแบบ oil in water emulsion จำนวน 3 สูตรดังตารางที่ 3.1 3.2 และ 3.3 รวมทั้งเซรัมสูตรพื้นดังตารางที่ 3.6 และทำการประเมินผลิตภัณฑ์สูตรพื้นจากลักษณะทางกายภาพ เนื้อสัมผัส ความหนืด ความคงตัว สี วัตถุประสงค์ความเป็นกรดต่างหรือพีเอช และประเมินความพึงพอใจจากอาสาสมัครทั้ง 20 คน เพื่อคัดเลือกโลชั่นสูตรพื้นที่มีเนื้อสัมผัสน่าใช้ มีความคงตัวดี เมื่อได้ตำรับผลิตภัณฑ์สูตรพื้นที่ดีมาพัฒนาโดยใส่สารสกัดน้ำมันรำข้าว และสารแกมมาออโรซานอล เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสม เรียกว่า “โลชั่นสูตรปรับปรุง” ดังตารางที่ 3.4 และ 3.5 และ “เซรัมสูตรปรับปรุง” ดังตารางที่ 3.7 โดยสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ได้เลือกมาใช้เป็นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ คือสารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขาม และเซรัมเงิน (control) พบว่ามีปริมาณสารแกมมาออโรซานอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทุกรูปแบบได้ดีที่สุด และนำผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงมาทำการประเมินลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีวัตถุประสงค์พีเอช ความคงตัว ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความระคายเคืองต่อผิวหนัง ความชุ่มชื้นของผิวหนังก่อนและหลังทาผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการประเมินความพึงพอใจจากอาสาสมัครทั้ง 20 คน

ตาราง 3.1 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรพื้นที่ 1

INCI Name	หน้าที่	ปริมาณ 100% (w/w)
<b>Part A (oil) (70-80 °C)</b>		
Cetearyl Alcohol	Bodying Agent	0.66
Hydrogenated Polydecene	Emollient	0.66
Moringa butter	Emulsifier	1.33
Shea butter	Emulsifier	0.33
Caprylic/Capric Triglyceride	Emollient	0.66
Dimethicone	Emulsifier	1.86
Isononyl Isononanoate	Emollient	0.80
<b>Part B (water)</b>		
DI water	Diluents/Solvent	90.66
Disodium dihydrogenethylenediaminetetra Acetate (Na <sub>2</sub> EDTA)	Chelating agent	0.10
Sodium Acrylates/ Beheneth-25 Methacrylate Crosspolymer (and) Hydrogenated Polydecene (and) Lauryl Glucoside	Thickener	2.00
<b>Part C</b>		
Methyl paraben, Ethyl paraben, Propyl paraben, Butyl paraben, Isobutyl paraben, 2-phenoxyethanol	Preservative	0.94
<b>TOTAL</b>		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.2 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรพื้นที่ 2

INCI Name	หน้าที่	ปริมาณ 100% (w/w)
<b>Part A (oil) (70-80 °C)</b>		
Methyl Glucose Sesquistearate	Emulsifier	1.30
PEG – 20 Methyl Glucose Sesquistearate	Emulsifier	1.00
C12-15 Alkyl Benzoate	Emollient	0.80
Isononyl Isononanoate	Emollient	0.90
Dimethicone	Emulsifier	3.10
Caprylic/Capric Triglyceride	Emulsifier	1.00
<b>Part B (water)</b>		
DI water	Diluents/Solvent	88.20
Disodium dihydrogenethylenediaminetetraacetate (Na <sub>2</sub> EDTA)	Chelating agent	0.10
Sodium Acrylates/ Beheneth-25 Methacrylate Crosspolymer (and) Hydrogenated Polydecene (and) Lauryl Glucoside	Thickener	3.50
<b>Part C</b>		
Methyl paraben, Ethyl paraben, Propyl paraben, Butyl paraben, Isobutyl paraben, 2-phenoxyethanol	Preservative	0.10
<b>TOTAL</b>		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.3 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรพื้นที่ 3

INCI Name	หน้าที่	ปริมาณ 100% (w/w)
<b>Part A (oil) (70-80 °C)</b>		
Cetearyl Alcohol	Bodying Agent	4.00
Hydrogenated Polydecene	Emulsifier	7.00
Caprylic/Capric Triglyceride	Emollient	8.00
Cetyl alcohol	Emollient	4.00
<b>Part B (water)</b>		
DI water	Diluents/Solvent	74.20
Disodium dihydrogenethylenediaminetetraacetate (Na <sub>2</sub> EDTA)	Chelating agent	0.10
Carbopol-utrez 21	Thickener	2.00
<b>Part C</b>		
Xanthan Gum	Co-Emulsifier	0.10
<b>Part D</b>		
Panthenol	Humectant	0.10
<b>Part E</b>		
Methyl paraben, Ethyl paraben, Propyl paraben, Butyl paraben, Isobutyl paraben, 2-phenoxyethanol	Preservative	0.50
<b>TOTAL</b>		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.4 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรปรับปรุง 1 (สูตรพื้นที่ 1 เดิมสารสกัดน้ำมันรำข้าว)

INCI Name	หน้าที่	ปริมาณ 100% (w/w)
<b>Part A (oil) (70-80 °C)</b>		
Cetearyl Alcohol	Bodying Agent	0.66
Hydrogenated Polydecene	Emollient	0.66
Moringa butter	Emulsifier	1.33
Shea butter	Emulsifier	0.33
Caprylic/Capric Triglyceride	Emollient	0.66
Dimethicone	Emulsifier	1.86
Isononyl Isononanoate	Emollient	0.80
<b>Part B (water)</b>		
DI water	Diluents/Solvent	89.46
Disodium dihydrogenethylenediaminetetra Acetate (Na <sub>2</sub> EDTA)	Chelating agent	0.10
Sodium Acrylates/ Beheneth-25 Methacrylate Crosspolymer (and) Hydrogenated Polydecene (and) Lauryl Glucoside	Thickener	2.00
<b>Part C</b>		
Methyl paraben, Ethyl paraben, Propyl paraben, Butyl paraben, Isobutyl paraben, 2-phenoxyethanol	Preservative	0.94
<b>Part D</b>		
γ-oryzanol	Antioxidant	0.20
Rice bran oil (DK, KNG)	Antioxidant	1.00
<b>TOTAL</b>		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.5 ส่วนประกอบตำรับโลชั่นสูตรปรับปรุง 2 (สูตรพื้นที่ 2 เดิมสารสกัดน้ำมันรำข้าว)

INCI Name	หน้าที่	ปริมาณ 100% (w/w)
<b>Part A (oil) (70-80 °C)</b>		
Methyl Glucose Sesquistearate	Emulsifier	1.30
PEG – 20 Methyl Glucose Sesquistearate	Emulsifier	1.00
C12-15 Alkyl Benzoate	Emollient	0.80
Isononyl Isononanoate	Emollient	0.90
Dimethicone	Emulsifier	3.10
Caprylic/Capric Triglyceride	Emulsifier	1.00
<b>Part B (water)</b>		
DI water	Diluents/Solvent	87.00
Disodium dihydrogenethylenediaminetetraacetate (Na <sub>2</sub> EDTA)	Chelating agent	0.10
Sodium Acrylates/ Beheneth-25 Methacrylate Crosspolymer (and) Hydrogenated Polydecene (and) Lauryl Glucoside	Thickener	3.50
<b>Part C</b>		
Methyl paraben, Ethyl paraben, Propyl paraben, Butyl paraben, Isobutyl paraben, 2-phenoxyethanol	Preservative	0.10
<b>Part D</b>		
γ-oryzanol	Antioxidant	0.20
Rice bran oil (DK, KNG)	Antioxidant	1.00
<b>TOTAL</b>		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.6 ส่วนประกอบตำรับเซรั่มพื้น

INCI Name	หน้าที่	ปริมาณ 100% (w/w)
<b>Part A (oil) (70-80 °C)</b>		
Neopentyl glycol diheptanoate (and) isododecane	Emollient	2.50
Cetyl Ethylhexanoate	Emollient	0.50
Isopropyl palmitate	Emollient	0.90
<b>Part B (water)</b>		
DI water	Diluents/Solvent	90.30
Disodium dihydrogenethylenediaminetetraacetate (Na <sub>2</sub> EDTA)	Chelating agent	0.10
Sodium Acrylates/ Beheneth-25 Methacrylate Crosspolymer (and) Hydrogenated Polydecene (and) Lauryl Glucoside	Thickener	3.20
<b>Part C</b>		
Methyl paraben, Ethyl paraben, Propyl paraben, Butyl paraben, Isobutyl paraben, 2-phenoxyethanol	Preservative	2.50
<b>TOTAL</b>		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.7 ส่วนประกอบตำรับเซรัมปรับปรุง

INCI Name	หน้าที่	ปริมาณ 100% (w/w)
<b>Part A (oil) (70-80 °C)</b>		
Neopentyl glycol diheptanoate (and) isododecane	Emollient	2.50
Cetyl Ethylhexanoate	Emollient	0.50
Isopropyl palmitate	Emollient	0.90
<b>Part B (water)</b>		
DI water	Diluents/Solvent	88.30
Disodium dihydrogenethylenediaminetetraacetate (Na <sub>2</sub> EDTA)	Chelating agent	0.10
Sodium Acrylates/ Beheneth-25 Methacrylate Crosspolymer (and) Hydrogenated Polydecene (and) Lauryl Glucoside	Thickener	3.20
<b>Part C</b>		
Methyl paraben, Ethyl paraben, Propyl paraben, Butyl paraben, Isobutyl paraben, 2-phenoxyethanol	Preservative	2.50
$\gamma$ -oryzanol	Antioxidant	1.00
Rice bran oil	Antioxidant	1.00
<b>TOTAL</b>		100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.2 การประเมินคุณภาพของตำรับผลิตภัณฑ์

#### 3.8.2.1 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ

สังเกตลักษณะผิวสัมผัส เนื้อโลชั่น สี ความหนืด สังเกตลักษณะการแยกชั้นของเนื้อผลิตภัณฑ์หลังทำการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

#### 3.8.2.2 ประเมินคุณสมบัติทางเคมี

ทดสอบความเป็นกรด ต่างด้วยกระดาษวัดค่าพีเอชต้องมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม 5.0-6.5 แล้วบันทึกผล

#### 3.8.2.3 ประเมินความคงตัว

ศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ ทดสอบด้วยวิธีการเก็บในที่ร้อนสลับเย็น (heating and cooling cycle) โดย 1 รอบคือ เก็บในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 หรือ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง และเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมงทำงานครบ 5 รอบ บันทึกผลโดยพิจารณาจากลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์ (เนื้อคงรูปเดิม เนื้อเหลว) สังเกตสีของผลิตภัณฑ์ที่มองเห็น (สีขาว สีเหลือง หรือ สีอื่นๆ) และวัดค่าพีเอช

#### 3.8.2.4 ประเมินคุณสมบัติทางชีวภาพ

ทดสอบประสิทธิภาพของสารกันเสีย (preservative) ที่ใช้ในส่วนประกอบตำรับผลิตภัณฑ์ทำหน้าที่ยับยั้งจุลินทรีย์เจริญเติบโตจากก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เช่น สีคล้ำ กลิ่นเหม็น ทดสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี total plate count นำผลิตภัณฑ์มาเจือจาง (10-fold dilution) และ spread plate ให้ทั่วผิวหน้าอาหาร NA จำนวนความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ ปั่นเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลาทำการนับจำนวน โดยประเมินคุณสมบัติทางชีวภาพตลอดระยะเวลา 3 สัปดาห์ (ประเมินในสัปดาห์ 1 2 และ 3) และนานมากกว่า 2 เดือน

คำนวณโคโลนีเชื้อที่มีชีวิตรอดโดยใช้สมการ

$$\text{จำนวนความมีชีวิตเชื้อ} \left( \frac{\text{CFU}}{\text{ml}} \right) = n \times 10^{-a}$$

โดย n

คือ จำนวนโคโลนี

$10^{-a}$

คือ ความเข้มข้นโลชั่นเจือจางที่  $10^{-1}$   $10^{-2}$  และ  $10^{-3}$

### 3.8.3 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยวิธี DPPH

เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ เตรียมสารละลายโลชั่นหรือเซรัมความเข้มข้น 10 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ผลิตภัณฑ์ 1 กรัมผสมกับตัวทำละลายไอโซโพรพานอล 10 มิลลิลิตรให้เข้ากัน) แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที นำส่วนใสที่ได้ปริมาณ 100 ไมโครลิตร มาใช้ในการทดสอบปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH ปริมาณ 100 ไมโครลิตร อัตราส่วน 1:1 (v/v) ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้องนาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30 นาที ครบเวลาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ (Microplate reader) เปรียบเทียบการต้านอนุมูลอิสระสูตรพื้น สูตรปรับปรุง และผลิตภัณฑ์ทางการค้า โดยนำค่าการดูดกลืนแสงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) รายงานผลเป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายโลชั่น และเซรัมที่สามารถต้านอนุมูล DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ ค่า  $IC_{50}$

### 3.8.4 ทดสอบการก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนัง

ศึกษาการก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนังบริเวณท้องแขนของอาสาสมัครจำนวน 20 คน นาน 10 นาที (เฉียบพลัน) และ 2 ชั่วโมง หลังทาผลิตภัณฑ์ การคัดเลือกอาสาสมัครทำโดยการคัดเลือกจากข้อมูลที่ทำให้ทำในแบบประเมินความพึงพอใจที่มีข้อมูลของอายุ เพศ อาชีพ ประวัติการแพ้ผลิตภัณฑ์ทาผิว ประวัติการใช้ผลิตภัณฑ์ทาผิว เป็นต้น

### 3.8.5 ทดสอบความชุ่มชื้นของผิวเมื่อทาผลิตภัณฑ์

ทดสอบประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังใช้ผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัครรวม 10 คน ที่ผ่านการทดสอบความระคายเคืองแล้ว โดยใช้ผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อวัดผลในการทำให้ผิวชุ่มชื้นดีขึ้นโดยใช้เครื่องทดสอบผิวหนัง Hydration Moisture (รุ่น Dermalab COMBO) ทดสอบวันที่ 0 7 และ 14

### 3.8.6 ทดสอบความพึงพอใจในอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์

นำผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงที่มีความคงตัวทั้งด้านกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ทดสอบความพึงพอใจในอาสาสมัครรวม 20 คน ทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงให้คะแนนความพึงพอใจในสี ความหนืด ลักษณะเนื้อครีม การซึมซาบ เข้าสู่ผิวหนัง และความชุ่มชื้น เป็นต้น

## 3.9 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างเดียวกันแบบ One-way ANOVA ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Rang Test พิจารณาจากค่านัยสำคัญ (Significance) ในตาราง ANOVA

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 ความชื้นรำข้าว

รำข้าวที่ได้จากการขัดสียังมีความชื้นอยู่ในปริมาณสูง ถ้าไม่ใช้ทันทีความชื้นที่อยู่ในรำข้าว นั้นอาจลดลงได้จนในที่สุดปริมาณความชื้นมีปริมาณคงที่ (Orthofer, 2005 ; Carrol, 1990 ; Juliano, 1994) เพื่อป้องกันสารสูญเสียและปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ลดกิจกรรมของเอนไซม์ (Malekian *et al.*, 2000) ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นต้นเหตุของการเหม็นหืนอันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของน้ำมัน ซึ่งโดยมากแล้วจะใส่รำข้าวไว้ในถุงพลาสติก และเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นหรือตู้แช่แข็งเพื่อคงสภาพรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษารำข้าว ปริมาณความชื้นก็อาจจะมีการลดลงได้เล็กน้อย ดังนั้นในตอนเริ่มต้นก่อนการสกัดสารต้องมีการตรวจหาปริมาณความชื้นที่อยู่ในรำข้าวก่อนด้วยวิธีของ AOAC (2000) พบว่ารำข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยดอกขำมีความชื้นมากที่สุด รองลงมาคือ เข็มเงิน ดอกขาม และนางดำ ปริมาณความชื้นน้อยที่สุดคือรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักแห้งและร้อยละความชื้นของรำข้าว

สายพันธุ์รำข้าว	น้ำหนักรำข้าวแห้ง (g DW)	ความชื้น (% dry basis)
ดอกขาม	4.44 ± 0.02 <sup>b</sup>	11.13 ± 0.42 <sup>b</sup>
ดอกขำ	4.38 ± 0.01 <sup>a</sup>	12.40 ± 0.20 <sup>a</sup>
เข็มเงิน	4.44 ± 0.01 <sup>b</sup>	11.20 ± 0.20 <sup>b</sup>
นางดำ	4.58 ± 0.02 <sup>c</sup>	8.40 ± 0.35 <sup>c</sup>
ขาวดอกมะลิ	4.63 ± 0.02 <sup>d</sup>	7.40 ± 0.35 <sup>d</sup>

หมายเหตุ : a, b, ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักรำข้าวแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้น ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

## 4.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้

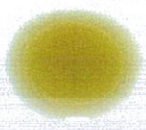
จากการสกัดน้ำมันรำข้าวทั้งหมด 5 สายพันธุ์ แบ่งออกเป็นข้าวไร่ 4 สายพันธุ์ได้แก่ รำข้าวไร่ดอกขาม (DK) ดอกข่า (D) เข็มเงิน (KNG) นางดำ (ND) และรำข้าวขาวดอกมะลิ (MA) ซึ่งต่อไปจะใช้เพียงสัญลักษณ์หรือใช้ทั้งสองรูปแบบในการกล่าวถึง ลักษณะของน้ำมันรำข้าวที่สกัดโดยวิธีการเขย่าหรือ stirring ด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งถือว่าเป็นชุดควบคุมหรือ รำข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลง (control) ได้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ทั้งรำข้าวไร่ดอกขาม ดอกข่า เข็มเงิน นางดำ และรำข้าวขาวดอกมะลิ แสดงดังตารางที่ 4.2 น้ำมันรำข้าวดอกขามมีสีน้ำตาลเข้มมีทั้งส่วนที่เป็นตะกอนและส่วนที่ละลายปนอยู่ในน้ำมัน น้ำมันแขวนลอยดังกล่าวมีสีเข้มกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันรำข้าวดอกข่าและเข็มเงินที่มีปริมาณตะกอนสีน้ำตาลแดงน้อยกว่าและมีลักษณะสีเหลืองทอง ในขณะที่น้ำมันรำข้าวนางดำและน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิมียุลักษณะสีเหลืองใส

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ในแต่ละสายพันธุ์

สายพันธุ์รำข้าว	น้ำมันรำข้าว	ลักษณะ
ดอกขาม (DK)		น้ำมันรำข้าวมีสีน้ำตาลเข้ม และมีตะกอนแดงละลายปนอยู่ในน้ำมันปริมาณมาก
ดอกข่า (D)		น้ำมันรำข้าวมีสีเหลืองทอง และมีตะกอนแดงแข็งปนอยู่ในน้ำมัน
เข็มเงิน (KNG)		น้ำมันรำข้าวมีสีเหลืองอมน้ำตาล และมีตะกอนแดงละลายปนอยู่ในน้ำมันเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ในแต่ละสายพันธุ์ (ต่อ)

สายพันธุ์รำข้าว	น้ำมันรำข้าว	ลักษณะ
นางดำ (ND)		น้ำมันรำข้าวมีสีเหลืองเข้มอมน้ำตาล น้ำมันใส
ขาวดอกมะลิ (MA)		น้ำมันรำข้าวมีสีเหลือง น้ำมันใส

#### 4.3 เปรียบเทียบวิธีการสกัดระหว่างการสกัดแบบเขย่า และการสกัดด้วยชุดชอกท์เลต

##### 4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันรำข้าว (Yield)

การสกัดน้ำมันรำข้าวจะใช้ 2 วิธี ได้แก่ การสกัดแบบเขย่า (stirring) หรือบางครั้งเรียกว่า การหมัก (maceration) ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง 26 องศาเซลเซียส (ไม่ผ่านความร้อน) และการสกัดแบบชอกท์เลตนาน 8 ชั่วโมง (ผ่านความร้อน) โดยใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลายได้ผลปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้แต่ละสายพันธุ์ในหน่วยน้ำหนักกรัมของน้ำมันรำข้าว (g crude oil) แสดงค่าในคอลัมน์ที่ 2 และ 4 และน้ำหนักน้ำมันรำข้าวต่อกรัมน้ำหนักรำข้าว (g/g DW) แสดงค่าในคอลัมน์ที่ 3 และ 5 ในตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการสกัดทั้ง 2 วิธี พบว่าปริมาณน้ำมันรำข้าวไร่ทุกสายพันธุ์คือ ดอกขาม ดอกข่า เข้มเงิน และนางดำที่ได้จากการสกัดโดยใช้ชุดชอกท์เลตจะได้ปริมาณมากกว่าการสกัดแบบสภาวะเขย่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ยกเว้นปริมาณน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิที่ผ่านการสกัดทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับทุกงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ใช้วิธีชอกท์เลตเป็นวิธีมาตรฐานในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยปริมาณน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามที่ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดด้วยวิธีสกัดแบบชอกท์เลตได้มากถึง 51.85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวิธีสกัดแบบเขย่า เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้สกัดด้วยชุดชอกท์เลตนานถึง 8 ชั่วโมงรวมถึงใช้ความร้อนตลอดช่วงระยะเวลาการสกัดเมื่อเทียบกับการสกัดแบบเขย่าที่ใช้ระยะเวลาสกัดเพียง 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งทั้งเวลาในการสกัดและความร้อนมีผลต่อปริมาณน้ำมันรำข้าวที่เพิ่มมากขึ้น และปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลมากกว่าคือเรื่องของอุณหภูมิเพราะถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

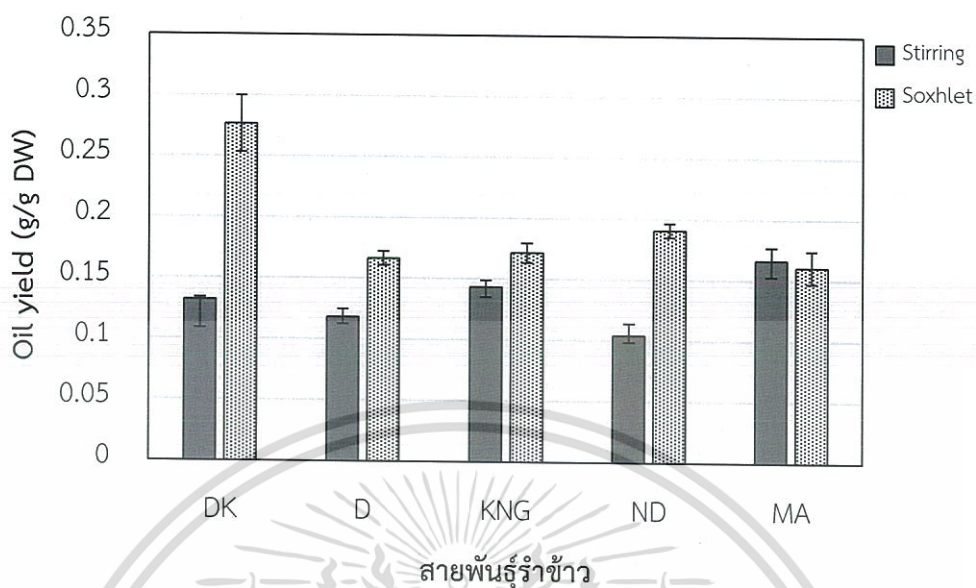
ความสามารถในการละลายของสารทางชีวภาพดีกว่าที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สารมีความหนืดและแรงตึงผิวต่ำทำให้แทรกเข้าไปสกัดสารที่อยู่ภายในวัตถุแข็งได้ดีกว่า ตัวอย่างงานวิจัยที่แสดงปัจจัยของเวลาที่มีผลต่อการสกัดสารคืองานวิจัยของ Banat *et al.* (2013) การสกัดโดยใช้ชุดชอกห์เลตผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารสกัดเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะการสกัดด้วยวิธีแบบเขย่ารำข้าวสายนึ่งข้าวดอกมะลิมีปริมาณน้ำมันรำข้าวมากที่สุดเมื่อเทียบกับรำข้าวไร่ทุกสายพันธุ์ แต่ในสายพันธุ์รำข้าวไร่สายพันธุ์เข้มเงินได้ปริมาณน้ำมันรำข้าวมากที่สุด ซึ่งรำข้าวไร่ดอกขาม และเข้มเงินมีปริมาณน้ำมันรำข้าวมากกว่ารำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกข่า และนางดำ ซึ่งผลที่ได้นี้แตกต่างจากการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการสกัดโดยใช้ชุดชอกห์เลตที่พบว่ารำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกขามได้ปริมาณน้ำมันรำข้าวมากที่สุดเมื่อเทียบกับรำข้าวไร่ทุกสายพันธุ์เนื่องมาจากในน้ำมันรำข้าวดอกขามมีตะกอนแดงละลายปนอยู่ในน้ำมันปริมาณมากในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 ถึงแม้ว่าการสกัดแบบชอกห์เลตได้ผลเชิงปริมาณมากกว่าการสกัดแบบเขย่าแต่เมื่อพิจารณาถึงสีสารสกัดน้ำมันที่ได้ส่วนใหญ่มีสีเหลืองอมเขียวเมื่อเทียบกับสีสารสกัดน้ำมันที่ได้จากการสกัดแบบเขย่าซึ่งจะมีสีเหลืองทองในทุกสายพันธุ์หรือมีลักษณะทางกายภาพที่ดีกว่า ในงานวิจัยของ Arab *et al.* (2011) สกัดรำข้าวแบบเขย่าใช้เวลาสกัด 3 ชั่วโมงด้วยตัวทำละลายเอทานอลได้ปริมาณน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ Fajr และ Tarem 13.2 และ 5.94 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณสารสกัดมีค่าใกล้เคียงน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์นางดำที่สกัดได้ 9.6 เปอร์เซ็นต์จากการสกัดแบบเขย่าโดยใช้เวลาเพียง 30 นาที

ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้จากรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบสภาวะเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกห์เลต

สายพันธุ์ รำข้าว	ปริมาณน้ำมันรำข้าว			
	สกัดแบบเขย่า		สกัดแบบชอกห์เลต	
	g crude oil	g/g DW	g crude oil	g/g DW
ดอกขาม	0.59 ± 0.01 <sup>by</sup>	0.13 ± 0.00 <sup>by</sup>	1.22 ± 0.10 <sup>ax</sup>	0.27 ± 0.02 <sup>ax</sup>
ดอกข่า	0.52 ± 0.03 <sup>cy</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>cy</sup>	0.73 ± 0.02 <sup>cx</sup>	0.17 ± 0.00 <sup>cx</sup>
เข้มเงิน	0.64 ± 0.02 <sup>by</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>by</sup>	0.76 ± 0.04 <sup>cx</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>cx</sup>
นางดำ	0.48 ± 0.04 <sup>cy</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>cy</sup>	0.88 ± 0.02 <sup>bx</sup>	0.19 ± 0.01 <sup>bx</sup>
ข้าวดอกมะลิ	0.77 ± 0.05 <sup>ax</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>ax</sup>	0.75 ± 0.06 <sup>cx</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>cx</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกัน ส่วน x และ y ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำมันรำข้าวในหน่วยเดียวกันเปรียบเทียบวิธีการสกัดแบบเขย่าและการสกัดใช้ชุดชอกห์เลตที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ปริมาณน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบแช่และการสกัดใช้ชุดซอกซ์เลต (DK=ดอกขาม D=ดอกข่า KNG=เข็มเงิน ND=นางคำ MA=ขาวดอกมะลิ)

#### 4.3.2 ปริมาณแกมมาออโรซานอล

สารประกอบแกมมาออโรซานอลเป็นสารที่ละลายอยู่ในน้ำมันรำข้าว ตรวจวัดสารแกมมาออโรซานอลด้วยเครื่อง HPLC ผลปริมาณแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ 5 สายพันธุ์เปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.2 การสกัดแบบแช่ด้วยเอทานอลพบว่าปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์เข็มเงินมีปริมาณมากที่สุด  $7.41 \pm 0.83$  mg/g DW หรือ  $51.39 \pm 5.74$  mg/g crude oil รองลงมาคือสายพันธุ์ดอกขาม ดอกข่า และขาวดอกมะลิ มีปริมาณ  $6.05 \pm 0.11$   $5.35 \pm 0.58$  และ  $4.84 \pm 0.94$  mg/g DW ตามลำดับ ปริมาณน้อยสุดคือพันธุ์นางคำ  $2.80 \pm 0.32$  mg/g DW ซึ่งประเมินค่าทางสถิติพบว่าปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวเข็มเงินแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับอีก 3 สายพันธุ์คือดอกขาม ดอกข่า ขาวดอกมะลิ ซึ่งในน้ำมันรำข้าว 3 สายพันธุ์นี้มีปริมาณแกมมาออโรซานอลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) และน้ำมันรำข้าวจากสายพันธุ์นางคำมีความแตกต่างจากทั้ง 4 สายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติในตารางที่ 4.4 ซึ่งพบว่าในน้ำมันรำข้าวไร่นั้นมีปริมาณสารแกมมาออโรซานอลปริมาณมาก รวมทั้งมีสารออกฤทธิ์อื่นที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นสารสีแดงที่พบมากบริเวณผิวรำข้าว ซึ่งสารเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งแสดงผลการออกฤทธิ์ในหัวข้อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธีคือ DPPH ABTS และ FRAP ต่อไปนอกจากนี้ ในน้ำมันรำข้าวยังมีองค์ประกอบสำคัญที่เป็นส่วนของวิตามินอี (โทโคฟีรอล และโทโคไตรอีนอล) ซึ่ง

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu *et al.* (2001) และ Chakuton *et al.* (2012) ที่พบว่าสารที่ออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดคือสารสีซึ่งมีองค์ประกอบหนึ่งคือแกมมาออโรซานอล

การสกัดแบบซอกท์เลตเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 5 สายพันธุ์พบว่าปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขาวและเข็มเงินมีปริมาณมากที่สุด  $8.78 \pm 0.47$  และ  $7.91 \pm 1.50$  mg/g DW ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสายพันธุ์นางดำ ขาวดอกมะลิ และดอกขาซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 คอลัมน์ที่ 4

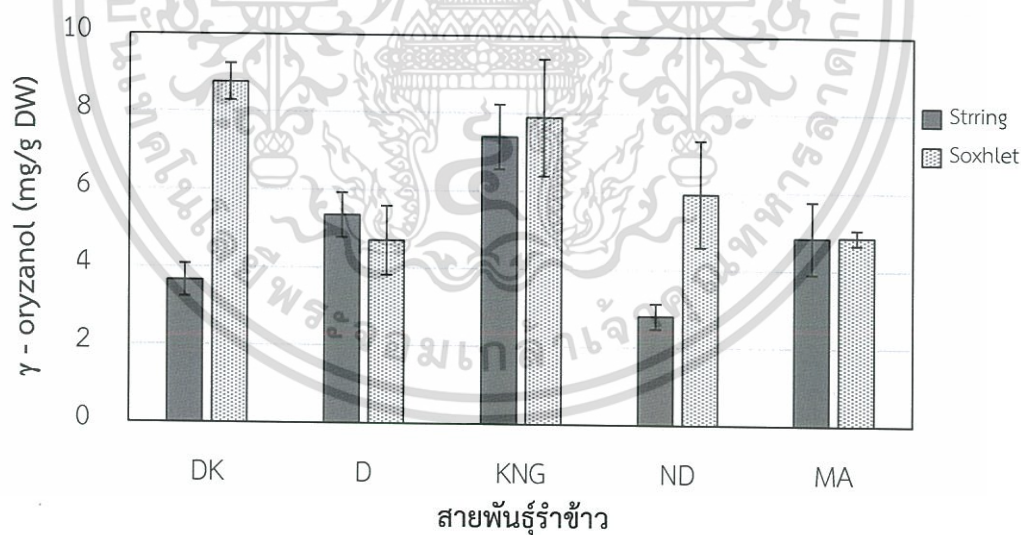
เปรียบเทียบปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์เดียวกันที่ได้จากการสกัดแบบแช่และแบบซอกท์เลต พบว่าปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์เข็มเงินมีปริมาณที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ส่วนปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขาวดังรูปที่ 4.2 ที่ได้จากการสกัดที่ต่างกันจะมีปริมาณสารแกมมาออโรซานอลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

นอกจากปัจจัยวิธีการสกัด ชนิดพันธุ์รำข้าวแล้ว ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสกัดสารแกมมาออโรซานอลคือ ตัวทำละลาย พบว่างานวิจัยนี้ใช้เอทานอลซึ่งได้ปริมาณมากกว่างานวิจัยในอดีตที่ใช้เมทานอล (Chotimakorn *et al.*, 2008 ; Chakuton *et al.*, 2012) ในการสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์เดียวกัน ได้แก่งานวิจัยของ Chotimakorn *et al.* (2008) ตรวจวัดปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (RB-1) ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลในระยะเวลาการสกัด 12 ชั่วโมงพบว่ามีปริมาณสารแกมมาออโรซานอล  $0.99 \pm 0.05$  mg/g DW ซึ่งเป็นสายพันธุ์เดียวกับงานวิจัยนี้ใช้ทดลองตรวจวัดได้  $4.84 \pm 0.94$  mg/g DW จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่มีความเป็นขี้สูง ระยะเวลาการสกัด 30 นาที ผลปริมาณแกมมาออโรซานอลมีค่ามากกว่าอย่างชัดเจน แสดงได้ว่าการใช้ตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์ที่มีความเป็นขี้สูงจะมีความสามารถในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดี และสามารถดึงเอาส่วนอนุพันธ์วงเบนซีนของสารแกมมาออโรซานอลออกมาจากรำข้าวได้มากกว่าตัวทำละลายที่มีความเป็นขี้ต่ำ จึงทำให้สารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ได้มีปริมาณสารแกมมาออโรซานอลสูง (Chen and Bergman *et al.*, 2005) ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัยถ้าเปรียบเทียบกับความเป็นพิษกับตัวทำละลายเมทานอลนั้นมีความปลอดภัยสูงกว่าถ้านำมาประยุกต์ใช้กับมนุษย์ทางด้านอาหารและทางการแพทย์

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณสารแกมมาออไรซานอลในสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านสกัดแบบสภาวะเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต

สายพันธุ์ น้ำมันรำข้าว	ปริมาณแกมมาออไรซานอล			
	สกัดแบบเขย่า		สกัดแบบชอกท์เลต	
	mg/g crude oil	mg/g DW	mg/g crude oil	mg/g DW
ดอกขาม	45.47 ± 0.79 <sup>ax</sup>	6.05 ± 0.11 <sup>by</sup>	31.74 ± 1.71 <sup>by</sup>	8.78 ± 0.47 <sup>ax</sup>
ดอกข่า	45.15 ± 4.88 <sup>ax</sup>	5.35 ± 0.58 <sup>bx</sup>	28.19 ± 5.33 <sup>by</sup>	4.71 ± 0.89 <sup>bx</sup>
เข็มเงิน	51.39 ± 5.74 <sup>ax</sup>	7.41 ± 0.83 <sup>ax</sup>	45.94 ± 8.74 <sup>ax</sup>	7.91 ± 1.50 <sup>ax</sup>
นางดำ	26.70 ± 3.08 <sup>bx</sup>	2.80 ± 0.32 <sup>cy</sup>	31.16 ± 7.18 <sup>bx</sup>	5.95 ± 1.37 <sup>bx</sup>
ขาวดอกมะลิ	29.00 ± 5.63 <sup>bx</sup>	4.84 ± 0.94 <sup>bx</sup>	30.15 ± 1.21 <sup>bx</sup>	4.86 ± 0.20 <sup>bx</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณแกมมาออไรซานอลแต่ละสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ส่วน x และ y ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณแกมมาออไรซานอลในหน่วยเดียวกันเปรียบเทียบวิธีการสกัดแบบเขย่าและการสกัดใช้ชุดชอกท์เลตที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.2 ปริมาณแกมมาออไรซานอลในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

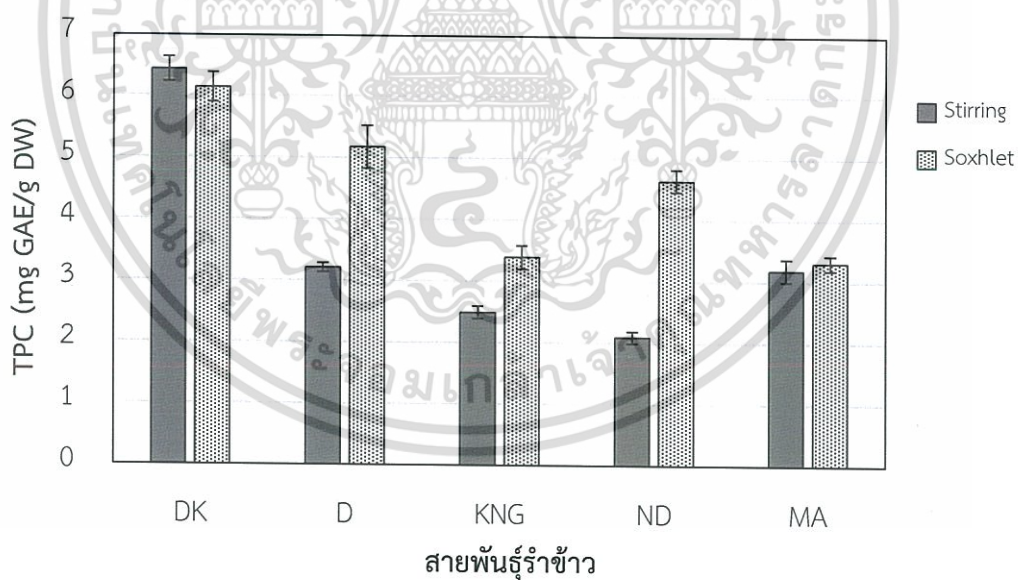
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (TPC) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวจากรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์สามารถทดสอบด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent และคำนวณปริมาณโดยเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิกหรือเรียกว่า Gallic Acid Equivalents มีหน่วยเป็น mg GAE/g DW หรือ mg GAE/g crude oil ผลแสดงในตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.3 พบว่าวิธีการสกัดแบบเขย่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวดอกขามมีปริมาณมากที่สุด  $6.44 \pm 0.20$  mg GAE/g DW หรือ  $48.53 \pm 1.50$  mg GAE/g crude oil เมื่อเทียบกับน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์อื่นๆ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) กับน้ำมันรำข้าวที่พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรองลงมาคือ ดอกข่า และ ขาวดอกมะลิ  $3.21 \pm 0.08$  และ  $3.19 \pm 0.19$  mg GAE/g DW ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 สายพันธุ์นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) และพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของน้ำมันรำข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์นั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) กับเข็มเงิน และ นางดำ  $2.49 \pm 0.10$  และ  $2.09 \pm 0.10$  mg GAE/g DW ตามลำดับ เนื่องจากลักษณะรำข้าวพันธุ์ดอกขาม และดอกข่าพบว่ามีลักษณะทางกายภาพที่มีสารสีแดงละลายปนอยู่ในน้ำมันที่สกัดได้ในปริมาณมากซึ่งเป็นไปได้ว่าสารสีแดงกล่าวเป็นสารจำพวกสารประกอบฟีนอลิกและพบในน้ำมันรำข้าวที่มีสีในปริมาณมากกว่าน้ำมันรำข้าวที่ไม่มีสารสีแดงละลายอยู่เลย เช่น นางดำ และ ขาวดอกมะลิ (Clifford *et al.*, 2001 ; Oki *et al.*, 2002 ; Chakuton *et al.*, 2012) ตัวอย่างงานวิจัยที่สกัดสารจากส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว ได้แก่ ส่วนแกลบรำข้าว ข้าวกล้อง และเมล็ดข้าวขาว พบว่าส่วนรำข้าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง โดยสกัดรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการเขย่าด้วยตัวทำละลายเมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ นาน 16 ชั่วโมง พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวในช่วง 2.5 ถึง 2.7 mg GAE/g DW ซึ่งพบว่ารำข้าวมีปริมาณมากกว่าทุกส่วนที่ได้จากเมล็ดข้าวทั้งเมล็ดที่ผ่านการขัดสีแล้ว (Butsat and Siriamornpun, 2010) เมื่อเทียบผลกับน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิที่ใช้ในงานวิจัยนี้ดังแสดงในตารางที่ 4.5 คอลัมน์ที่ 3 พบว่างานวิจัยนี้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูงกว่าเป็น  $3.19 \pm 0.19$  mg GAE/g DW

จากตารางที่ 4.5 คอลัมน์ที่ 4 และในรูปที่ 4.3 เป็นการสกัดแบบชอกท์เลตปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวดอกขามมีปริมาณมากที่สุด  $31.02 \pm 3.16$  mg GAE/g crude oil แต่เมื่อพิจารณาในหน่วย mg GAE/g DW แสดงในคอลัมน์ที่ 5 ในตารางเดียวกัน น้ำมันรำข้าวดอกขามให้ปริมาณสารฟีนอลิกมากที่สุด  $6.15 \pm 0.24$  mg GAE/g DW น้อยสุดคือน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิ  $3.31 \pm 0.12$  mg GAE/g DW เมื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขามทั้งแบบเขย่ากับแบบชอกท์เลตพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากสายพันธุ์ดอกข่า เข็มเงิน นางดำ ขาวดอกมะลิ พบว่าวิธีการสกัดแบบชอกท์เลตมีปริมาณสารฟีนอลิกมากกว่าการสกัดแบบเขย่า ซึ่งสัญลักษณ์ทางสถิติเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธีการสกัดแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ในตารางที่ 4.5 ในคอลัมน์ที่ 3 และ 5

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบสภาวะเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต

สายพันธุ์ น้ำมันรำข้าว	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก			
	สกัดแบบเขย่า		สกัดแบบชอกท์เลต	
	mg GAE/g crude oil	mg GAE/g DW	mg GAE/g crude oil	mg GAE/g DW
ดอกขาม	48.53 ± 1.50 <sup>ax</sup>	6.44 ± 0.20 <sup>ax</sup>	22.74 ± 1.22 <sup>by</sup>	6.15 ± 0.24 <sup>ax</sup>
ดอกข่า	27.08 ± 0.64 <sup>by</sup>	3.21 ± 0.08 <sup>by</sup>	31.02 ± 3.16 <sup>ax</sup>	5.18 ± 0.35 <sup>bx</sup>
เข็มเงิน	17.26 ± 0.71 <sup>dy</sup>	2.49 ± 0.10 <sup>cy</sup>	19.73 ± 1.10 <sup>dx</sup>	3.39 ± 0.19 <sup>dx</sup>
นางคำ	19.89 ± 0.93 <sup>cy</sup>	2.09 ± 0.10 <sup>dy</sup>	23.67 ± 1.54 <sup>bx</sup>	4.65 ± 0.18 <sup>cx</sup>
ขาวดอกมะลิ	19.11 ± 1.12 <sup>cdx</sup>	3.19 ± 0.19 <sup>by</sup>	20.56 ± 0.75 <sup>dx</sup>	3.31 ± 0.12 <sup>dx</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแต่ละสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ส่วน x และ y ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในหน่วยเดียวกันที่เปรียบเทียบวิธีการสกัดแบบเขย่าและการสกัดใช้ชุดชอกท์เลตที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์

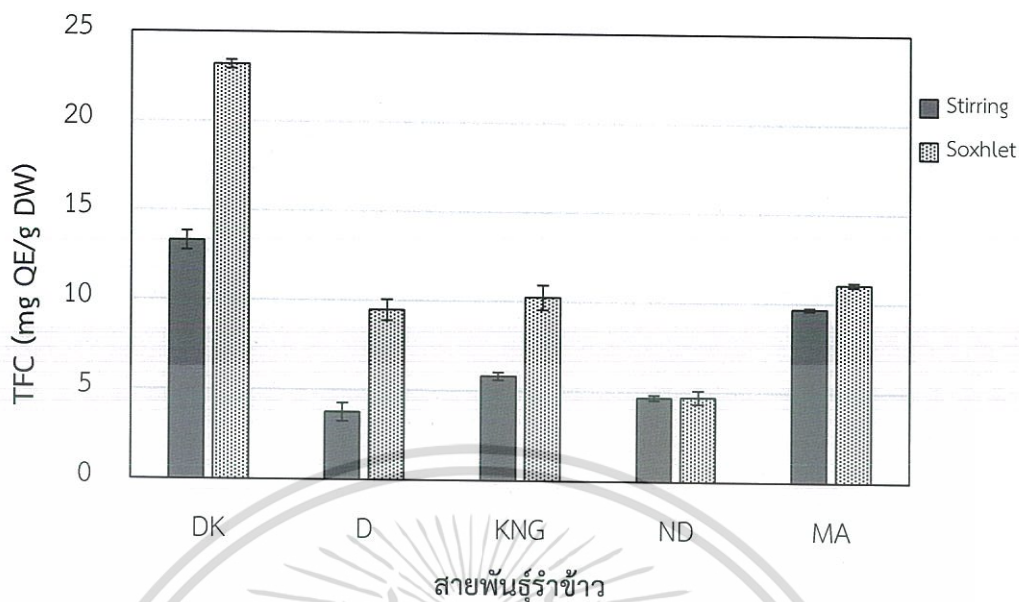
ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (TFC) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวจากรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ โดยทำการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเคอร์ควิทิน (quercetin) แสดงในหน่วย mg QE/g crude oil หรือ mg QE/g DW ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.4 การสกัดแบบเขย่าปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวไร้ดอกขามมีปริมาณมากที่สุด  $13.32 \pm 0.52$  mg QE/g DW เมื่อเทียบปริมาณสารกับน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิ เข้มเงิน นางดำ ดอกขามีค่า  $9.71 \pm 0.08$   $5.85 \pm 0.22$   $4.70 \pm 0.14$  และ  $3.79 \pm 0.49$  mg QE/g DW ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการสกัดแบบเขย่า (ในคอลัมน์ที่ 2 และ 3) กับแบบชอกท์เลต (ในคอลัมน์ที่ 4 และ 5) ดังรูปที่ 4.4 พบว่าปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่ได้มากกว่าเมื่อสกัดแบบชอกท์เลต และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) กับการสกัดแบบเขย่าในน้ำมันรำข้าวดอกขาม ดอกข่า เข้มเงิน และขาวดอกมะลิ ยกเว้นน้ำมันรำข้าวนางดำปริมาณสารที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 วิธีพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบสภาวะเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต

สายพันธุ์ น้ำมันรำข้าว	ปริมาณสารฟลาโวนอยด์			
	สกัดแบบเขย่า		สกัดแบบชอกท์เลต	
	mg QE/g crude oil	mg QE/g DW	mg QE/g crude oil	mg QE/g DW
ดอกขาม	$100.34 \pm 3.95$ <sup>ax</sup>	$13.32 \pm 0.52$ <sup>ay</sup>	$83.79 \pm 0.88$ <sup>ay</sup>	$23.17 \pm 0.24$ <sup>ax</sup>
ดอกข่า	$31.95 \pm 4.14$ <sup>dy</sup>	$3.79 \pm 0.49$ <sup>ey</sup>	$56.89 \pm 3.52$ <sup>cx</sup>	$9.51 \pm 0.59$ <sup>cx</sup>
เข้มเงิน	$40.57 \pm 1.50$ <sup>cy</sup>	$5.85 \pm 0.22$ <sup>cy</sup>	$59.59 \pm 4.03$ <sup>cx</sup>	$10.25 \pm 0.69$ <sup>bcx</sup>
นางดำ	$44.76 \pm 1.31$ <sup>cx</sup>	$4.70 \pm 0.14$ <sup>dx</sup>	$24.82 \pm 1.96$ <sup>dy</sup>	$4.74 \pm 0.37$ <sup>dx</sup>
ขาวดอกมะลิ	$58.16 \pm 0.46$ <sup>by</sup>	$9.71 \pm 0.08$ <sup>by</sup>	$68.67 \pm 0.75$ <sup>bx</sup>	$11.07 \pm 0.12$ <sup>bx</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณสารฟลาโวนอยด์แต่ละสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ส่วน x และ y ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในหน่วยเดียวกันที่เปรียบเทียบวิธีการสกัดแบบเขย่า และการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลตที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.4 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดซอกท์เลต

#### 4.3.5 การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ด้วยวิธี DPPH เพื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสถานะเดียวกัน ในการศึกษาใช้อนุมูล DPPH เนื่องจากเป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัวมีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้วโดยไม่ต้องก่อให้เกิดอนุมูล การวิเคราะห์วิธีนี้เป็นการวัดความสามารถของสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ในการต้านอนุมูลอิสระโดยวัดการลดลงของสีเมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลงไปโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ในตารางที่ 4.7 สารมาตรฐานแต่ละชนิดมีลำดับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระดังนี้ วิตามินซี (Ascorbic acid) และ โทรล็อกซ์ (Trolox) ค่า  $IC_{50}$  คือ  $0.01 \pm 0.00$  และ  $0.02 \pm 0.00$  mg/ml ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) กับสารมาตรฐาน BHT ค่า  $IC_{50}$  คือ  $0.13 \pm 0.01$  mg/ml ดังแสดงในตารางที่ 4.7

#### ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า IC<sub>50</sub> ของสารมาตรฐานแต่ละชนิด

สารมาตรฐาน	IC <sub>50</sub> (mg/ml)
Ascorbic acid	0.01 ± 0.00 <sup>a</sup>
Trolox	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>
BHT	0.13 ± 0.01 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่า IC<sub>50</sub> ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

ค่า IC<sub>50</sub> ของน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ที่มีแนวโน้มดังรูปที่ 4.5 มีลำดับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าในการสกัดแบบเขย่าสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามมีค่าการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมาน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกข่า เข้มเงิน ขาวดอกมะลิ และนางดำที่มีค่าการต้านอนุมูลอิสระแสดงค่าในรูป IC<sub>50</sub> มีค่าอยู่ที่ 0.11 ± 0.01 0.28 ± 0.03 1.17 ± 0.01 3.42 ± 0.04 และ 4.17 ± 0.01 mg/ml ตามลำดับ

เมื่อเทียบค่า IC<sub>50</sub> ของน้ำมันรำข้าวไร่กับข้าวขาวดอกมะลิ พบว่าสายพันธุ์ดอกขาม 0.11 ± 0.01 mg/ml มีการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าประมาณ 31 เท่า เมื่อเทียบกับสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 3.42 ± 0.04 mg/ml รวมถึงน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์นางดำที่มีค่า IC<sub>50</sub> ใกล้เคียงกับรำข้าวขาวดอกมะลิ

สารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขาม (แบบเขย่า) ที่มีค่า IC<sub>50</sub> 0.11 ± 0.01 mg/ml เทียบเท่ากับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารมาตรฐาน BHT ที่มีค่า IC<sub>50</sub> 0.13 ± 0.01 mg/ml ในสถานะเดียวกันได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7 สอดคล้องกับจากงานวิจัยของ Butsat and Siriamornpun (2010) พบว่าส่วนของรำข้าวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีที่สุดในเมื่อเปรียบเทียบกับทุกส่วนที่ได้จากรำทั้งหมดที่ผ่านการขัดสีมาแล้ว และในส่วนของรำข้าวที่ศึกษานั้นมีการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้สูงกว่าสารมาตรฐาน BHT (0.2 mg/ml) ต่ำกว่าสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) และโทรลอคซ์ (Trolox)

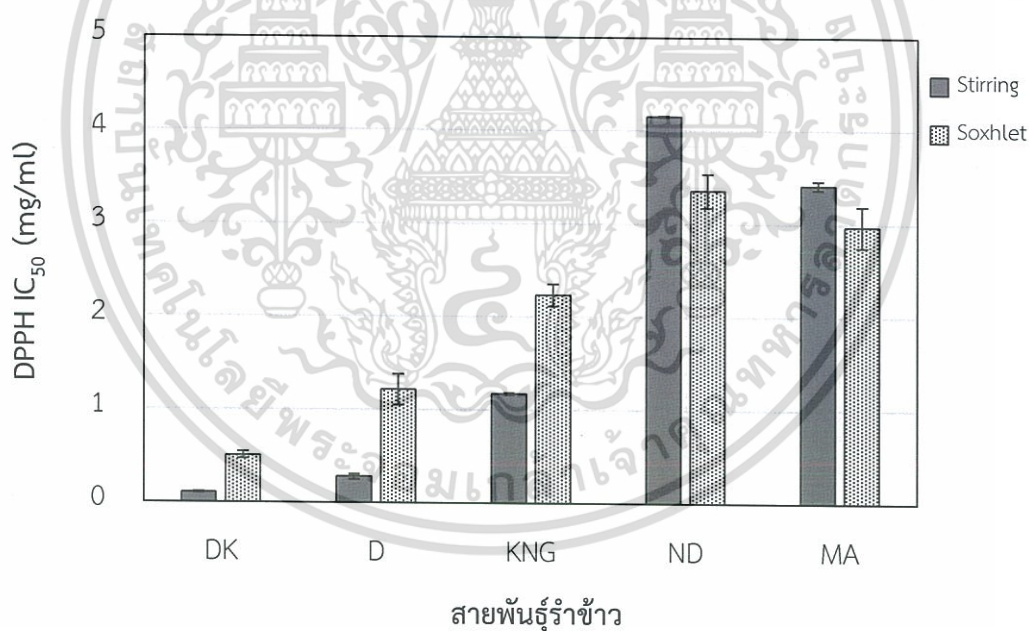
ส่วนสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการสกัดแบบชอกท์เลตพบว่าน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ผลที่ได้ไปในแนวทางเดียวกันกับการสกัดแบบเขย่า ซึ่งมีลำดับค่าการต้านอนุมูลอิสระจากดีที่สุดถึงดำนได้น้อยที่สุดเทียบโดยค่า IC<sub>50</sub> คือน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขาม ดอกข่า เข้มเงิน ขาวดอกมะลิ และสุดท้ายคือนางดำที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 4.8

เมื่อพิจารณาในสายพันธุ์เดียวกันโดยเปรียบเทียบค่า IC<sub>50</sub> ระหว่างการสกัดแบบเขย่า และแบบชอกท์เลตน้ำมันรำข้าวที่มีลักษณะสารสีแดงละลายผสมอยู่ นั่นคือน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขาม ดอกข่า และ เข้มเงิน จากการสกัดแบบเขย่ามีการต้านอนุมูลอิสระได้ดีมากกว่าสารสกัดน้ำมันรำข้าวจากการสกัดแบบชอกท์เลต

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่า  $IC_{50}$  ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่สกัดแบบสภาวะเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต

สายพันธุ์ น้ำมันรำข้าว	$IC_{50}$ (mg/ml)	
	สกัดแบบเขย่า	สกัดแบบชอกท์เลต
ดอกขาม	$0.11 \pm 0.01$ <sup>ax</sup>	$0.51 \pm 0.04$ <sup>ay</sup>
ดอกข่า	$0.28 \pm 0.03$ <sup>bx</sup>	$1.22 \pm 0.17$ <sup>by</sup>
เข็มเงิน	$1.17 \pm 0.01$ <sup>cx</sup>	$2.24 \pm 0.12$ <sup>cy</sup>
นางดำ	$4.17 \pm 0.01$ <sup>ey</sup>	$3.37 \pm 0.18$ <sup>ex</sup>
ขาวดอกมะลิ	$3.42 \pm 0.04$ <sup>dy</sup>	$2.98 \pm 0.22$ <sup>dx</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่า  $IC_{50}$  แต่ละสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ส่วน x และ y ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่า  $IC_{50}$  ในการเปรียบเทียบวิธีการสกัดแบบเขย่า และการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลตที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.5 ค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดชอกท์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.6 การต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>+</sup>

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>+</sup> เป็นวิธีตรวจการจางสีโดยสารสกัดน้ำมันรำข้าว แสดงผลเทียบเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>+</sup> กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>+</sup> ของสารมาตรฐาน Trolox แสดงค่าในรูปแบบปริมาณ TEAC

สารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการสกัดแบบเขย่าในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.6 พบว่า น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามมีปริมาณ TEAC สูงสุดถึง  $34.94 \pm 1.26$  mg TEAC/g DW หรือ  $263.22 \pm 9.52$  mg TEAC/g crude oil และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) กับน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกข่า ขาวดอกมะลิ เข้มเงิน และนางดำ โดยดอกข่า ขาวดอกมะลิ และเข้มเงินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังสัญลักษณ์ทางสถิติที่แสดงในตารางที่ 4.9 คอลัมน์ที่ 3

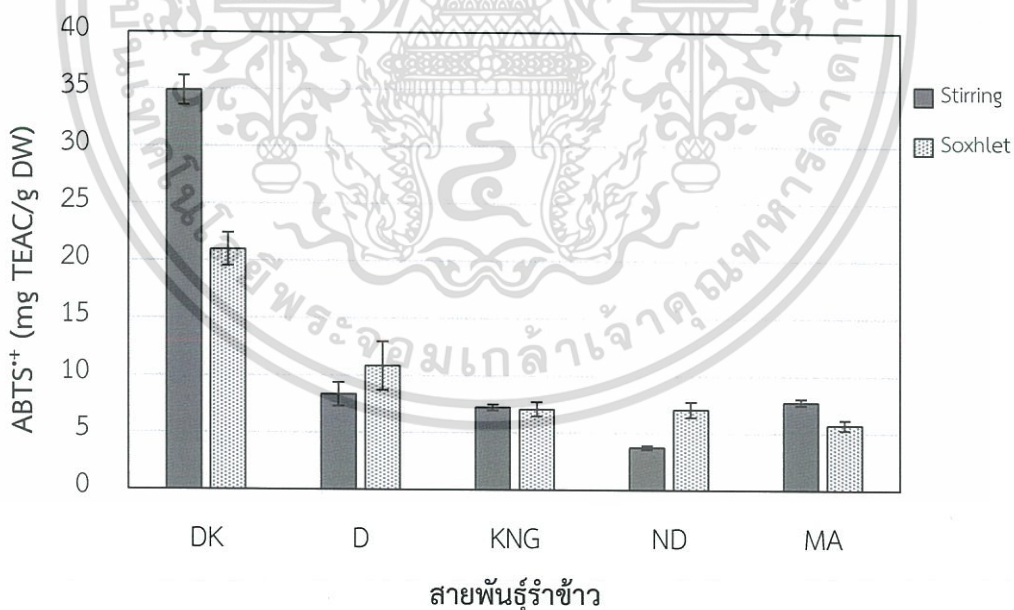
ส่วนสารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขามที่ผ่านการสกัดแบบซอกท์เลตพบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>+</sup> ลดลง เมื่อพิจารณาปริมาณ TEAC ที่ลดลงถึง 39.75 เปอร์เซ็นต์เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการสกัดแบบเขย่า แต่น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกข่า และ เข้มเงิน มีผลที่เหมือนกัน ถึงแม้จะผ่านการสกัดแบบผ่านหรือไม่ผ่านความร้อนก็ไม่ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเรื่องของเวลาในการสกัด ตัวอย่างน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขาม พบว่าสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการสกัดแบบเขย่าเพียงระยะเวลา 30 นาที มีปริมาณ TEAC ( $13.91 \pm 0.51$  mM Trolox/100 g DW) ที่ใกล้เคียงกับสารสกัดจากรำข้าวสายพันธุ์ Sudu Heeneti, Masuran, Goda Heeneti และ Dik Wee ผ่านการสกัดมา 24 ชั่วโมงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>+</sup> เป็น  $12.32 \pm 0.33$   $11.94 \pm 0.25$   $14.25 \pm 0.46$  และ  $8.67 \pm 0.14$  mM Trolox/100 g DW ตามลำดับ (Premakumara *et al.*, 2013) ดังนั้นเป็นไปได้ที่วาระยะเวลา 30 นาทีอาจเพียงพอแล้วที่ใช้สกัดน้ำมันรำข้าวที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> เทียบเท่ากับสารมาตรฐานโทรลิกซ์ (TEAC) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบเขย่าและสกัดแบบซอกซ์เลต

สายพันธุ์ น้ำมันรำข้าว	ปริมาณ TEAC			
	สกัดแบบเขย่า		สกัดแบบซอกซ์เลต	
	mg TEAC/ g crude oil	mg TEAC/g DW	mg TEAC/ g crude oil	mg TEAC/g DW
ดอกขาม	263.22 ± 9.52 <sup>ax</sup>	34.94 ± 1.26 <sup>ax</sup>	76.13 ± 5.23 <sup>ay</sup>	21.05 ± 1.45 <sup>ay</sup>
ดอกข่า	70.43 ± 8.73 <sup>bx</sup>	8.36 ± 1.04 <sup>bx</sup>	64.92 ± 12.75 <sup>ax</sup>	10.85 ± 2.13 <sup>bx</sup>
เข็มเงิน	50.16 ± 1.84 <sup>cx</sup>	7.23 ± 0.27 <sup>bx</sup>	41.16 ± 3.53 <sup>by</sup>	7.08 ± 0.61 <sup>cx</sup>
นางดำ	35.53 ± 1.77 <sup>dx</sup>	3.73 ± 0.19 <sup>cy</sup>	37.10 ± 3.53 <sup>bx</sup>	7.09 ± 0.67 <sup>cx</sup>
ขาวดอกมะลิ	46.33 ± 1.67 <sup>cdx</sup>	7.73 ± 0.28 <sup>bx</sup>	35.55 ± 2.74 <sup>by</sup>	5.73 ± 0.44 <sup>cy</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยปริมาณ TEAC แต่ละสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ส่วน x และ y ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยปริมาณ TEAC ในการเปรียบเทียบวิธีการสกัดแบบเขย่า และการสกัดแบบใช้ชุดซอกซ์เลตที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.6 ปริมาณ TEAC ต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดซอกซ์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.7 ความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP

ในการตรวจความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ด้วยวิธี FRAP โดยสังเกตการเกิดสีน้ำเงินที่เข้มขึ้นจากสีของสารละลาย FRAP reagent วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้ว เพื่อแสดงถึงความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน  $Fe^{3+} [(TPTZ)_2]^{3+}$  (ferric tripyridyltriazine) จะถูกรีดิวซ์เป็น  $Fe^{2+} [(TPTZ)_2]^{2+}$  (ferrous tripyridyltriazine)

สารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการสกัดแบบเขย่าพบว่าน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามมีความสามารถในการรีดิวซ์เท่ากับดอกข่า รองลงมาคือเข็มเงิน ขาวดอกมะลิ และนางดำ มีปริมาณเทียบเท่าสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตจากมากไปน้อยตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ในคอลัมน์ที่ 3 หรือ รูปที่ 4.7 ที่แสดงในหน่วยปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต ( $FeSO_4$ )

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากงานวิจัยของ Butsat and Siriamornpun (2010) พบว่าส่วนของรำข้าวมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงกว่าสารสกัดส่วนอื่นๆ ที่ได้จากต้นข้าวจากการเพาะปลูกในสถานที่แตกต่างกันพบช่วงความสามารถในการรีดิวซ์อยู่ที่ 27.5 ถึง 32.2  $\mu mol FeSO_4/g$  crude oil เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิสายพันธุ์เดียวกันกับงานวิจัยนี้ได้ 9.87  $\mu mol FeSO_4/g$  crude oil พบว่าถึงมีความสามารถในการรีดิวซ์ที่น้อยกว่าด้วยระยะเวลาการสกัดที่เร็วกว่าถึง 32 เท่า

ความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP พิจารณาผลเทียบกับสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ แสดงค่าในรูปแบบปริมาณ TEAC ในรูปที่ 4.8 น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการสกัดแบบเขย่า พบว่าน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามมีความสามารถในการรีดิวซ์เทียบเท่ากับน้ำมันรำข้าวดอกข่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ความสามารถในการรีดิวซ์ของน้ำมันรำข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์นี้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์เข็มเงิน นางดำ และขาวดอกมะลิพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ในคอลัมน์ที่ 7

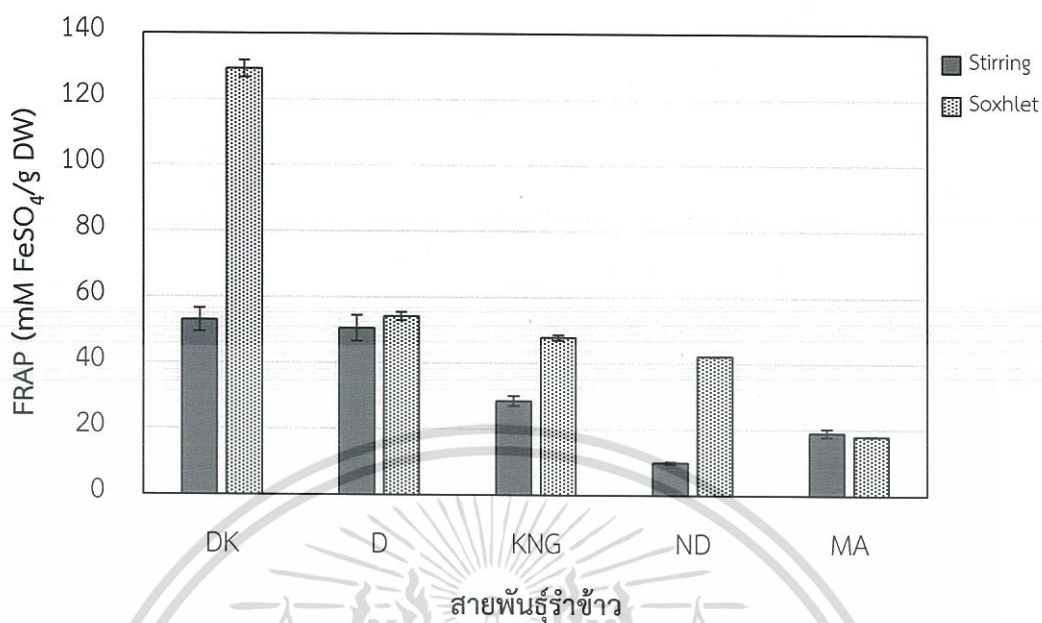
ส่วนสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการสกัดแบบชอกห์เลตมีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต และปริมาณ TEAC แนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ ดอกข่า เข็มเงิน นางดำ และ ขาวดอกมะลิตามลำดับซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.10

จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการสกัดน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่าดอกขาม ดอกข่า เข็มเงิน และ นางดำที่ผ่านการสกัดแบบเขย่ามีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต (รูปที่ 4.7) และปริมาณ TEAC (รูปที่ 4.8) ที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) กับการสกัดแบบชอกห์เลต ยกเว้นน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิที่มีปริมาณไม่แตกต่างกันไม่ว่าใช้เทคนิคการสกัดทั้งแบบเขย่าหรือแบบชอกห์เลตดังแสดงในตารางที่ 4.10

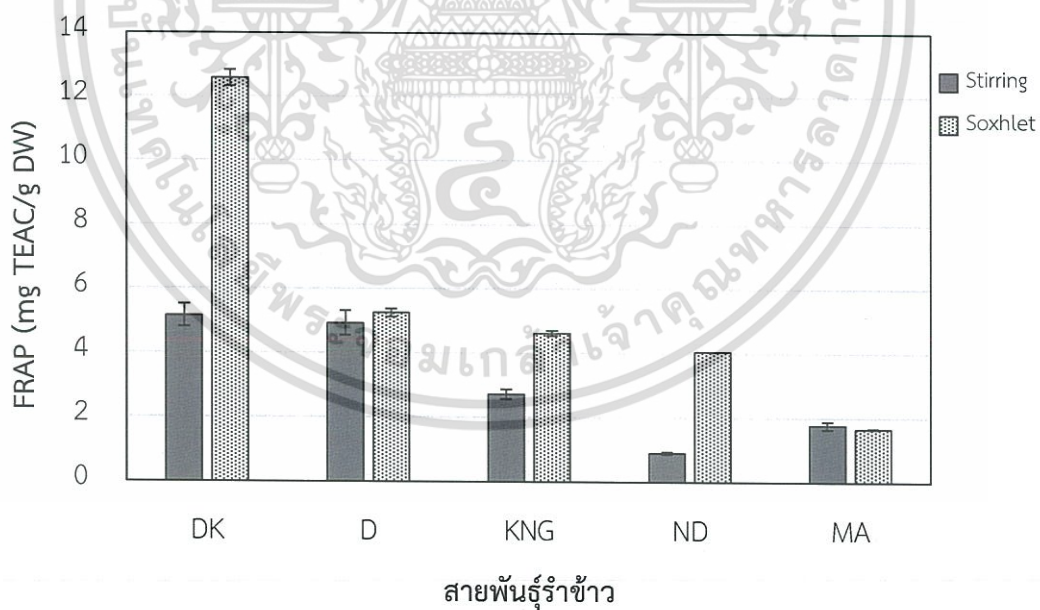
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ ) และโทรลิกซ์ (TEAC) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าว สายพันธุ์ต่างๆ ที่ผ่านการสกัดแบบเขย่าและสกัดแบบชอกท์เลต

สายพันธุ์ น้ำมันรำข้าว	ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ )				ปริมาณ TEAC			
	สกัดแบบเขย่า		สกัดแบบชอกท์เลต		สกัดแบบเขย่า		สกัดแบบชอกท์เลต	
	mM $\text{FeSO}_4$ / g crude oil	mM $\text{FeSO}_4$ / g DW	mM $\text{FeSO}_4$ / g crude oil	mM $\text{FeSO}_4$ / g DW	mg TEAC/ g crude oil	mg TEAC/ g DW	mg TEAC/ g crude oil	mg TEAC/ g DW
ดอกขาม	400.28 ± 26.44 <sup>by</sup>	53.13 ± 3.51 <sup>ay</sup>	467.37 ± 9.27 <sup>ax</sup>	129.26 ± 2.56 <sup>ax</sup>	38.87 ± 2.61 <sup>ay</sup>	5.16 ± 0.35 <sup>ay</sup>	45.49 ± 0.92 <sup>ax</sup>	12.58 ± 0.25 <sup>ax</sup>
ดอกข่า	427.23 ± 32.42 <sup>ax</sup>	50.69 ± 3.85 <sup>ay</sup>	324.79 ± 7.57 <sup>by</sup>	54.28 ± 1.27 <sup>bx</sup>	41.53 ± 3.20 <sup>ax</sup>	4.93 ± 0.38 <sup>ay</sup>	31.42 ± 0.75 <sup>by</sup>	5.25 ± 0.12 <sup>bx</sup>
เข็มเงิน	198.47 ± 10.63 <sup>cy</sup>	28.61 ± 1.53 <sup>by</sup>	278.51 ± 4.77 <sup>cx</sup>	47.93 ± 0.82 <sup>cx</sup>	18.94 ± 1.05 <sup>by</sup>	2.73 ± 0.15 <sup>by</sup>	26.84 ± 0.47 <sup>cx</sup>	4.62 ± 0.08 <sup>cx</sup>
นางคำ	94.04 ± 2.97 <sup>dy</sup>	9.87 ± 0.31 <sup>dx</sup>	221.28 ± 0.32 <sup>dx</sup>	42.28 ± 0.06 <sup>dy</sup>	8.63 ± 0.29 <sup>cy</sup>	0.91 ± 0.03 <sup>dy</sup>	21.19 ± 0.03 <sup>dx</sup>	4.05 ± 0.01 <sup>dx</sup>
ขาวดอกมะลิ	114.11 ± 7.17 <sup>dx</sup>	19.04 ± 1.20 <sup>cx</sup>	111.25 ± 0.84 <sup>ex</sup>	17.93 ± 0.13 <sup>ex</sup>	10.61 ± 0.71 <sup>cx</sup>	1.77 ± 0.12 <sup>cx</sup>	10.33 ± 0.08 <sup>ex</sup>	1.66 ± 0.01 <sup>ex</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต และ ปริมาณ TEAC แต่ละสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน x และ y ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต และ ปริมาณ TEAC ในการเปรียบเทียบวิธีการสกัดแบบเขย่า และการสกัดแบบใช้ช็อคชอกท์เลตที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Tes



รูปที่ 4.7 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดซอกท์เลต



รูปที่ 4.8 ปริมาณ TEAC ในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ในน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีสกัดแบบเขย่าและการสกัดแบบใช้ชุดซอกท์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 การตัดแปลงรำข้าว

### 4.4.1 การตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

รำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟโดยพิจารณาถึงผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า (450 650 และ 800 วัตต์) และผลของเปลี่ยนแปลงเวลาในการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้างที่ (กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาที) รำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงแล้วนำไปสกัดด้วยวิธีการเขย่าเพื่อหลีกเลี่ยงการผ่านความร้อน จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน ปริมาณสารสำคัญอันได้แก่ ปริมาณสารแกมมาออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ที่อยู่ในน้ำมันรำข้าวของแต่ละสายพันธุ์รวมถึงการออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระรูปแบบต่างๆ อันได้แก่ DPPH ABTS<sup>+</sup> และ FRAP ของน้ำมันรำข้าว โดยการแบ่งพิจารณาผลการทดลองได้เป็น 2 รูปแบบ คือ 1. เชงปริมาณ ได้แก่ ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ ปริมาณแกมมาออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ 2. เชงคุณภาพ ได้แก่ การวัดสีรำข้าวในแต่ละสายพันธุ์ ตรวจวัดความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธี คือ DPPH ABTS และ FRAP เทียบกับรำข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงก่อนการสกัดต่อไปนี้จะใช้คำว่า control

#### 4.4.1.1 วัดสีรำข้าว

ลักษณะทางกายภาพอันได้แก่ สีของรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ผลการวัดสีรำข้าวแสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ Lightness (L\*) คือการบ่งชี้ถึงความสว่าง redness (a\*) คือการบ่งชี้สีแดง และ yellowness (b\*) คือการบ่งชี้สีเหลืองของรำข้าวทั้งที่ไม่ผ่านการตัดแปลง และผ่านการตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ จากผลการทดลองเรียงจากสีรำข้าวแดงเข้มไปอ่อน (a\*) พบว่ารำข้าว control สายพันธุ์ดอกขามมีสารสีแดงปนอยู่มากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ย L\* a\* และ b\* เท่ากับ  $57.52 \pm 0.22$   $15.28 \pm 0.19$  และ  $10.59 \pm 0.14$  รองลงมาคือรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามีค่าเฉลี่ย L\* a\* และ b\* เท่ากับ  $61.41 \pm 0.17$   $14.47 \pm 0.11$  และ  $12.26 \pm 0.24$  และสีแดงที่อ่อนที่สุดคือรำข้าวสายพันธุ์เข็มเงิน  $68.81 \pm 0.65$   $10.67 \pm 0.19$  และ  $14.53 \pm 0.25$  ส่วนอีก 2 สายพันธุ์คือนางดำกับขาวดอกมะลิมีลักษณะรำข้าวเป็นสีเหลืองปกติไม่มีสีแดงปน เมื่อตัดแปลงที่กำลังไฟฟ้างที่ เปลี่ยนแปลงเวลาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ L\* มีค่าลดลงในทุกสายพันธุ์ ส่วน b\* มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากรำข้าวมีสีเข้มขึ้นหรือไหม้เมื่อได้รับความร้อนนาน การแสดงเครื่องหมายดอกจัน (\*) ไว้ในตารางคือการบ่งบอกถึงตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้ แห่งกรอบ

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบสีรำข้าว 5 สายพันธุ์ที่ผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

สายพันธุ์ รำข้าว	สภาวะ		สีรำข้าว		
	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	L*	a*	b*
ดอกขาม	control		57.52 ± 0.22	15.28 ± 0.19	10.59 ± 0.14
	450	1	57.65 ± 0.28	15.37 ± 0.16	11.61 ± 1.78
	650	1	57.09 ± 0.08	15.18 ± 0.06	10.88 ± 0.03
	800	1	57.46 ± 0.54	14.75 ± 0.20	10.77 ± 0.01
	800	3	56.68 ± 0.48	14.88 ± 0.27	14.73 ± 0.21
	800	6	60.69 ± 0.41	14.66 ± 0.25	12.79 ± 0.20
	800	9	51.80 ± 2.03	15.37 ± 0.20	10.64 ± 0.07
	800	12	*	*	*
	800	15	*	*	*
ดอกข้า	control		61.41 ± 0.17	14.47 ± 0.11	12.26 ± 0.24
	450	1	61.26 ± 0.19	14.44 ± 0.09	12.39 ± 0.09
	650	1	61.18 ± 0.55	14.90 ± 0.60	12.61 ± 0.18
	800	1	61.36 ± 0.49	14.27 ± 0.18	12.18 ± 0.30
	800	3	61.33 ± 0.03	14.31 ± 0.12	14.31 ± 0.12
	800	6	56.39 ± 0.16	15.59 ± 0.09	10.76 ± 0.20
	800	9	59.95 ± 1.23	13.87 ± 0.46	13.80 ± 0.59
	800	12	58.21 ± 0.66	12.88 ± 0.12	14.72 ± 0.79
	800	15	*	*	*
เข็มเงิน	control		68.81 ± 0.65	10.67 ± 0.19	14.53 ± 0.25
	450	1	69.37 ± 0.51	10.35 ± 0.30	14.01 ± 0.34
	650	1	68.88 ± 0.15	10.90 ± 0.02	14.40 ± 0.24
	800	1	68.63 ± 0.95	11.15 ± 0.37	15.87 ± 1.05
	800	3	68.92 ± 0.70	10.51 ± 0.18	14.40 ± 0.52

หมายเหตุ : \* คือ ตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้ แห่งกรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบสีรำข้าว 5 สายพันธุ์ที่ผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ (ต่อ)

สายพันธุ์ รำข้าว	สภาวะ		สีรำข้าว		
	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	L*	a*	b*
เข็มเงิน	800	6	68.84 ± 0.02	10.72 ± 0.11	15.48 ± 0.17
	800	9	67.75 ± 0.95	10.49 ± 0.15	16.62 ± 0.41
	800	12	66.07 ± 0.63	10.09 ± 0.17	18.42 ± 0.61
	800	15	66.07 ± 0.63	10.26 ± 0.20	19.34 ± 0.45
นางดำ	control		71.47 ± 0.60	7.76 ± 0.22	9.95 ± 0.13
	450	1	71.92 ± 0.11	8.54 ± 0.02	12.72 ± 0.28
	650	1	72.91 ± 0.57	7.58 ± 0.09	10.56 ± 0.43
	800	1	72.07 ± 0.07	7.67 ± 0.17	10.66 ± 0.23
	800	3	70.28 ± 0.18	8.21 ± 0.09	11.11 ± 0.10
	800	6	70.20 ± 0.89	8.24 ± 0.08	11.13 ± 0.22
	800	9	62.11 ± 2.37	7.71 ± 0.11	11.80 ± 0.13
	800	12	64.60 ± 1.31	9.88 ± 0.68	14.60 ± 0.25
	800	15	64.60 ± 1.31	9.30 ± 0.18	15.91 ± 0.39
ขาวดอกมะลิ	control		70.81 ± 0.44	8.82 ± 0.08	13.19 ± 0.01
	450	1	61.26 ± 0.19	14.44 ± 0.09	12.39 ± 0.09
	650	1	71.83 ± 0.43	8.64 ± 0.01	13.18 ± 0.18
	800	1	73.03 ± 0.60	8.38 ± 0.12	13.47 ± 0.06
	800	3	71.53 ± 0.64	8.84 ± 0.08	13.56 ± 0.06
	800	6	72.01 ± 0.19	8.71 ± 0.15	13.73 ± 0.44
	800	9	69.79 ± 0.11	8.31 ± 0.06	13.85 ± 0.12
	800	12	69.80 ± 0.23	8.52 ± 0.07	17.59 ± 0.26
	800	15	69.70 ± 0.23	8.29 ± 0.14	17.40 ± 0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.1.2 ปริมาณน้ำมันรำข้าว (Yield)

การทนต่อการให้ความร้อนในการดัดแปลงกับรำข้าวที่ใช้ในการศึกษาดังต่อไปนี้ พบว่ารำข้าวที่ทนทานทุกสภาวะที่ทดลองคือ รำข้าวเข้มเงิน นางดำ และขาวดอกมะลิ แต่รำข้าวอีก 2 สายพันธุ์มีขีดจำกัดในการทนต่อสภาวะการให้ความร้อนคือ ดอกขามที่ทดลองได้สูงสุดถึงสภาวะการให้ความร้อนที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ที่เวลานานสุด 9 นาที อีกชนิดหนึ่งคือ ดอกข่าได้สูงสุดถึง กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ที่เวลานาน 12 นาที หลังจากนั้นตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้ แห้งกรอบ ดังนั้น เมื่อมีการกล่าวถึงต่อไปจะแสดงเครื่องหมายดอกจัน (\*) ไว้ในตาราง

ผลการทดลองในตารางหลังจากนี้ตัวอักษร a b c ที่อยู่มุมขวาบนแสดงถึง control สภาวะเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 และ 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ส่วนตัวอักษร A B C ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และ X Y Z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และเปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ผลปริมาณน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์ในแต่ละสภาวะการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.9 สภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ นานสูงสุด 15 นาที เมื่อเทียบกับ control พบว่าตัวอย่างรำข้าว 3 สายพันธุ์เข้มเงิน นางดำ และ ขาวดอกมะลิมีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ลดลง และจากสัญลักษณ์ทางสถิติของปริมาณน้ำมันรำข้าวดังแสดงในตารางที่ 4.12 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งแตกต่างกับรำข้าวสายพันธุ์ดอกขาม และดอกข่าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนโดยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า หรือ การเปลี่ยนแปลงเวลาเมื่อเทียบกับ control ในสายพันธุ์เดียวกัน พบว่าปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ซึ่งเป็นไปได้ที่รำข้าวไร้ 2 สายพันธุ์ที่ศึกษานี้มีลักษณะทางกายภาพที่ทนทานกับความร้อนมากกว่ารำข้าวขาวดอกมะลิทั่วไปที่ใช้เป็นตัวเทียบควบคุม เมื่อผ่านการดัดแปลงในสภาวะการให้ความร้อนกับรำข้าวที่นานมากขึ้นจึงไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้จากการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่สภาวะกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์เป็นเวลา 3 นาที จากผลการทดลองพบว่ารำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ คือ ดอกขาม ดอกข่า เข้มเงิน นางดำ และขาวดอกมะลิ มีปริมาณน้ำมันรำข้าวที่ได้คือ  $17.22 \pm 1.84$   $11.66 \pm 0.45$   $9.02 \pm 0.31$   $11.14 \pm 1.38$  และ  $14.95 \pm 0.91$  g/100 g DW ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับผลของงานวิจัย Thanonkaew *et al.* (2012) ศึกษารำข้าวขนาด 177 ถึง 297 ไมโครเมตร ผ่านการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ (microwave heating) อุณหภูมิ  $150 \pm 2$  องศาเซลเซียส กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์เป็นเวลา 3 นาที ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ตซ์ สก๊ตน้ำมันได้  $4.81 \pm 0.24$  g/100 g DW ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันรำข้าวสูงสุดเมื่อเทียบสภาวะอื่นๆ เช่นการอบลมร้อน (hot air heating) การคั่ว (roasting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ปริมาณน้ำมันรำข้าวจากสภาวะการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

สายพันธุ์ รำข้าว	สภาวะ		ปริมาณน้ำมันรำข้าว	
	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	g crude oil	g/g DW
ดอกขาม	control		0.59 ± 0.01	0.13 ± 0.00 <sup>bx</sup>
	450	1	0.82 ± 0.17	0.18 ± 0.04 <sup>ax</sup>
	650	1	0.60 ± 0.10	0.13 ± 0.02 <sup>b</sup>
	800	1	0.72 ± 0.08	0.16 ± 0.02 <sup>abA</sup>
	800	3	0.81 ± 0.08	0.18 ± 0.02 <sup>AX</sup>
	800	6	0.76 ± 0.03	0.17 ± 0.01 <sup>A</sup>
	800	9	0.57 ± 0.08	0.13 ± 0.02 <sup>A</sup>
	800	12	*	*
	800	15	*	*
ดอกข่า	control		0.52 ± 0.03	0.12 ± 0.01 <sup>ax</sup>
	450	1	0.51 ± 0.03	0.12 ± 0.01 <sup>a</sup>
	650	1	0.49 ± 0.03	0.11 ± 0.01 <sup>a</sup>
	800	1	0.51 ± 0.06	0.12 ± 0.01 <sup>aAX</sup>
	800	3	0.52 ± 0.03	0.12 ± 0.01 <sup>AX</sup>
	800	6	0.40 ± 0.06	0.09 ± 0.02 <sup>B</sup>
	800	9	0.44 ± 0.05	0.10 ± 0.01 <sup>B</sup>
	800	12	0.44 ± 0.01	0.12 ± 0.00 <sup>B</sup>
	800	15	*	*

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ X Y Z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

หมายเหตุ : \* คือ ตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้แห้งกรอบ

ตารางที่ 4.12 ปริมาณน้ำมันรำข้าวจากสภาวะการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ (ต่อ)

สายพันธุ์ รำข้าว	สภาวะ		ปริมาณน้ำมันรำข้าว	
	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	g crude oil	g/g DW
เข้มเงิน	control		0.64 ± 0.02	0.14 ± 0.01 <sup>aX</sup>
	450	1	0.44 ± 0.07	0.09 ± 0.01 <sup>b</sup>
	650	1	0.48 ± 0.06	0.11 ± 0.01 <sup>bX</sup>
	800	1	0.41 ± 0.01	0.09 ± 0.00 <sup>b</sup>
	800	3	0.40 ± 0.01	0.09 ± 0.00 <sup>bAX</sup>
	800	6	0.39 ± 0.02	0.09 ± 0.00 <sup>A</sup>
	800	9	0.38 ± 0.06	0.09 ± 0.01 <sup>A</sup>
	800	12	0.38 ± 0.01	0.09 ± 0.00 <sup>A</sup>
	800	15	0.32 ± 0.03	0.07 ± 0.01 <sup>B</sup>
นางดำ	control		0.48 ± 0.04	0.10 ± 0.01 <sup>bY</sup>
	450	1	0.49 ± 0.02	0.11 ± 0.01 <sup>b</sup>
	650	1	0.50 ± 0.02	0.11 ± 0.00 <sup>b</sup>
	800	1	0.82 ± 0.18	0.18 ± 0.04 <sup>aAX</sup>
	800	3	0.51 ± 0.06	0.11 ± 0.01 <sup>BY</sup>
	800	6	0.46 ± 0.01	0.10 ± 0.00 <sup>B</sup>
	800	9	0.48 ± 0.05	0.11 ± 0.01 <sup>B</sup>
	800	12	0.35 ± 0.10	0.07 ± 0.02 <sup>B</sup>
	800	15	0.33 ± 0.06	0.07 ± 0.01 <sup>B</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ X Y Z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

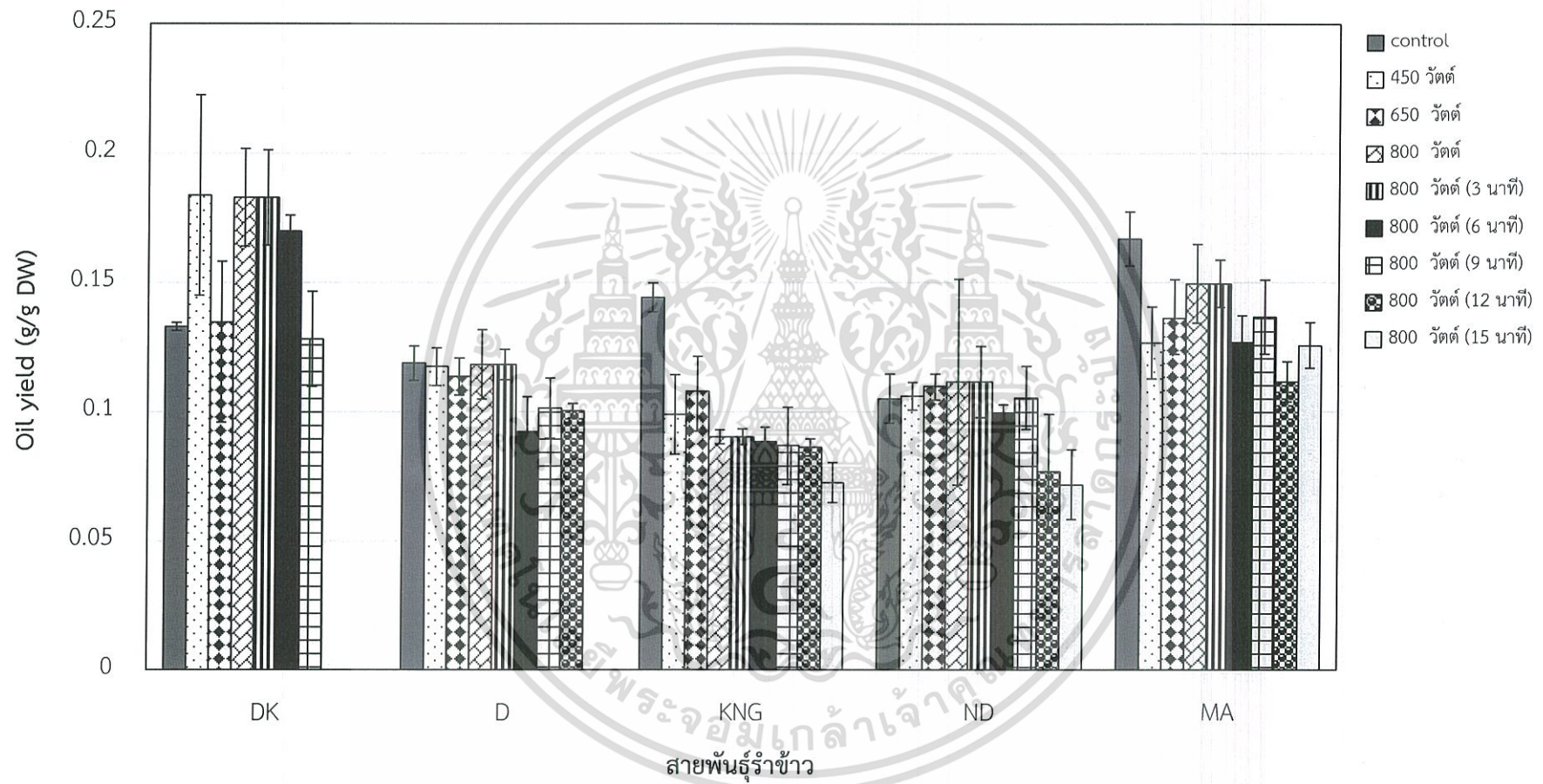
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ปริมาณน้ำมันรำข้าวจากสภาวะการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ (ต่อ)

สายพันธุ์ รำข้าว	สภาวะ		ปริมาณน้ำมันรำข้าว	
	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	g crude oil	g/g DW
ขาวดอกมะลิ	control		0.77 ± 0.05	0.17 ± 0.01 <sup>aX</sup>
	450	1	0.59 ± 0.06	0.13 ± 0.01 <sup>b</sup>
	650	1	0.63 ± 0.07	0.14 ± 0.01 <sup>b</sup>
	800	1	0.67 ± 0.07	0.14 ± 0.01 <sup>abABX</sup>
	800	3	0.69 ± 0.04	0.15 ± 0.01 <sup>AX</sup>
	800	6	0.59 ± 0.05	0.13 ± 0.01 <sup>BC</sup>
	800	9	0.63 ± 0.07	0.14 ± 0.01 <sup>AB</sup>
	800	12	0.52 ± 0.04	0.11 ± 0.00 <sup>C</sup>
	800	15	0.58 ± 0.04	0.13 ± 0.01 <sup>BC</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ X Y Z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ปริมาณน้ำมันรำข้าวในแต่ละสายพันธุ์รำข้าวผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟด้วยวิธีสกัดแบบเขย่า

#### 4.4.1.3 ปริมาณแกมมาอโรซานอล

ปริมาณสารแกมมาอโรซานอลในน้ำมันรำข้าวที่สกัดแบบเขย่า จากการสกัดรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์โดยเปรียบเทียบสภาวะการดัดแปลงรำข้าวก่อนการสกัดในภาพรวมของปริมาณแกมมาอโรซานอลที่มีในสารสกัดน้ำมันรำข้าวแสดงดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.10

รำข้าวดอกขามที่ผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า (450 650 และ 800 วัตต์ นาน 1 นาที) พบว่ามีปริมาณแกมมาอโรซานอลสูงสุดในน้ำมันรำข้าวคือ 450 วัตต์ นาน 1 นาทีค่าที่ได้ คือ  $7.63 \pm 0.25$  mg/g DW มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับ control  $6.05 \pm 0.11$  mg/g DW ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติตัวอักษร X และ Y ในตารางที่ 4.13 จากงานวิจัยของ Lai *et al.* (2009) ปริมาณแกมมาอโรซานอลในน้ำมันรำข้าวที่สภาวะการอบไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 550 วัตต์ เวลา 3 นาที พบปริมาณสารสูงสุดที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลค่าที่ได้คือ  $9.80 \pm 0.40$  g/kg DW ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการดัดแปลงรำข้าวดอกขามที่สภาวะกำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ 1 นาที ได้ปริมาณแกมมาอโรซานอล  $7.63 \pm 0.25$  g/kg DW นอกจากนี้ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าคงที่ (กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ที่เวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาที) พบว่ามีปริมาณแกมมาอโรซานอลสูงสุดคือ 800 วัตต์ นาน 3 นาทีค่าที่ได้คือ  $7.52 \pm 0.87$  mg/g DW ซึ่งทั้ง 2 สภาวะนี้มีปริมาณสารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติในตารางที่ 4.13 และมีปริมาณมากกว่า control ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติตัวอักษร X และ Y ในตารางที่ 4.13 แสดงว่าในการดัดแปลงรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่มากที่สุด 800 วัตต์ ไม่มีผลต่อปริมาณแกมมาอโรซานอลในน้ำมันลดลง รวมทั้งที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เปรียบเทียบเวลา 3 นาที กับ 9 นาที พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณสารแกมมาอโรซานอลดังรูปที่ 4.10 ปริมาณแกมมาอโรซานอลลดลงเพียงเล็กน้อยหรือเป็นไปได้ที่สารแกมมาอโรซานอลในน้ำมันรำข้าวดอกขามไม่มีการเสื่อมสภาพ จากการพิจารณา ค่าทางสถิติพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติในตารางที่ 4.13

รำข้าวดอกข่าที่ผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่พบว่ามีปริมาณแกมมาอโรซานอลสูงสุดในน้ำมันรำข้าวดอกข่าคือ 800 วัตต์ นาน 1 นาทีค่าที่ได้  $5.82 \pm 1.23$  mg/g DW เมื่อเทียบ control ได้ค่า  $5.35 \pm 0.58$  mg/g DW และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แสดงว่าสภาวะการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ไม่มีผลต่อปริมาณสารลดลง เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาพบว่ามีปริมาณแกมมาอโรซานอลสูงสุดในน้ำมันรำข้าวดอกข่าคือ 800 วัตต์ นาน 3 นาทีค่าที่ได้  $5.51 \pm 1.10$  mg/g DW และเมื่อให้ความร้อนนานเพิ่มถึงนาทีที่ 12 ปริมาณสารแกมมาอโรซานอลเริ่มลดลงอย่างชัดเจนเหลือปริมาณ  $3.95 \pm 0.27$  mg/g DW เมื่อเทียบกับ control และนาทีแรกของกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติในตารางที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รำข้าวเข้มนเงินที่ผ่านการตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าพบว่าปริมาณแกลมมาอโรซานอลสูงสุดในน้ำมันรำข้าวเข้มนเงินคือ 650 วัตต์ นาน 1 นาทีค่าที่ได้  $5.16 \pm 0.26$  mg/g DW เมื่อเทียบ control ได้ค่า  $7.41 \pm 0.83$  mg/g DW แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติในตารางที่ 4.13 แสดงว่าสภาวะการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามากขึ้นมีผลต่อปริมาณสารลดลงดังรูปที่ 4.10 รวมถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ ปริมาณแกลมมาอโรซานอลลดลงเมื่อผ่านการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟนานเพิ่มขึ้น จนถึง 15 นาทีค่าที่ได้  $3.11 \pm 0.56$  mg/g DW แสดงถึงปริมาณสารต่ำที่สุด ดังนั้นผลของการเปลี่ยนแปลงเวลามีผลต่อปริมาณแกลมมาอโรซานอลดังรูปที่ 4.10 แนวโน้มกราฟมีระดับลดลง และมีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับ 1 นาที

สภาวะการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่พบว่ามีปริมาณแกลมมาอโรซานอลสูงสุดในน้ำมันรำข้าวนางดำที่สภาวะ 800 วัตต์ นาน 1 นาทีค่าที่ได้  $4.73 \pm 0.53$  mg/g DW มากกว่าเมื่อเทียบกับ control  $2.80 \pm 0.32$  mg/g DW มีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ในตารางที่ 4.13 แต่เมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้า 450 และ 650 วัตต์ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาที่พบว่ามีปริมาณแกลมมาอโรซานอลสูงสุดในน้ำมันรำข้าวนางดำที่สภาวะ 800 วัตต์ นาน 3 นาทีค่าที่ได้  $3.57 \pm 0.36$  mg/g DW แต่เมื่อเทียบ control ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงเวลานานเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณสารแกลมมาอโรซานอลเริ่มลดลง และมีปริมาณสารต่ำที่สุดในนาทีที่ 15 ค่าที่ได้  $1.53 \pm 0.20$  mg/g DW ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับ 1 นาที

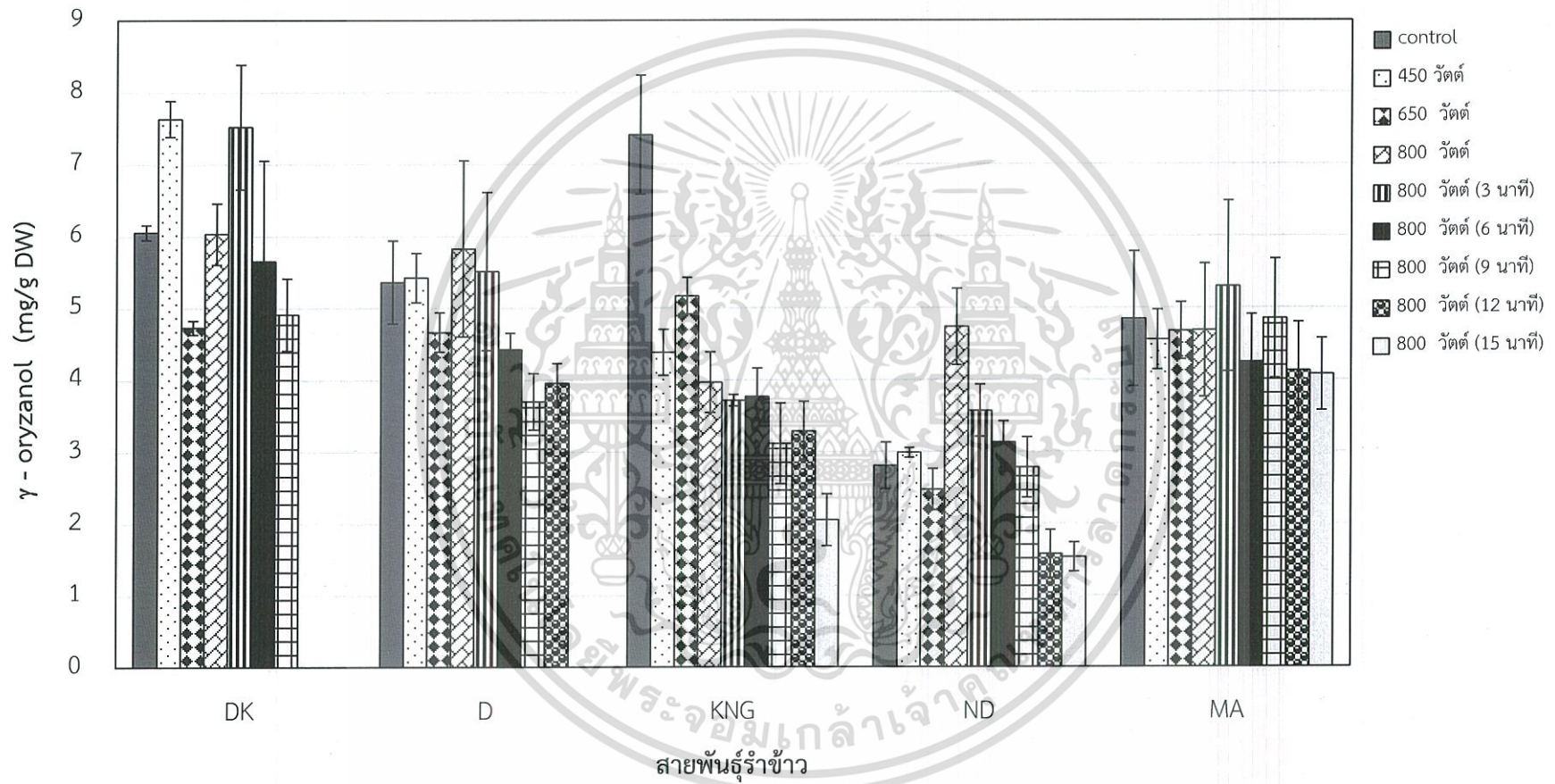
ปริมาณสารแกลมมาอโรซานอลในน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิทั้งผลของการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และเวลามีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกันทุกสภาวะพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติที่มีตัวอักษรเหมือนกันในตารางที่ 4.13

ผลของการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 และ 650 วัตต์ 1 นาที พบว่าทั้ง 2 สภาวะกำลังไฟฟ้ามีปริมาณสารแกลมมาอโรซานอลในน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขา เข้มนเงิน นางดำ และขาวดอกมะลิไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากตำแหน่งการวางภาชนะตัวอย่างรำข้าวที่ตำแหน่งต่างกัน เครื่องไมโครเวฟทำให้ตัวอย่างรำข้าวในจำนวนซ้ำสภาวะเดียวกันได้รับความร้อนไม่เท่ากัน ส่วนที่ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาให้ความร้อนนานขึ้นโดยเฉพาะรำข้าวไร่เป็นไปตามหลักการที่ว่าความร้อนส่งผลทำให้ปริมาณสารแกลมมาอโรซานอลลดลง

ตารางที่ 4.13 ปริมาณสารแกมมาอโรซานอลในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

สภาวะ		ปริมาณสารแกมมาอโรซานอล (mg/g DW) ในน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		6.05 ± 0.11 <sup>bY</sup>	5.35 ± 0.58 <sup>aX</sup>	7.41 ± 0.83 <sup>aX</sup>	2.80 ± 0.32 <sup>bY</sup>	4.84 ± 0.94 <sup>aX</sup>
450	1	7.63 ± 0.25 <sup>aX</sup>	5.42 ± 0.34 <sup>a</sup>	4.37 ± 0.32 <sup>bc</sup>	2.99 ± 0.07 <sup>b</sup>	4.55 ± 0.42 <sup>a</sup>
650	1	4.72 ± 0.10 <sup>c</sup>	4.66 ± 0.27 <sup>a</sup>	5.16 ± 0.26 <sup>bY</sup>	2.47 ± 0.29 <sup>b</sup>	4.67 ± 0.40 <sup>a</sup>
800	1	6.03 ± 0.42 <sup>bb</sup>	5.82 ± 1.23 <sup>aAX</sup>	3.96 ± 0.42 <sup>ca</sup>	4.73 ± 0.53 <sup>aXY</sup>	4.68 ± 0.93 <sup>aAX</sup>
800	3	7.52 ± 0.87 <sup>AX</sup>	5.51 ± 1.10 <sup>AX</sup>	3.71 ± 0.08 <sup>AB</sup>	3.57 ± 0.36 <sup>BY</sup>	5.29 ± 1.19 <sup>AX</sup>
800	6	5.65 ± 1.40 <sup>A</sup>	4.42 ± 0.23 <sup>BC</sup>	3.76 ± 0.39 <sup>ABZ</sup>	3.12 ± 0.30 <sup>BC</sup>	4.24 ± 0.66 <sup>A</sup>
800	9	4.90 ± 0.50 <sup>A</sup>	3.69 ± 0.39 <sup>C</sup>	3.11 ± 0.56 <sup>B</sup>	2.78 ± 0.42 <sup>C</sup>	4.84 ± 0.83 <sup>A</sup>
800	12	*	3.95 ± 0.27 <sup>C</sup>	3.28 ± 0.41 <sup>AB</sup>	1.58 ± 0.34 <sup>D</sup>	4.12 ± 0.67 <sup>A</sup>
800	15	*	*	2.05 ± 0.36 <sup>C</sup>	1.53 ± 0.20 <sup>D</sup>	4.07 ± 0.50 <sup>A</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และ X Y Z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test  
หมายเหตุ : \* คือ ตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้ แข็งกรอบ



รูปที่ 4.10 ปริมาณสารแกมมาออไรซานอลในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

#### 4.4.1.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟสภาวะต่างๆ ในรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกดังแสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาจากระดับกราฟพบว่าปริมาณสารในน้ำมันรำข้าวดอกขามมีปริมาณสูงที่สุด รองลงมาดอกขาในทุกสภาวะการตัดแปลง เมื่อเทียบกับน้ำมันรำข้าวเข้มเงิน นางดำ และขาวดอกมะลิ

การตัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า (450 650 และ 800 วัตต์ นาน 1 นาที) พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดในน้ำมันรำข้าวดอกขามดังรูปที่ 4.11 ที่สภาวะ 450 วัตต์ 1 นาที ค่าที่ได้  $8.03 \pm 0.29$  mg GAE/g DW ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่า control ค่าที่ได้  $6.44 \pm 0.20$  mg GAE/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) แสดงในตารางที่ 4.14 เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าคงที่ พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดที่สภาวะ 800 วัตต์ 3 นาทีที่มีปริมาณสารสูงที่สุดคือ  $9.66 \pm 0.04$  mg GAE/g DW เมื่อตัดแปลงในเวลาที่ยาวนานมากขึ้นพบว่าในนาทีที่ 9 ปริมาณสารกลับลดลงเหลือ  $3.01 \pm 0.05$  mg GAE/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) แสดงในตารางที่ 4.14

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวดอกขาผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าพบปริมาณสารสูงที่สุดคือ 800 วัตต์ นาน 1 นาที ค่าที่ได้  $3.04 \pm 0.11$  mg GAE/g DW ซึ่งไม่แตกต่างกับ control ค่าที่ได้  $3.21 \pm 0.08$  mg GAE/g DW แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นถึง 800 วัตต์มาใช้ในการตัดแปลงรำข้าวดอกขาไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติผลของสภาวะการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในตารางที่ 4.14 แต่เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ยาวขึ้นในนาทีที่ 12 มีผลต่อปริมาณสารลดลงเหลือ  $2.57 \pm 0.24$  mg GAE/g DW ดังนั้นในน้ำมันรำข้าวดอกขาพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกับปริมาณสารแกมมาออโรซานอลที่สภาวะเดียวกัน 800 วัตต์ 1 นาที พบปริมาณสารสำคัญเพิ่มมากขึ้น

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวเข้มเงิน control หรือที่ไม่มีการตัดแปลงรำข้าว พบว่ามีปริมาณสารสูงที่สุดค่าที่ได้  $2.49 \pm 0.10$  mg GAE/g DW ซึ่งมากกว่าทุกสภาวะที่ตัดแปลงรำข้าวเข้มเงิน แสดงว่าทั้งผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 และ 800 วัตต์ รวมถึงพิจารณากำลังไฟฟ้าคงที่เปลี่ยนแปลงเวลาเพิ่มขึ้นถึง 15 นาที พบว่ามีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงดังรูปที่ 4.11 ดังนั้นน้ำมันรำข้าวเข้มเงินมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณสารแกมมาออโรซานอลสูงสุดที่สภาวะ control พบปริมาณสารสำคัญมากกว่าน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงทุกสภาวะ

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวนางดำดั่งรูปที่ 4.11 ผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าพบปริมาณสารสูงที่สุดคือ 800 วัตต์ 1 นาทีค่าที่ได้  $3.78 \pm 0.16$  mg GAE/g DW เมื่อเปรียบเทียบกับ control  $2.09 \pm 0.10$  mg GAE/g DW พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ในตารางที่ 4.14 แสดงว่าทุกสภาวะเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าไม่มีผลทำให้ปริมาณสารลดลงจากการตัดแปลงกำลังไฟฟ้าคงที่แต่เปลี่ยนแปลงเวลาพบปริมาณสารสูงที่สุดในนาทีที่ 3 ค่าที่ได้  $2.14 \pm 0.24$  mg GAE/g DW ซึ่งมีค่าต่างจากนาทีที่ 15 ค่าเหลือเพียง  $1.26 \pm 0.06$  mg GAE/g DW การเปลี่ยนแปลงเวลามีผลทำให้ปริมาณสารลดลง และมีปริมาณสารต่างจากนาทีที่ 1 จากสัญลักษณ์ทางสถิติที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ดังนั้นในน้ำมันรำข้าวนางดำพบปริมาณสารสำคัญคือ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และปริมาณสารแกมมาออโรซานอลสูงที่สุดที่สภาวะเดียวกัน 800 วัตต์ 1 นาที

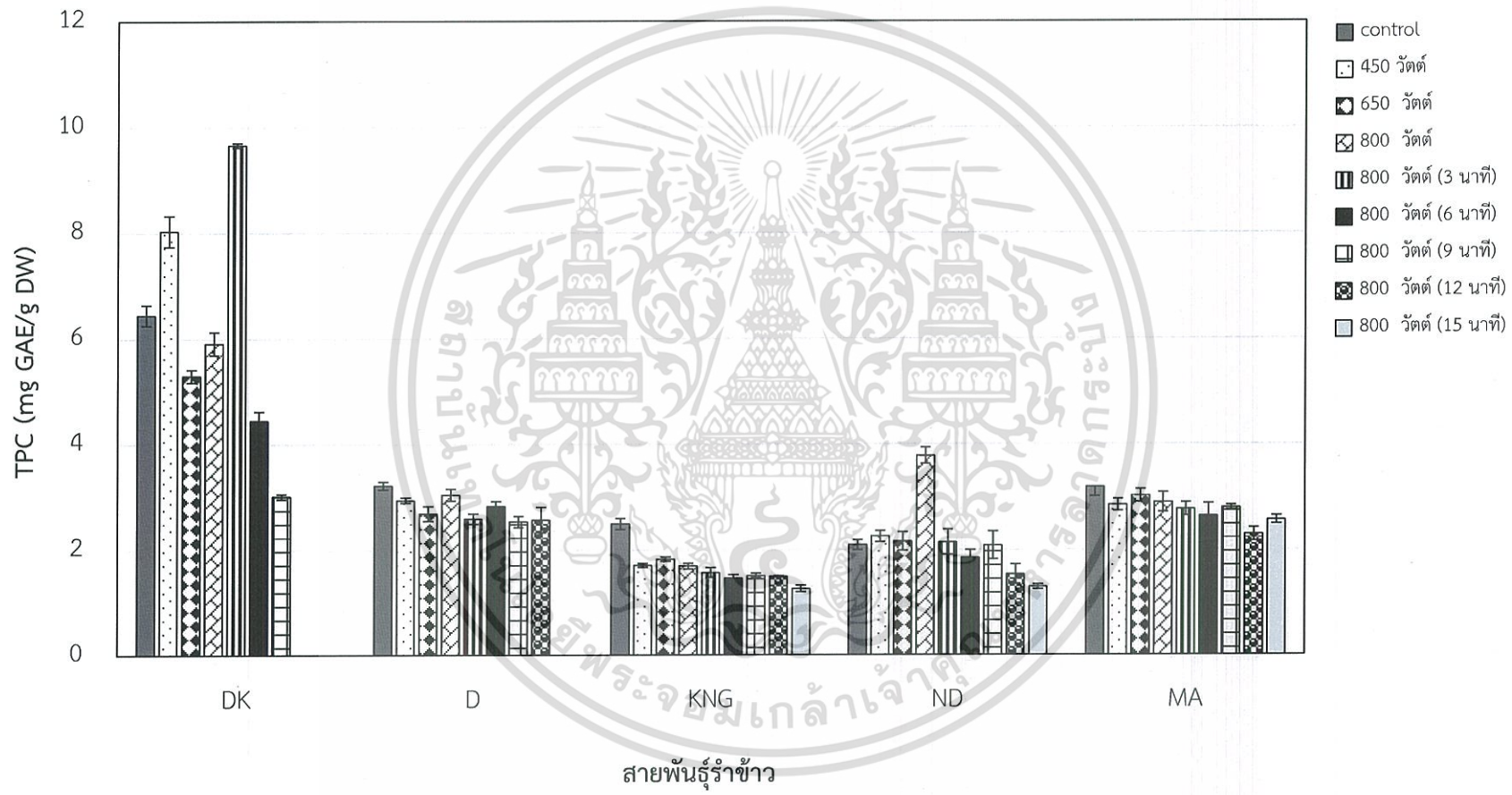
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าพบปริมาณสารสูงที่สุดคือ 650 วัตต์ 1 นาทีค่าที่ได้  $3.02 \pm 0.12$  mg GAE/g DW ปริมาณสารน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ control  $3.19 \pm 0.19$  mg GAE/g DW และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติ X และ Y ในตารางที่ 4.14 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเวลาพบปริมาณสารสูงที่สุดที่สภาวะ 800 วัตต์ นาน 9 นาทีมีค่า  $2.79 \pm 0.05$  mg GAE/g DW ไม่มีผลต่อปริมาณสารเพราะจากปริมาณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับสภาวะ 650 วัตต์ 1 นาทีดั่งรูปที่ 4.11 และไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติในตารางที่ 4.14 หลังจากเปลี่ยนแปลงเวลานานขึ้นพบว่าในนาทีที่ 12 เริ่มมีผลต่อปริมาณสารลดลงเหลือ  $2.29 \pm 0.13$  mg GAE/g DW

เปรียบเทียบผลกับงานวิจัยในอดีตที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวด้วยตัวทำละลายเมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์สกัดรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการตัดแปลงด้วยคลื่นไมโครเวฟ 800 วัตต์ 3 นาที ค่าที่ได้คือ  $5.66 \pm 0.07$  mg GAE/g DW ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวดอกขามที่สภาวะเดียวกัน (Wiriawattana *et al.*, 2014) นอกจากนี้งานวิจัยของ Arab *et al.* (2011) ผลปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สภาวะกำลังไฟฟ้า 550 วัตต์ เวลา 3 นาที พบปริมาณสารสูงที่สุดที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลรำข้าว Fajr และ Tarem ค่าที่ได้คือ  $1.67 \pm 0.01$  และ  $1.05 \pm 0.02$  mg GAE /g DW ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงเมื่อเทียบเท่ากับผลในตาราง 4.14 ของงานวิจัยนี้ พบว่าปริมาณสารที่ได้จากรำข้าวสายพันธุ์เข้มเงินจากการตัดแปลงที่ใช้กำลังไฟฟ้าและเวลาน้อยกว่าคือสภาวะ 450 วัตต์ 1 นาที พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่า  $1.70 \pm 0.04$  mg GAE/g DW รวมทั้งที่สภาวะกำลังไฟฟ้าสูงกว่าคือ 650 วัตต์ 1 นาที ค่าที่ได้  $1.82 \pm 0.03$  mg GAE/g DW ปริมาณสารที่ได้มีปริมาณที่สูงกว่าเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.14 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

สภาวะ		ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE/g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		6.44 ± 0.20 <sup>bZ</sup>	3.21 ± 0.08 <sup>aX</sup>	2.49 ± 0.10 <sup>aX</sup>	2.09 ± 0.10 <sup>bY</sup>	3.19 ± 0.19 <sup>aX</sup>
450	1	8.03 ± 0.29 <sup>aY</sup>	2.94 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.70 ± 0.04 <sup>ac</sup>	2.25 ± 0.10 <sup>b</sup>	2.85 ± 0.11 <sup>b</sup>
650	1	5.29 ± 0.12 <sup>d</sup>	2.69 ± 0.14 <sup>c</sup>	1.82 ± 0.03 <sup>bY</sup>	2.16 ± 0.18 <sup>b</sup>	3.02 ± 0.12 <sup>abXY</sup>
800	1	5.90 ± 0.21 <sup>cb</sup>	3.04 ± 0.11 <sup>abAX</sup>	1.69 ± 0.05 <sup>ca</sup>	3.78 ± 0.16 <sup>aAX</sup>	2.90 ± 0.19 <sup>abA</sup>
800	3	9.66 ± 0.04 <sup>AX</sup>	2.59 ± 0.10 <sup>B</sup>	1.56 ± 0.10 <sup>BZ</sup>	2.14 ± 0.24 <sup>BY</sup>	2.77 ± 0.12 <sup>AB</sup>
800	6	4.45 ± 0.17 <sup>C</sup>	2.83 ± 0.09 <sup>AY</sup>	1.46 ± 0.07 <sup>B</sup>	1.84 ± 0.15 <sup>B</sup>	2.64 ± 0.24 <sup>AB</sup>
800	9	3.01 ± 0.05 <sup>D</sup>	2.53 ± 0.11 <sup>B</sup>	1.51 ± 0.04 <sup>B</sup>	2.08 ± 0.26 <sup>BC</sup>	2.79 ± 0.05 <sup>ABY</sup>
800	12	*	2.57 ± 0.24 <sup>B</sup>	1.49 ± 0.01 <sup>B</sup>	1.53 ± 0.18 <sup>CD</sup>	2.29 ± 0.13 <sup>C</sup>
800	15	*	*	1.26 ± 0.06 <sup>C</sup>	1.29 ± 0.04 <sup>D</sup>	2.56 ± 0.08 <sup>B</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้างที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และ XYZ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test  
 หมายเหตุ : \* คือ ตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้ แห่งกรอบ



รูปที่ 4.11 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

#### 4.4.1.5 ปริมาณฟลาโวนอยด์

ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในสารสกัดน้ำมันรำข้าวจากรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาวะต่างๆ ในแต่ละสายพันธุ์พิจารณาปริมาณสารฟลาโวนอยด์เทียบกับสารมาตรฐานแควอซิทินแสดงในตารางที่ 4.15 ดังรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าสารฟลาโวนอยด์ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขามมีปริมาณสารสูงสุดเมื่อผ่านการดัดแปลงมาแล้วทุกสภาวะ เมื่อเทียบกับอีก 4 สายพันธุ์พบว่าปริมาณสารที่พบรองลงมาคือในน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิ เข้มเงิน และดอกข่า ตามลำดับ ซึ่งพบว่าผลของการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่ทำให้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ลดลงมากที่สุดคือน้ำมันรำข้าวนางดำ

การดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผลจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า (450 650 และ 800 วัตต์ นาน 1 นาที) ดังรูปที่ 4.12 พบว่ามีปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงสุดในน้ำมันรำข้าวดอกขามที่สภาวะ 450 วัตต์ 1 นาที ค่าที่ได้  $18.63 \pm 0.84$  mg QE/g DW ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่า control ค่าที่ได้  $13.32 \pm 0.52$  mg QE/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) แสดงในตารางที่ 4.14 แต่เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ เปลี่ยนแปลงเวลาพบว่าปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงสุดที่สภาวะ 800 วัตต์ 3 นาที ค่าที่ได้  $17.81 \pm 0.85$  mg QE/g DW และเมื่อให้ความร้อนในเวลานานกว่า 3 นาทีขึ้นไปปริมาณสารลดลงเมื่อเทียบกับนาทีที่ 9 ค่าที่ได้  $10.03 \pm 0.61$  mg QE/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) แสดงในตารางที่ 4.15 ดังนั้นที่สภาวะ 450 วัตต์ 1 นาที และ 800 วัตต์ 3 นาที พบปริมาณสารสำคัญสูงสุดทั้ง 3 ชนิดได้แก่ สารฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลิก และ สารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวดอกขาม และมีปริมาณลดต่ำลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนที่นานเกิน 3 นาที

ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวดอกข่าจากผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า พบปริมาณสารสูงสุดที่สภาวะ 650 วัตต์ 1 นาที  $4.13 \pm 0.23$  mg QE/g DW รวมทั้งผลจากการเปลี่ยนแปลงเวลาพบปริมาณสารสูงสุดที่สภาวะ 800 วัตต์ 12 นาที  $4.33 \pm 0.21$  mg QE/g DW เมื่อนำทั้ง 2 สภาวะเปรียบเทียบกับ control มีค่าเท่ากับ  $3.79 \pm 0.49$  mg QE/g DW พบว่าทั้ง 3 สภาวะมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติ (X และ Y) ในตารางที่ 4.15 แสดงได้ว่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และเปลี่ยนแปลงเวลาไม่มีผลต่อปริมาณสารที่อยู่ในน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์นี้ ดังนั้นที่สภาวะ 800 วัตต์ 1 นาที ทำให้ปริมาณสารสำคัญในน้ำมันรำข้าวดอกข่าทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณเพิ่มมาก

ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวเข้มเงินจากผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า พบว่าปริมาณสารสูงสุดที่สภาวะ 450 วัตต์ 1 นาทีค่าที่ได้คือ  $5.51 \pm 0.30$  mg QE/g DW ส่วน control หรือที่ไม่มีการดัดแปลงรำข้าวค่าที่ได้คือ  $5.85 \pm 0.22$  mg QE/g DW เมื่อนำ 2 สภาวะนี้มาเปรียบเทียบกันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่แตกต่างกับสภาวะกำลังไฟฟ้าสูงสุด 800 วัตต์ 1 นาที ที่มีปริมาณลดลง  $4.53 \pm 0.06$  mg QE/g DW ดังรูปที่ 4.12 ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจึงมีผลกับปริมาณสาร และมีผลมากที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลา เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบค่าที่ได้ในนาที่ที่ 1 กับ นาที่ที่ 15 พบว่ามีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ลดลงถึง  $3.74 \pm 0.15$  mg QE/g DW ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติในตารางที่ 4.15 ดังนั้นในน้ำมันรำข้าวเข้มเงินในสภาวะ control พบปริมาณสารสำคัญทั้ง 3 ชนิดมากกว่า น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงทุกสภาวะ

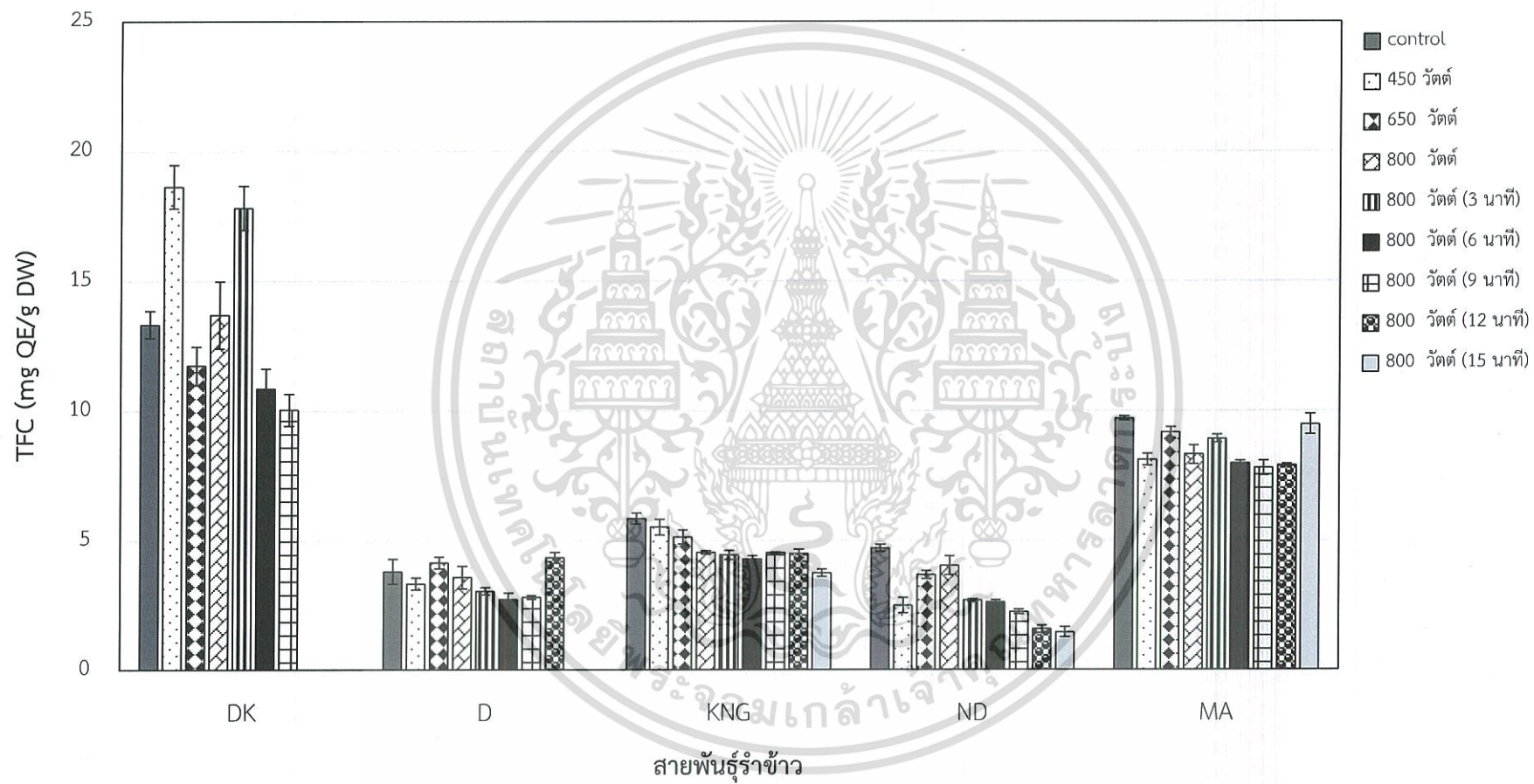
ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวนางดำที่ไม่ผ่านการดัดแปลง หรือ control พบปริมาณสารสูงที่สุด  $4.70 \pm 0.14$  mg QE/g DW เมื่อเทียบกับปริมาณสารที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่สภาวะ 800 วัตต์ 1 นาที่มีปริมาณสารรองลงมา  $4.03 \pm 0.37$  mg QE/g DW ดังรูปที่ 4.12 และเปรียบเทียบทั้ง 2 สภาวะนี้พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาทุกสภาวะมีผลทำให้ปริมาณสารลดลงอย่างต่อเนื่องและต่ำสุดในนาที่ที่ 15 เหลือเพียง  $1.45 \pm 0.19$  mg QE/g DW ซึ่งมีปริมาณสารลดลงจากนาที่ที่ 1 ประมาณ 4 เท่าของปริมาณสารที่ได้ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ในตารางที่ 4.15

ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิทุกสภาวะในการดัดแปลงรำข้าวทั้งการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า รวมถึงที่กำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ เปลี่ยนแปลงเวลาทุก 3 นาที พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณสารที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พิจารณาเปรียบเทียบปริมาณสารที่ได้ทางสถิติระหว่าง control ( $9.71 \pm 0.08$  mg QE/g DW) กับ สภาวะ 800 วัตต์ในการให้ความร้อนนานสูงสุดที่เวลา 15 นาที ( $9.48 \pm 0.04$  mg QE/g DW) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติ (X และ Y) ในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

สภาวะ		ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (mg QE/g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		13.32 ± 0.52 <sup>bcY</sup>	3.79 ± 0.49 <sup>abX</sup>	5.85 ± 0.22 <sup>aX</sup>	4.70 ± 0.14 <sup>aX</sup>	9.71 ± 0.08 <sup>aX</sup>
450	1	18.63 ± 0.84 <sup>aX</sup>	3.32 ± 0.23 <sup>b</sup>	5.51 ± 0.30 <sup>abX</sup>	2.47 ± 0.30 <sup>c</sup>	8.11 ± 0.21 <sup>c</sup>
650	1	11.74 ± 0.74 <sup>c</sup>	4.13 ± 0.23 <sup>aX</sup>	5.13 ± 0.27 <sup>b</sup>	3.67 ± 0.37 <sup>b</sup>	9.17 ± 0.21 <sup>bX</sup>
800	1	13.68 ± 1.29 <sup>bB</sup>	3.57 ± 0.44 <sup>abB</sup>	4.53 ± 0.06 <sup>cA</sup>	4.03 ± 0.37 <sup>bAX</sup>	8.31 ± 0.34 <sup>cC</sup>
800	3	17.81 ± 0.85 <sup>AX</sup>	3.04 ± 0.14 <sup>C</sup>	4.43 ± 0.17 <sup>AB</sup>	2.68 ± 0.06 <sup>BY</sup>	8.92 ± 0.16 <sup>B</sup>
800	6	10.84 ± 0.77 <sup>C</sup>	2.72 ± 0.25 <sup>C</sup>	4.28 ± 0.12 <sup>B</sup>	2.61 ± 0.08 <sup>B</sup>	7.97 ± 0.01 <sup>CD</sup>
800	9	10.03 ± 0.61 <sup>C</sup>	2.80 ± 0.06 <sup>C</sup>	4.53 ± 0.02 <sup>AY</sup>	2.23 ± 0.09 <sup>C</sup>	7.80 ± 0.28 <sup>D</sup>
800	12	*	4.33 ± 0.21 <sup>aAX</sup>	4.49 ± 0.17 <sup>AB</sup>	1.56 ± 0.14 <sup>D</sup>	7.90 ± 0.06 <sup>CD</sup>
800	15	*	*	3.74 ± 0.15 <sup>C</sup>	1.45 ± 0.19 <sup>D</sup>	9.48 ± 0.04 <sup>AX</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ XYZ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test  
หมายเหตุ : \* คือ ตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้แห้งกรอบ



รูปที่ 4.12 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

#### 4.4.1.6 การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ ที่ผ่านตัดแปลงสภาพการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟทั้งการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงเวลา พิจารณาเปรียบเทียบสถานะในแต่ละสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลในรูปแบบ DPPH นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบค่า  $IC_{50}$  ที่ความเข้มข้นของสารสกัดน้ำมันรำข้าวในหน่วย mg/ml ที่สามารถเป็นสารต้านอนุมูล DPPH ได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.13 ค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ มีลำดับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดไปจนถึงต่ำได้น้อยที่สุด คือ สารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามมีค่าการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมามีน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกข่า เข็มเงิน ขาวดอกมะลิ และ นางดำ ตามลำดับ

พิจารณาในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์จากค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกขามพบว่าการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า ที่สภาวะการตัดแปลง 800 วัตต์ 1 นาทีที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดมีค่า  $IC_{50}$   $0.08 \pm 0.01$  mg/ml ซึ่งมีการใช้สารสกัดที่ความเข้มข้นต่ำหรือมีฤทธิ์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ control ค่า  $IC_{50}$   $0.11 \pm 0.01$  mg/ml และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.16 แสดงว่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึง 800 วัตต์ไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง ส่วนกำลังไฟฟ้าคงที่เปลี่ยนแปลงเวลาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดที่สภาวะการตัดแปลง 800 วัตต์ 6 นาทีมีค่า  $IC_{50}$   $0.11 \pm 0.00$  mg/ml ซึ่งมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ control และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) รูปที่ 4.13 พบว่าการเปลี่ยนแปลงเวลาการให้ความร้อนนานถึง 9 นาที (800 วัตต์) มีค่า  $IC_{50}$   $0.43 \pm 0.01$  mg/ml ส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง 81.40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับ 1 นาที (800 วัตต์) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

ค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกข่าพบว่าในสภาวะ control มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดมีค่า  $IC_{50}$  ที่ความเข้มข้นของสารสกัด  $0.28 \pm 0.03$  mg/ml เมื่อเปรียบเทียบการตัดแปลงรำข้าวด้วยปัจจัยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 ที่เวลานาน 1 นาที มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงหรือมีค่า  $IC_{50}$   $0.65 \pm 0.05$  mg/ml และมีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.16 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเวลาที่สภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ พบว่าในนาทีที่ 9 มีค่า  $IC_{50}$   $0.61 \pm 0.06$  mg/ml ซึ่งไม่แตกต่างกับกำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ นาน 1 นาทีที่แสดงสัญลักษณ์ทางสถิติ (X และ Y) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์เข็มเงินพบว่าทั้ง control และ สภาวะการตัดแปลงรำข้าวด้วยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 และ 800 วัตต์ ที่เวลานาน 1 นาทีมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระค่า  $IC_{50}$  อยู่ในช่วง  $1.05 \pm 0.05$  ถึง  $1.21 \pm 0.13$  mg/ml และมีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.16 แต่ที่สภาวะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลาเพิ่มมากพบว่าในนาที่ที่ 6 มีค่า  $IC_{50}$  เป็น  $1.57 \pm 0.15$  mg/ml ซึ่งมีค่าแตกต่างกับ control ดังรูปที่ 4.13 แสดงว่าปัจจัยของเวลาที่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อให้ความร้อนนานขึ้น

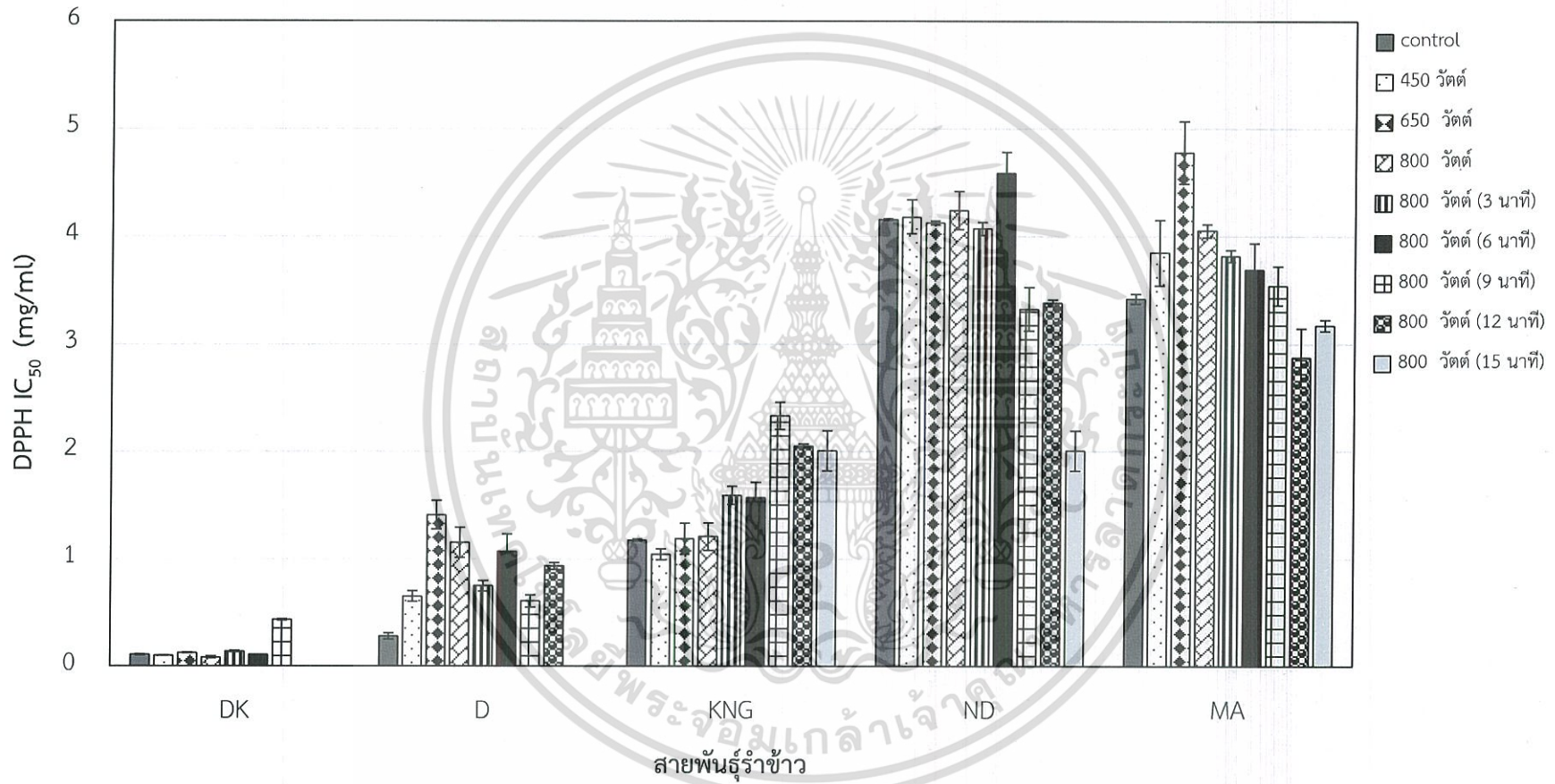
ค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวไร้สายพันธุ์นางดำ พบว่าทั้ง control และ สภาวะการตัดแปลงรำข้าวด้วยปัจจัยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 และ 800 วัตต์ นาน 1 นาที มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่า  $IC_{50}$  อยู่ในช่วง  $4.13 \pm 0.02$  ถึง  $4.24 \pm 0.18$  mg/ml และมีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.16 เมื่อพิจารณาสภาวะ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา พบว่าเวลาที่เพิ่มมากขึ้นตั้งแต่นาที่ที่ 9 ขึ้นไปมีค่า  $IC_{50}$  ลดลงหรือมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีขึ้น โดยค่า  $IC_{50}$  อยู่ในช่วง  $2.00 \pm 0.19$  ถึง  $3.23 \pm 0.20$  mg/ml เมื่อเทียบกับ control ( $4.17 \pm 0.01$  mg/ml) แสดงว่าปัจจัยของเวลาอาจทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวนางดำดีขึ้นจากสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.16 หรือระดับกราฟที่ลดลงในรูปที่ 4.13 นอกจากนี้เมื่อเทียบผลกับงานวิจัยในอดีตผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% inhibition) ของน้ำมันรำข้าวไร้สายพันธุ์นางดำใช้ในการทดสอบที่ความเข้มข้นสูงสุด 10 mg/ml ที่กำลังไฟฟ้า 450 และ 650 วัตต์ นาน 1 นาทีมีค่าเฉลี่ยการต้านอนุมูลอิสระ 78.25 และ 76.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับแต่น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ Fajr และ Tarem (กำลังไฟฟ้า 550 วัตต์ 3 นาที) ใช้ความเข้มข้นทดสอบสูงถึง 50 mg/ml มีค่าการต้านอนุมูลอิสระประมาณ 68 และ 70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงว่าน้ำมันรำข้าวนางดำมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีกว่าถึง 5 เท่า (Arab *et al.*, 2011)

ค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิในสภาวะการตัดแปลงรำข้าวด้วยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า พบว่าที่สภาวะ 450 วัตต์ 1 นาที และ control มีค่า  $3.85 \pm 0.31$  และ  $3.42 \pm 0.04$  mg/ml ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) พิจารณาสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่เปลี่ยนแปลงเวลา พบว่าในสภาวะการตัดแปลง 800 วัตต์ 12 นาทีที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดมีค่า  $IC_{50}$   $2.87 \pm 0.27$  mg/ml เมื่อเปรียบเทียบกับ control  $3.42 \pm 0.04$  mg/ml มีฤทธิ์ดีกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

สภาวะ		IC <sub>50</sub> (mg/ml) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ข้าวดอกมะลิ
control		0.11 ± 0.01 <sup>by</sup>	0.28 ± 0.03 <sup>ax</sup>	1.17 ± 0.01 <sup>ax</sup>	4.17 ± 0.01 <sup>ay</sup>	3.42 ± 0.04 <sup>ay</sup>
450	1	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.05 <sup>by</sup>	1.05 ± 0.05 <sup>ax</sup>	4.18 ± 0.16 <sup>a</sup>	3.85 ± 0.31 <sup>abY</sup>
650	1	0.13 ± 0.00 <sup>c</sup>	1.41 ± 0.13 <sup>d</sup>	1.19 ± 0.15 <sup>a</sup>	4.13 ± 0.02 <sup>ay</sup>	4.78 ± 0.29 <sup>c</sup>
800	1	0.08 ± 0.01 <sup>aX</sup>	1.15 ± 0.14 <sup>cC</sup>	1.21 ± 0.13 <sup>aA</sup>	4.24 ± 0.18 <sup>aC</sup>	4.05 ± 0.06 <sup>bcD</sup>
800	3	0.14 ± 0.01 <sup>C</sup>	0.75 ± 0.05 <sup>A</sup>	1.59 ± 0.08 <sup>BY</sup>	4.07 ± 0.06 <sup>C</sup>	3.82 ± 0.05 <sup>C</sup>
800	6	0.11 ± 0.00 <sup>BY</sup>	1.07 ± 0.16 <sup>BC</sup>	1.57 ± 0.15 <sup>B</sup>	4.59 ± 0.19 <sup>D</sup>	3.69 ± 0.25 <sup>BC</sup>
800	9	0.43 ± 0.01 <sup>D</sup>	0.61 ± 0.06 <sup>AY</sup>	2.32 ± 0.13 <sup>D</sup>	3.23 ± 0.20 <sup>B</sup>	3.54 ± 0.18 <sup>BC</sup>
800	12	*	0.93 ± 0.03 <sup>B</sup>	2.05 ± 0.02 <sup>C</sup>	3.38 ± 0.03 <sup>B</sup>	2.87 ± 0.27 <sup>AX</sup>
800	15	*	*	2.00 ± 0.19 <sup>C</sup>	2.00 ± 0.19 <sup>AX</sup>	3.17 ± 0.05 <sup>AB</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ X Y Z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test  
หมายเหตุ : \* คือ ตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้ แห่งกรอบ



รูปที่ 4.13 ค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

#### 4.4.1.7 การต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup>

การตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ดัดแปลงสถานะการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟทั้งการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงเวลาพิจารณาเปรียบเทียบสถานะในแต่ละสายพันธุ์ถึงการคงความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> น้ำมันที่ได้นั้นมาจากรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงมาแล้วนำปริมาณ TEAC มาเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแสดงในตารางที่ 4.17 ดังรูปที่ 4.14 พบว่า น้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์มีลำดับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระดังนี้ สารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามมีค่าการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมามีน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขา เข็มเงิน ขาวดอกมะลิ และนางดำตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับลำดับการจัดเรียงค่า IC<sub>50</sub> ของแต่ละพันธุ์ที่เคยได้กล่าวไว้ในหัวข้อการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

พิจารณาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่ผ่านการดัดแปลงรำข้าวก่อนการสกัดพบว่าค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกขามในการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า พบว่าสถานะ 800 วัตต์ 1 นาทีมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดหรือเทียบเท่ากับปริมาณ TEAC ได้ค่ามากที่สุดที่  $49.63 \pm 2.24$  mg TEAC/g DW เมื่อเปรียบเทียบกับ control  $34.94 \pm 1.26$  mg TEAC/g DW ทั้ง 2 สถานะนี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.17 กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์คงที่เปลี่ยนแปลงเวลา การให้ความร้อนนานถึง 9 นาทีที่มีปริมาณ TEAC ลดลงเหลือ  $14.16 \pm 2.13$  mg TEAC/g DW ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง 71.47 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับ 1 นาที (800 วัตต์) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังนั้นทั้งปริมาณ TEAC ด้วยวิธี ABTS และค่า IC<sub>50</sub> ด้วยวิธี DPPH ที่ใช้ตรวจวัดความสามารถในต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกขามมีความสอดคล้องกันที่สถานะการดัดแปลง 800 วัตต์ 1 นาที

ค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกขาพบปริมาณ TEAC สูงสุดในการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 650 วัตต์ 1 นาที ค่าที่ได้  $7.73 \pm 0.04$  mg TEAC/g DW เมื่อเทียบปริมาณ TEAC ทั้ง control  $8.36 \pm 1.04$  mg TEAC/g DW และ สถานะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลาที่เวลานานสูงสุด 12 นาทีที่มีปริมาณ TEAC  $9.33 \pm 1.98$  mg TEAC/g DW ซึ่งพบว่าทั้ง 3 สถานะนี้มีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.17 แสดงว่าปัจจัยทั้งการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และเวลาไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากมีปริมาณ TEAC ใกล้เคียงกัน ดังนั้นทั้งปริมาณ TEAC ด้วยวิธี ABTS และค่า IC<sub>50</sub> ด้วยวิธี DPPH ที่ใช้ตรวจวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกขามีความสอดคล้องที่สถานะเดียวกัน คือ control

ค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์เข็มเงินพบว่า control มีปริมาณ TEAC ได้ค่ามากที่สุดที่  $7.23 \pm 0.27$  mg TEAC/g DW และมีปริมาณ TEAC มากกว่าเมื่อเทียบกับปัจจัยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 และ 800 วัตต์ นาน 1 นาที มีปริมาณ  $5.82 \pm$

0.59  $6.45 \pm 0.15$  และ  $6.28 \pm 0.47$  mg TEAC/g DW ตามลำดับ ซึ่งปริมาณ TEAC ของทั้ง 3 สภาวะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.17 แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TEAC ที่สภาวะ 800 วัตต์ ในนาที่ที่ 1 กับ นาที่ที่ 15 มีค่า  $6.28 \pm 0.47$  และ  $4.57 \pm 0.20$  mg TEAC/g DW พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) แสดงว่าปัจจัยของการให้ความร้อนที่นานเพิ่มมากขึ้นทำให้ลดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นทั้งปริมาณ TEAC ด้วยวิธี ABTS และค่า  $IC_{50}$  ด้วยวิธี DPPH ที่ใช้ตรวจวัดความสามารถในด้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดของน้ำมันรำข้าวไร้สายพันธุ์เข้มเงินมีความสอดคล้องที่สภาวะเดียวกัน คือ control

ค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>+</sup> ของน้ำมันรำข้าวไร้สายพันธุ์นางดำจากการตัดแปลงรำข้าวด้วยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า พบว่าที่สภาวะกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ นาน 1 นาทีที่มีปริมาณ TEAC ได้ค่ามากที่สุดที่  $6.06 \pm 0.32$  mg TEAC/g DW เมื่อเทียบกับ control  $3.73 \pm 0.19$  mg TEAC/g DW แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วนในสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่เปลี่ยนแปลงเวลา พบว่าในนาที่ที่ 1 มีปริมาณ TEAC ใกล้เคียงกับนาที่ที่ 9 ดังรูปที่ 4.14 และมีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.17 ดังนั้นที่สภาวะ 800 วัตต์ นาน 1 นาที และ 9 นาที ผลความสามารถในด้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด ทั้งปริมาณ TEAC ด้วยวิธี ABTS และค่า  $IC_{50}$  ด้วยวิธี DPPH มีความสอดคล้องที่สภาวะเดียวกัน

ค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>+</sup> ของน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิพบว่าปริมาณ TEAC สูงสุดคือ control ค่าที่ได้  $7.73 \pm 0.28$  mg TEAC/g DW เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่สภาวะ 800 วัตต์ นาน 1 นาที ค่าที่ได้  $3.07 \pm 0.48$  mg TEAC/g DW และกำลังไฟฟ้าคงที่เปลี่ยนแปลงเวลาที่นานขึ้นถึง 6 นาทีค่าที่ได้  $4.02 \pm 0.32$  mg TEAC/g DW ซึ่งทุกสภาวะมีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> เทียบเท่ากับสารมาตรฐานโทรลล็อกซ์ (TEAC) ในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

สภาวะ		ปริมาณ TEAC (mg TEAC/g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		34.94 ± 1.26 <sup>bY</sup>	8.36 ± 1.04 <sup>aX</sup>	7.23 ± 0.27 <sup>aX</sup>	3.73 ± 0.19 <sup>bY</sup>	7.73 ± 0.28 <sup>aX</sup>
450	1	48.24 ± 4.20 <sup>a</sup>	6.44 ± 0.72 <sup>b</sup>	5.82 ± 0.59 <sup>b</sup>	3.71 ± 0.32 <sup>b</sup>	2.03 ± 0.17 <sup>bc</sup>
650	1	25.14 ± 4.79 <sup>c</sup>	7.73 ± 0.04 <sup>aX</sup>	6.45 ± 0.15 <sup>bY</sup>	3.64 ± 0.17 <sup>b</sup>	1.91 ± 0.48 <sup>c</sup>
800	1	49.63 ± 2.24 <sup>aAX</sup>	4.88 ± 0.18 <sup>cb</sup>	6.28 ± 0.47 <sup>bA</sup>	6.06 ± 0.32 <sup>aAX</sup>	3.07 ± 0.48 <sup>aBCZ</sup>
800	3	38.04 ± 1.06 <sup>B</sup>	5.00 ± 1.05 <sup>B</sup>	5.00 ± 0.42 <sup>BC</sup>	5.12 ± 0.22 <sup>B</sup>	2.48 ± 0.25 <sup>C</sup>
800	6	40.79 ± 2.19 <sup>BX</sup>	5.35 ± 0.22 <sup>B</sup>	5.17 ± 0.48 <sup>BC</sup>	4.42 ± 0.27 <sup>C</sup>	4.02 ± 0.32 <sup>AY</sup>
800	9	14.16 ± 2.13 <sup>C</sup>	6.04 ± 0.44 <sup>B</sup>	5.00 ± 0.28 <sup>BC</sup>	5.91 ± 0.37 <sup>AX</sup>	1.52 ± 0.51 <sup>D</sup>
800	12	*	9.33 ± 1.98 <sup>aAX</sup>	5.61 ± 0.31 <sup>BZ</sup>	4.51 ± 0.30 <sup>C</sup>	3.28 ± 0.38 <sup>B</sup>
800	15	*	*	4.57 ± 0.20 <sup>C</sup>	4.17 ± 0.34 <sup>C</sup>	2.63 ± 0.19 <sup>BC</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และ X Y Z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test  
หมายเหตุ : \* คือ ตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้ แห่งกรอบ



รูปที่ 4.14 ปริมาณ TEAC ต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

#### 4.4.1.8 ความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP

การตรวจวัดความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ดัดแปลงสถานะการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟทั้งการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงเวลา พิจารณาเปรียบเทียบสถานะในแต่ละสายพันธุ์รำข้าวเทียบเท่าความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP กับสารมาตรฐาน 2 ชนิดคือ เพอร์รัสซัลเฟตแสดงในตารางที่ 4.18 รูปที่ 4.15 และโทรล็อกซ์แสดงในตารางที่ 4.19 รูปที่ 4.16 พบว่าน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์มีลำดับความสามารถในการรีดิวซ์ดังนี้ สารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามมีความสามารถในการรีดิวซ์หรือมีค่าการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกข่า เข้มเงิน ขาวดอกมะลิ และนางดำตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับลำดับในแต่ละพันธุ์ที่เคยได้กล่าวไว้ในหัวข้อการต้านอนุมูลอิสระในรูปแบบ DPPH และ ABTS<sup>•+</sup> พิจารณาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์ผ่านการดัดแปลงรำข้าวก่อนการสกัดเพื่อนำมาตรวจสอบความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดน้ำมันรำข้าว

ความสามารถในการรีดิวซ์ของน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามพบว่าการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่สถานะ 450 วัตต์ นาน 1 นาทีมีค่า  $79.47 \pm 3.32$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $7.72 \pm 0.33$  mg TEAC/g DW ซึ่งมีความสามารถในการรีดิวซ์เทียบเท่ากับสถานะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ เปลี่ยนแปลงเวลา 3 นาทีมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงสุด  $82.55 \pm 0.54$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $8.03 \pm 0.05$  mg TEAC/g DW ซึ่งทั้ง 2 สถานะนี้เมื่อเทียบกับ control มีค่า  $53.13 \pm 3.51$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $5.16 \pm 0.35$  mg TEAC/g DW พบว่ามีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงทั้งในตารางที่ 4.18 และ 4.19 เมื่อให้ความร้อนนานมากกว่า 3 นาทีขึ้นไปความสามารถในการรีดิวซ์ลดลงมากที่สถานะ 800 วัตต์ 9 นาทีค่าที่ได้  $26.38 \pm 0.93$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และมีปริมาณ TEAC ลดเหลือ  $2.52 \pm 0.09$  mg TEAC/g DW ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการรีดิวซ์ลดลง และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ในนาทีที่ 3 และ 9 ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกข่าดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่า control มีความสามารถในการรีดิวซ์สูงสุดค่าที่ได้  $50.69 \pm 3.85$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $4.93 \pm 0.38$  mg TEAC/g DW เมื่อเปรียบเทียบการดัดแปลงรำข้าวทุกสถานะการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 และ 800 วัตต์ นาน 1 นาที พบว่ามีความสามารถในการรีดิวซ์ลดลง และมีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และ 4.19 เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา พบว่าปริมาณเพอร์รัสซัลเฟตและปริมาณ TEAC ของนาทีที่ 1 เทียบกับนาทีที่ 6 และ 12 มีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แสดงว่าปัจจัยของเวลาไม่มีผลต่อความสามารถในการรีดิวซ์ ดังนั้นในการตรวจวัดความสามารถต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกข่าสูงสุดในสถานะ control มีความสอดคล้องกันทั้ง 3 วิธี ได้แก่ DPPH ABTS และ FRAP

ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวไร้สายพันธุ์เข้มเงินพบว่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า สภาวะ 650 วัตต์ นาน 1 นาทีมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงสุด  $32.03 \pm 0.84$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $3.09 \pm 0.08$  mg TEAC/g DW ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าและมีความแตกต่างกับความสามารถในการรีดิวซ์ของ control ที่มีค่า  $28.61 \pm 1.53$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $2.73 \pm 0.15$  mg TEAC/g DW โดยมีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และ 4.19 ส่วนกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา พบว่าการให้ความร้อนเวลานานเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อความสามารถในการรีดิวซ์ เนื่องจากปริมาณที่ได้ทุกสภาวะในการเปลี่ยนแปลงเวลาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวไร้สายพันธุ์นางดำพบว่าการดัดแปลงรำข้าวด้วยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่สภาวะ 800 วัตต์ นาน 1 นาทีที่มีปริมาณมากที่สุดคือ  $23.42 \pm 1.92$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW ดังรูปที่ 4.15 และ  $2.19 \pm 0.19$  mg TEAC/g DW ดังรูปที่ 4.16 ในสภาวะนี้มีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับ control กำลังไฟฟ้า 450 และ 650 วัตต์ นาน 1 นาที โดยทั้ง 3 สภาวะนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าคงที่เปลี่ยนแปลงเวลา พบว่าเวลาที่นานหลัง 1 นาทีขึ้นไปไม่มีผลต่อความสามารถในการรีดิวซ์ที่ลดลง ดังนั้นในการตรวจวัดความสามารถในด้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวไร้สายพันธุ์นางดำสูงสุดในสภาวะ 800 วัตต์ 1 นาที ซึ่งมีความสอดคล้องกันทั้ง 3 วิธี ได้แก่ DPPH ABTS และ FRAP

ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิพบว่าสภาวะการดัดแปลงรำข้าวด้วยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า พบว่าที่สภาวะ 800 วัตต์ 1 นาทีมีค่ามากที่สุด  $20.71 \pm 0.47$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $1.95 \pm 0.05$  mg TEAC/g DW เมื่อเทียบกับสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลานาน 3 นาทีที่มีค่ารองลงมาคือ  $25.00 \pm 0.70$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW ดังรูปที่ 4.15 และ  $2.37 \pm 0.07$  mg TEAC/g DW ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งทั้ง 2 สภาวะนี้มีความแตกต่างกับ control มีค่า  $19.04 \pm 1.20$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $1.77 \pm 0.12$  mg TEAC/g DW โดยที่สภาวะ 800 วัตต์ 1 นาที สภาวะ 800 วัตต์ 3 นาที และ control มีสัญลักษณ์ทางสถิติ (X Y และ Z) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และ 4.19 แสดงว่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าไม่มีผลต่อความสามารถในการรีดิวซ์ที่ลดลง แต่ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเวลาที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 3 นาทีขึ้นไปมีผลต่อความสามารถในการรีดิวซ์ที่ลดลงเพราะผลปริมาณเพอร์ร็อกซัลเฟต และ ปริมาณ TEAC ที่ได้มีค่าลดลง

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO<sub>4</sub>) ในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

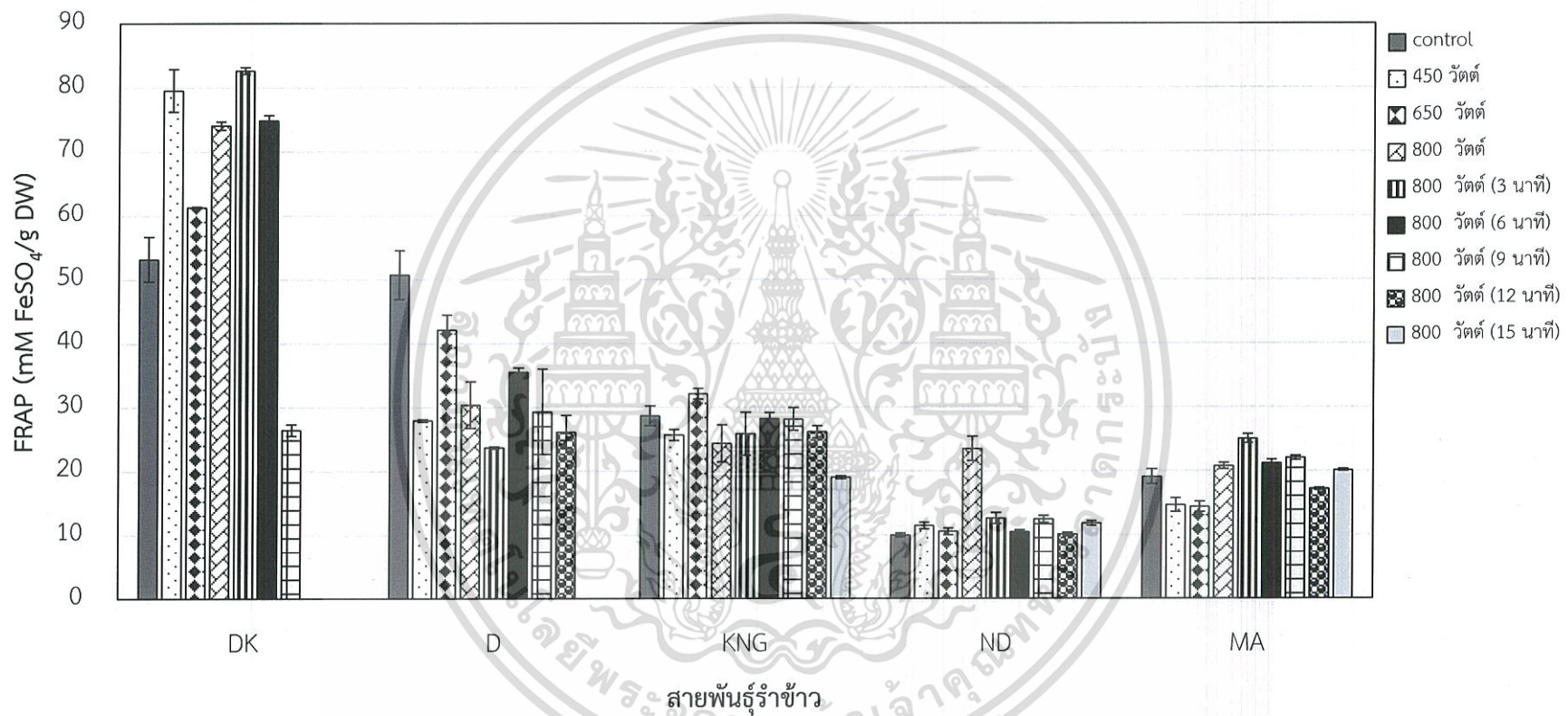
สภาวะ		ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO <sub>4</sub> ) (mM FeSO <sub>4</sub> /g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		53.13 ± 3.51 <sup>dY</sup>	50.69 ± 3.85 <sup>aX</sup>	28.61 ± 1.53 <sup>bY</sup>	9.87 ± 0.31 <sup>bZ</sup>	19.04 ± 1.20 <sup>aY</sup>
450	1	79.47 ± 3.32 <sup>aX</sup>	27.85 ± 0.23 <sup>c</sup>	25.58 ± 0.87 <sup>bc</sup>	11.37 ± 0.53 <sup>b</sup>	14.59 ± 1.08 <sup>b</sup>
650	1	61.28 ± 0.11 <sup>cY</sup>	42.03 ± 2.35 <sup>bY</sup>	32.03 ± 0.84 <sup>aX</sup>	10.46 ± 0.53 <sup>b</sup>	14.32 ± 0.81 <sup>b</sup>
800	1	74.02 ± 0.65 <sup>bb</sup>	30.32 ± 3.66 <sup>cAB</sup>	24.25 ± 2.93 <sup>cA</sup>	23.42 ± 1.92 <sup>aAX</sup>	20.71 ± 0.47 <sup>aCDY</sup>
800	3	82.55 ± 0.54 <sup>AX</sup>	23.60 ± 0.16 <sup>B</sup>	25.75 ± 3.40 <sup>A</sup>	12.53 ± 0.87 <sup>BY</sup>	25.00 ± 0.70 <sup>AX</sup>
800	6	74.81 ± 0.83 <sup>B</sup>	35.41 ± 0.73 <sup>AZ</sup>	28.14 ± 0.94 <sup>A</sup>	10.36 ± 0.31 <sup>CD</sup>	21.12 ± 0.58 <sup>C</sup>
800	9	26.38 ± 0.93 <sup>C</sup>	29.24 ± 6.69 <sup>AB</sup>	28.08 ± 1.78 <sup>AY</sup>	12.38 ± 0.54 <sup>B</sup>	21.97 ± 0.34 <sup>B</sup>
800	12	*	26.07 ± 2.59 <sup>B</sup>	26.10 ± 0.95 <sup>A</sup>	10.01 ± 0.28 <sup>D</sup>	17.10 ± 0.20 <sup>E</sup>
800	15	*	*	18.94 ± 0.26 <sup>B</sup>	11.74 ± 0.38 <sup>BC</sup>	20.06 ± 0.15 <sup>D</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และ X Y Z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test  
หมายเหตุ : \* คือ ตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้ แห่งกรอบ

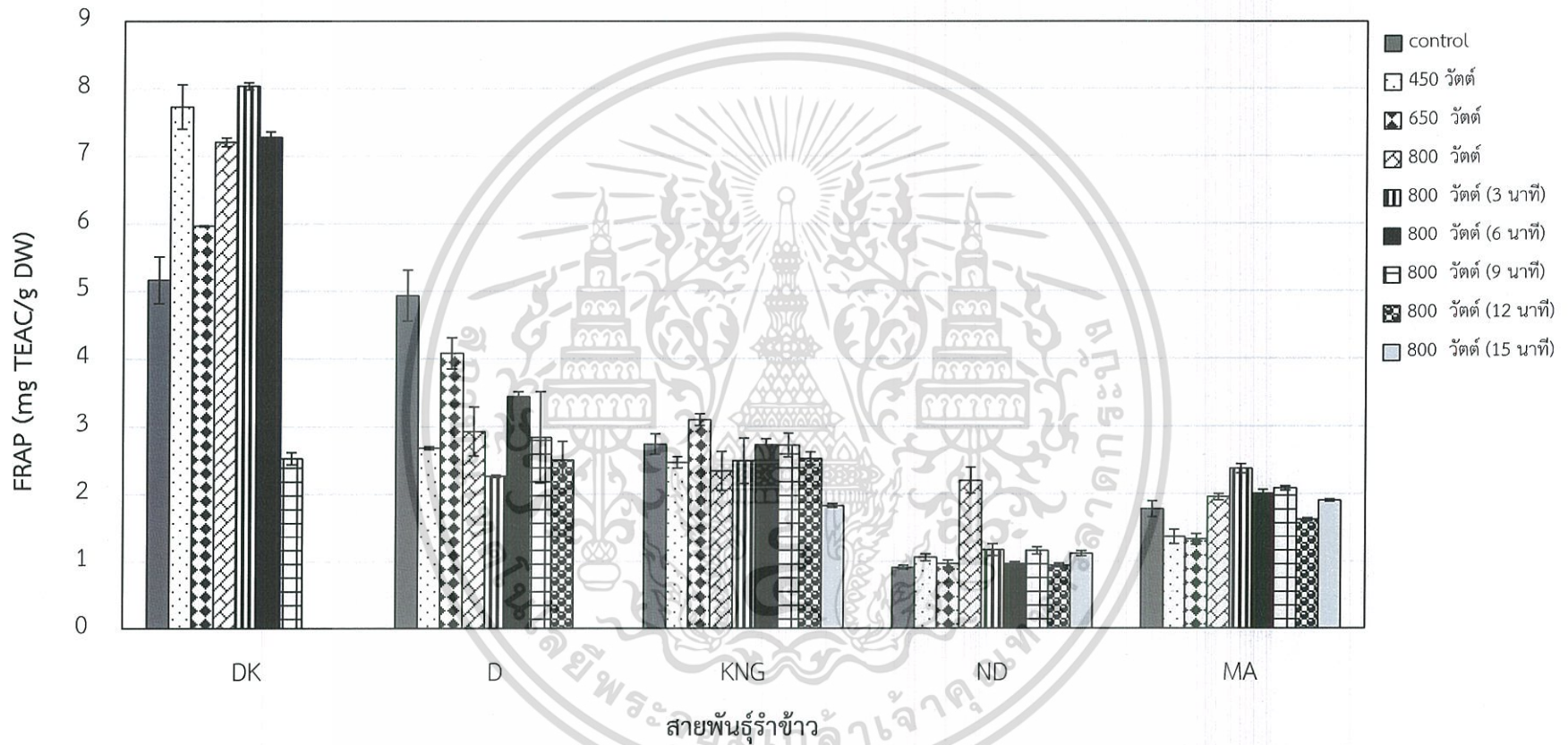
ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐานโทรลลิกซ์ (TEAC) ในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

สภาวะ		ปริมาณ TEAC (mg TEAC/g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		5.16 ± 0.35 <sup>dY</sup>	4.93 ± 0.38 <sup>aX</sup>	2.73 ± 0.15 <sup>bY</sup>	0.91 ± 0.03 <sup>bZ</sup>	1.77 ± 0.12 <sup>bZ</sup>
450	1	7.72 ± 0.33 <sup>aX</sup>	2.67 ± 0.02 <sup>c</sup>	2.46 ± 0.09 <sup>bc</sup>	1.05 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.36 ± 0.11 <sup>c</sup>
650	1	5.96 ± 0.01 <sup>c</sup>	4.08 ± 0.23 <sup>bY</sup>	3.09 ± 0.08 <sup>aX</sup>	0.96 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.32 ± 0.08 <sup>c</sup>
800	1	7.20 ± 0.06 <sup>bb</sup>	2.92 ± 0.36 <sup>cAB</sup>	2.33 ± 0.29 <sup>cA</sup>	2.19 ± 0.19 <sup>aAX</sup>	1.95 ± 0.05 <sup>aCDY</sup>
800	3	8.03 ± 0.05 <sup>AX</sup>	2.25 ± 0.02 <sup>B</sup>	2.48 ± 0.34 <sup>A</sup>	1.16 ± 0.09 <sup>BY</sup>	2.37 ± 0.07 <sup>AX</sup>
800	6	7.27 ± 0.08 <sup>B</sup>	3.43 ± 0.07 <sup>AZ</sup>	2.72 ± 0.09 <sup>A</sup>	0.96 ± 0.03 <sup>CD</sup>	2.00 ± 0.57 <sup>B</sup>
800	9	2.52 ± 0.09 <sup>C</sup>	2.83 ± 0.67 <sup>AB</sup>	2.72 ± 0.18 <sup>AY</sup>	1.15 ± 0.05 <sup>B</sup>	2.08 ± 0.03 <sup>B</sup>
800	12	*	2.50 ± 0.27 <sup>B</sup>	2.52 ± 0.09 <sup>A</sup>	0.94 ± 0.03 <sup>D</sup>	1.62 ± 0.02 <sup>E</sup>
800	15	*	*	1.82 ± 0.03 <sup>B</sup>	1.11 ± 0.04 <sup>BC</sup>	1.90 ± 0.01 <sup>D</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 450 650 800 วัตต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ส่วน A, B, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์เปลี่ยนแปลงเวลา 1 3 6 9 12 และ 15 นาทีที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และ X Y Z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าสูงสุดของ 3 สภาวะมาเปรียบเทียบกับกัน คือ control เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ของสารสกัดน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test  
 หมายเหตุ : \* คือ ตัวอย่างรำข้าวเกิดการไหม้ แห่งกรอบ



รูปที่ 4.15 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 4.16 ปริมาณ TEAC ในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าวผ่านการดัดแปลงด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

#### 4.4.2 การดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

การทดลองในการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) เมื่อครบเวลาบ่มทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใสออกจากส่วนรำข้าวดังแสดงในรูปที่ 4.17 โดยนำส่วนใสที่ได้มาวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ส่วนรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงแล้วนำมาสกัดด้วยเอทานอลได้เป็นน้ำมันรำข้าว พิจารณาผลการทดลองเป็น 2 รูปแบบ คือ 1. เชงปริมาณได้แก่ ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ ปริมาณแกมมาออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ 2. เชงคุณภาพ ได้แก่ ตรวจวัดความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธี คือ DPPH ABTS และ FRAP เทียบกับรำข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงก่อนการสกัดต่อไปนี้จะใช้คำว่า control



รูปที่ 4.17 อัตราส่วนรำข้าวต่อโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์

##### 4.4.2.1 ปริมาณน้ำตาลของส่วนใสหลังการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

จากการทดลองในการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) ความเข้มข้น 1,375 ยูนิตต่อมิลลิลิตร 2 มิลลิลิตรในอัตราส่วนรำข้าวต่อโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์พีเอช 6 เป็น 1:4 1:6 และ 1:8 (w/v) ที่สภาวะเขย่าเพื่อให้งานการทำงานของเอนไซม์มีการย่อยองค์ประกอบของรำข้าวส่งเสริมการสกัดน้ำมันรำข้าว และสารสำคัญน้ำมันรำข้าวออกมาได้ดียิ่งขึ้นในขั้นตอนของการสกัดด้วยเอทานอลต่อไป ซึ่งในขั้นตอนก่อนการสกัดมีการตรวจสอบการทำงานของเอนไซม์ทางอ้อมโดยการตรวจวัดน้ำตาลหลังการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสแล้วจากส่วนใสในแต่ละตัวอย่างมาวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด แสดงปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยรำข้าวในแต่ละสายพันธุ์เทียบกับสารมาตรฐานกลูโคสดังแสดงในตารางที่ 4.20 ผลที่ได้เปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างที่เติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ที่อัตราส่วนเดียวกัน โดยผลการทดลองในตารางที่ 4.20 มีตัวอักษร x และ y อยู่มุมขวาบนแสดงถึงการเปรียบเทียบตัวอย่างที่เติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์เดียวกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) พบว่าทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ทุกสายพันธุ์ในแต่ละอัตราส่วนที่เติมเอนไซม์ลงไปขององค์ประกอบของรำข้าวโดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่เติมเอนไซม์ลงไป และมีสัญลักษณ์ทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.20 แสดงว่าทุกการทดลองที่ผ่านการตัดแปลงด้วยเอนไซม์มีกิจกรรมการทำงานย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ (polysaccharide) โดยคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ที่พบในข้าวมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยสองโมเลกุล คือ อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่เกิดขึ้นจากกลูโคสหน่วยย่อยต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ - (1,4) และ อะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์ที่มีกิ่งจากกลูโคสหน่วยย่อยต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ - (1,6) โดยอัตราส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเพกทินอยู่ในช่วง 15 : 85 ถึง 35 : 65 ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแป้ง (Liu, 2005) ดังนั้นในการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทำให้ได้น้ำตาลโมเลกุลที่เล็กลง แสดงได้ว่าพวณังเซลล์ของรำข้าวมีการย่อยเกิดขึ้น

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดหลังผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในรำข้าว 5 สายพันธุ์

สายพันธุ์ รำข้าว	อัตราส่วน รำข้าวต่อ บัฟเฟอร์ (w/v)	สถานะ	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/l)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/l)
ดอกขาม	1:4	ไม่เติมเอนไซม์	11.46 ± 0.10 <sup>x</sup>	13.85 ± 1.03 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	20.58 ± 1.30 <sup>y</sup>	15.79 ± 1.56 <sup>y</sup>
	1:6	ไม่เติมเอนไซม์	9.20 ± 0.23 <sup>x</sup>	8.52 ± 0.18 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	18.65 ± 0.92 <sup>y</sup>	13.37 ± 2.35 <sup>y</sup>
	1:8	ไม่เติมเอนไซม์	8.16 ± 1.16 <sup>x</sup>	7.40 ± 1.25 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	14.05 ± 0.66 <sup>y</sup>	8.65 ± 1.38 <sup>y</sup>
ดอกข่า	1:4	ไม่เติมเอนไซม์	9.21 ± 2.03 <sup>x</sup>	9.69 ± 1.42 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	15.83 ± 1.06 <sup>y</sup>	15.27 ± 0.96 <sup>y</sup>
	1:6	ไม่เติมเอนไซม์	8.92 ± 0.63 <sup>x</sup>	5.35 ± 0.79 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	13.50 ± 0.85 <sup>y</sup>	9.28 ± 1.17 <sup>y</sup>
	1:8	ไม่เติมเอนไซม์	7.09 ± 0.03 <sup>x</sup>	3.65 ± 0.73 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	10.59 ± 0.43 <sup>y</sup>	8.68 ± 0.63 <sup>y</sup>

หมายเหตุ : ตัวอักษร x และ y แสดงถึงการเปรียบเทียบตัวอย่างที่เติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ทั้งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Duncan's New Multiple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดหลังผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในรำข้าว 5 สายพันธุ์ (ต่อ)

สายพันธุ์ รำข้าว	อัตราส่วน รำข้าวต่อ บัพเฟอร์ (w/v)	สภาวะ	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/l)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (g/l)
เข็มเงิน	1:4	ไม่เติมเอนไซม์	16.78 ± 0.59 <sup>x</sup>	14.31 ± 2.12 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	21.88 ± 1.78 <sup>y</sup>	26.33 ± 2.03 <sup>y</sup>
	1:6	ไม่เติมเอนไซม์	11.20 ± 0.42 <sup>x</sup>	6.89 ± 1.20 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	13.76 ± 0.32 <sup>y</sup>	15.52 ± 1.62 <sup>y</sup>
	1:8	ไม่เติมเอนไซม์	7.87 ± 0.32 <sup>x</sup>	4.63 ± 0.89 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	10.95 ± 0.83 <sup>y</sup>	6.86 ± 1.20 <sup>y</sup>
นางดำ	1:4	ไม่เติมเอนไซม์	16.94 ± 0.45 <sup>x</sup>	19.03 ± 1.53 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	22.88 ± 2.24 <sup>y</sup>	35.19 ± 0.62 <sup>y</sup>
	1:6	ไม่เติมเอนไซม์	13.65 ± 0.42 <sup>x</sup>	11.82 ± 1.68 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	18.20 ± 0.91 <sup>y</sup>	20.53 ± 1.61 <sup>y</sup>
	1:8	ไม่เติมเอนไซม์	11.53 ± 0.77 <sup>x</sup>	11.23 ± 1.04 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	14.67 ± 1.06 <sup>y</sup>	11.18 ± 0.17 <sup>x</sup>
ขาวดอก มะลิ	1:4	ไม่เติมเอนไซม์	10.12 ± 0.48 <sup>x</sup>	20.64 ± 0.77 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	23.62 ± 0.17 <sup>y</sup>	34.55 ± 1.35 <sup>y</sup>
	1:6	ไม่เติมเอนไซม์	5.34 ± 0.27 <sup>x</sup>	9.24 ± 0.82 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	9.66 ± 1.04 <sup>y</sup>	15.01 ± 0.41 <sup>y</sup>
	1:8	ไม่เติมเอนไซม์	11.32 ± 0.72 <sup>x</sup>	10.16 ± 1.89 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	14.46 ± 0.20 <sup>y</sup>	15.97 ± 1.51 <sup>y</sup>

หมายเหตุ : ตัวอักษร x และ y แสดงถึงการเปรียบเทียบตัวอย่างที่เติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ทั้งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Duncan's New Multiple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2.2 ปริมาณน้ำมันรำข้าว (Yield)

ผลการทดลองทั้งหมดหลังจากนี้ตัวอักษร a b c ที่อยู่มุมขวาบนแสดงถึงสภาวะการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วนจำนวน \* ที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบกันทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ x y ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบตัวอย่างที่เติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลปริมาณน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์ในตารางที่ 4.21 และ รูปที่ 4.18 ในแต่ละสภาวะการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์อะไมเลสในรำข้าว 5 สายพันธุ์

รำข้าวสายพันธุ์ดอกขามพบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดที่สภาวะการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:6 ค่าที่ได้  $0.18 \pm 0.00$  g/g DW เมื่อเพิ่มปริมาณบัฟเฟอร์เป็นอัตราส่วน 1:8 ค่าที่ได้  $0.17 \pm 0.01$  g/g DW ซึ่งทั้ง 2 อัตราส่วนนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) และมีปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้มากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันรำข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงก่อนนำมาสกัด หรือ control ค่าที่ได้คือ  $0.13 \pm 0.01$  g/g DW โดยมีสัญลักษณ์ทางสถิติที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.21 รวมถึงการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:6 มีปริมาณน้ำมันรำข้าวที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:4 และ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

รำข้าวสายพันธุ์ดอกชาดังรูปที่ 4.18 พบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดที่สภาวะการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 ค่าที่ได้คือ  $0.19 \pm 0.01$  g/g DW รองลงมาคืออัตราส่วน 1:6 ค่าที่ได้คือ  $0.18 \pm 0.01$  g/g DW และปริมาณที่น้อยที่สุดคืออัตราส่วน 1:8 ค่าที่ได้คือ  $0.16 \pm 0.00$  g/g DW โดยอัตราส่วน 1:4 และ 1:6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:4 และ 1:8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งพบว่าสภาวะการเติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณน้ำมันรำข้าวมากกว่าเมื่อเทียบกับ control ค่าที่ได้คือ  $0.12 \pm 0.01$  g/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.21 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:6 มีปริมาณน้ำมันรำข้าวที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

รำข้าวสายพันธุ์เข้เงินพบว่าในทุกอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่ใช้ในการตัดแปลงรำข้าวด้วยการเติมเอนไซม์ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.18 และมีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ทั้ง 3 อัตราส่วนนี้

มีปริมาณน้ำมันมากกว่าเมื่อเทียบกับ control ที่มีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณน้ำมันรำข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

รำข้าวสายพันธุ์นางดำพบว่าในทุกอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่ใช้ในการตัดแปลงรำข้าวด้วยการเติมเอนไซม์ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.18 และมีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ทั้ง 3 อัตราส่วนนี้มีปริมาณน้ำมันมากกว่าเมื่อเทียบกับ control ที่มีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:6 มีปริมาณน้ำมันรำข้าวที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

รำข้าวไร่ทั้ง 4 สายพันธุ์มีปริมาณน้ำมันรำข้าวเพิ่มมากขึ้นเมื่อตัดแปลงรำข้าวด้วยการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ เมื่อเทียบกับน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิดังรูปที่ 4.18 แสดงถึงความไม่แตกต่างของปริมาณน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิระหว่างรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลง และไม่ผ่านการตัดแปลงด้วยเอนไซม์ รวมทั้งการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณน้ำมันรำข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันรำข้าวระหว่างรำข้าวชุดควบคุมกับรำข้าวที่ผ่านการ  
ดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

สายพันธุ์ รำข้าว	อัตราส่วน รำข้าวต่อ บัพเฟอร์ (w/v)	สภาวะ	ปริมาณน้ำมันรำข้าว	
			g crude oil	g/g DW
ดอกขาม	control		0.59 ± 0.01	0.13 ± 0.00 *
	1:4	ไม่เติมเอนไซม์	0.59 ± 0.01	0.13 ± 0.00 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.56 ± 0.09	0.13 ± 0.02 <sup>bx</sup> *
	1:6	ไม่เติมเอนไซม์	0.74 ± 0.05	0.17 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.81 ± 0.02	0.18 ± 0.00 <sup>ay</sup> **
	1:8	ไม่เติมเอนไซม์	0.78 ± 0.05	0.17 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.74 ± 0.10	0.17 ± 0.01 <sup>ax</sup> **
	ดอกข่า	control		0.52 ± 0.03
1:4		ไม่เติมเอนไซม์	0.72 ± 0.04	0.16 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.84 ± 0.08	0.19 ± 0.01 <sup>ay</sup> **
1:6		ไม่เติมเอนไซม์	0.64 ± 0.10	0.15 ± 0.02 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.78 ± 0.06	0.18 ± 0.01 <sup>aby</sup> **
1:8		ไม่เติมเอนไซม์	0.69 ± 0.05	0.16 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.71 ± 0.01	0.16 ± 0.00 <sup>bx</sup> **
เข็มเงิน		control		0.64 ± 0.02
	1:4	ไม่เติมเอนไซม์	0.84 ± 0.11	0.19 ± 0.03 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.77 ± 0.09	0.17 ± 0.02 <sup>ax</sup> **
	1:6	ไม่เติมเอนไซม์	0.68 ± 0.11	0.15 ± 0.02 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.81 ± 0.18	0.18 ± 0.04 <sup>ax</sup> **
	1:8	ไม่เติมเอนไซม์	0.86 ± 0.03	0.19 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.86 ± 0.04	0.19 ± 0.01 <sup>ax</sup> **

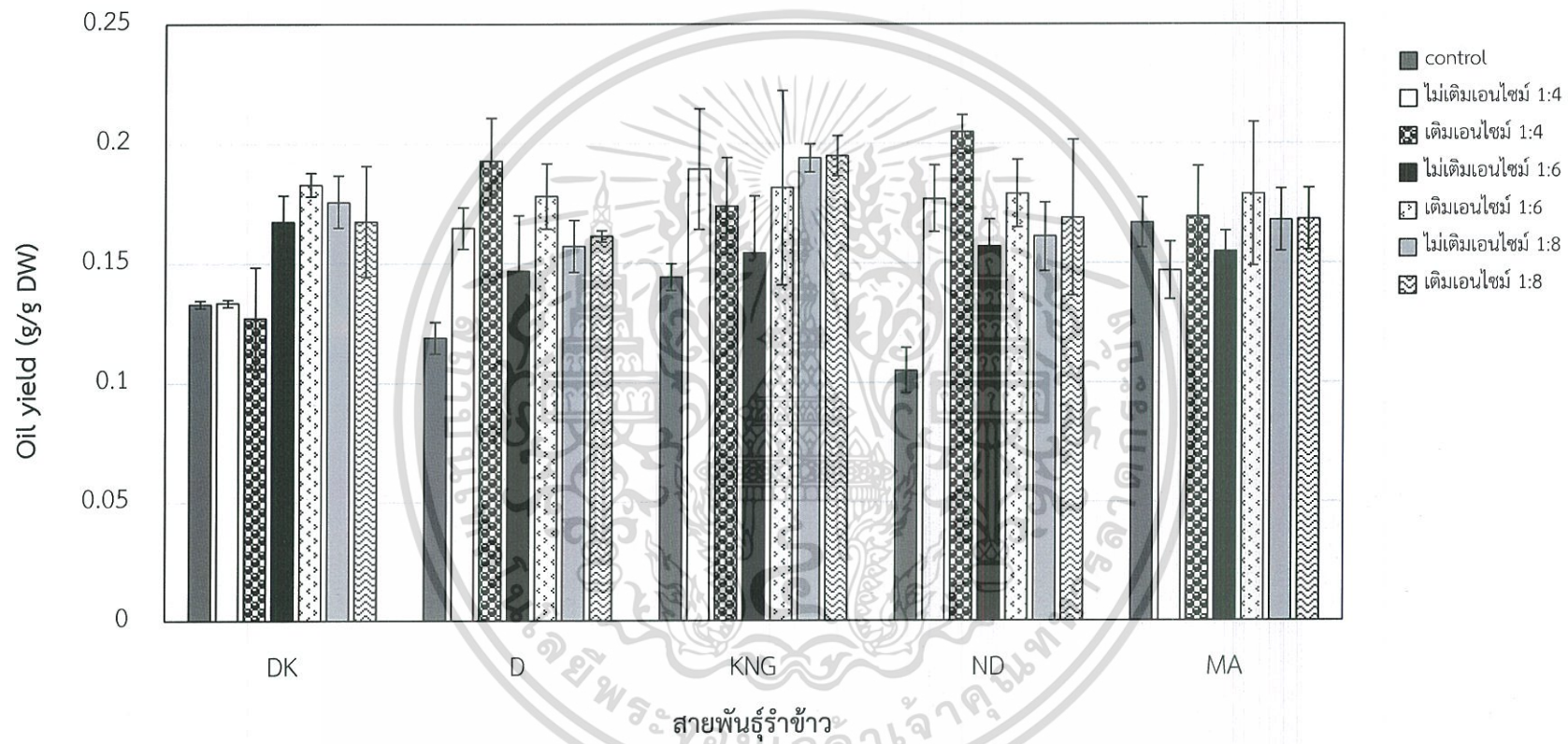
หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วน \* และ \*\* แสดงถึงการเปรียบเทียบกับทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ xy ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบการเติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันรำข้าวระหว่างรำข้าวชุดควบคุมกับรำข้าวที่ผ่านการ  
ดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (ต่อ)

สายพันธุ์ รำข้าว	อัตราส่วน รำข้าวต่อ บัพเฟอร์ (w/v)	สภาวะ	ปริมาณน้ำมันรำข้าว	
			g crude oil	g/g DW
นางดำ	control		0.48 ± 0.04	0.10 ± 0.01 *
	1:4	ไม่เติมเอนไซม์	0.81 ± 0.06	0.18 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.94 ± 0.03	0.20 ± 0.01 <sup>ay**</sup>
	1:6	ไม่เติมเอนไซม์	0.72 ± 0.05	0.16 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.82 ± 0.06	0.18 ± 0.01 <sup>ay**</sup>
	1:8	ไม่เติมเอนไซม์	0.74 ± 0.07	0.16 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.78 ± 0.15	0.17 ± 0.03 <sup>ax**</sup>
	ขาวดอกมะลิ	control		0.77 ± 0.05
1:4		ไม่เติมเอนไซม์	0.67 ± 0.05	0.15 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.78 ± 0.10	0.17 ± 0.02 <sup>ax*</sup>
1:6		ไม่เติมเอนไซม์	0.72 ± 0.04	0.15 ± 0.00 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.83 ± 0.14	0.18 ± 0.03 <sup>ax*</sup>
1:8		ไม่เติมเอนไซม์	0.78 ± 0.06	0.17 ± 0.01 <sup>x</sup>
		เติมเอนไซม์	0.78 ± 0.06	0.17 ± 0.01 <sup>ax*</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อ  
บัพเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วน \* และ \*\* แสดงถึงการเปรียบเทียบกัน  
ทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
( $P \leq 0.05$ ) และ xy ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบการเติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์  
เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.18 ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่ระหว่างรำข้าวชุดควบคุมกับรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์

#### 4.4.2.3 ปริมาณแอมมาออโรซานอล

ปริมาณสารแอมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการสกัดรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ผ่านการตัดแปลงรำข้าวด้วยการต้มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เปรียบเทียบสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ก่อนการสกัด ภาพรวมของปริมาณแอมมาออโรซานอลที่มีในสารสกัดน้ำมันรำข้าวแสดงในตารางที่ 4.22 และรูปที่ 4.20 สายพันธุ์นางดำมีปริมาณสารแอมมาออโรซานอลคงเหลือหลังจากผ่านการตัดแปลงสูงกว่าอีก 4 สายพันธุ์ที่เปรียบเทียบ รวมถึงทุกสายพันธุ์มีปริมาณสารแอมมาออโรซานอลลดลงทุกอัตราส่วนเมื่อเทียบกับ control หรือรำข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงก่อนการสกัดในสายพันธุ์เดียวกันดังรูปที่ 4.19

น้ำมันรำข้าวดอกขามที่ได้จากผ่านการตัดแปลงด้วยการต้มเอนไซม์ทุกการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ พบว่าไม่มีสารแอมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ และให้สัญลักษณ์ nf หรือ not found ดังแสดงในตารางที่ 4.22

น้ำมันรำข้าวดอกขาที่ได้จากการตัดแปลงด้วยเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 พบปริมาณสารแอมมาออโรซานอลมีค่า  $0.18 \pm 0.02$  mg/g DW และในอัตราส่วน 1:6 พบปริมาณสารแอมมาออโรซานอลมีค่า  $0.15 \pm 0.02$  mg/g DW โดยอัตราส่วน 1:4 และ 1:6 มีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) รวมทั้งในอัตราส่วน 1:8 พบว่าไม่มีสารแอมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าว (nf) ดังรูปที่ 4.19 ทุกสภาวะการต้มเอนไซม์เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ พบว่ามีปริมาณสารแอมมาออโรซานอลต่ำกว่า control ที่มีค่า  $5.35 \pm 0.58$  mg/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.22 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการต้มเอนไซม์และไม่ต้มเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีสารแอมมาออโรซานอลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวเข้มนเงินในอัตราส่วน 1:6 พบว่ามีปริมาณแอมมาออโรซานอลสูงสุดที่สภาวะการตัดแปลงโดยการต้มเอนไซม์และไม่ต้มเอนไซม์มีค่า  $0.37 \pm 0.01$  และ  $0.40 \pm 0.08$  mg/g DW ตามลำดับ แต่ปริมาณสารที่พบไม่แตกต่างกันเมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ รองลงมาคือที่อัตราส่วน 1:4 สภาวะการต้มเอนไซม์มีปริมาณแอมมาออโรซานอล  $0.19 \pm 0.03$  mg/g DW และในอัตราส่วน 1:8 ไม่พบปริมาณแอมมาออโรซานอล คือ nf ซึ่งทั้ง 3 สภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณสารแอมมาออโรซานอลต่ำกว่า control ที่มีค่า  $7.41 \pm 0.83$  mg/g DW ดังรูปที่ 4.20 และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.22 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการต้มเอนไซม์และไม่ต้มเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีสารแอมมาออโรซานอลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวนางดำดังรูปที่ 4.19 พบว่าในอัตราส่วน 1:6 พบปริมาณแอมมาออโรซานอลสูงสุด  $1.34 \pm 0.07$  mg/g DW รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:4 และ 1:8 มีค่า  $0.70 \pm 0.20$  และ  $0.59 \pm 0.18$  mg/g DW ตามลำดับ โดยสภาวะการต้มเอนไซม์ทั้ง 3 อัตราส่วนรำข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 พบว่ามีปริมาณสารแกมมาออโรซานอลต่ำกว่า control ที่มีค่า  $2.80 \pm 0.32$  mg/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.22 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณสารแกมมาออโรซานอลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิสภาวะการเติมเอนไซม์ทุกการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 พบว่ามีปริมาณสารแกมมาออโรซานอล  $0.16 \pm 0.03$   $0.19 \pm 0.03$  และ  $0.17 \pm 0.05$  mg/g DW ตามลำดับและมีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ซึ่งทั้ง 3 อัตราส่วนเมื่อเทียบกับ control ที่มีค่า  $4.84 \pm 0.94$  mg/g DW พบว่ามีปริมาณสารแกมมาออโรซานอลต่ำกว่า และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.22 พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:6 และ 1:8 มีปริมาณสารแกมมาออโรซานอลที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

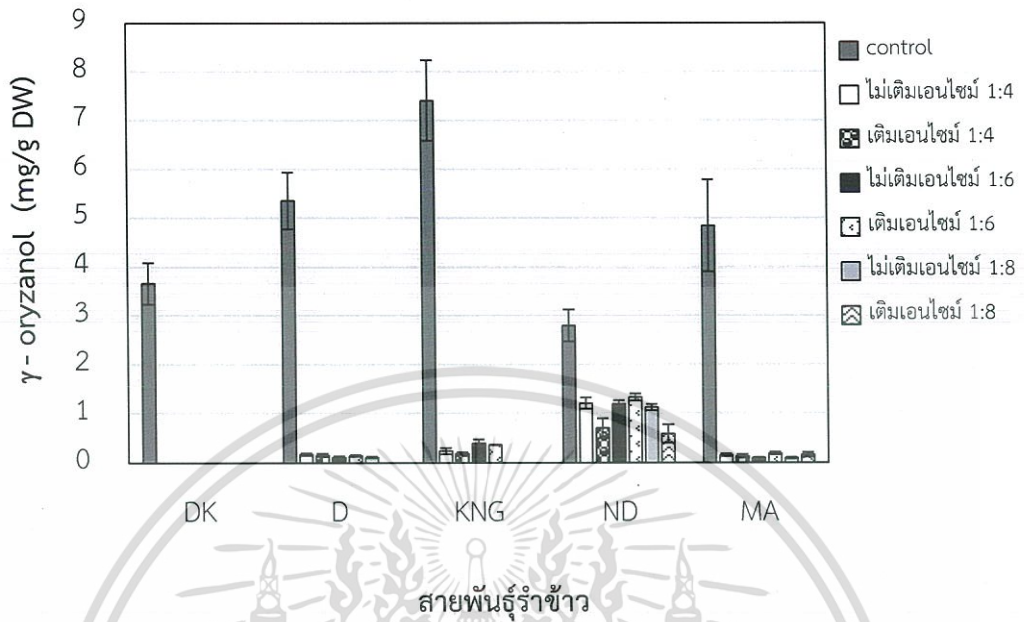
ปริมาณแกมมาออโรซานอลในทุกสายพันธุ์น้ำมันรำข้าว การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ทั้งสภาวะไม่เติมเอนไซม์และเติมเอนไซม์ไม่มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะสายพันธุ์ดอกขาวเมื่อผ่านการตัดแปลงผลที่ได้ไม่พบปริมาณแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าว อาจเป็นผลมาจากน้ำในบัฟเฟอร์ของขั้นตอนการตัดแปลงรำข้าว เมื่อนำมาสกัदन้ำมันรำข้าวทำให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำของบัฟเฟอร์ที่ตกค้างในรำข้าวกับตัวทำละลายเอทานอลจึงมีสภาวะไม่เหมาะสมต่อการสกัดเอาสารสำคัญแกมมาออโรซานอลออกมาจากรำข้าว เนื่องจากสารแกมมาออโรซานอลจะละลายได้ดีในตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์ และไม่ละลายในน้ำ

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบสารแกมมาออโรซานอลระหว่างน้ำมันรำข้าวชุกควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

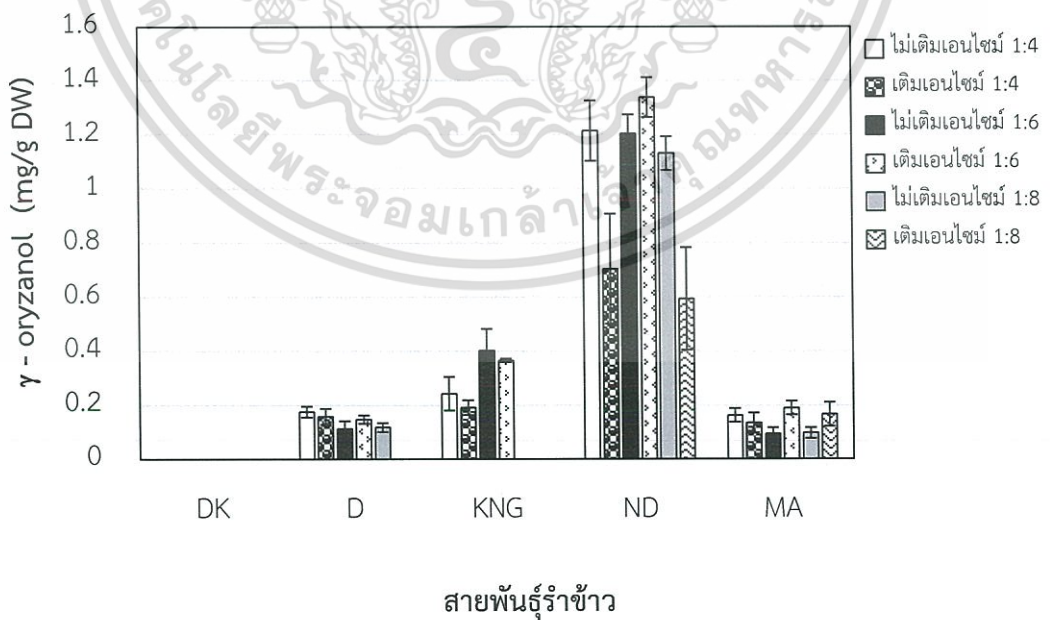
สภาวะ		ปริมาณสารแกมมาออโรซานอล (mg/g DW) ในน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
		ดอกขาม	ดอกข้าว	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		6.05 ± 0.11 **	5.35 ± 0.58 **	7.41 ± 0.83 **	2.80 ± 0.32 **	4.84 ± 0.94 **
1:4	ไม่เติมเอนไซม์	nf	0.18 ± 0.02 <sup>x</sup>	0.24 ± 0.06 <sup>x</sup>	1.22 ± 0.11 <sup>x</sup>	0.16 ± 0.03 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	nf	0.16 ± 0.03 <sup>ax*</sup>	0.19 ± 0.03 <sup>bx*</sup>	0.70 ± 0.20 <sup>by*</sup>	0.13 ± 0.04 <sup>ax*</sup>
1:6	ไม่เติมเอนไซม์	nf	0.11 ± 0.03 <sup>x</sup>	0.40 ± 0.08 <sup>x</sup>	1.21 ± 0.07 <sup>x</sup>	0.09 ± 0.02 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	nf	0.15 ± 0.02 <sup>ax*</sup>	0.37 ± 0.01 <sup>ax*</sup>	1.34 ± 0.07 <sup>ay*</sup>	0.19 ± 0.03 <sup>ay*</sup>
1:8	ไม่เติมเอนไซม์	nf	0.12 ± 0.02 <sup>x</sup>	nf	1.13 ± 0.06 <sup>x</sup>	0.10 ± 0.02 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	nf	nf	nf	0.59 ± 0.18 <sup>by*</sup>	0.17 ± 0.05 <sup>ay*</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วน \* และ \*\* แสดงถึงการเปรียบเทียบกันทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ x y ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบการเติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

หมายเหตุ : nf คือ ไม่พบสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าว



รูปที่ 4.19 ปริมาณสารแกมมาออไรซานอลระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์



รูปที่ 4.20 ปริมาณสารแกมมาออไรซานอลจากน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

เปรียบเทียบสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ภาพรวมของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแสดงในตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.21 เรียงลำดับสายพันธุ์ที่มีปริมาณสารจากมากไปน้อยคือ น้ำมันรำข้าวดอกขาม ดอกข่า เข็มเงิน นางคำ และขาวดอกมะลิ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกระหว่าง control กับสภาวะการตัดแปลงเอนไซม์แสดงในตารางที่ 4.23 ดังรูปที่ 4.21 พบว่ามี 4 สายพันธุ์คือ รำข้าวดอกขาม ดอกข่า เข็มเงิน และนางคำ เมื่อรำข้าวผ่านการตัดแปลงด้วยเอนไซม์แล้วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น แต่ในสายพันธุ์ขาวดอกมะลิลกลับมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง

อัตราส่วนรำข้าวดอกขามต่อบัฟเฟอร์ในการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดที่อัตราส่วน 1:6 มีค่า  $11.67 \pm 0.53$  mg GAE/g DW รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:8 มีค่า  $10.75 \pm 0.37$  mg GAE/g DW และมีปริมาณสารต่ำสุดที่อัตราส่วน 1:4 มีค่า  $8.45 \pm 0.04$  mg GAE/g DW ตามสัญลักษณ์ทางสถิติที่แสดงในตารางที่ 4.23 รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบปริมาณสารกับรำข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลง หรือ control มีค่า  $6.44 \pm 0.20$  mg GAE/g DW พบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนนั้นมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.23 พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:4 และ 1:8 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

อัตราส่วนรำข้าวดอกข่าต่อบัฟเฟอร์ในการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดที่อัตราส่วน 1:4 มีค่า  $7.46 \pm 0.14$  mg GAE/g DW โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) กับอัตราส่วน 1:6 และ 1:8 มีค่า  $6.17 \pm 0.39$  และ  $6.20 \pm 0.31$  mg GAE/g DW ตามลำดับ ซึ่ง 2 อัตราส่วนนี้มีค่าใกล้เคียงกันและมีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) น้ำมันรำข้าวดอกข่าดังรูปที่ 4.21 พบว่า control มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่ำกว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ในการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.23 พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:8 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวเข็มเงินพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดที่อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:8 มีค่า  $5.53 \pm 0.07$  mg/g DW ส่วนอัตราส่วน 1:4 มีค่า  $5.11 \pm 0.24$  mg/g DW พบว่ามีปริมาณสารไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) ทุกการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัพเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า control และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.23 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ 1:4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:6 และ 1:8 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

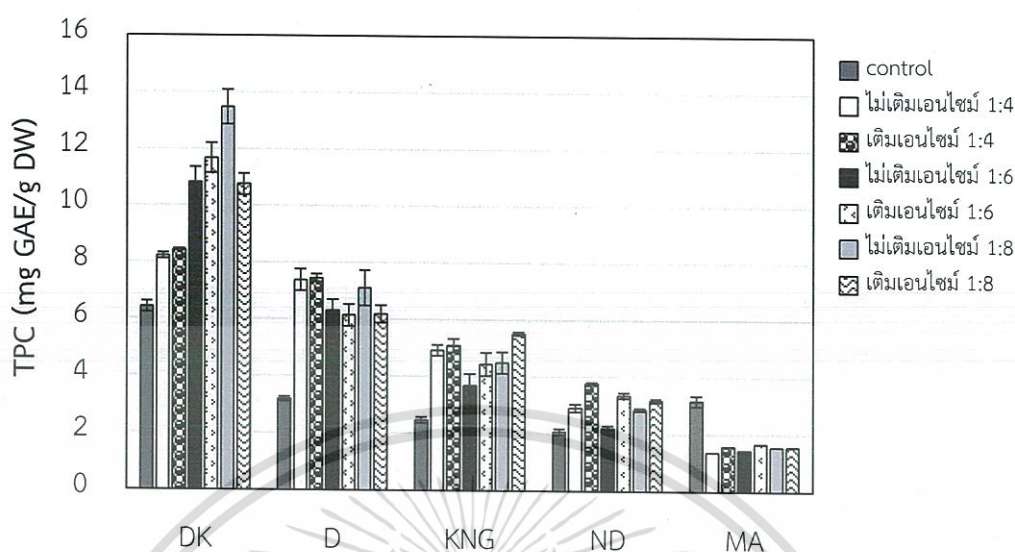
น้ำมันรำข้าวนางดำ พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดในสภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ 1:4 มีค่า  $3.79 \pm 0.04$  mg/g DW รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:6 มีค่า  $3.38 \pm 0.10$  mg/g DW และสุดท้ายอัตราส่วน 1:8 มีค่า  $3.19 \pm 0.06$  mg/g DW โดยทุกการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) รวมถึงทุกอัตราส่วนที่เติมเอนไซม์มีปริมาณสารในน้ำมันรำข้าวมากกว่าเมื่อเทียบกับ control  $2.09 \pm 0.10$  mg/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.23 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดในสภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ 1:6 มีค่า  $1.68 \pm 0.00$  mg GAE/g DW รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:8 มีค่า  $1.58 \pm 0.00$  mg/g DW และสุดท้ายอัตราส่วน 1:4 มีค่า  $1.59 \pm 0.00$  mg/g DW โดยทุกการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) รวมถึงทุกอัตราส่วนที่เติมเอนไซม์มีปริมาณสารในน้ำมันรำข้าวต่ำกว่าประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับ control  $3.19 \pm 0.19$  mg/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.23 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:4 และ 1:6 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบผลปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้กับงานวิจัย Kim (2016) ดัดแปลงรำข้าวก่อนการสกัดด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก  $7.40 \pm 0.40$  mg GAE/g DW เพิ่มจาก control มีค่า  $6.50 \pm 0.40$  mg GAE/g DW รวมถึงงานวิจัย Alrahmany and Tsopmo (2012) ดัดแปลงรำข้าวโอ๊ต (oat bran) ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสย่อยคาร์โบไฮเดรตส่วนรำข้าวสามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิก รวมไปถึงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างรำข้าวโอ๊ตมีปริมาณสาร  $3.40 \pm 0.20$  mg GAE/g DW เพิ่มจาก control  $0.50$  mg GAE/g DW มีความสอดคล้องกับผลปริมาณสารประกอบฟีนอลิกงานวิจัยนี้ในน้ำมันรำข้าวไร่ทั้ง 4 สายพันธุ์

ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกระหว่างน้ำมันรำข้าวชุกควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

สภาวะ		ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE/g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
		ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		6.44 ± 0.20 *	3.21 ± 0.08 *	2.49 ± 0.10 *	2.09 ± 0.10 *	3.19 ± 0.19 **
1:4	ไม่เติมเอนไซม์	8.23 ± 0.10 <sup>x</sup>	7.40 ± 0.38 <sup>x</sup>	4.94 ± 0.19 <sup>x</sup>	2.93 ± 0.13 <sup>x</sup>	1.38 ± 0.00 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	8.45 ± 0.04 <sup>cy</sup> **	7.46 ± 0.14 <sup>ax</sup> **	5.11 ± 0.24 <sup>ax</sup> **	3.79 ± 0.04 <sup>ay</sup> **	1.59 ± 0.00 <sup>cy</sup> *
1:6	ไม่เติมเอนไซม์	10.81 ± 0.62 <sup>x</sup>	6.33 ± 0.35 <sup>x</sup>	3.71 ± 0.26 <sup>x</sup>	2.21 ± 0.07 <sup>x</sup>	1.45 ± 0.00 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	11.67 ± 0.53 <sup>ax</sup> **	6.17 ± 0.39 <sup>bx</sup> **	4.45 ± 0.41 <sup>by</sup> **	3.38 ± 0.10 <sup>by</sup> **	1.68 ± 0.00 <sup>ay</sup> *
1:8	ไม่เติมเอนไซม์	13.46 ± 0.61 <sup>x</sup>	7.12 ± 0.62 <sup>x</sup>	4.51 ± 0.37 <sup>x</sup>	2.88 ± 0.04 <sup>x</sup>	1.57 ± 0.00 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	10.75 ± 0.37 <sup>by</sup> **	6.20 ± 0.31 <sup>by</sup> **	5.53 ± 0.07 <sup>ay</sup> **	3.19 ± 0.06 <sup>cy</sup> **	1.58 ± 0.00 <sup>bx</sup> *

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อฟัฟเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ส่วน \* และ \*\* แสดงถึงการเปรียบเทียบกันทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และ x y ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบการเติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อฟัฟเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



#### สายพันธุ์รำข้าว

รูปที่ 4.21 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์

#### 4.4.2.5 ปริมาณฟลาโวนอยด์

ปริมาณฟลาโวนอยด์ดังแสดงในตารางที่ 4.24 ในรูปที่ 4.22 เปรียบเทียบสถานะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ภาพรวมของปริมาณฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์แสดงดังรูปที่ 4.22 พบปริมาณสารมากที่สุดคือ น้ำมันรำข้าวดอกขาม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ระหว่าง control กับ สถานะการตัดแปลงเอนไซม์แล้วดังรูปที่ 4.22 พบว่ามี 4 สายพันธุ์คือ น้ำมันรำข้าวดอกขาม ดอกข้า เข็มเงิน และนางดำ เมื่อรำข้าวผ่านการตัดแปลงด้วยเอนไซม์แล้วมีปริมาณฟลาโวนอยด์เพิ่มมากขึ้น แต่ในทางตรงข้ามสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิกลับมีปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลง

อัตราส่วนรำข้าวดอกขามต่อบัฟเฟอร์ในการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสพบปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุดที่อัตราส่วน 1:6 มีค่า  $18.66 \pm 0.45$  mg QE/g DW รองลงมาคือที่อัตราส่วน 1:8 มีค่า  $15.47 \pm 0.25$  mg QE/g DW และมีปริมาณสารต่ำสุดที่อัตราส่วน 1:4 มีค่า  $10.95 \pm 0.54$  mg QE/g DW ดังแสดงสัญลักษณ์ทางสถิติในตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.22 นอกจากนี้ในการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนที่ 1:6 และ 1:8 นั้นมีปริมาณสารที่มากกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงเลย หรือ control มีค่า  $13.32 \pm 0.52$  mg QE/g DW ดังรูปที่ 4.22 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.24 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:6 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ )

การตัดแปลงรำข้าวดอกขาวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสพบ

ปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุดที่อัตราส่วน 1:4 และ 1:8 มีค่า  $9.67 \pm 0.30$  และ  $9.61 \pm 0.30$  mg QE/g DW โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) ดังนั้นปัจจัยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของบัฟเฟอร์ไม่ส่งผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ นอกจากนี้ปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้มากกว่าเมื่อเทียบกับ control  $3.79 \pm 0.49$  mg QE/g DW ตามสัญลักษณ์ทางสถิติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.24 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:6 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ )

การตัดแปลงรำข้าวเข็มเงินพบว่าสภาวะเติมเอนไซม์ในอัตราส่วน 1:6 พบ

ปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุดมีค่า  $9.49 \pm 0.42$  mg QE/g DW นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของบัฟเฟอร์ไม่มีผลทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลงเนื่องจากอัตราส่วน 1:4 และ 1:8 มีค่าใกล้เคียงกันคือ  $9.14 \pm 0.40$  และ  $8.46 \pm 0.15$  mg QE/g DW ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) รวมถึงในทุกอัตราส่วนมีปริมาณสารมากกว่า control ที่มีค่า  $5.85 \pm 0.22$  mg QE/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.24 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ )

ในการตัดแปลงรำข้าวนางดำพบว่าสภาวะเติมเอนไซม์ในอัตราส่วน 1:4 พบ

ปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุดมีค่า  $10.01 \pm 1.30$  mg QE/g DW รวมทั้งในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับ control  $4.70 \pm 0.14$  mg QE/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.24 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ ดังรูปที่ 4.22 พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ )

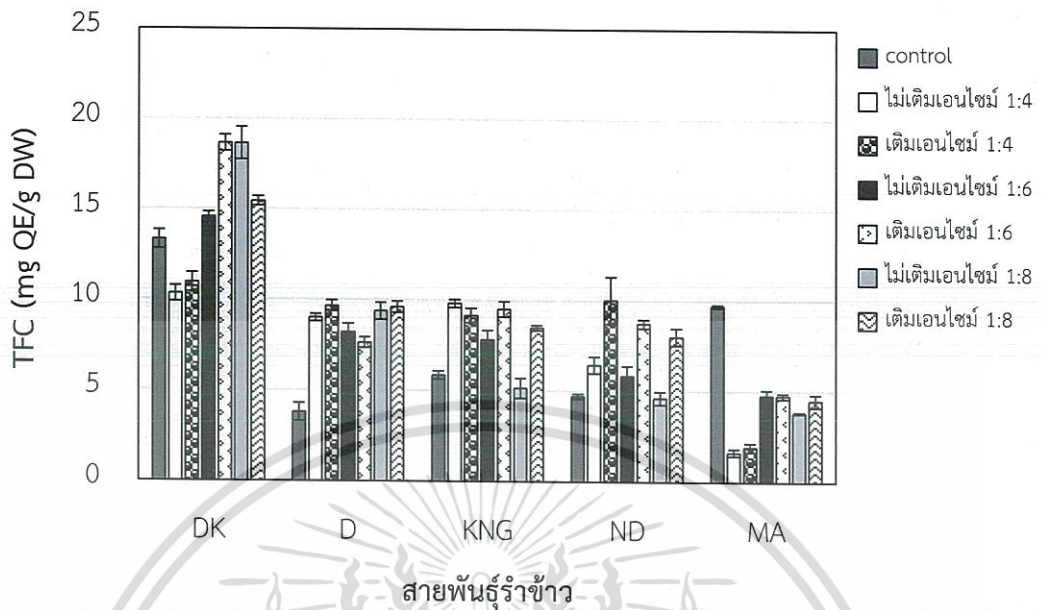
ปริมาณฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิ control มีค่า  $9.71 \pm$

$0.08$  mg GAE/g DW สูงที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.24 เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 ด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดที่อัตราส่วน 1:6 และ 1:8 มีค่า  $4.74 \pm 0.14$  และ  $4.47 \pm 0.34$  mg GAE/g DW ตามลำดับ โดยทั้ง 2 อัตราส่วนนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:8 มีปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุกควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

สภาวะ		ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ (mg QE/g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
		ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		13.32 ± 0.52 **	3.79 ± 0.49 *	5.85 ± 0.22 *	4.70 ± 0.14 *	9.71 ± 0.08 **
1:4	ไม่เติมเอนไซม์	10.32 ± 0.44 <sup>x</sup>	9.01 ± 0.20 <sup>x</sup>	9.82 ± 0.22 <sup>x</sup>	6.43 ± 0.46 <sup>x</sup>	1.61 ± 0.19 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	10.95 ± 0.54 <sup>cx</sup> *	9.67 ± 0.30 <sup>ax</sup> **	9.14 ± 0.40 <sup>aby</sup> **	10.01 ± 1.30 <sup>ay</sup> **	1.90 ± 0.24 <sup>bx</sup> *
1:6	ไม่เติมเอนไซม์	14.58 ± 0.28 <sup>x</sup>	8.22 ± 0.45 <sup>x</sup>	7.80 ± 0.53 <sup>x</sup>	5.82 ± 0.55 <sup>x</sup>	4.77 ± 0.29 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	18.66 ± 0.45 <sup>ay</sup> ****	7.64 ± 0.30 <sup>by</sup> **	9.49 ± 0.42 <sup>ay</sup> **	8.71 ± 0.24 <sup>aby</sup> **	4.74 ± 0.14 <sup>ax</sup> *
1:8	ไม่เติมเอนไซม์	18.65 ± 0.89 <sup>x</sup>	9.38 ± 0.46 <sup>x</sup>	5.13 ± 0.54 <sup>x</sup>	4.60 ± 0.35 <sup>x</sup>	3.81 ± 0.04 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	15.47 ± 0.25 <sup>by</sup> ***	9.61 ± 0.30 <sup>ax</sup> **	8.46 ± 0.15 <sup>by</sup> **	8.00 ± 0.46 <sup>by</sup> **	4.47 ± 0.34 <sup>ay</sup> *

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อฟัฟเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ส่วน \* และ \*\* แสดงถึงการเปรียบเทียบกันทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และ x y ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบการเติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อฟัฟเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.22 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอินไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์

#### 4.4.2.6 การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอินไซม์แอลฟาอะไมเลส พิจารณาเปรียบเทียบการใช้อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 ในแต่ละสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลในรูปแบบ DPPH ผลที่ได้มาเปรียบเทียบค่า  $IC_{50}$  รวมถึงเปรียบเทียบค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ดังรูปที่ 4.23 พบว่าน้ำมันรำข้าวไร่ 4 สายพันธุ์ได้แก่ ดอกขาม ดอกข่า นางดำและเข็มเงิน ที่ไม่ผ่านการดัดแปลง หรือ control มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่ารำข้าวที่ผ่านการดัดแปลง มีงานวิจัยของ Burlando *et al.* (2014) กล่าวว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวส่วนใหญ่คือฤทธิ์ของสารแกมมาออโรซานอลเมื่อเทียบกับสารสำคัญชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าว นอกจากนี้งานวิจัยได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับฤทธิ์ของสารแกมมาออโรซานอลในการเป็นสารต้านอนุมูล DPPH ซึ่งมีค่า  $IC_{50}$  0.065 mg/ml ดังนั้นเป็นไปได้ที่สารสกัดน้ำมันรำข้าวไรที่มีผลฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลงเกิดจากผลของปริมาณแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวที่ลดลงเช่นเดียวกันเมื่อผ่านการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอินไซม์ (ดังรูปที่ 4.19) เรียงลำดับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดไปจนถึงต้านได้น้อยที่สุด ดังนี้สารสกัดน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงในสายพันธุ์ดอกขามมีค่าการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมามันน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกข่า เข็มเงิน ขาวดอกมะลิ และนางดำตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.23 ซึ่งสอดคล้องกับลำดับการจัดเรียงในหัวข้อการดัดแปลงรำข้าวด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวดอกขาพบว่า control  $0.11 \pm 0.01$  mg/ml ซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่ารำข้าวที่ผ่านการตัดแปลง โดยทุกการเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีค่า  $IC_{50}$  ใกล้เคียงกัน และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีค่า  $IC_{50}$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

ค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวดอกขาที่ใช้อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ในการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสพบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดหรือมีค่า  $IC_{50}$  ที่ความเข้มข้นต่ำ คืออัตราส่วน 1:4 และ 1:6 มีค่า  $1.89 \pm 0.03$  และ  $1.79 \pm 0.05$  mg/ml ทั้ง 2 อัตราส่วนนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่มีค่า  $IC_{50}$  น้อยกว่าหรือมีการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 1:8 มีค่า  $2.45 \pm 0.23$  mg/ml และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) รวมถึงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีค่า  $IC_{50}$  มากกว่าหรือมีการต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ control  $0.28 \pm 0.03$  mg/ml และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.25 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:6 และ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:4 มีค่า  $IC_{50}$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวเข้มข้นที่อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ในการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสพบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดคือ อัตราส่วน 1:6 มีค่า  $IC_{50}$   $1.41 \pm 0.31$  mg/ml ซึ่งมีค่า  $IC_{50}$  ใกล้เคียงกันกับ control  $1.17 \pm 0.01$  mg/ml แต่ทั้ง 2 สภาวะนี้มีสัญลักษณ์ทางสถิติต่างกันจึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.25 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:4 และ 1:8 มีค่า  $IC_{50}$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ค่า  $IC_{50}$  ของน้ำมันรำข้าวรวงดำที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดคือ อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:8 มีค่า  $2.75 \pm 0.28$  mg/ml รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:6 มีค่า  $2.94 \pm 0.10$  mg/ml และอัตราส่วน 1:4 มีค่า  $3.42 \pm 0.03$  mg/ml โดยมีสัญลักษณ์ทางสถิติของอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีค่า  $IC_{50}$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.25 รวมทั้งการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสมีส่วนช่วยให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับ control มีค่า  $IC_{50}$   $4.17 \pm 0.01$  mg/ml ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีค่า  $IC_{50}$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิดังรูปที่ 4.23 มีการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดที่ใช้ อัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ 1:6 และ 1:8 มีค่า  $IC_{50}$   $2.94 \pm 0.10$  และ  $2.75 \pm 0.28$  mg/ml ซึ่งทั้ง 2 อัตราส่วนนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) แต่มีค่า  $IC_{50}$  น้อยกว่าเมื่อเทียบกับอีก 2 สภาวะคือ control และ อัตราส่วน 1:4 ที่มีค่า  $IC_{50}$  เท่ากันคือ  $3.42 \pm 0.04$  และ  $3.42 \pm 0.03$  mg/ml แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการใช้บัพเฟอร์เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์ 1:4 และ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:6 มีค่า  $IC_{50}$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ )

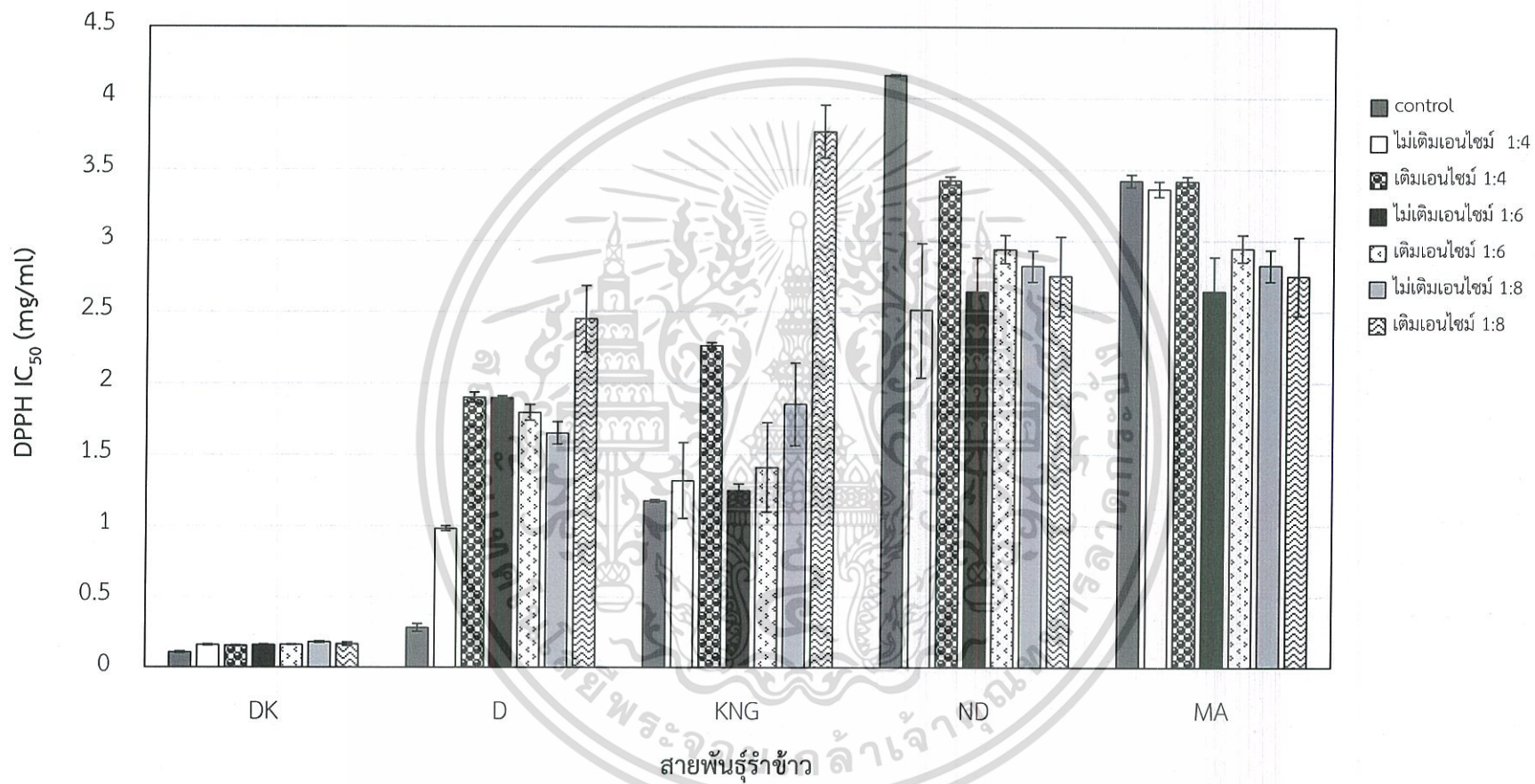


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการปมเอนไซม์ แอลฟาอะไมเลส

สภาวะ		IC <sub>50</sub> (mg/ml) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
		ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางดำ	ขาวดอกมะลิ
control		0.11 ± 0.01 **	0.28 ± 0.03 **	1.17 ± 0.01 **	4.17 ± 0.01 *	3.42 ± 0.04 *
1:4	ไม่เติมเอนไซม์	0.16 ± 0.00 <sup>x</sup>	0.98 ± 0.02 <sup>x</sup>	1.31 ± 0.27 <sup>x</sup>	2.51 ± 0.47 <sup>x</sup>	3.36 ± 0.05 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	0.15 ± 0.00 <sup>ax</sup> *	1.89 ± 0.03 <sup>ay</sup> *	2.26 ± 0.02 <sup>by</sup> *	3.42 ± 0.03 <sup>cy</sup> **	3.42 ± 0.03 <sup>bx</sup> *
1:6	ไม่เติมเอนไซม์	0.16 ± 0.00 <sup>x</sup>	1.89 ± 0.01 <sup>x</sup>	1.24 ± 0.05 <sup>x</sup>	2.64 ± 0.24 <sup>x</sup>	2.64 ± 0.24 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	0.16 ± 0.00 <sup>ax</sup> *	1.79 ± 0.05 <sup>ax</sup> *	1.41 ± 0.31 <sup>ax</sup> *	2.94 ± 0.10 <sup>by</sup> **	2.94 ± 0.10 <sup>ay</sup> **
1:8	ไม่เติมเอนไซม์	0.18 ± 0.00 <sup>x</sup>	1.65 ± 0.08 <sup>x</sup>	1.85 ± 0.29 <sup>x</sup>	2.82 ± 0.11 <sup>x</sup>	2.82 ± 0.11 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	0.16 ± 0.01 <sup>ax</sup> *	2.45 ± 0.23 <sup>bx</sup> *	3.76 ± 0.19 <sup>cy</sup> *	2.75 ± 0.28 <sup>ay</sup> **	2.75 ± 0.28 <sup>ax</sup> **

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วน \* และ \*\* แสดงถึงการเปรียบเทียบกันทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และ x y ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบการเติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.23 ค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์

#### 4.4.2.7 การต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>++</sup>

การตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>++</sup> ของสารสกัดน้ำมันรำข้าว ทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส โดยพิจารณาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>++</sup> ของน้ำมันที่ได้มาจากการสกัดรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลง นำผล ปริมาณ TEAC มาเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่ากับสาร มาตรฐานโทรล็อกซ์แสดงผลในตารางที่ 4.26 พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมันรำข้าว สายพันธุ์ดอกขามผลจากการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์ทำให้ความสามารถในการเป็นสารต้าน อนุมูลอิสระลดลงหรือมีปริมาณ TEAC ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับปริมาณ TEAC ของ control ดัง รูปที่ 4.24 แต่เมื่อเทียบกับอีก 4 สายพันธุ์ที่ศึกษาคือ ดอกข่า เข็มเงิน นางดำ และ ขาวดอกมะลิที่ผ่าน การดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์ด้วยปัจจัยเปลี่ยนแปลงการใช้อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 ช่วยเพิ่มความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระดีขึ้นเมื่อเทียบกับ control ใน แต่ละสายพันธุ์แสดงผลในตารางที่ 4.26 ดังรูปที่ 4.24

พิจารณาในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่ ผ่านการดัดแปลงรำข้าวก่อนการสกัดพบว่าค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>++</sup> ของน้ำมันรำข้าวไร่สาย พันธุ์ดอกขามปัจจัยเปลี่ยนแปลงการใช้อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณ TEAC ค่าที่ได้คือ  $6.00 \pm 0.47$   $5.78 \pm 0.27$  และ  $5.61 \pm 0.06$  mg TEAC/g DW ตามลำดับ ซึ่งมี ปริมาณน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ control  $34.94 \pm 1.26$  mg TEAC/g DW และมีความแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.26 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติม เอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:6 มีปริมาณ TEAC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ค่าการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>++</sup> ของน้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์ดอกข่าพบ ปริมาณ TEAC สูงสุดเมื่อใช้อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:6 ค่าที่ได้คือ  $27.94 \pm 2.50$  mg TEAC/g ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกับอัตราส่วน 1:4 และ 1:8 โดยทั้ง 3 อัตราส่วนนี้มีความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระมากกว่าเมื่อเทียบรำข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงคือ control  $8.36 \pm 1.04$  mg TEAC/g DW และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.26 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:8 ไม่มีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:4 และ 1:6 มีปริมาณ TEAC แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวไร่สายพันธุ์เข็มเงินปัจจัยเปลี่ยนแปลงการใช้อัตราส่วนรำข้าว ต่อบัฟเฟอร์ 1:6 มีปริมาณ TEAC สูงสุดค่าที่ได้คือ  $13.38 \pm 0.54$  mg TEAC/g DW ซึ่งมีปริมาณ แตกต่างกับอัตราส่วน 1:4 และ 1:8 โดยทั้ง 3 อัตราส่วนนี้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มากกว่าเมื่อเทียบ control  $7.23 \pm 0.27$  mg TEAC/g DW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.26 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:6 มีปริมาณ TEAC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

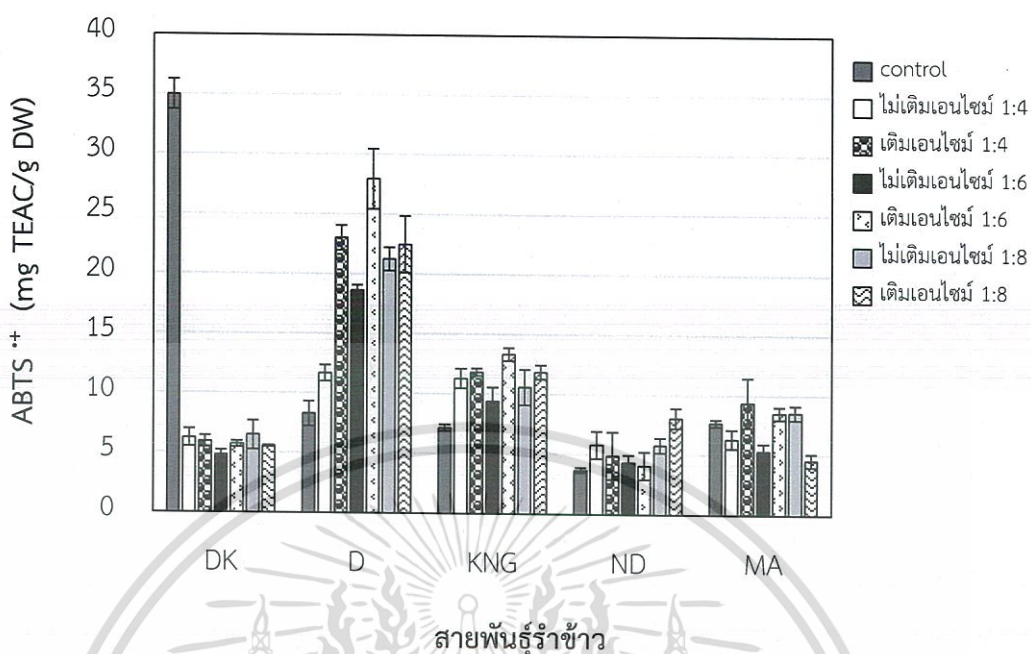
น้ำมันรำข้าวไร้สายพันธุ์นางดำในการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:8 มีปริมาณ TEAC สูงที่สุดค่าที่ได้คือ  $8.12 \pm 0.82$  mg TEAC/g DW ซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำมันรำข้าว control  $3.73 \pm 0.19$  mg TEAC/g DW และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.26 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:8 มีปริมาณ TEAC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิตั้งรูปที่ 4.24 พบว่า control และการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:6 มีปริมาณ TEAC ใกล้เคียงกันค่าที่ได้คือ  $7.73 \pm 0.28$   $9.44 \pm 2.06$  และ  $8.57 \pm 0.53$  mg TEAC/g DW ตามลำดับ โดยทั้ง 3 สถานะนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าอัตราส่วน 1:8 ที่มีปริมาณ TEAC ลดลงเหลือ  $4.62 \pm 0.53$  mg TEAC/g DW ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.26 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณ TEAC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบปริมาณ TEAC ที่มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระ ABTS <sup>++</sup> ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่ม เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

สภาวะ		ปริมาณ TEAC (mg TEAC/g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
		ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางคำ	ขาวดอกมะลิ
control		34.94 ± 1.26 *	8.36 ± 1.04 *	7.23 ± 0.27 *	3.73 ± 0.19 *	7.73 ± 0.28 **
1:4	ไม่เติมเอนไซม์	6.30 ± 0.73 <sup>x</sup>	11.76 ± 0.67 <sup>x</sup>	11.35 ± 0.80 <sup>x</sup>	5.86 ± 1.31 <sup>x</sup>	6.37 ± 0.79 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	6.00 ± 0.47 <sup>ax **</sup>	23.03 ± 1.03 <sup>by **</sup>	11.87 ± 0.31 <sup>bx **</sup>	4.96 ± 1.98 <sup>bx **</sup>	9.44 ± 2.06 <sup>ay **</sup>
1:6	ไม่เติมเอนไซม์	4.86 ± 0.42 <sup>x</sup>	18.69 ± 0.40 <sup>x</sup>	9.46 ± 1.15 <sup>x</sup>	4.38 ± 0.63 <sup>x</sup>	5.38 ± 0.63 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	5.78 ± 0.27 <sup>ay **</sup>	27.94 ± 2.50 <sup>ay **</sup>	13.38 ± 0.54 <sup>ay **</sup>	4.12 ± 1.38 <sup>bx **</sup>	8.57 ± 0.53 <sup>ay **</sup>
1:8	ไม่เติมเอนไซม์	6.53 ± 1.20 <sup>x</sup>	21.27 ± 0.96 <sup>x</sup>	10.64 ± 1.47 <sup>x</sup>	5.83 ± 0.62 <sup>x</sup>	8.61 ± 0.59 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	5.61 ± 0.06 <sup>ax **</sup>	22.50 ± 2.36 <sup>bx **</sup>	11.91 ± 0.60 <sup>bx **</sup>	8.12 ± 0.82 <sup>ay **</sup>	4.62 ± 0.53 <sup>by *</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วน \* และ \*\* แสดงถึงการเปรียบเทียบกันทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และ x y ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบการเติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.24 ปริมาณ TEAC ด้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์

#### 4.4.2.8 ความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP

ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดน้ำมันรำข้าว 5 สายพันธุ์ด้วยวิธี FRAP โดยเมื่อพิจารณารำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ก่อนการสกัดแบบเขย่า นอกจากนี้มีการเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ระหว่างรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลง กับ control รายงานผล 2 รูปแบบได้แก่ ปริมาณเทียบเท่าสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตในตารางที่ 4.27 ดังรูปที่ 4.25 และ 4.26 รวมทั้งผล ปริมาณ TEAC ตารางที่ 4.28 ดังรูปที่ 4.27 และ 4.28 เรียงลำดับความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP จากมากไปน้อยคือ น้ำมันรำข้าวดอกขามดีที่สุด รองลงมาคือน้ำมันรำข้าวดอกข่า เข็มเงิน นางดำ และขาวดอกมะลิตามลำดับ

ความสามารถในการรีดิวซ์ของน้ำมันรำข้าวดอกขามในการเติมเอนไซม์เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 พบว่าที่อัตราส่วน 1:6 มีความสามารถในการรีดิวซ์สูงที่สุดเนื่องจากมีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต  $13.40 \pm 0.12$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW รวมทั้งปริมาณ TEAC ค่าสูงสุดคือ  $1.20 \pm 0.01$  mg TEAC/g DW โดยมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) กับอัตราส่วน 1:4 และ 1:8 รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีความสามารถในการรีดิวซ์ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ control มีค่า  $53.13 \pm 3.51$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $5.16 \pm 0.35$  mg TEAC/g DW พบว่ามีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.27 และ 4.28 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:6 และ 1:8 มีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต และ ปริมาณ TEAC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวดอกขำมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงสุดในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 มีค่า  $13.07 \pm 0.34$  mM  $\text{FeSO}_4/\text{g DW}$  และ  $1.16 \pm 0.03$  mg TEAC/g DW โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับอัตราส่วน 1:6 และ 1:8 เมื่อเทียบการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 กับ control มีค่า  $50.69 \pm 3.85$  mM  $\text{FeSO}_4/\text{g DW}$  และ  $4.93 \pm 0.38$  mg TEAC/g DW พบว่าการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสมีความสามารถในการรีดิวซ์ต่ำกว่า ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.27 และ 4.28 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:4 และ 1:6 มีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต และ ปริมาณ TEAC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวเข้มเงินมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงสุดในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:6 มีค่า  $9.77 \pm 0.24$  mM  $\text{FeSO}_4/\text{g DW}$  และ  $0.85 \pm 0.02$  mg TEAC/g DW รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:8 สุดท้ายคือ อัตราส่วน 1:4 โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และมีค่าความสามารถในการรีดิวซ์ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ control  $28.61 \pm 1.53$  mM  $\text{FeSO}_4/\text{g DW}$  และ  $2.73 \pm 0.15$  mg TEAC/g DW พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.27 และ 4.28 พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:4 และ 1:6 มีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต และ ปริมาณ TEAC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

น้ำมันรำข้าวนางดำมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงสุดในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 มีค่า  $6.90 \pm 0.82$  mM  $\text{FeSO}_4/\text{g DW}$  และ  $0.55 \pm 0.08$  mg TEAC/g DW ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 1:6 มีค่า  $7.78 \pm 0.44$  mM  $\text{FeSO}_4/\text{g DW}$  และ  $0.65 \pm 0.04$  mg TEAC/g DW โดยทั้ง 2 อัตราส่วนนี้มีความสามารถในการรีดิวซ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่ได้กับ control  $9.87 \pm 0.31$  mM  $\text{FeSO}_4/\text{g DW}$  และ  $0.91 \pm 0.03$  mg TEAC/g DW พบว่าการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสมีความสามารถในการรีดิวซ์ต่ำกว่า พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณ TEAC ทุกอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 มีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงสุดในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:6 มีค่า  $6.22 \pm 0.13$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $0.50 \pm 0.01$  mg TEAC/g DW แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) กับอัตราส่วน 1:4 และ 1:8 โดยทั้ง 3 อัตราส่วนคือ 1:4 1:6 และ 1:8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) และมีค่าความสามารถในการรีดิวซ์ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ control  $19.04 \pm 1.20$  mM FeSO<sub>4</sub>/g DW และ  $1.77 \pm 0.12$  mg TEAC/g DW พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเติมเอนไซม์และไม่เติมเอนไซม์ พบว่าในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 และ 1:6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ในอัตราส่วน 1:8 มีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต และ ปริมาณ TEAC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO<sub>4</sub>) ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

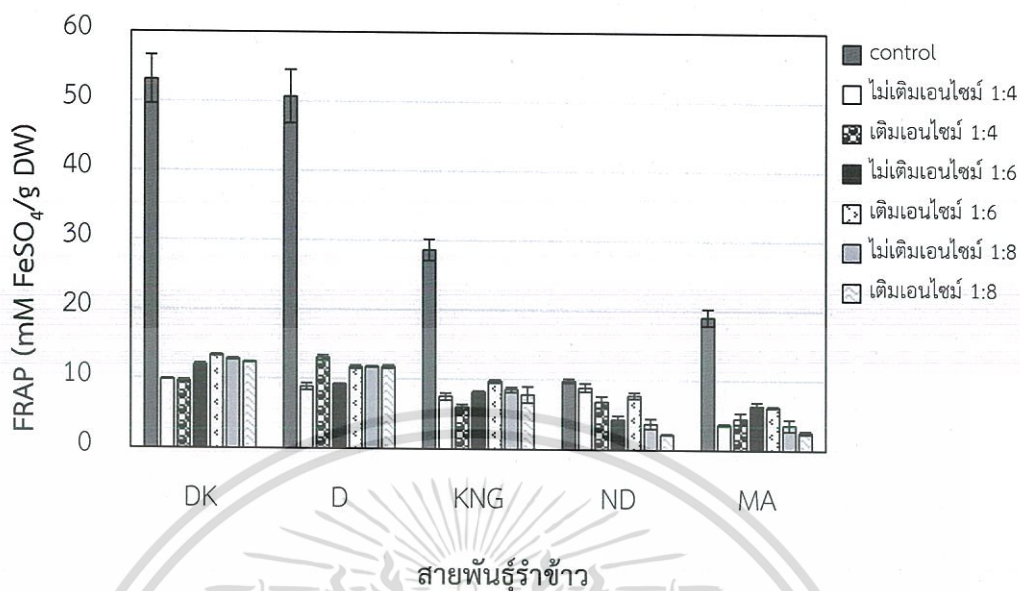
สภาวะ		ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO <sub>4</sub> ) (mM FeSO <sub>4</sub> /g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
		ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางคำ	ขาวดอกมะลิ
control		53.13 ± 3.51 **	50.69 ± 3.85 **	28.61 ± 1.53 **	9.87 ± 0.31 **	19.04 ± 1.20 **
1:4	ไม่เติมเอนไซม์	9.92 ± 0.09 <sup>x</sup>	8.90 ± 0.50 <sup>x</sup>	7.56 ± 0.50 <sup>x</sup>	8.92 ± 0.58 <sup>x</sup>	3.67 ± 0.15 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	9.66 ± 0.28 <sup>cx</sup> *	13.07 ± 0.34 <sup>ay</sup> *	6.04 ± 0.36 <sup>cy</sup> *	6.90 ± 0.82 <sup>ay</sup> *	4.54 ± 0.82 <sup>bx</sup> *
1:6	ไม่เติมเอนไซม์	12.05 ± 0.23 <sup>x</sup>	9.29 ± 0.06 <sup>x</sup>	8.24 ± 0.14 <sup>x</sup>	4.35 ± 0.57 <sup>x</sup>	6.38 ± 0.54 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	13.40 ± 0.12 <sup>ay</sup> *	11.73 ± 0.22 <sup>by</sup> *	9.77 ± 0.24 <sup>ay</sup> *	7.78 ± 0.44 <sup>ay</sup> *	6.22 ± 0.13 <sup>ax</sup> *
1:8	ไม่เติมเอนไซม์	12.85 ± 0.12 <sup>x</sup>	12.85 ± 0.12 <sup>x</sup>	8.58 ± 0.38 <sup>x</sup>	3.78 ± 0.72 <sup>x</sup>	3.63 ± 0.84 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	12.43 ± 0.05 <sup>by</sup> *	12.43 ± 0.05 <sup>bx</sup>	7.87 ± 1.14 <sup>bx</sup> *	2.24 ± 0.09 <sup>by</sup> *	2.60 ± 0.22 <sup>cy</sup> *

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วน \* และ \*\* แสดงถึงการเปรียบเทียบกันทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และ x y ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบการเติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

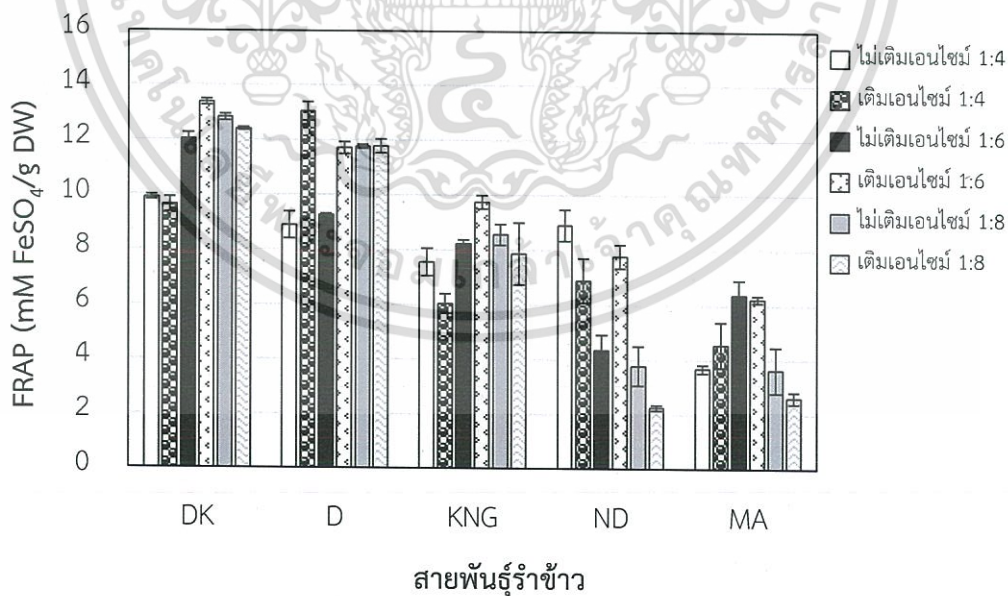
ตารางที่ 4.28 เปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP เทียบเท่ากับสารมาตรฐานโทรลิกซ์ (TEAC) ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

สภาวะ		ปริมาณ TEAC (mg TEAC/g DW) น้ำมันรำข้าวแต่ละสายพันธุ์				
		ดอกขาม	ดอกข่า	เข็มเงิน	นางคำ	ขาวดอกมะลิ
control		5.16 ± 0.35 **	4.93 ± 0.38 **	2.73 ± 0.15 **	0.91 ± 0.03 **	1.77 ± 0.12 **
1:4	ไม่เติมเอนไซม์	0.89 ± 0.01 <sup>x</sup>	0.77 ± 0.05 <sup>x</sup>	0.62 ± 0.05 <sup>x</sup>	0.76 ± 0.06 <sup>x</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	0.87 ± 0.03 <sup>cx</sup> *	1.16 ± 0.03 <sup>ay</sup> *	0.48 ± 0.04 <sup>cy</sup> *	0.55 ± 0.08 <sup>ax</sup> *	0.34 ± 0.08 <sup>bx</sup> *
1:6	ไม่เติมเอนไซม์	1.08 ± 0.02 <sup>x</sup>	0.82 ± 0.01 <sup>x</sup>	0.71 ± 0.01 <sup>x</sup>	0.33 ± 0.06 <sup>x</sup>	0.53 ± 0.05 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	1.20 ± 0.01 <sup>ay</sup> *	1.04 ± 0.02 <sup>by</sup> *	0.85 ± 0.02 <sup>ay</sup> *	0.65 ± 0.04 <sup>ax</sup> *	0.50 ± 0.01 <sup>ax</sup> *
1:8	ไม่เติมเอนไซม์	1.15 ± 0.01 <sup>x</sup>	1.06 ± 0.01 <sup>x</sup>	0.72 ± 0.04 <sup>x</sup>	0.27 ± 0.07 <sup>x</sup>	0.25 ± 0.08 <sup>x</sup>
	เติมเอนไซม์	1.12 ± 0.01 <sup>by</sup> *	1.06 ± 0.02 <sup>bx</sup> *	0.65 ± 0.11 <sup>bx</sup> *	0.11 ± 0.01 <sup>bx</sup> *	0.14 ± 0.02 <sup>cy</sup> *

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทุกสภาวะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วน \* และ \*\* แสดงถึงการเปรียบเทียบกันทั้ง 4 สภาวะคือ control สภาวะการเติมเอนไซม์ที่อัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ x y ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบการเติมเอนไซม์ และไม่เติมเอนไซม์ในอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์เดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

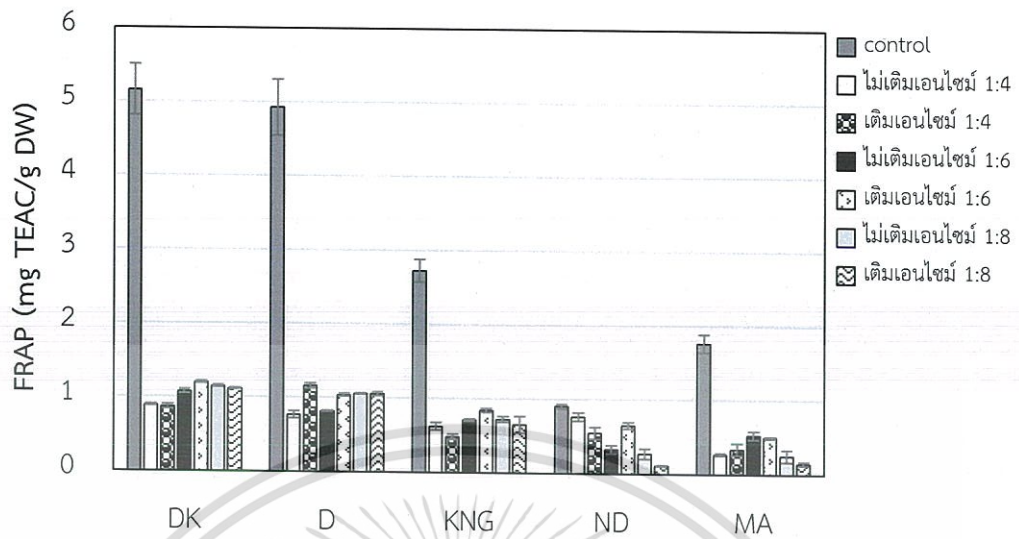


รูปที่ 4.25 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์



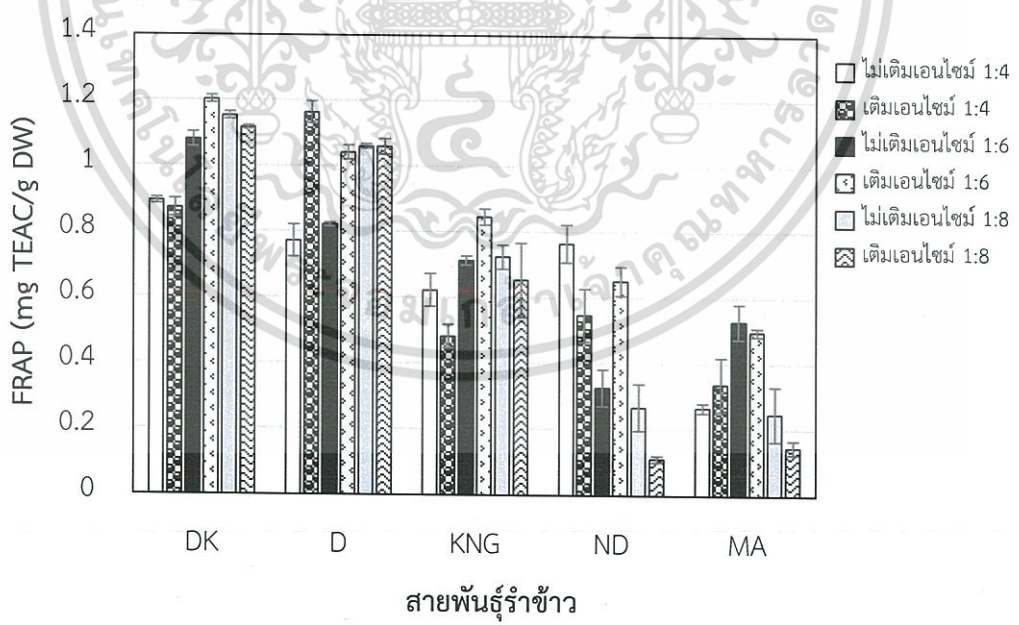
รูปที่ 4.26 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัพเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สายพันธุ์รำข้าว

รูปที่ 4.27 ปริมาณ TEAC ในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP ระหว่างน้ำมันรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์



สายพันธุ์รำข้าว

รูปที่ 4.28 ปริมาณ TEAC ในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 ผลลัพธ์เครื่องสำอาง

### 4.5.1 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ลักษณะทางกายภาพผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรพื้นทั้ง 3 สูตร มีสีขาวขุ่น เนื้อเนียนก่ตัวเป็นก้อน ผลการทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์โดยการปั่นเหวี่ยง 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที พบว่าสูตรพื้นที่ 1 และ สูตรพื้นที่ 2 ไม่พบการแยกชั้น ส่วนสูตรพื้นที่ 3 พบการแยกชั้น และผลทดสอบความคงตัวด้วยวิธีการเก็บในที่ร้อนสลับเย็น (heating and cooling cycle) พบว่าสูตรพื้นที่ทั้ง 3 สูตรไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ ส่วนลักษณะทางเคมีผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรพื้นที่ทั้ง 3 สูตรมีค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอช 6 ดังแสดงในตารางที่ 4.29 ประเมินความพึงพอใจอาสาสมัคร 20 คนในผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรพื้นที่ทั้ง 3 สูตร ผลที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรพื้นที่ 2 ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด ทั้งปัจจัยความพึงพอใจโดยรวมได้คะแนนร้อยละ 85 การชิมชาบลงสู้ผิวได้คะแนนร้อยละ 72 ความละเอียดโลชั่นได้คะแนนร้อยละ 76 กลิ่นได้คะแนนร้อยละ 56 ความหนืดได้คะแนนร้อยละ 58 และความชุ่มชื้นได้คะแนนร้อยละ 69 ส่วนผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรพื้นที่ 1 ได้รับความพึงพอใจรองลงมาในทุกปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 4.30

ดังนั้นจึงได้พัฒนาสูตรพื้นที่ 2 สูตรที่ได้คะแนนความพึงพอใจจากอาสาสมัครมากที่สุด ด้วยการพัฒนาตำรับสูตรพื้นที่ด้วยการเติมสารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขาม (DK) และเซียมเงิน (KNG) ซึ่งน้ำมันรำข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์นี้ให้ผลปริมาณสารแกมมาโอไรซานอลสูงสุดเมื่อเทียบกับน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์อื่น โดยเฉพาะน้ำมันรำข้าวดอกขามมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดเมื่อผ่านการทดสอบทั้งวิธี DPPH ABTS และ FRAP พัฒนาตำรับสูตรพื้นที่ 1 เติมสารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขามความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบได้เป็น “ผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงดอกขาม 1” และหากเติมสารสกัดน้ำมันรำข้าวเซียมเงินความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ได้เป็น “ผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงเซียมเงิน 1” เช่นเดียวกับการพัฒนาตำรับสูตรพื้นที่ 2 เติมสารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขามความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบได้เป็น “ผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงดอกขาม 2” และหากเติมสารสกัดน้ำมันรำข้าวเซียมเงินความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ได้เป็น “ผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงเซียมเงิน 2” โดยผลิตภัณฑ์ทุกสูตรปรับปรุงที่ได้ต้องทำการประเมินลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี ทดสอบความคงตัว ประเมินคุณสมบัติทางชีวภาพ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH คะแนนความพึงพอใจ ความระคายเคืองต่อผิว และความชุ่มชื้นของอาสาสมัคร

ตารางที่ 4.29 ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์โลชั่นพื้น 3 สูตร

สูตร	ลักษณะกายภาพ	เนื้อผลิตภัณฑ์	สี	ค่าพีเอช	ความคงตัว (การปั่นเหวี่ยง / เก็บในที่ร้อนสลับเย็น)	ค่าเฉลี่ย IC <sub>50</sub> (mg/ml)	ค่าเฉลี่ยจำนวนเชื้อ (CFU/ml)
1		เนื้อเนียน ก่อดัวเป็นก้อน	ขาวขุ่น	6	ไม่แยกชั้น / ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	>100	<30
2		เนื้อเนียน ก่อดัวเป็นก้อน	ขาวขุ่น	6	ไม่แยกชั้น / ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	>100	<30
3		เนื้อเนียนหนืด ก่อดัวเป็นก้อน	ขาวขุ่น	6	แยกชั้น / ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	>100	<30





ตารางที่ 4.30 ค่าความพึงพอใจในอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรพื้น

ปัจจัยความพึงพอใจ	ผลิตภัณฑ์สูตรพื้น	คะแนนเฉลี่ย (5)	ร้อยละ (%)
ความพึงพอใจโดยรวม	1	3.60	72
	2	4.25	85
	3	2.40	48
การซึมซาบลงสู่ผิว	1	3.30	66
	2	3.60	72
	3	2.95	59
ความละเอียดโลชั่น	1	3.70	74
	2	3.80	76
	3	2.45	49
กลิ่น	1	2.60	52
	2	2.80	56
	3	2.10	42
ความหนืด	1	2.10	42
	2	2.90	58
	3	3.05	61
ความชุ่มชื้น	1	3.30	66
	2	3.45	69
	3	3.45	69

ผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรปรับปรุงเกิดเปลี่ยนแปลงไปจากผลิตภัณฑ์สูตรพื้นเนื่องจากสีของสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่เติมเข้าไปในส่วนประกอบ โดยสารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขามมีสีแดงปนอยู่ในน้ำมันมากดังนั้นโลชั่นสูตรปรับปรุงดอกขาม 1 และ 2 ที่ได้จึงมีสีส้มถึงส้มอมชมพู ส่วนโลชั่นสูตรปรับปรุงเข็มเงิน 1 และ 2 มีสีเหลืองจากสารสกัดน้ำมันรำข้าว ผลิตภัณฑ์เนื้อเนียนละเอียด ก่อตัวเป็นก้อน และมีกลิ่นจากสารสกัดน้ำมันรำข้าว มีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วงพีเอช 5.5 ถึง 6 แสดงในตารางที่ 4.31 ผลการทดสอบความคงตัวโดยวิธีการปั่นเหวี่ยงพบว่าทั้งสองสูตรไม่เกิดการแยกชั้น และผลการทดสอบความคงตัวเมื่อเก็บในที่ร้อนอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สลับเย็น 4 องศาเซลเซียส (heating and cooling cycle) เนื้อโลชั่นที่ได้มีสีเข้มขึ้นทุกสูตร เนื้อผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการแยกชั้นดังแสดงในตารางที่ 4.31 คลอสม์ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรปรับปรุง




สูตร	ลักษณะเนื้อโลชั่น	ค่าพีเอช	สี	ความคงตัว (การปั่นเหวี่ยง / เก็บในที่ร้อน สลับเย็น)
สูตรปรับปรุง ดอกขาม 1	 เนื้อเนียน ก่อดัวเป็นก้อน	6	ชมพูอมส้ม	ไม่แยกชั้น / มีสีเข้มขึ้น เนื้อโลชั่นไม่แยกชั้น
สูตรปรับปรุง เข็มเงิน 1	 เนื้อเนียน ก่อดัวเป็นก้อน	5.5	เหลือง	ไม่แยกชั้น / มีสีเข้มขึ้น เล็กน้อย เนื้อโลชั่นไม่แยกชั้น
สูตรปรับปรุง ดอกขาม 2	 เนื้อเนียน ก่อดัวเป็นก้อน	6	เหลืองอมส้ม	ไม่แยกชั้น / มีสีเข้มขึ้น เนื้อโลชั่นไม่แยกชั้น
สูตรปรับปรุง เข็มเงิน 2	 เนื้อเนียน ก่อดัวเป็นก้อน	6	เหลือง	ไม่แยกชั้น / มีสีเข้มขึ้น เล็กน้อย เนื้อโลชั่นไม่แยกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาลักษณะทางกายภาพผลิตภัณฑ์เซรัมพื้นที่ได้มีสีขาวขุ่น เมื่อทดสอบความคงตัวผ่านการปั่นเหวี่ยง พบว่าไม่เกิดการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์แสดงว่ามีความคงตัวดี และมีเนื้อสัมผัสเนียนซึมลงสู่ผิวได้ดี ชุ่มชื้น ไม่เหนียว ลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์เซรัมพื้นที่ได้มีค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอช 5.5 ดังแสดงในตารางที่ 4.32

ผลิตภัณฑ์เซรัมสูตรปรับปรุงที่พัฒนามาจากผลิตภัณฑ์เซรัมสูตรพื้น โดยเติมสารสกัดน้ำมันรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ในส่วนประกอบทำให้มีสีเปลี่ยนแปลงไปจากสีขาวขุ่น ผลิตภัณฑ์เซรัมสูตรปรับปรุงดอกขามมีสีส้มอมน้ำตาล ส่วนผลิตภัณฑ์เซรัมสูตรปรับปรุงเข็มเงินมีสีขาวอมเหลือง ซึ่งผลิตภัณฑ์เซรัมทั้งสองสูตรมีความคงตัวดี ไม่เกิดการแยกชั้น มีค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอช 6 เนื้อเนียนละเอียดก่อดัวเป็นก้อน และผลิตภัณฑ์มีกลิ่นจากสารสกัดน้ำมันรำข้าวดังแสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์เซรัมพื้นและสูตรปรับปรุง

สูตร	ลักษณะเนื้อเซรัม	ค่าพีเอช	สี	ความคงตัว (การปั่นเหวี่ยง / เก็บในที่ร้อน สลับเย็น)
ผลิตภัณฑ์ เซรัมพื้น	 เนื้อเนียน ก่อดัวเป็นก้อน	5.5	ขาวขุ่น	ไม่แยกชั้น / ไม่เกิดการ เปลี่ยนแปลง
สูตรปรับปรุง ดอกขาม	 เนื้อเนียน ก่อดัวเป็นก้อน	6	ส้มอมน้ำตาล	ไม่แยกชั้น / มีสีเข้มขึ้น เนื้อเซรัมไม่แยกชั้น
สูตรปรับปรุง เข็มเงิน	 เนื้อเนียน ก่อดัวเป็นก้อน	6	ขาวอมเหลือง	ไม่แยกชั้น / มีสีเข้มขึ้น เล็กน้อย เนื้อเซรัมไม่แยกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 ทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเก็บในที่ร้อนสลับเย็น (heating and cooling cycle)

ทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์โลชั่น และผลิตภัณฑ์เซรัมที่มีสารสกัดน้ำมันรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธีการเก็บในที่ร้อน 45 องศาเซลเซียส สลับเย็น 4 องศาเซลเซียส จำนวน 5 รอบ พบว่าผลิตภัณฑ์โลชั่นและผลิตภัณฑ์เซรัมไม่เกิดการแยกชั้นเป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัวดี สีผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงดอกขามมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ส่วนผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงเข็มเงินมีสีเข้มขึ้นเล็กน้อย มีค่าความเป็นกรดต่างคงที่

ในการทดลองได้มีการเก็บผลิตภัณฑ์โดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 45 องศาเซลเซียสสูงขึ้นไปถึง 60 องศาเซลเซียส สลับเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 5 รอบ ผลที่ได้ผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงที่ใส่สารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขามเกิดลักษณะแยกเป็นชั้นครีม และชั้นอิมัลชัน มีค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอชคงที่ ได้สีเข้มขึ้นจากเดิม ส่วนสูตรปรับปรุงที่ใส่สารสกัดน้ำมันรำข้าวเข็มเงินไม่เกิดการแยกชั้น ค่าความเป็นกรดต่างคงที่ แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันรำข้าวเข็มเงินเป็นส่วนประกอบมีความคงตัวดีที่สุด ดังนั้นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่ควรเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส

#### 4.5.3 ประเมินคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์โลชั่นและเซรัมสูตรปรับปรุงที่มีส่วนประกอบของน้ำมันรำข้าวดอกขามและเข็มเงิน 1 เปอร์เซ็นต์ พิจารณาค่าในรูปแบบความเข้มข้นของสารละลายผลิตภัณฑ์ (mg/ml) ที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ หรือค่า IC<sub>50</sub> พบว่าในผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรพื้น และเซรัมสูตรพื้นไม่พบค่า IC<sub>50</sub> เนื่องจากไม่มีส่วนผสมของสารสกัดน้ำมันรำข้าวในส่วนประกอบ แต่เมื่อทำการพัฒนาสูตรพื้นโดยการเติมสารสกัดน้ำมันรำข้าวลงไป พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าการต้านอนุมูลอิสระ โดยโลชั่นสูตรปรับปรุงดอกขามทั้งสูตร 1 และ 2 มีฤทธิ์ดีกว่าเมื่อเทียบกับโลชั่นสูตรปรับปรุงเข็มเงิน ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเซรัม พบว่าเซรัมสูตรปรับปรุงดอกขามและเซรัมสูตรปรับปรุงเข็มเงินมีค่า IC<sub>50</sub> ใกล้เคียงดังแสดงในตารางที่ 4.33

นอกจากนี้ได้มีการนำผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรปรับปรุง และ ผลิตภัณฑ์เซรัมสูตรปรับปรุงที่ผ่านการทดสอบความคงตัวด้วยวิธีการเก็บในที่ร้อนสลับเย็นมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยโลชั่นสูตรปรับปรุงดอกขาม และโลชั่นสูตรปรับปรุงเข็มเงินมีค่า IC<sub>50</sub> คือ  $71.26 \pm 2.33$  และ  $104.61 \pm 4.74$  mg/ml ตามลำดับ ผลที่ได้พบว่ามีค่า IC<sub>50</sub> เพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์โลชั่นทั้งสูตรปรับปรุงดอกขาม และผลิตภัณฑ์โลชั่นทั้งสูตรปรับปรุงเข็มเงินก่อนเก็บในที่ร้อนสลับเย็น เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์เซรัมที่ผ่านการเก็บในที่ร้อนสลับเย็น พบว่าผลิตภัณฑ์เซรัมสูตรปรับปรุงดอกขามมีค่า IC<sub>50</sub> คือ  $26.69 \pm 3.85$  mg/ml ผลิตภัณฑ์เซรัมสูตรปรับปรุงเข็มเงินมีค่า IC<sub>50</sub> เพิ่มขึ้นคือ  $49.25 \pm 7.02$  mg/ml ดังแสดงในตารางที่ 4.33

เปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงของงานวิจัยนี้กับผลิตภัณฑ์โลชั่นทางการค้า พบว่าผลิตภัณฑ์ทุกสูตรปรับปรุงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์โลชั่นทางการค้าดังแสดงผลในตารางที่ 4.33 ทั้งผลิตภัณฑ์โลชั่นทางการค้า 2 โลชั่นทางการค้า 3 และเซรั่มทางการค้า 1 ไม่สามารถตรวจวัดค่า  $IC_{50}$  ได้ หรือ มีค่าความเข้มข้นมากกว่า  $10^3$  mg/ml มีเพียงผลิตภัณฑ์โลชั่นทางการค้า 1 ที่พบค่า  $IC_{50}$  คือ  $226.35 \pm 2.80$  mg/ml ซึ่งมีฤทธิ์ต้านน้อยกว่าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยที่มีน้ำมันรำข้าวเป็นส่วนประกอบ

ตารางที่ 4.33 การต้านอนุมูลอิสระของโลชั่นและเซรั่มด้วยวิธี DPPH

สูตร		ค่าเฉลี่ย $IC_{50}$ (mg/ml)
โลชั่นสูตรปรับปรุง 1	ดอกขาม	$24.48 \pm 1.32$
	เข็มเงิน	$62.57 \pm 3.11$
โลชั่นสูตรปรับปรุง 2	ดอกขาม	$57.08 \pm 2.29$
	เข็มเงิน	$84.40 \pm 5.64$
โลชั่นสูตรปรับปรุง 1 ผ่านการทดสอบความคงตัว (heat and cool cycle)	ดอกขาม	$71.26 \pm 2.33$
	เข็มเงิน	$104.61 \pm 4.74$
โลชั่นสูตรปรับปรุง 2 ผ่านการทดสอบความคงตัว (heat and cool cycle)	ดอกขาม	$26.69 \pm 3.85$
	เข็มเงิน	$48.97 \pm 2.71$
ผลิตภัณฑ์โลชั่นทางการค้า	1	$226.35 \pm 2.80$
	2	$>10^3$ mg/ml
	3	$>10^3$ mg/ml
เซรั่มสูตรปรับปรุง	ดอกขาม	$31.81 \pm 1.90$
	เข็มเงิน	$34.47 \pm 3.51$
เซรั่มสูตรปรับปรุง ผ่านการทดสอบความคงตัว (heat and cool cycle)	ดอกขาม	$26.69 \pm 3.85$
	เข็มเงิน	$49.25 \pm 7.02$
ผลิตภัณฑ์เซรั่มทางการค้า	1	$>10^3$ mg/ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4 ประเมินคุณสมบัติทางชีวภาพ

ทำการประเมินคุณสมบัติทางชีวภาพตลอดระยะเวลา 3 สัปดาห์ โดยประเมินใน สัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 เพื่อคำนวณโคโลนีเชื้อที่มีชีวิตรอด หรือทดสอบประสิทธิภาพของสารกันเสีย (preservative) คือ Microcare PM 3 ที่ใช้ในส่วนประกอบผลิตภัณฑ์โลชั่นและเซรัม ด้วยวิธี total plate count นำผลิตภัณฑ์ทุกสูตรมาเจือจางก่อน spread plate ท้าวผิวหน้าอาหาร พบว่าผลิตภัณฑ์ทุกสูตรมีจำนวนเชื้อไม่ถึง 30 โคโลนีดังแสดงผลในตารางที่ 4.34 และรูปภาพผนวก ข รวมถึงประเมินคุณสมบัติทางชีวภาพต่อเนื่องโดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นานมากกว่า 2 เดือน พบว่าทุกผลิตภัณฑ์ ยังคงมีจำนวนเชื้อไม่ถึง 30 โคโลนี

ตารางที่ 4.34 จำนวนโคโลนีที่พบในผลิตภัณฑ์

สูตร		ค่าเฉลี่ยจำนวนเชื้อ (CFU/ml)			
		สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	> 2 เดือน
โลชั่น					
โลชั่นสูตรปรับปรุง 1	ดอกขาม	<30	<30	<30	<30 (2 โคโลนี)
	เซิมเงิน	<30	<30	<30	<30 (1 โคโลนี)
โลชั่นสูตรปรับปรุง 2	ดอกขาม	<30	<30	<30	<30
	เซิมเงิน	<30	<30	<30	<30 (4 โคโลนี)
เซรัม					
สูตรปรับปรุง	ดอกขาม	<30	<30	<30	<30 (1 โคโลนี)
	เซิมเงิน	<30	<30	<30	<30 (5 โคโลนี)

#### 4.5.5 การทดสอบการระคายเคือง

จากการทดสอบการระคายเคืองของผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงต่อผิวหนังบริเวณท้องแขนของอาสาสมัครจำนวน 20 คน หลังทาผลิตภัณฑ์ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที (เฉียบพลัน) และ 2 ชั่วโมง เพื่อสังเกตอาการคันและผื่นแดง พบว่าในอาสาสมัคร 19 คน หรือคิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ที่ไม่แสดงอาการระคายเคืองต่อผลิตภัณฑ์ทุกสูตร มีเพียงอาสาสมัครจำนวน 1 คนที่เกิดรอยแดงบริเวณผิวที่ทาผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงดอกขาม

#### 4.5.6 การทดสอบความชุ่มชื้นของผิวเมื่อทาผลิตภัณฑ์

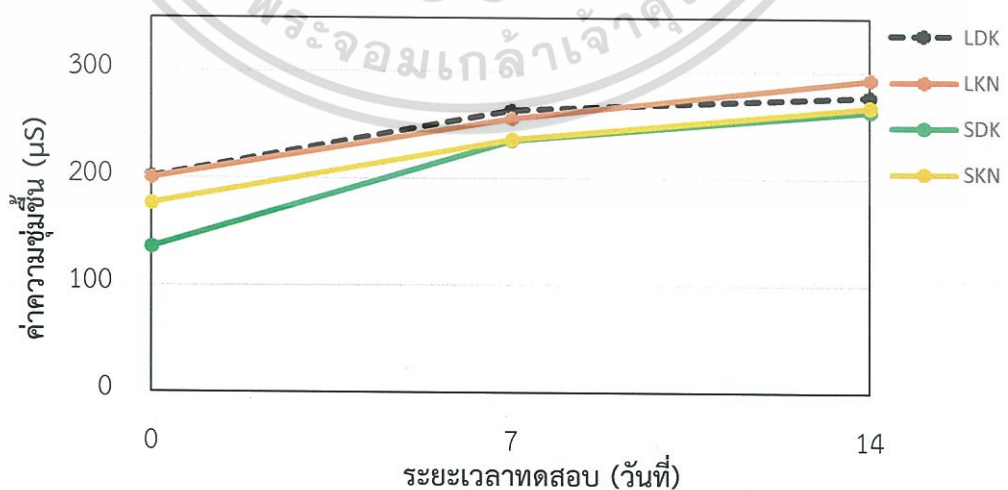
ทดสอบประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ในการทำให้ผิวชุ่มชื้นโดยใช้เครื่องทดสอบผิวหนัง (รุ่น Dermalab COMBO) ในอาสาสมัครรวม 20 คน ก่อนและหลังใช้ผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุงเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ทดสอบวันที่ 0 7 และ 14 แสดงค่าความชุ่มชื้นในตารางที่ 4.35 และรูปที่ 4.29 พบว่าบริเวณผิวท้องแขนของอาสาสมัครที่ทดสอบความชุ่มชื้นจากสารสกัดน้ำมันรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีในส่วนประกอบผลิตภัณฑ์โลชั่นและเซรั่ม สามารถเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวมากกว่าก่อนใช้ผลิตภัณฑ์ (วันที่ 0) เมื่อเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความชุ่มชื้นที่เพิ่มมากขึ้นในวันที่ 7 และ 14 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.35 ค่าความชุ่มชื้นของผิวบริเวณที่ทดสอบผลิตภัณฑ์โลชั่น และเซรั่มสูตรปรับปรุง

ผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุง	วันที่	ค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้น ( $\mu\text{S}$ )
โลชั่นดอกขาม	0	201.13 $\pm$ 22.02 <sup>x</sup>
	7	266.80 $\pm$ 8.15 <sup>y</sup>
	14	276.73 $\pm$ 18.54 <sup>z</sup>
โลชั่นเซิมเงิน	0	200.33 $\pm$ 27.63 <sup>x</sup>
	7	256.17 $\pm$ 13.43 <sup>y</sup>
	14	293.00 $\pm$ 14.33 <sup>z</sup>
เซรั่มดอกขาม	0	135.60 $\pm$ 41.41 <sup>x</sup>
	7	235.53 $\pm$ 14.16 <sup>y</sup>
	14	263.47 $\pm$ 7.14 <sup>z</sup>
เซรั่มเซิมเงิน	0	176.42 $\pm$ 37.71 <sup>x</sup>
	7	236.75 $\pm$ 4.98 <sup>y</sup>
	14	267.08 $\pm$ 8.09 <sup>z</sup>

หมายเหตุ : x, y, z ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงการเปรียบเทียบค่าความชุ่มชื้นสูตรปรับปรุงดอกขาม และเซิมเงิน วันที่ 0 7 และ 14 ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test



รูปที่ 4.29 ความชุ่มชื้นของผิวบริเวณที่ทดสอบผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.7 การทดสอบความพึงพอใจในอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์เวชสำอาง

ทดสอบความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของอาสาสมัครรวม 20 คน โดยการทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรปรับปรุงและผลิตภัณฑ์เซรั่มสูตรปรับปรุง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีสารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขามได้คะแนนเฉลี่ย และร้อยละความพึงพอใจทุกปัจจัยมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีสารสกัดน้ำมันรำข้าวเข็มเงินในส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 ค่าความพึงพอใจในอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์โลชั่น และเซรั่มสูตรปรับปรุง

ปัจจัยความพึงพอใจ	ผลิตภัณฑ์	คะแนนเฉลี่ย (5)	ร้อยละ (%)
ความพึงพอใจโดยรวม	โลชั่นดอกขาม	3.70	74
	โลชั่นเข็มเงิน	3.05	61
	เซรั่มดอกขาม	4.35	87
	เซรั่มเข็มเงิน	4.00	80
การซึมซาบลงสู่ผิว	โลชั่นดอกขาม	3.65	73
	โลชั่นเข็มเงิน	3.45	69
	เซรั่มดอกขาม	4.05	81
	เซรั่มเข็มเงิน	3.95	79
กลิ่น	โลชั่นดอกขาม	3.10	62
	โลชั่นเข็มเงิน	3.00	60
	เซรั่มดอกขาม	3.35	67
	เซรั่มเข็มเงิน	3.25	65
ความหนืด	โลชั่นดอกขาม	2.95	59
	โลชั่นเข็มเงิน	3.00	60
	เซรั่มดอกขาม	3.45	69
	เซรั่มเข็มเงิน	3.05	61
ความชุ่มชื้น	โลชั่นดอกขาม	3.80	76
	โลชั่นเข็มเงิน	3.50	70
	เซรั่มดอกขาม	4.30	86
	เซรั่มเข็มเงิน	4.30	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์รำข้าวชั้นต้นก่อนการสกัดต้องนำความชื้นในรำข้าวออกสามารถช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ และการเสื่อมคุณภาพสารสำคัญในน้ำมัน โดยเฉพาะรำข้าวดอกขามีความชื้นมากที่สุด รองลงมาคือ ดอกขาม เข้มเงิน และนางคำตามลำดับ ปริมาณความชื้นน้อยที่สุดคือข้าวสาลี พันธุ์ข้าวดอกมะลิ ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดโดยวิธีการเขย่า (stirring) ไม่ผ่านการดัดแปลง หรือ control น้ำมันรำข้าวดอกขามีสีน้ำตาลเข้มมีทั้งส่วนที่เป็นตะกอนและส่วนที่ละลายปนอยู่ในน้ำมันปริมาณมาก รวมทั้งน้ำมันรำข้าวดอกข่าและเข้มเงิน ส่วนน้ำมันรำข้าวนางคำและน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิลักษณะสีเหลืองใส โดยลักษณะทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้มีความสอดคล้องกับผลการตรวจวัดสีรำข้าว

เมื่อทำการวิเคราะห์น้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ด้วยวิธีการเขย่า (stirring) คุณสมบัติเชิงปริมาณได้แก่ ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ รวมทั้งปริมาณสารสำคัญทั้ง 3 ชนิดคือ สารแกมมาออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ในน้ำมันรำข้าวทุกสายพันธุ์ได้ปริมาณใกล้เคียงกับเทคนิคสกัดแบบชอกท์เลต เมื่อพิจารณาถึงข้อได้เปรียบของปัจจัยระยะเวลาการสกัดและปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ น้อยกว่าของการสกัดแบบเขย่า คุณสมบัติเชิงคุณภาพการทดสอบฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการสกัดแบบเขย่าวิธี DPPH และ ABTS ให้ผลแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือดอกข่า เข้มเงิน ขาวดอกมะลิ และนางคำตามลำดับ โดยเฉพาะน้ำมันรำข้าวดอกขาม ดอกข่า และเข้มเงินที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีเขย่าไม่ผ่านความร้อนผลที่ได้แตกต่างกับการสกัดแบบชอกท์เลตผ่านความร้อน เพราะผลของความร้อนตลอดระยะเวลาการสกัดส่งผลให้น้ำมันรำข้าวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำการสกัดแบบเขย่ามาใช้ในการสกัดน้ำมันรำข้าวจากรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลงในทุกสภาวะ รวมทั้งการนำสารสกัดน้ำมันรำข้าวที่มีคุณภาพดีเหมาะสมเป็นส่วนประกอบในตำรับผลิตภัณฑ์บำรุงผิวกาย

รำข้าวมีปริมาณไขมันสูงจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ไลเปสย่อยสลายไขมันที่มีอยู่ในรำข้าวส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันรำข้าว จากผลการศึกษาระบวนการดัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟก่อนการสกัด วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขาม พบว่าการดัดแปลงรำข้าวที่กัลังไฟฟ้า 800 วัตต์ นาน 3 นาทีได้ปริมาณน้ำมันสูง ซึ่งมีสารสำคัญทั้ง 3 ชนิดได้แก่ ปริมาณสารแกมมาออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ได้ปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ control น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกข่าที่ได้จากดัดแปลงกัลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ นาน 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับ control แต่มีประสิทธิภาพทำให้ปริมาณสารแกมมา ออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์เข้มเงินสภาวะ control ได้ผลปริมาณสารทั้ง 4 ชนิดมากกว่าเมื่อเทียบกับการดัดแปลงทุกสภาวะ น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์นางดำที่ได้จากดัดแปลงกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ นาน 1 นาทีได้ผลปริมาณสารทั้ง 4 ชนิด มากกว่าเมื่อเทียบกับ control น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิทั้งปริมาณน้ำมันรำข้าว ปริมาณ สารแกมมาออโรซานอล และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่ได้จากทุกสภาวะการดัดแปลงรำข้าวไม่ แตกต่างกันเมื่อเทียบกับ control ยกเว้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเมื่อเพิ่มความร้อนและระยะเวลา นานขึ้นทำให้ปริมาณที่ได้ลดลง รวมทั้งการวิเคราะห์ผลเชิงคุณภาพในกระบวนการดัดแปลงด้วย วิธีการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้รำข้าวมีสีเข้มขึ้นหรือเกิดการไหม้เมื่อได้รับความร้อนที่ กำลังไฟฟ้าและเวลานานมากขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธี DPPH ABTS และ FRAP มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ น้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกขามทุกสภาวะการดัดแปลงผลการ เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าสูงสุด และการเปลี่ยนแปลงเวลาที่นานขึ้นไม่ส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูล อิสระลดลงและมีฤทธิ์ดีกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันรำข้าวอีก 4 สายพันธุ์ จากผลการศึกษากระบวนการ ดัดแปลงรำข้าวด้วยการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสก่อนการสกัด พิจารณาเปรียบเทียบการใช้ อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 ในแต่ละสายพันธุ์เพื่อให้การทำงานของเอนไซม์มีการ ย่อยองค์ประกอบของรำข้าว พบว่ากระบวนการนี้ส่งเสริมการสกัดปริมาณน้ำมันรำข้าวได้เพิ่มขึ้น รวมทั้งปริมาณสารสำคัญทั้ง 2 ชนิด คือสารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ได้ปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำมันรำข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงในแต่ละสายพันธุ์รำข้าวไร่ ในการดัดแปลงรำข้าวไร่ ด้วยการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสส่งผลให้ปริมาณสารแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าวลดลง อย่างชัดเจน โดยเฉพาะน้ำมันรำข้าวดอกขามไม่พบสารแกมมาออโรซานอลทุกการเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ในสภาวะเอนไซม์ เมื่อตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด น้ำมันรำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ในรูปแบบ DPPH และ FRAP พบว่าน้ำมันรำข้าวไร่ 4 สายพันธุ์ได้แก่ ดอก ขาม ดอกข่า นางดำ และเข้มเงินที่ไม่ผ่านการดัดแปลงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า รำข้าวที่ผ่านการดัดแปลง แต่เมื่อเทียบกับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลในรูปแบบ ABTS<sup>+</sup> ปริมาณ TEAC ใน 4 สายพันธุ์ คือ ดอกข่า เข้มเงิน นางดำ และขาวดอกมะลิที่ผ่านการดัดแปลงรำข้าว ด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์ด้วยปัจจัยเปลี่ยนแปลงการใช้อัตราส่วนรำข้าวต่อบัฟเฟอร์ 1:4 1:6 และ 1:8 เพิ่มความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระดีขึ้นเมื่อเทียบกับ control พิจารณาลำดับ ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดไปจนถึงต่ำที่น้อยที่สุดดังนี้ น้ำมันรำข้าวสาย พันธุ์ดอกขามมีค่าการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมาน้ำมันรำข้าวสายพันธุ์ดอกข่า เข้มเงิน ตามลำดับ ส่วนน้อยที่สุดคือ น้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิซึ่งมีฤทธิ์ใกล้เคียงกับนางดำ

จากการศึกษาการสกัด และการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวไร่เพื่อ ประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง พบว่าน้ำมันรำข้าวดอกขามมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระดี ที่สุดเมื่อเทียบกับรำข้าวไร่สายพันธุ์อื่นๆ และยังมีปริมาณแกมมาออโรซานอลสูงใกล้เคียงกับน้ำมันรำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวเข้มเงิน ดังนั้นจึงนำสารสกัดน้ำมันรำข้าว 2 สายพันธุ์นี้มาใช้เป็นส่วนประกอบ 1 เปอร์เซ็นต์ทุกสูตรปรับปรุงผลิตภัณฑ์บำรุงผิวในรูปแบบเซรัมและโลชั่น ผลการประเมินผลิตภัณฑ์ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่ามีความคงตัวสูงไม่เกิดการแยกชั้น พีเอชอยู่ในช่วง 5.5 ถึง 6 ผลิตภัณฑ์เนื้อเนียนละเอียด และมีกลิ่นหอมจากสารสกัดน้ำมันรำข้าว ผลิตภัณฑ์ที่มีสารสกัดน้ำมันรำข้าวดอกขามได้รับคะแนนความพึงพอใจอาสาสมัครมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีสารสกัดน้ำมันรำข้าวเข้มเงิน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ก่อการระคายเคืองต่ออาสาสมัคร มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ทั้งผลิตภัณฑ์โลชั่นและเซรัมสูตรปรับปรุง สามารถเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวเมื่อทาผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องตลอด 2 สัปดาห์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 รำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ใช้ศึกษา รวมทั้งน้ำมันที่สกัดได้มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน จึงมีผลต่อชนิดและปริมาณสารสำคัญที่พบ ทำให้เมื่อทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจึงมีกลไกการยับยั้งอนุมูลในแต่ละวิธีต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ DPPH ABTS และ FRAP เพื่อสามารถประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวในแต่ละสายพันธุ์ได้อย่างชัดเจน

5.2.2 จากผลการศึกษาเทคนิคการสกัด พบว่าการสกัดแบบซอกซ์เลตให้ผลเชิงปริมาณสารสำคัญมากกว่า แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่สกัดได้มีสีเหลืองอมเขียวด้วยปัจจัยความร้อนตลอดการสกัดและใช้ระยะเวลาานาน ดังนั้นงานวิจัยจึงเลือกใช้การสกัดแบบแช่ เนื่องจากน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้มีลักษณะใส สีเหลืองทอง มีคุณภาพฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่า และสะดวกรวดเร็วถึงความร้อนตลอดการสกัดน้ำมันรำข้าว

5.2.3 เทคนิคการตัดแปลงรำข้าวด้วยวิธีการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เนื่องจากรำข้าวมีลักษณะทางกายภาพแห้งมีความชื้นต่ำทำให้สารละลายบัฟเฟอร์สามารถแทรกเข้าไปในรำข้าวได้มาก ดังนั้นการใช้รำข้าวในแต่ละสายพันธุ์ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณบัฟเฟอร์ในอัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 (w/v) อาจทำให้ปริมาตรบัฟเฟอร์ที่ใช้จริงลดลง มีสถานะไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ทำให้ผลสถานะการเติมและไม่เติมเอนไซม์ได้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน

5.2.4 เทคนิคการตัดแปลงรำข้าวด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟก่อนการสกัดน้ำมันรำข้าว ช่วยส่งเสริมการสกัดปริมาณน้ำมัน สารสำคัญชนิดต่างๆ ได้แก่ สารแกมมาออโรซานอล สารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ รวมทั้งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากรำข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่ผ่านการตัดแปลงให้ได้ปริมาณมากในสถานะแตกต่างกันไป แต่ในเทคนิคการตัดแปลงด้วยการบ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสมีสถานะไม่เหมาะสมจากผลของน้ำในส่วนผสมบัฟเฟอร์ที่ทำให้ปริมาณแกมมาออโรซานอลลดลงจากรำข้าวที่สกัดได้จึงต้องมีการศึกษาต่อไป

5.2.5 งานวิจัยนี้ได้มีการวัดค่าความชุ่มชื้นผิวหนังหลังทาผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องทดสอบผิวหนัง Hydration Moisture เนื่องจากผิวของอาสาสมัครแต่ละคนมีความชุ่มชื้นแตกต่างกัน และกลุ่มอาสาสมัครที่ใช้ทดสอบมีขนาดเล็ก ทำให้ผลค่าเฉลี่ยที่ได้อาจมีค่าคลาดเคลื่อนสูงควรเพิ่มจำนวนอาสาสมัครที่มีลักษณะผิวทดสอบใกล้เคียงกัน เพื่อสามารถนำค่าความชุ่มชื้นมาแปรผลได้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งผลการตรวจความชุ่มชื้นของผิวบริเวณทาผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้นในทุกสัปดาห์อาจเป็นเพราะส่วนประกอบในตำรับผลิตภัณฑ์หรือสารเพิ่มความชุ่มชื้น (Emollient) มีหน้าที่ช่วยให้ผิวอาสาสมัครชุ่มชื้นโดยตรง ส่วนสารสกัดน้ำมันรำข้าวเปรียบเสมือนส่วนผสมมีหน้าที่ป้องกันผิวแห้งจากอนุมูลอิสระหรือมลภาวะจากภายนอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- จินดารัตน์ โดกมลธรรม. 2539. “การคืนสภาพธรรมชาติของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าว.”  
วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย,  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จิราภรณ์ พิงธรรม. 2549. “ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการรีไฟน์น้ำมันรำข้าว.”  
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี บัณฑิตวิทยาลัย,  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชนันภรณ์ ท่าไผ่, ปาณรัตน์ พงษ์ชัยพัทธ์ และพรรณธิดา มะลาพันธ์. 2556. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์  
โลชั่นต้านอนุมูลอิสระที่มีส่วนผสมของสารแกมมา-ออโรซานอลจากข้าว.” วิทยานิพนธ์  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง.
- ณัฐภรณ์ ไม้อ่อนมณี. 2552. “การศึกษาเชิงเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดฟี  
นอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุกสายพันธุ์ต่างๆ.” วิทยานิพนธ์วิทยา  
ศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ดวงกมล เรืองงาม. 2557. “การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ.” *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*.  
23(2). : 120-139.
- นพมาศ มนัสวรากุล. 2545. “การสำรวจปริมาณแกมมาออโรซานอล และวิตามินอีในข้าวไทยสาย  
พันธุ์ต่าง ๆ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี บัณฑิต  
วิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นัยนา บุญทวีวัฒน์ และ เรวดี จงสุวัฒน์. 2545. *น้ำมันรำข้าว ทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย*.  
กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- นิลวรรณ เพชรบุระณิน, จตุพร พรศิลป์พิทย, รพีพรรณ เกตุศิระ และปรีดา ยงสุขสถาพร. 2548.  
ORICE ใครจะคิดว่าข้าวเม็ดเล็กๆ ที่เรากินอยู่ทุกวัน จะมีศักยภาพถึงเพียงนี้. ข้อมูลทาง  
บรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ. กรุงเทพฯ : แท่นทองชัยพัฒน์.
- บังอร วงศ์รักษ์ และ ศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ. 2549. “ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน.”  
ปริญญาเอนกศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- บุญหงษ์ จงคิด. 2549. *ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย  
ลัยธรรมศาสตร์,
- พิมพ์ร ลีลาพรพิสิฐ. 2533. *เครื่องสำอางสำหรับผิวหน้า*. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- พิมพ์พร ลีลาพรพิสิฐ. 2537. อิมัลชันทางเครื่องสำอาง. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- พิมพ์พร ลีลาพรพิสิฐ. 2549. เครื่องสำอางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์สำหรับผิวหน้า. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ร่วมจิตร นกขา, ถิรายุทธ์ วิจิตรภาพ และสตางค์ หัสนันท์. 2553. “การคัดเลือกพันธุ์ข้าวไร่นาวัชพืช.” *ว. วิทยาศาสตร์เกษตร*. 41(3/1) (พิเศษ) : 57-60.
- วราพร พงศ์ธรรมาพานิช. 2543. “การวิเคราะห์เอกลักษณ์และปริมาณโทโคฟีรอล และโอโรซานอลในกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าว.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง, จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ Radical Scavenging Agent. กรุงเทพฯ : พี.เอส.พรินท์.
- โอภา วัชรคุปต์. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ. ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : พี.เอส.พรินท์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Abdul-Hamid, A., Sulaiman, R.R.R., Osman, A. and Saari, N. 2007. “Preliminary study of The chemical composition of rice milling fractions stabilized by microwave heating.” *Journal of Food Composition and Analysis*. 20 : 627-637.
- Abidi, S.L. and Mounts, T.L. 1997. “Reversed-Phase high-Performance liquid chromatographic separations of tocopherols.” *Journal of Chromatography A*. 782 : 767.
- Adom, K.K. and Liu, R.H. 2002. “Antioxidant activity of grains.” *Journal Agricultural Food Chem*. 50(10) : 6182-6187.
- Aggarwal, B.B., Sundaram, C., Prasad, S., and Kannappan, R. 2010. “Tocotrienols, the vitamin E of the 21st century: Its potential against cancer and other chronic diseases.” *Biochemical Pharmacology*. 80(11) : 1613-1631.
- Ahramany, R. and Tsopmo, A. 2012. “Role of carbohydrases on the release of reducing sugar, total phenolics and on antioxidant properties of oat bran.” *Food Chemistry*. 132(1) : 413-418.
- Amarasinghe, B.M.W.P.K. and Gangodavilage, N.C. 2004. “Rice bran oil extraction in SriLanka: data for processe quipment design.” *Food and Bioproducts Processing*. 82 : 54-59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Antolovich, M., Prenzler, P.D., Patsalides, E., McDonald, S. and Robards, K. 2002. "Methods for testing antioxidant activity." *This journal is The Royal Society of Chemistry*. 127 : 183–198.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. *Association of Official Analytical Chemists, Arlington : VA*.
- Arab, F., Alemzadeh, I. and Maghsoudi, V. 2011. "Determination of antioxidant component and activity of rice bran extract." *Scientia Iranica* 18(6) : 1402–1406.
- Azrina, A., Maznah, I. and Azizah, A.H. 2008. "Extraction and Determination of Oryzanol in Rice Bran of Mixed Herbarium UKMB; AZ 6807: MR 185, AZ 6808: MR 211, AZ6809: MR 29." *ASEAN Food Journal*. 15(1) : 89-96.
- Banat, F., Pal, P., Jwaied, N. and Al-Rabadi, A. 2013. "Extraction of Olive Oil from Olive Cake using Soxhlet Apparatus." *American Journal of Oil and Chemical Technologies*. 1(4).
- Burlando, B. and Cornara, L. 2014. "Therapeutic properties of rice constituents and derivatives (*Oryza sativa* L.): A review update." *Trends in Food Science and Technology*. 40 : 82-98.
- Butsat, S. and Siriamornpun, S. 2010. "Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of Thai rice." *Food Chemistry*. 119 : 606–613.
- Canan, C., Cruz, F.T.L., Delarozza, F., Casagrande, R., Sarmiento, C.P.M., Shimokomaki, M. and Ida E.L. 2011. "Studies on the extraction and purification of phytic acid from rice bran." *Journal of Food Composition and Analysis*. 24 : 1057–1063.
- Carrol, L. E. 1990. "Functional properties and applications of stabilized rice in bakery products." *Food Technology*. 74–76.
- Chaiteerapatarapong, S., Thawai, C., and Ruen-ngam, D. 2014 "Alternative Extraction Methods for Oil with High Antioxidant Activity from Upland Rice Bran." *The 12<sup>th</sup> International Symposium on Biocontrol and Biotechnology*. 26–38.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Chakuton K., Puangpronpitag D. and Nakornriab, M. 2012. "Phytochemical Content and Antioxidant Activity of Colored and Non-colored Thai Rice Cultivars." *Asian Journal of Plant Science*. 11 : 285-293.
- Chandrasekara, A. and Shahidi, F. 2010. "Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity." *Journal Agricultural Food Chem*. 58: 6706-6714.
- Chen, M.H. and Bergman, C.J. 2005a. "A rapid procedure for analyzing rice bran tocopherol, tocotrienol and  $\gamma$ -oryzanol contents." *Journal of Food Composition and Analysis*. 18 : 319-331.
- Chen, M.H. and Bergman, C.J. 2005b. "Influence of kernel maturity, milling degree, and milling quality on rice bran phytochemical concentrations." *Cereal Chemistry*. 82 : 4-8.
- Chen Y., Xie M.Y. and Gong X.F. 2007. "Microwave-assisted Extraction used for the Isolation of total Triterpenoid Aaponins from *Ganoderma atrum*." *Journal of Food Engineering*. 81 : 162-170.
- Cheruvanky, R. 2003. "Phytochemical products: rice bran." In *Phytochemical functional foods*. (Johnson, I. T., and Williamson, G., eds). CRC Press; Woodhead Publishing, Boca Raton, Fla.; Cambridge. 347-376.
- Chotimarkorn, C. and Ushio, H. 2008. "The effect of trans-ferulic acid and gamma-oryzanol on ethanol-induced liver injury in C57BL mouse." *Phytomedicine*. 15 : 951-958.
- Clifford, M.N. 2001. "Anthocyanins nature, occurrence and dietary burden." *Journal food Science Agricultural*. 80 : 1063-1072.
- Cicero, A.F.G. and Derosa, G. 2005. "Rice bran and its main components: potential role in the management of coronary risk factors." *Current Topics in Nutra ceutical Research*. 3 : 29-46.
- Devi, R. and Arumughan, C. 2007. "Antiradical efficacy of phytochemical extracts from defatted rice bran." *Food and Chemical Toxicology*. 45 : 2014-2021.
- Dhingra, D., Chopra, S. and Rai, D.R. 2012. "Stabilization of raw rice bran using ohmic heating." *Agricultural Research*. 4 : 392-398.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Diack, M. and Saska, M. 1994. "Separation of vitamin E and  $\gamma$ -oryzanol from rice bran by normal-phase chromatography." *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 71 : 1211-1217.
- Dionisi, F., Prodalliet, J. and Tagliaferri, E. 1995 "Assessment of Olive Oil Adulteration by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography/Amperometric Detection of Tocopherol and Tocotrienols." *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 72 : 1505-1511.
- Duvernay, W.H., Assad, J.M., Sabliov, C.M., Lima, M. and Xu, Z. 2005. "Microwave extraction of antioxidant components from rice bran." *Pharmaceutical Engineering*. 25 : 126-130.
- Eastwood, M.A. 1999. "Interaction of dietary antioxidants in vivo: how fruit and vegetables prevent disease." *The Dublin Quarterly Journal of Medical Science*. 92 : 527-530.
- Eitenmiller, R.R. 1997. "Vitamin E content of Fats and Oils - nutritional Implications." *Food Technology*. 51 : 78-81.
- Gao, X., Bjork, L., Trajkovski, V. and Uggla, M. 2000. "Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in different test systems." *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80 : 2021-2027.
- Guan, H. and Yao, H. 2008. "Optimization of Viscozyme L-assisted extraction of oat bran protein using response surface methodology." *Food Chemistry*. 106 : 345-351.
- Gullón, B., Gullón, P., Tavaría, F., Pintado, M., Gomes, A.M., Alonso, J.L. and Parajó, J. C. 2014. "Structural features and assessment of prebiotic activity of refined Arabinoxyloligosaccharides from wheat bran." *Journal of Functional Foods*. 6 : 438-449.
- Gul, K., Yousuf, B., Singh, A.K., Singh, P. and Wani, A.A. 2015. "Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food-A review." *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 6 : 24-30.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Ha, T.Y., Ko, S.N., Lee, S.M., Kim, H.R., Chung, S.H. and Kim, S.R. 2006. "Changes in nutraceutical lipid components of rice at different degrees of milling." *European Journal of Lipid Science and Technology*. 108 : 175–181.
- Harshal A. Pawar., Priscillar M. and Mello, D. 2011. "Spectrophotometric estimation of total polysaccharides in Cassia tora gum" *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 01 : 93-95.
- Hurrel, R.F. 2004. "Phytic acid degradation as a means of improving iron absorption." *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 74 : 445–452.
- Hwang, S.J., Yoon, W.B., Lee, O.H., Cha, S.J. and Kim, J.D. 2014. "Radical-scavenging-linked antioxidant activities of extracts from black chokeberry and blueberry cultivated in Korea." *Food Chemistry*. 146 : 71–77.
- Juliano, C., Cossu, M., Alamanni, MC., and Piu, L. 2005. "Antioxidant activity of gamma oryzanol : mechanism of action and its effect on oxidative stability of pharmaceutical oils." *International Journal of Pharmaceutics*. 299 : 146-154.
- Kato, S., Karino, K., Hasegawa, J., Nagasaki, A., Eguchi, M. and Ichinose, T. 1995. "Octacosanol affects lipid metabolism in rats fed on a high fat diet." *British Journal of Nutrition*. 73 : 433–442.
- Kasim, A.B. and Edwards Jr.H. 1998. "The analysis for inositol phosphate forms in feed ingredients." *Journal of Food Science and Agriculture*. 76 : 1–9.
- Kim, K.H., Tsao, R., Yang R. and Cui, S.W. 2006. "Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions." *Food Chem*. 95(9) : 466-473.
- Kim, S.M. and Lim, S.T. 2016. "Enhanced antioxidant activity of rice bran extract by carbohydrase treatment." *Journal of Cereal Science*. 68 : 116-121.
- Kochhar, S.P. 2002. "Sesame, rice bran and flaxseed oil." *In Vegetable Oils in Food Technology : Composition, properties and uses, Gunstone, F.D. (Ed.), CRC Press, Florida*. 311.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Lai, P., Li, K.L., Lu, S. and Chen, H.H. 2009. "Phytochemicals and antioxidant properties of solvent extracts from Japonica rice bran." *Food Chemistry*. 117 : 538–544.
- Lakkakula, N., Lima, M. and Walker, T. 2004. "Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating." *Bioresource Technology*. 92 : 157-161.
- Landberg, R., Marklund, M., Kamal-Eldin, A. and Aman, P. 2014. "An update on alkylresorcinols—Occurrence, bioavailability, bioactivity and utility as biomarkers." *Journal of Functional Foods*. 7 : 77–89.
- Lehtinent, P., Kiilainent, K., Lehtomakit, L. and Laaksot, S. 2003. "Effect of heat treatment on lipid stability in processed oat." *Cereal Science*. 37 : 215-221.
- Lerma-Garcia, M.J., Herrero-Martinez, J.M., Simo-Alfonso, E.F., Mendonca, C.R.B. and Ramis-Ramos, G. 2009. "Composition, industrial processing and applications of rice bran  $\gamma$ -oryzanol." *Food Chemistry*. 115 : 389–404.
- Lloyd, B.J., Siebenmorgen, T.J. and Beers, K.W. 2000. "Effects of commercial processing on antioxidants in rice bran." *Cereal Chemistry*. 77 : 551–555.
- Liang, Y., Gao, Y., Lin, Q., Luo, F., Wu, W., Lu, Q. and Liu, Y. 2014. "A review of the research progress on the bioactive ingredients and physiological activities of rice bran oil." *European Food Research and Technology*. 238(2) : 169–176.
- Lqbal, S., Younas, U., Sirajuddin., Chan K.W., Sarfraz, R.A. and Uddin, M. 2012. "Proximate Composition and Antioxidant Potential of Leaves from Three Varieties of Mulberry (*Morus* sp.): A Comparative Study." *International Journal of Molecular Sciences*. 13 : 6651-6664.
- Liu, Z. 2005. "Edible films and coatings from starch." *Innovations in Food Packaging*, 2nd Edition. London: Elsevier Academic Press. 318–332.
- Marty, O. Visscher, PhD. 2009. "Update on the Use of Topical Agents in Neonates." *Newborn and Infant Nursing Reviews*. 9.
- Mauricio A., Rostagno, Miguel P. and Carmelo G.B. 2007. "Microwave assisted Extraction of Soy Isoflavones." *Analytica Chimica Acta*. 588 : 274–282.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Malekian, F., Rao, R.M., Prinyawiwatkul, W., Marshall, W.E., Windhauser, M., and Ahmedna, M. 2000. "Lipase and lipoxygenase activity, functionality, and nutrient losses in rice bran during storage." *Bullet in louisian an agricultural experiment station louisian a state university agricultural center.* 870.
- Miller, G., 1959. "Use of dinitrisalicylic acid reagent for determination of reducing sugars." *Analytical Chemistry.* 31 : 426-429.
- Mitsutoshi, I., Eri, O., Atsushi, K., Akira, Y., Ryota, K. and Masayuki, Y. 2011. "Antioxidant capacities and polyphenol content of colored rice cultivars." *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi.* 58 : 576-582.
- Mizushina, Y., Kuriyama, I., Yamazaki, A., Akashi, T. and Yoshida, H. 2013. "Cycloartenyl trans-ferulate, a component of the bran byproduct of sake-brewing rice, inhibits mammalian DNA polymerase and suppresses inflammation." *Food Chemistry.* 141 : 1000-1007.
- Nam, S.H., Choi, S.P., Kang, M.Y., Koh, H.J., Kozukue, N. and Friedman, M. 2006. "Antioxidant activities of bran extracts from twenty one pigmented rice cultivars." *Food Chemistry.* 94 : 613-620.
- Nicolosi, R.J., Rogers, E.J., Ausman, L.M., and Orthoefer, F.T. 1994. "Rice bran oil and its health benefits." In W. E. Marshall & J. I. Wadsworth (Eds.), *Rice science and technology.* New York : Marcel Dekker. 350-421.
- Oki, T., Masuda, M., Kobayashi, Nishiba, Y., Furuta, S., Suda, I. and Sato, T. 2002. "Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice." *Journal Agricultural food Chemical.* 50 : 7524-7529.
- Oliveira, R., Oliveira, V., Aracava, KK., and Christianne, ECR. 2012. "Effect of extraction condition on the yield and composition of rice bran oil extracted with Ethanol-A response surface approach." *Food and Bioproducts Processing.* 90 : 22-31.
- Orthoefer, F. 1996. "Rice bran oil: health lipid source." *Food Technology.* 50(12) : 62-64.
- Orthoefer, F.T. 2005. "Rice bran oil, In F. Shahidi (Ed), *Bailey's industrial oil and fat Products.*" Hoboken, NY, USA: John Wiley and Son, Inc. 465-489.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Pandey, K.B. and Rizvi, S.I. 2009. "Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease." *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2(5) : 270-278.
- Petal, M. and Naik, S.N. 2004. "Gamma-oryzanol from rice bran oil- A review." *Journal of Scientefific and Industrial Research*. 63 : 569-578.
- Pedro, F., Pinheiro and Gonçalo C. Justino. 2012. "Structural Analysis of Flavonoids and Related Compounds-A Review of Spectroscopic Applications." *Phytochemicals-A Global Perspective of Their Role in Nutrition and Health*. 33-56.
- Pourali, O., Asghari, F.S., Yoshida, H. 2009. "Simultaneous rice bran oil stabilization and extraction using sub-critical water medium." *Journal of Food Engineering*. 95 : 510-516.
- Premakumara, G.A.S., Abeysekera, W.K.S.M., Ratnasooriya, W.D., Chandrasekharan, N.V. and Bentota, A.P. 2013. "Antioxidant, anti-amylase and anti-glycation potential of brans of some Sri Lankan traditional and improved rice (*Oryza sativa* L.) varieties." *Journal of Cereal Science*. 58 : 451-456.
- Prior, R., WU, X. and SCHAICH, K. 2005. "Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements." *Journal Agricultural Food Chem*. 53 : 4290-4302.
- Qiu, Y., Liu, Q. and Beta, T. 2009. "Antioxidant activity of commercial wild rice and identification of flavonoid compounds in active fractions." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57 : 7543-7551.
- Ramezanzadeh, F.M., Rao, R.M., Windhauser, M., Prinyawiwatkul, W., Tulley, R. and Marshall, W.E. 1999. "Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran during storage." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47(8) : 3050-3052.
- Rapport, L.J. 2000. "Nutraceuticals (3): octacosanol." *Pharmaceutical Journal*. 265 : 170-171.
- Rosniyana, A., Hashifah, M.A. and Shariffah, N. 2009. "Nutritiona lcontent and storage stability of stabilized rice bran-MR 220." *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*. 37 : 163-170.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Ruen-Ngam, D., Thawai, C., Nokkoul, R. and Sukonthamut, S. 2014. "Gamma-oryzanol Extraction Form Upland Rice Bran." *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*. 4(4).
- Ruen-Ngam, D., Thawai, C. and Sukonthamut, S. 2016. "Pretreatment to increase yield and antioxidant activity of  $\gamma$ -oryzanol in rice bran oil." *ScienceAsia*. 42 : 75–82.
- Saunders, R. M. 1990. "The properties of rice bran as a foodstuff." *Cereal Foods World*. 35(7) : 632–636.
- Saunders, R.M. 1985. "Rice bran: composition and potential food sources." *Food Reviews International*. 1(3) : 465–495.
- Sharma, H.R., Chauhan, G.S. and Agrawal, K. 2004. "Physico-chemical characteristics of rice bran processed by dry heating a dextrusion cooking." *International Journal of Food Properties*. 7 : 603–614.
- Shen, Y., Jin, Y., 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.
- Shimura, S., Hasegawa, T., Takano, S. and Suzuki, T. 1987. "Studies on the effect of octacosanol on motor endurance in mice." *Nutritional Reproduction International*. 36 : 1029–1038.
- Shin, T.S. and Godber, J.S. 1996. "Changes of endogenous antioxidants and fatty acid composition in irradiated rice bran during storage." *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 44 : 567–573.
- Stoggl, W., Huck, C., Wongyai, S., Scherz, H. and Bonn, G. 2005. "Simultaneous determination of carotenoids, tocopherols, and  $\gamma$ -oryzanol in crude RBO by liquid chromatography coupled to diode array and mass spectrometric detection employing silica C30 stationary phases." *Journal of Separation Science*. 28 : 1712–1718.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Thanonkaew, A., Wongyai, S., McClements J. and Decker, E.A. 2012. "Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil (*Oryza sativa* L.)." *Food Science and Technology*. 48 : 231-236.
- Traber, M.G. and Packer, I. 1995. "Vitamin E: Beyond Antioxidant Function." *American Journal of Clinical Nutrition*. 62 : 1501-1509.
- Tsao, R. 2010. "Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols." *Nutrients*. 2 : 1231-1246.
- Walter, M., and Marchesan, E. 2011. "Phenolic compounds and antioxidant activity of rice." *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 54 : 371-377.
- Wanyo, P., Meeso, N. and Siriamornpun, S. 2014. "Effects of different treatments on the antioxidant properties and phenolic compounds of rice bran and rice husk." *Food Chemistry*. 157 : 457-463.
- Wiriyawattana, P. and Suwonsichon, S. 2014. "Effects of Autoclave Heating and Microwave Heating on Stability and Antioxidant Activity of Riceberry Bran." *The 52<sup>nd</sup> Kasetsart University Annual Conference*.
- Xu, Z.M., and Godber, J.S. 1999. "Purification and identification of components of  $\gamma$ -oryzanol in RBO." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47 : 2724-2728.
- Xu, Z.M., and Godber, J.S. 2000. "Comparison of supercritical-fluid and solvent extraction methods in extracting  $\gamma$ -oryzanol from rice bran." *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 77 : 547-551.
- Xu, Z.M. and Godber, J.S. 2001. "Antioxidant activities of major components of  $\gamma$ -oryzanol from rice bran using a linoleic acid model." *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 78 : 645-649.
- Yao, X., Zhang, D., Zu, Y., Fu, Y., Luo, M., Gu, C., Lia, C. and Mu, F. 2013. "Free radical scavenging capability, antioxidant activity and chemical constituents of *Pyrola incarnata* Fisch. Leaves." *Industrial Crops and Products*. 49 : 247- 255.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Yong, S.J., Xiao-bo, Z., Jie-wen, Z., Holmes, M., Kai-liang, W., Xue, W. and Hong, C. 2012. "Determination of total flavonoids content in fresh Ginkgo biloba leaf with different colors using near infrared spectroscopy." *spectrochimica acta part a molecular and biomolecular spectroscopy*. 94 : 271-276.
- Zhou H. Y. and Liu C. Z. 2006. "Microwave-assisted Extraction of Solanesol from Tobacco Leaves." *Journal of Chromatography A*. 1129 : 135-139.
- คลังความรู้ SCIMATH. 2010. วิตามินอี. [Online]. Available : <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/1873-วิตามินอี.html>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์ . 2010. Triglyceride/ไตรกลีเซอไรด์. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1001/triglyceride-ไตรกลีเซอไรด์.html>.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก การดัดแปลงรำข้าว

### 1. การดัดแปลงรำข้าวด้วยความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟ

ซึ่งรำข้าว 5 กรัม ใส่เพลทแก้วอบในเครื่องไมโครเวฟ รุ่น GE87Q-5 มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 900 วัตต์ เทียบเท่า 100 เพอร์เซ็นต์ เพื่อทำการดัดแปลงรำข้าวจะเลือกใช้กำลังไฟฟ้า 450 เทียบเท่า 50 เพอร์เซ็นต์ 650 เทียบเท่า 70 เพอร์เซ็นต์ และ 800 วัตต์ เทียบเท่า 90 เพอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 1 นาที เป็นสภาวะการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า ส่วนการดัดแปลงรำข้าวสภาวะกำลังไฟฟ้าคงที่ 800 วัตต์ทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในช่วงเวลา 3 ถึง 15 นาที

### 2. การดัดแปลงรำข้าวด้วยการบ่มเอนไซม์

2.1 เตรียมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) ความเข้มข้น 1,375 ยูนิตต่อมิลลิลิตร คำนวณโดยสมการ

$$\text{ความเข้มข้นเอนไซม์ (ยูนิตต่อมิลลิลิตร)} = \text{ความเข้มข้นเอนไซม์ (ยูนิตต่อกรัม)} \times \frac{\text{น้ำหนักของเอนไซม์ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรบัฟเฟอร์ที่ใช้ละลาย (มิลลิลิตร)}}$$
$$1375 \text{ (ยูนิตต่อมิลลิลิตร)} = 29 \text{ (ยูนิตต่อกรัม)} \times \frac{\text{น้ำหนักของเอนไซม์ (กรัม)}}{20 \text{ (มิลลิลิตร)}}$$

ดังนั้นซึ่งน้ำหนักเอนไซม์ = 0.9566 กรัม ละลายในโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ปริมาณ 20 มิลลิลิตร

2.2 เตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ 0.2 โมลาร์ พีเอช 6

เตรียมสารละลายกรดอะซิติก 0.2 โมลาร์ โดยเติมกรดอะซิติกมา 11.45 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 1 ลิตร ส่วนการเตรียมสารละลายเบส ซึ่งโซเดียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) 0.2 โมลาร์ 27.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ผสมสารละลายกรดอะซิติกต่อสารละลายโซเดียมอะซิเตทในอัตราส่วน 11.5 : 88.5 (v/v) ปรับให้บัฟเฟอร์มีค่าความเป็นกรดต่างเป็น 6.0 โดยถ้ามีความเป็นกรดมากเกินไปให้เติมสารละลายเบส แต่ถ้ามีความเป็นด่างมากเกินไปให้เติมสารละลายกรด

2.3 ซึ่งรำข้าว 5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนรำข้าวต่อโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์พีเอช 6 ในอัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) จากนั้นทำการเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) ความเข้มข้น 1,375 ยูนิตต่อมิลลิลิตร 2 มิลลิลิตร บ่มในสภาวะเขย่า (stirring) 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาบ่มทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อแยกเอาแต่ส่วนรำข้าวมาสกัดด้วยเอทานอล 95 เพอร์เซ็นต์ และส่วนใสนำไปวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซ์ เพื่อดูค่าการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

## การสกัดแบบเขย่า (Stirring)

### 1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 ชั่งรำข้าว 5 กรัม (ตัวอย่างรำข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลง (control) และรำข้าวที่ผ่านการดัดแปลง) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.2 เติมหักทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ลงไปในอัตราส่วน 1:5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) หักขวดรูปชมพู่ด้วยแผ่นฟอยล์ป้องกันการโดนแสง

1.3 นำไปวางไว้ในเครื่องเขย่า (Shaker) ตั้งค่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เขย่าเป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิห้อง

### 2. การเก็บรักษาสารสกัดในหักทำละลาย

เมื่อครบเวลาสกัด 30 นาที ทำการกรองด้วยกระดาษกรองวอทแมนเบอร์ 1 ชั้น 2 ชั้น แยกส่วนรำข้าวออกจากส่วนสารสกัดในหักทำละลาย และนำส่วนใสที่ได้ไปเก็บไว้ในตู้หมักเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในขวดสีชาเพื่อรอทำการระเหยหักทำละลายในขั้นตอนต่อไป

### 3. สภาวะที่ใช้ในการระเหยหักทำละลายด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ (Evaporator)

สภาวะที่ใช้ในการระเหยหักทำละลายเอทานอลออกจากสารสกัดน้ำมันรำข้าว คือ ตั้งค่าอ่างควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบในการหมุนเป็น 150 รอบต่อนาที และควบคุมความดันที่ช่วง 50 ถึง 200 มิลลิบาร์

### 4. การเก็บรักษาตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว

สารสกัดน้ำมันรำข้าวอยู่ในภาชนะไวแอลขวดสีชาเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่มีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ต่อไป

## การคำนวณหาปริมาณน้ำมันรำข้าว (Yield)

ปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ (crude oil) แสดงค่าในหน่วยกรัมต่อกรัมน้ำหนักรำข้าว (g crude oil/g DW)

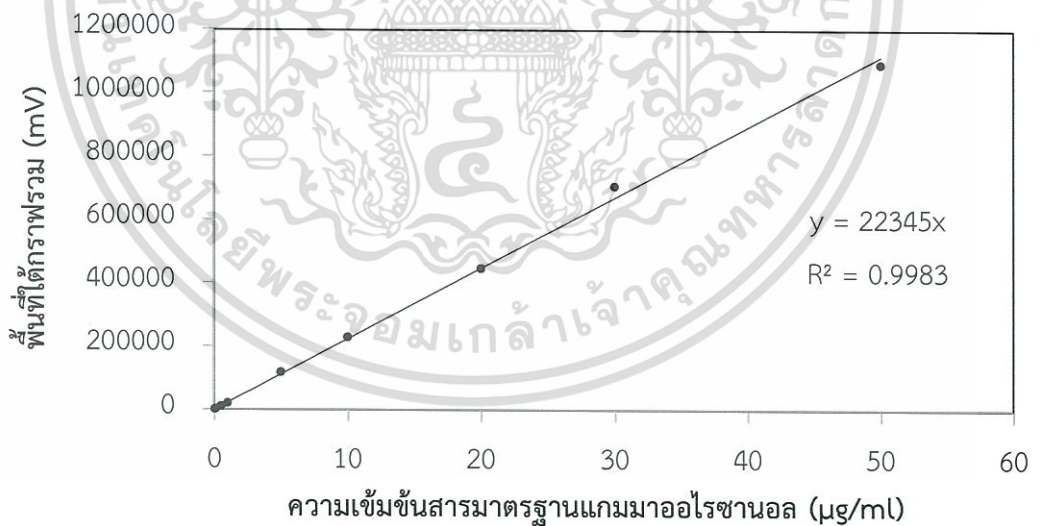
$$\text{สารสกัดน้ำมันรำข้าว (กรัมต่อกรัมน้ำหนักรำข้าวแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักสารสกัดน้ำมันรำข้าว (กรัม)}}{\text{น้ำหนักรำข้าวแห้ง (กรัม)}}$$

## ภาคผนวก ข

### 1. กราฟมาตรฐานออโรซานอล

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นสารมาตรฐานออโรซานอลกับพื้นที่ใต้กราฟ HPLC

ความเข้มข้น สารมาตรฐานออโรซานอล ( $\mu\text{g/ml}$ )	พื้นที่ใต้กราฟ (mV)
0.05	1118.67
0.1	2175.67
0.5	10376.33
1	20012.33
5	117834.33
10	228653.33
20	446584.33
30	707316.00
50	1093580.67



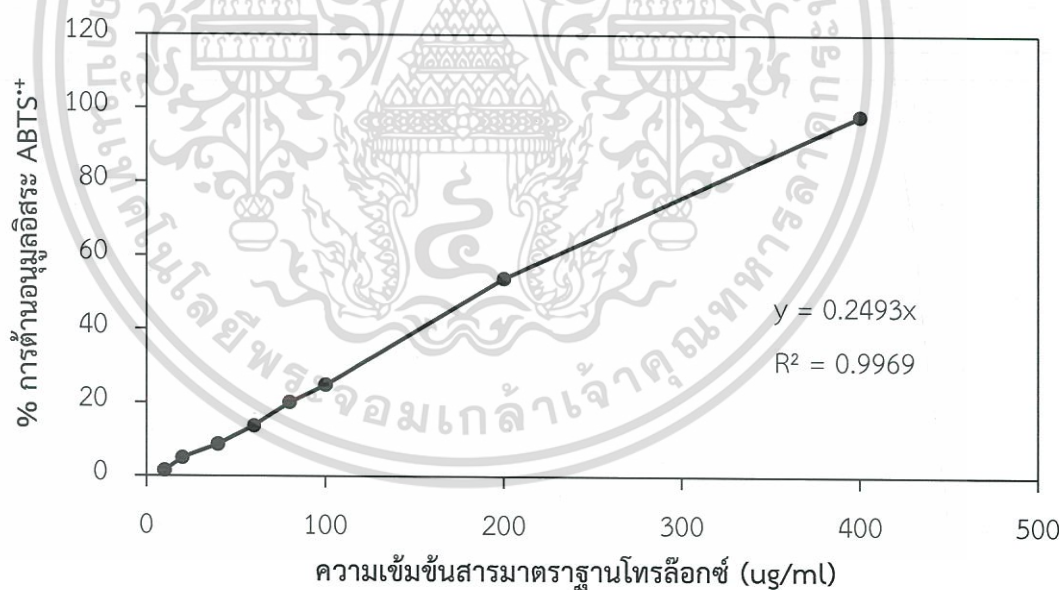
รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานแกมมาออโรซานอล ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับพื้นที่ใต้กราฟ (mV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. กราฟมาตรฐานโทรลือกซ์ในวิธี ABTS

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นสารมาตรฐานโทรลือกซ์ ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup>

ความเข้มข้น สารมาตรฐานโทรลือกซ์ ( $\mu\text{g/ml}$ )	เปอร์เซ็นต์ การต้านอนุมูลอิสระ ABTS <sup>•+</sup>
10	1.504466
20	5.030559
40	8.697696
60	13.72826
80	20.12224
100	24.87071
200	53.83169
400	98.02539



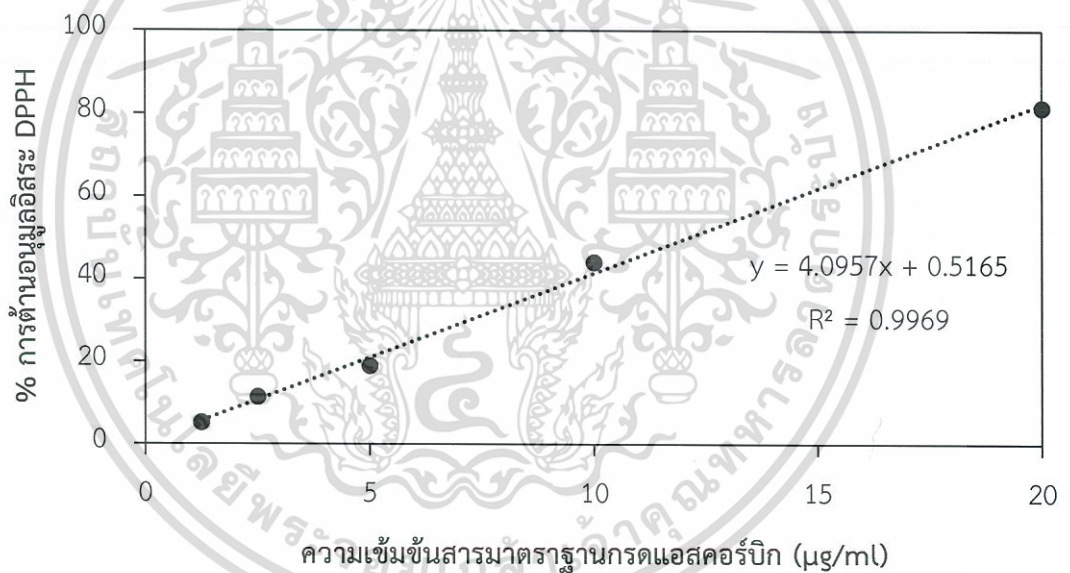
รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานโทรลือกซ์ ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. กราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกในวิธี DPPH

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ความเข้มข้น สารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ( $\mu\text{g/ml}$ )	เปอร์เซ็นต์ค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
1.25	5.17
2.5	11.42
5	19.04
10	44.11
20	81.55

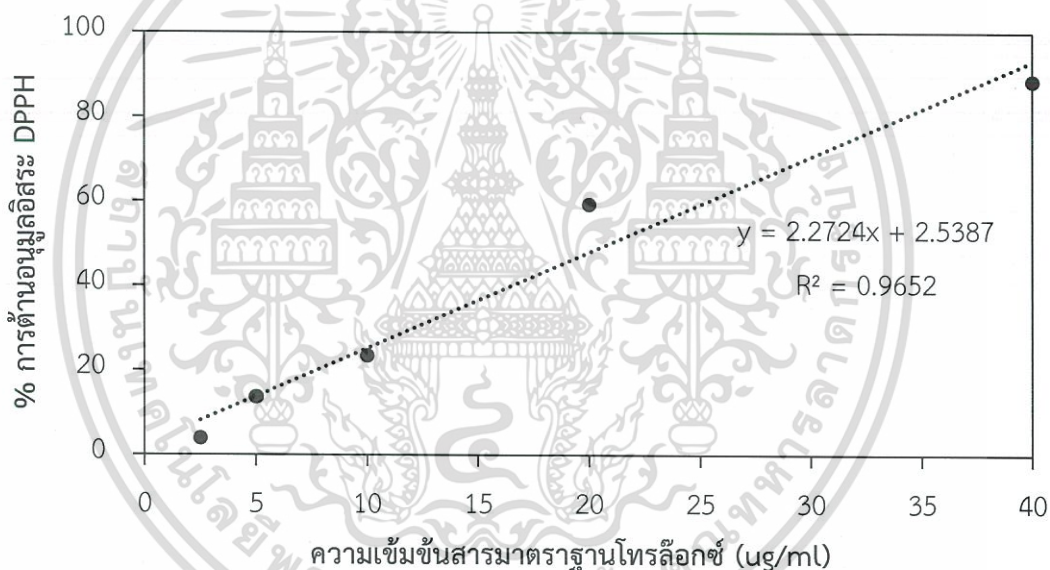


รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

#### 4. กราฟมาตรฐานโทรลือกซ์ในวิธี DPPH

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นสารมาตรฐานโทรลือกซ์ ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ความเข้มข้นสารมาตรฐานโทรลือกซ์ ( $\mu\text{g/ml}$ )	เปอร์เซ็นต์ค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
2.5	3.85
5	13.72
10	23.43
20	59.25
40	88.55

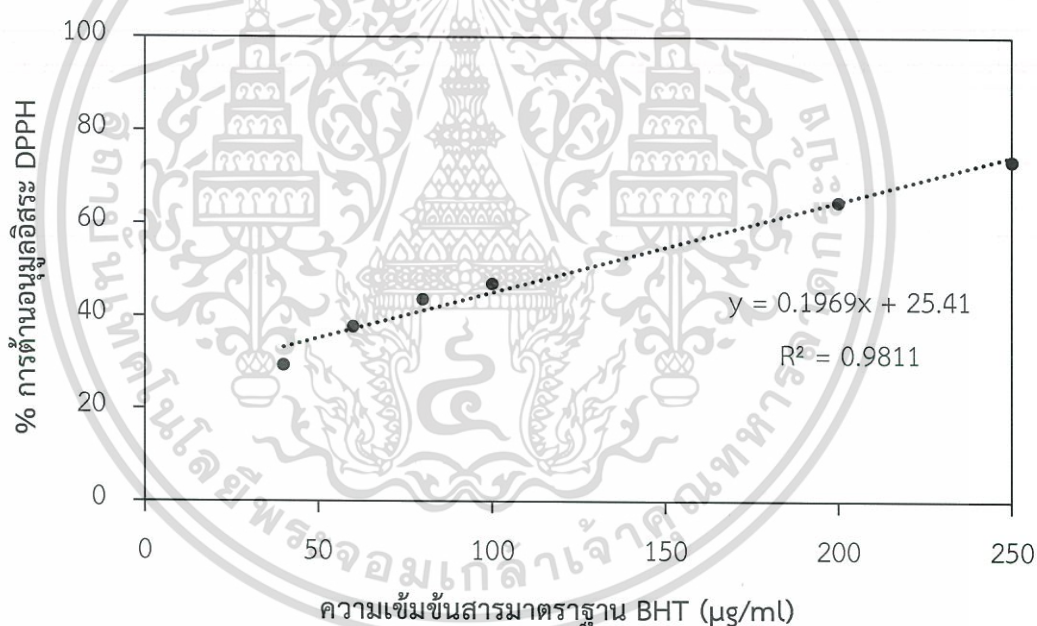


รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานโทรลือกซ์ ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

## 5. กราฟมาตรฐาน BHT ในวิธี DPPH

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นสารมาตรฐาน BHT ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ความเข้มข้น สารมาตรฐาน BHT ( $\mu\text{g/ml}$ )	เปอร์เซ็นต์ค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
40	29.40
60	37.79
80	43.66
100	47.02
200	64.73
250	73.61

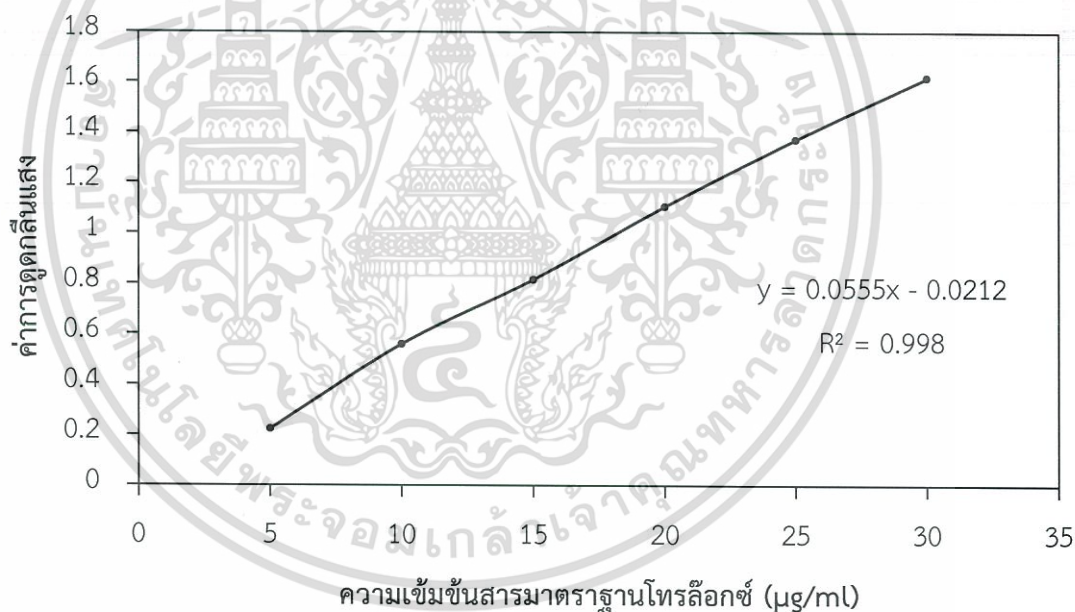


รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐาน BHT ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

## 6. กราฟมาตรฐานโทรลือกซ์ในวิธี FRAP

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นสารมาตรฐานโทรลือกซ์ ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับค่าการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้น สารมาตรฐานโทรลือกซ์ ( $\mu\text{g/ml}$ )	ค่าการดูดกลืนแสง
5	1.619
10	1.373
15	1.105
20	0.816
25	0.559
30	0.224



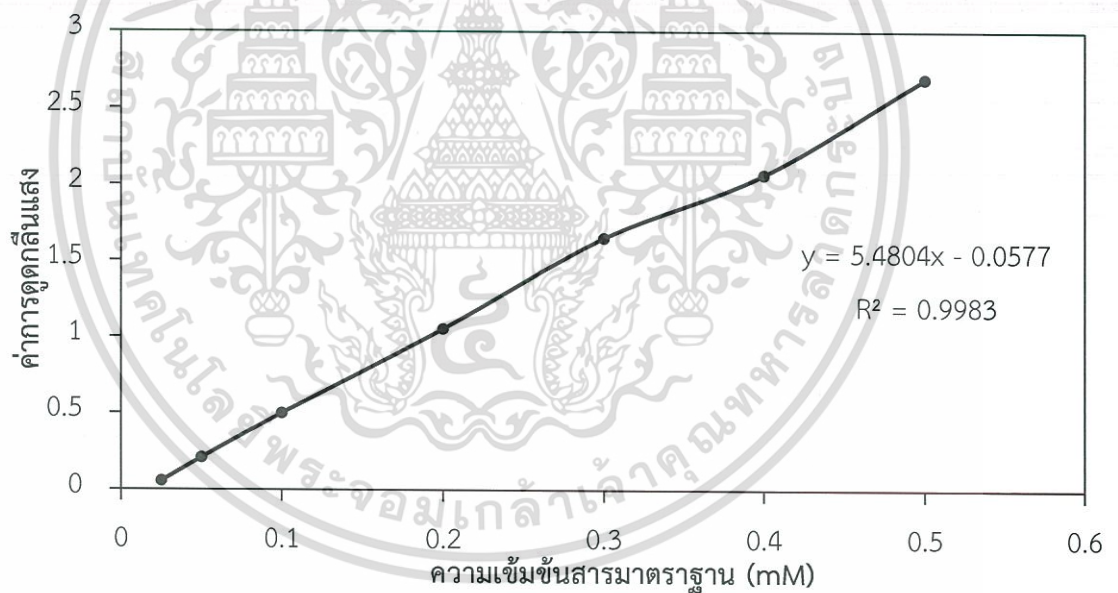
รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานโทรลือกซ์ ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับค่าการดูดกลืนแสงวิธี FRAP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. กราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตในวิธี FRAP

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{Fe}_2\text{SO}_4$ ) (mM) กับค่าการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้น สารมาตรฐาน $\text{Fe}_2\text{SO}_4$ (mM)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.025	0.056
0.05	0.208
0.10	0.500
0.20	1.054
0.30	1.651
0.40	2.066
0.50	2.692



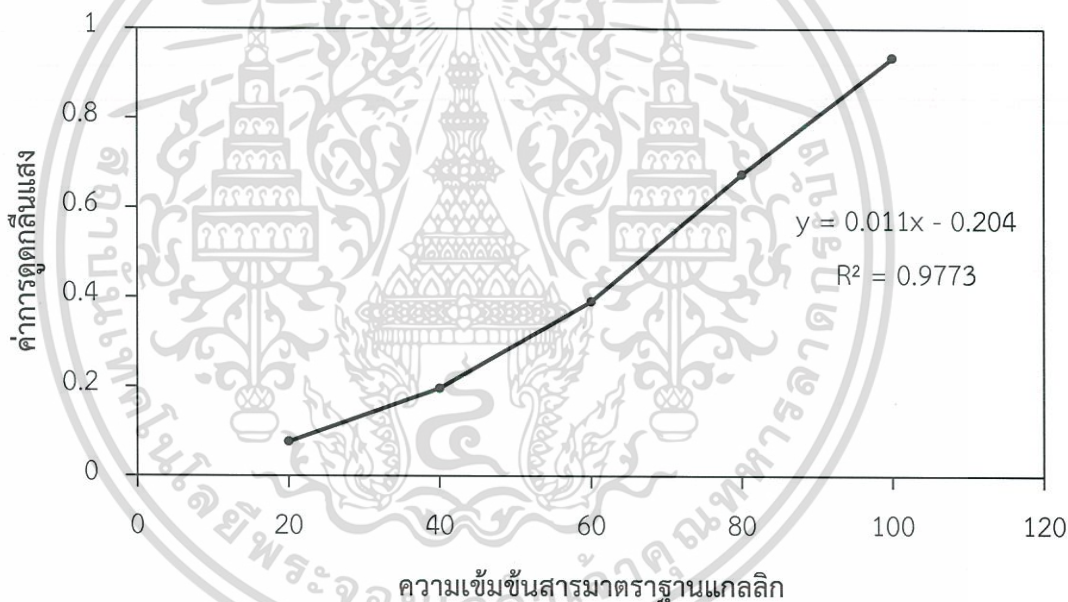
รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต  $\text{Fe}_2\text{SO}_4$  (mM) กับค่าการดูดกลืนแสงวิธี FRAP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. กราฟมาตรฐานแกลลิก

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นสารมาตรฐานแกลลิก ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับค่าการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้นสารมาตรฐาน แกลลิก ( $\mu\text{g/ml}$ )	ค่าการดูดกลืนแสง
20	0.077
40	0.196
60	0.390
80	0.674
100	0.936



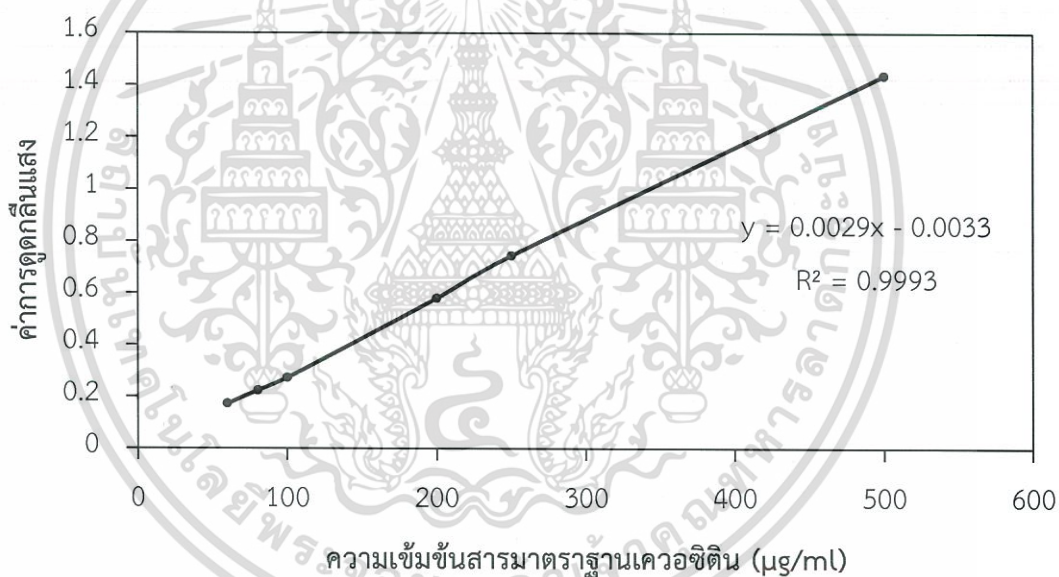
รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารมาตรฐานแกลลิก ( $\mu\text{g/ml}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9. กราฟมาตรฐานเคออซีติน

ตารางที่ 9 ความเข้มข้นสารมาตรฐานเคออซีติน ( $\mu\text{g/ml}$ ) กับค่าการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้นสารมาตรฐานเคออซีติน ( $\mu\text{g/ml}$ )	ค่าการดูดกลืนแสง
60	0.172
80	0.223
100	0.273
200	0.579
250	0.744
500	1.437



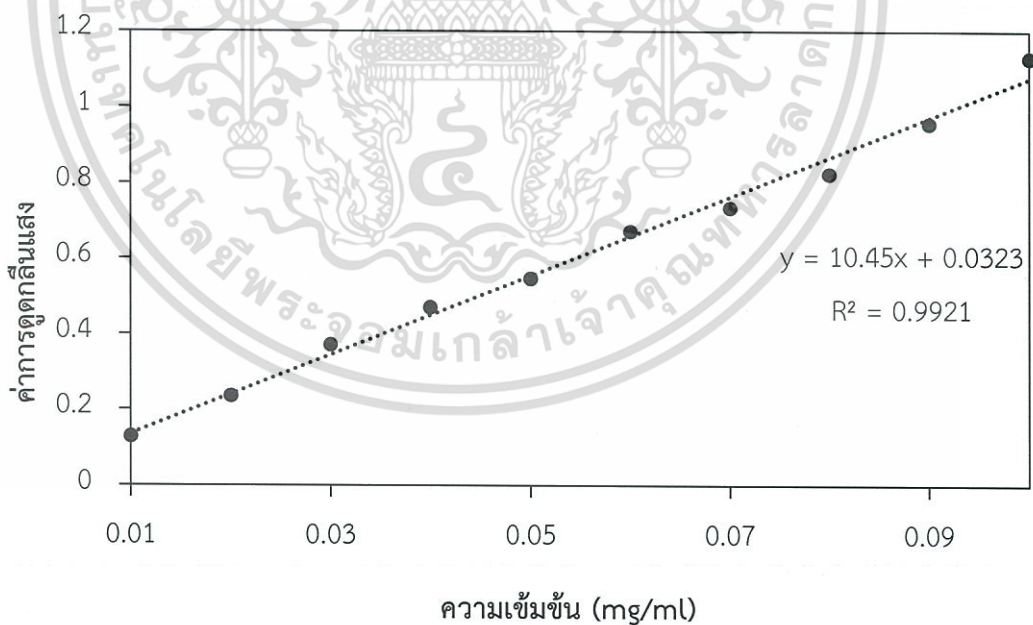
รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นสารมาตรฐานเคออซีติน ( $\mu\text{g/ml}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 10. กราฟมาตรฐานกลูโคสวิธีฟีนอลซัลฟิวริก

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นสารมาตรฐานกลูโคสกับค่าดูดกลืนแสงวิธีฟีนอลซัลฟิวริก

ความเข้มข้น สารมาตรฐานกลูโคส ( $\mu\text{g/ml}$ )	ค่าดูดกลืนแสง
0.01	0.1287
0.02	0.2357
0.03	0.3710
0.04	0.4703
0.05	0.5470
0.06	0.6720
0.07	0.7347
0.08	0.8243
0.09	0.9570
0.1	1.1297



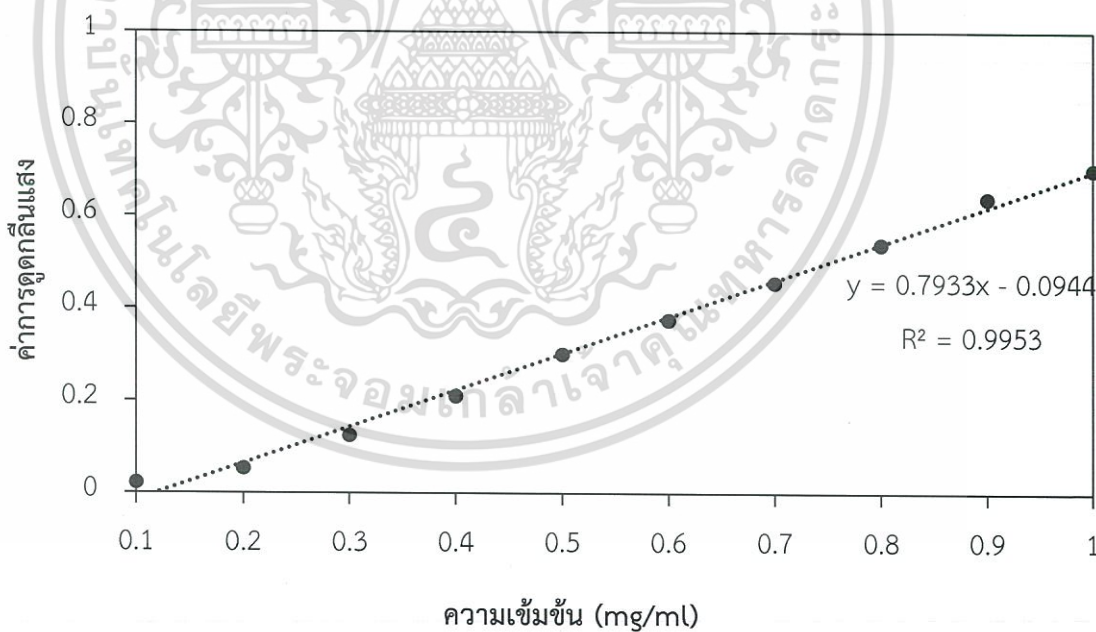
รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานกลูโคสกับค่าดูดกลืนแสง (mg/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. กราฟมาตรฐานกลูโคสวิธี DNS

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นสารมาตรฐานกลูโคสกับค่าดูดกลืนแสงวิธี DNS

ความเข้มข้น สารมาตรฐานกลูโคส (µg/ml)	ค่าดูดกลืนแสง
0.1	0.0220
0.2	0.0533
0.3	0.1247
0.4	0.2100
0.5	0.3003
0.6	0.3747
0.7	0.4553
0.8	0.5387
0.9	0.6383
1	0.7013



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานกลูโคสกับค่าดูดกลืนแสง (mg/ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การวิเคราะห์ปริมาณสารแอมมาอโรซานอลด้วยเครื่อง HPLC รุ่น Alliance 2690

#### 1. การเตรียมเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)

เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ตัวทำละลายชนิด HPLC grade ประกอบด้วยเมทานอล ไอโซโพรพานอล และเอทิลอะซิเตท ผสมกันในอัตราส่วน 47.5 : 40 : 12.5 (v/v) ตามลำดับ นำไปกรองผ่านแผ่นกรองขนาด 0.22 ไมโครเมตร จากนั้นจึงไปทำการสันสะเทือนด้วยคลื่นเสียงเพื่อไล่อากาศออกจากเฟสเคลื่อนที่

#### 2. การเตรียมกราฟมาตรฐานแอมมาอโรซานอล

2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานแอมมาอโรซานอลช่วงความเข้มข้นคือ 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 20, 30 และ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการละลายหรือเจือจางด้วยตัวทำละลายเฟสเคลื่อนที่

2.2 นำสารละลายมาตรฐานแอมมาอโรซานอลแต่ละความเข้มข้นมากรองผ่านหัวกรองตัวอย่างชนิด PTFE ที่มีขนาดรูพรุน 0.22 ไมโครเมตร ก่อนนำไปฉีดเข้าเครื่อง HPLC

2.3 ฉีดสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ และนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นแอมมาอโรซานอลกับพื้นที่ใต้กราฟโครมาโทแกรม (พีคช่วงเวลาที่ 5.5 ถึง 6.2)

#### 3. การเตรียมตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว

เตรียมตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยละลายตัวอย่างในเฟสเคลื่อนที่ที่ละลายให้เข้ากันจนได้สารละลายใส แล้วกรองผ่านหัวกรองตัวอย่างชนิดพีทีเอฟอี (PTFE) ที่มีขนาดรูพรุน 0.22 ไมโครเมตร จากนั้นฉีดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร เข้าไปในเครื่อง RP-HPLC หาพื้นที่ใต้พีคในแต่ละตัวอย่าง โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำแล้วนำข้อมูลพื้นที่ใต้กราฟโครมาโทแกรมของตัวอย่างที่ได้คำนวณปริมาณแอมมาอโรซานอล แทนค่าในสมการเส้นตรงคิดเทียบกับกราฟมาตรฐานแอมมาอโรซานอล ( $Y=22345X$ ,  $R^2=0.9983$ ) ของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว

4. การคำนวณเทียบกับกราฟสารมาตรฐานแกมมาอโรซานอล

เทียบปริมาณแกมมาอโรซานอลของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวกับสมการ  $y=22345x$ ,  $R^2=0.9983$  ของกราฟมาตรฐานแกมมาอโรซานอลดังสมการ

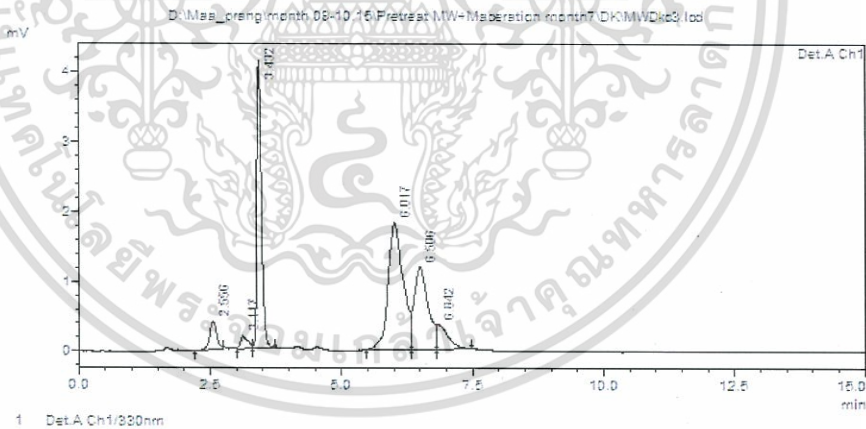
$$\text{ปริมาณแกมมาอโรซานอล (mg/ml)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีค}}{22345}$$

เนื่องจากสารละลายตัวอย่าง (stock solution) ที่เตรียมมีความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร จะสามารถแสดงค่าในหน่วยกรัมแกมมาอโรซานอลต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดน้ำมันรำข้าว (mg oryzanol/g crude oil) โดยเทียบจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณแกมมาอโรซานอล (mg/g crude oil)} = \frac{\text{ปริมาณแกมมาอโรซานอล (mg/ml)}}{0.1 \text{ mg crude oil/ml}}$$

$$\text{ปริมาณแกมมาอโรซานอล (mg/g DW)} = \frac{\text{ปริมาณแกมมาอโรซานอล (mg/g crude oil)}}{\text{น้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ (g crude oil/g DW)}}$$

4.1 ตัวอย่างโครมาโทแกรมน้ำมันรำข้าวดอกขามสภาวะ control



Detector A Ch1 350nm

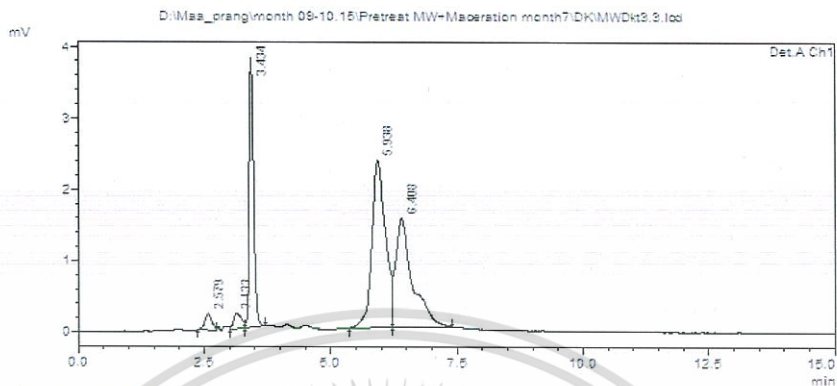
PeakTable

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	2.556	4029	412	4.281	5.110
2	3.117	1882	185	2.000	2.284
3	3.482	25437	4112	27.024	51.056
4	6.017	35635	1519	37.860	20.582
5	6.566	22082	1175	23.461	14.592
6	6.842	3058	392	3.274	4.868
Total		94124	8054	100.000	100.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตัวอย่างโครมาโทแกรมน้ำมันรำข้าวดอกขามสภาวะ 800 วัตต์ 3 นาที

<Chromatogram>

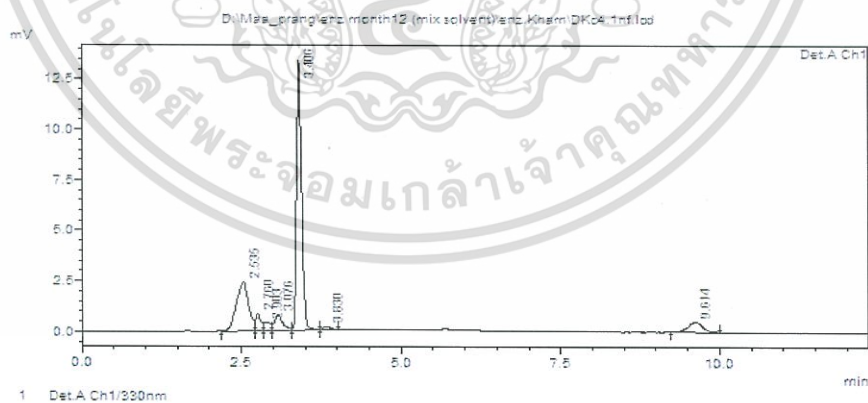


Detector A Ch1 330nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	2.579	2596	229	2.760	3.822
2	3.153	2592	229	2.599	3.817
3	3.434	22677	3781	21.379	46.520
4	5.938	45099	2353	41.494	28.957
5	6.403	25174	1665	22.562	18.884
Total		108018	8127	100.000	100.000

4.3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมน้ำมันรำข้าวดอกขามสภาวะเดิมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

<Chromatogram>



Detector A Ch1 330nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	2.555	31901	2412	24.845	19.094
2	2.760	4985	851	3.882	4.510
3	3.003	2897	400	2.266	2.170
4	3.078	6882	762	5.399	4.194
5	3.406	72537	13952	56.487	72.482
6	3.820	1356	172	1.041	0.296
7	9.614	7874	482	6.182	3.478
Total		126412	18421	100.000	100.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

### 1. การเตรียมกราฟมาตรฐานแกลลิก (Gallic acid)

1.1 สารละลายมาตรฐานแกลลิกช่วงความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร โดยทำการละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์

1.2 นำไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent เจือจางด้วยน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:9 (v/v) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์โบเนต 10 เปอร์เซ็นต์ (10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

1.3 วัดค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความเข้มข้นความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นแกลลิกกับค่าการดูดกลืนแสง

1.4 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ( $Y=0.011X-0.204$ ,  $R^2=0.9983$ ) ใช้ในการคำนวณ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวเทียบกับสารมาตรฐานแกลลิก

### 2. การเตรียมตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว

เตรียมตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร โดยละลายตัวอย่างในตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ละลายให้เข้ากันจนได้ สารละลายใส นำไปทำปฏิกิริยาเช่นเดียวกับสารมาตรฐาน ค่าการดูดกลืนที่วัดได้ไปแทนสมการ เส้นตรง คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเทียบกับสารมาตรฐานแกลลิก (Gallic Acid Equivalent) ของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวแสดงในหน่วยมิลลิกรัมแกลลิกต่อสารสกัดน้ำมันรำข้าว (mg GAE/g crude oil)

### 3. การคำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐานแกลลิก

เทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว กับสมการ  $Y=0.011X-0.204$ ,  $R^2=0.9983$  ของกราฟมาตรฐานแกลลิก เนื่องจากสารละลายตัวอย่าง (stock solution) ที่เตรียมมีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะสามารถแสดงในหน่วยมิลลิกรัมแกลลิก ต่อกรัมน้ำหนักรำข้าว (mg GAE/g DW) โดยเทียบจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE/g crude oil)} = \left( \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} + 0.204}{0.011} \right) \div 2 \text{ mg crude oil/ml}$$

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE/g DW)} = \frac{\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE/g crude oil)}}{\text{น้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ (g crude oil/g DW)}}$$

## การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

### 1. การเตรียมกราฟมาตรฐานเคอควิติน (Quercetin)

1.1 สารละลายมาตรฐานเคอควิตินช่วงความเข้มข้น 60, 80, 100, 200, 250 และ 500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่โครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร โดยทำการละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์

1.2 นำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไนไตรต์ 5 เปอร์เซ็นต์ ( $\text{NaNO}_2$  5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) ปริมาณ 150 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน

1.3 นำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ 10 เปอร์เซ็นต์ ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

1.4 นำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ ( $\text{NaOH}$  5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

1.5 ทำการบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 40 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความเข้มข้น ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

1.6 นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นควอซิทินกับค่าการดูดกลืนแสง

1.7 กราฟมาตรฐานควอซิทิน ( $Y=0.0029X-0.0033$ ,  $R^2=0.9993$ ) ใช้ในการคำนวณ ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวเทียบกับสารมาตรฐานควอซิทิน

## 2. การเตรียมตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว

เตรียมตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร โดยละลายตัวอย่างในตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ละลายให้เข้ากันจนได้ สารละลายใส นำไปทำปฏิกิริยาเช่นเดียวกับสารมาตรฐาน นำค่าการดูดแสงที่วัดได้ไปแทนสมการเส้นตรง คำนวณปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เทียบกับสารมาตรฐานควอซิทิน (Quercetin Equivalent) ตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวแสดงในหน่วยมิลลิกรัมควอซิทินต่อสารสกัดน้ำมันรำข้าว (mg QE/g crude oil)

## 3. การคำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐานควอซิทิน

เทียบปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว กับสมการ  $Y=0.0029X-0.0033$ ,  $R^2=0.9993$  ของกราฟมาตรฐานควอซิทิน เนื่องจากสารละลายตัวอย่าง (stock solution) ที่เตรียมมีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะสามารถแสดงในหน่วยมิลลิกรัมควอซิทินต่อกรัมน้ำหนักรำข้าว (mg QE/g DW) โดยเทียบจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg QE/g crude oil)} = \left( \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} + 0.0033}{0.0029} \right) \div 2 \text{ (mg crude oil/ml)}$$

$$\text{ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg QE/g DW)} = \frac{\text{ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg QE/g crude oil)}}{\text{น้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ (g crude oil/g DW)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

#### 1. การเตรียมสารละลาย DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

1.1 เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.20 มิลลิโมลาร์ (มวลโมเลกุลของ DPPH เท่ากับ 394.32 กรัม) โดยชั่ง DPPH มา 0.0040 กรัม ละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรจนได้ 50 มิลลิลิตร

1.2 ละลายด้วยเครื่องคลื่นเสียงความถี่สูง (sonicator) เป็นเวลา 15 นาที

1.3 กรองผ่านแผ่นกรองที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร หรือใช้กระดาษกรองวอทแมน เบอร์ 1 ซ้อนกัน 2 ชั้น

1.4 เก็บไว้ในตู้แช่เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจนกระทั่งนำไปทดสอบปฏิกิริยา

#### 2. การเตรียมกราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก BHT และ Trolox

2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ช่วงความเข้มข้น 1.25, 2.5, 5, 10 และ 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยละลายในตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐาน BHT ช่วงความเข้มข้น 40, 60, 80, 100, 200 และ 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยละลายในตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

2.3 เตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox ช่วงความเข้มข้น 2.5, 5, 10, 20 และ 40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยละลายในตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

2.4 นำสารละลายมาตรฐานทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ลงในเพลท (96-well plate) หลุมละ 100 ไมโครลิตร ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างแต่ละความเข้มข้น (Blank) ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ (microplate reader)

2.5 จากนั้นเติมสารละลาย DPPH 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตรลงในแต่ละหลุมตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ ในอัตราส่วน 1:1 (v/v)

2.6 บ่มในที่มืดนาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์

2.7 นำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) คำนวณดังสมการ เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานกับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ หรือ รายงานผลเป็นค่าความเข้มข้นสารสกัดที่ยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC<sub>50</sub>)

### 3. การเตรียมสารละลายสารสกัดน้ำมันรำข้าว

3.1 เตรียมสารสกัดตัวอย่างที่ความเข้มข้นช่วงความเข้มข้น 0.1 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าว โดยละลายในตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

3.2 นำสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ลงในเพลท (96-well plate) หลุมละ 100 ไมโครลิตร ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างแต่ละความเข้มข้น (Blank) ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์

3.3 จากนั้นเติมสารละลาย DPPH 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตรลงในแต่ละ หลุมตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ ในอัตราส่วน 1:1

3.4 บ่มในที่มืดนาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์

3.5 นำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (การดักจับอนุมูลอิสระ) คำนวณตั้งสมการ หรือ รายงานผลเป็นค่าความเข้มข้นสารสกัดที่ยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ( $IC_{50}$ )

สมการคำนวณเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition)

$$\%inhibition = \frac{[ (A_{DPPH} - A_{Blank DPPH}) - (B_{sample} - B_{Blank sample}) ]}{(A_{DPPH} - A_{Blank DPPH})} \times 100$$

โดย  $A_{DPPH}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH  
 $A_{Blank DPPH}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลายที่ใช้ละลายสาร DPPH  
 $B_{Sample}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดในแต่ละความเข้มข้นที่  
 ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH  
 $B_{Blank Sample}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดในแต่ละความเข้มข้น  
 ก่อนทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

ตารางที่ 12 สารแกมมาออโรซานอลในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ความเข้มข้น แกมมาออโรซานอล (mg/ml)	การต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition)	$IC_{50}$ (mg/ml)
0.025	30.59	0.065 mg/ml
0.05	44.37	
0.1	57.80	
0.25	76.91	
0.5	85.51	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup>

### 1. การเตรียมสารละลายอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup>

1.1 เตรียมสารละลาย ABTS 7 มิลลิโมลาร์ (มวลโมเลกุลของ ABTS เท่ากับ 548.68 กรัม) โดยชั่งสาร ABTS 0.192 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้เป็น 50 มิลลิลิตร)

1.2 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 2.45 มิลลิโมลาร์ (ชั่งสาร  $K_2S_2O_8$  0.0331 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร)

1.3 ผสมสารระหว่างสารละลาย ABTS และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $K_2S_2O_8$ ) ในอัตราส่วน 1:1 ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

### 2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน Trolox

2.1 เตรียมสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ (positive control) ที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200 และ 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.2 นำสารละลายผสม ABTS<sup>•+</sup> ที่เตรียมไว้เจือจางด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ให้มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง  $0.70 \pm 0.03$  ช่วงความยาวคลื่นแสง 734 นาโนเมตร (ใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เป็น Blank และ negative control) เพื่อใช้ในการทดสอบปฏิกิริยากันสารละลายมาตรฐาน

2.3 นำสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ ใส่ในหลอดทดลอง 40 ไมโครลิตร จากนั้นทำการเติมสารละลาย ABTS<sup>•+</sup> 2 มิลลิลิตร บ่มปฏิกิริยาในที่มืด 6 นาที

2.4 เมื่อครบเวลาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

2.5 นำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานโทรล็อกซ์กับค่าการดูดกลืนแสง

2.6 สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานโทรล็อกซ์ ( $Y=0.2493X$ ,  $R^2=0.9969$ ) ใช้เทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ของสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ กับ ตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว

### 3. การเตรียมสารละลายสารสกัดน้ำมันรำข้าว

3.1 เตรียมสารสกัดตัวอย่างที่ความเข้มข้นช่วงความเข้มข้น 0.25 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าว โดยละลายในตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

3.2 นำสารละลายผสม ABTS<sup>•+</sup> ที่เตรียมไว้เจือจางด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ให้มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง  $0.7 \pm 0.03$  ช่วงความยาวคลื่นแสง 734 นาโนเมตร (ใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์เป็น Blank และ negative control) เพื่อใช้ในการทดสอบปฏิกิริยากันสารละลายมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 นำสารละลายตัวอย่าง เอทานอลเบลงก์ หรือ สารมาตรฐาน Trolox ใส่ในหลอดทดลอง 40 ไมโครลิตร จากนั้นทำการเติมสารละลาย ABTS<sup>•+</sup> ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ป่มปฏิกิริยาในที่มืด 6 นาที

3.4 เมื่อครบเวลาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

3.5 นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวมาคำนวณเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ของสารมาตรฐาน Trolox (Trolox equivalent antioxidant capacity) แสดงในหน่วยมิลลิกรัม Trolox ต่อสารสกัดน้ำมันรำข้าว (mg TEAC/g crude oil)

#### 4. การคำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox

เทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวกับสมการ  $Y=0.2493X$ ,  $R^2=0.9969$  ของกราฟมาตรฐาน Trolox เนื่องจากสารละลายตัวอย่าง (stock solution) ที่เตรียมมีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะสามารถแสดงค่าในหน่วยกรัม Trolox ต่อกรัม น้ำหนักรำข้าว (mg TEAC/g DW) โดยเทียบจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณ Trolox (mg TEAC/g crude oil)} = \left( \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง}}{0.2493} \right) \div 1 \text{ (mg crude oil/ml)}$$

$$\text{ปริมาณ Trolox (mg TEAC/g DW)} = \frac{\text{ปริมาณ Trolox (mg TEAC/g crude oil)}}{\text{น้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ (g crude oil/g DW)}}$$

## การทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์วิธี FRAP

### 1. การเตรียมสารละลาย FRAP

1.1 เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท 300 มิลลิโมลาร์ พีเอช 3.6 (ซึ่งโซเดียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) 1.5 กรัม เติมกรดอะซิติกมา 8 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 0.5 ลิตร ปรับให้บัฟเฟอร์มีค่าความเป็นกรดพีเอช 3.6)

1.2 เตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 20 มิลลิโมลาร์ (ซึ่งเฟอร์ริกคลอไรด์ 0.541 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร)

1.3 เตรียมสารละลาย TPTZ 10 มิลลิโมลาร์ (ซึ่ง TPTZ 0.312 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริก 40 มิลลิโมลาร์ 100 มิลลิลิตร)

1.4 เตรียมกรดไฮโดรคลอริก 40 มิลลิโมลาร์ (กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ 4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร)

1.5 ผสมสารละลายข้อ 1.1 1.2 และ 1.3 ให้เข้ากันในอัตราส่วน 10 : 1 : 1 (v/v) ได้เป็นสารละลาย FRAP reagent แล้วนำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

### 2. การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรล็อกซ์

2.1 เตรียมสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ที่ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยละลายในตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์

2.2 สารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ในแต่ละความเข้มข้นใส่ในหลอดทดลอง 0.25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเติมสารละลาย FRAP reagent 0.75 มิลลิลิตร บ่มปฏิกิริยาในที่มืด 5 นาที

2.3 ใช้เอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ 0.25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเติมสารละลาย FRAP reagent 0.75 มิลลิลิตร เป็น Blank และ negative control

2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

2.5 นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับ ความเข้มข้นสารมาตรฐานโทรล็อกซ์

2.6 สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานโทรล็อกซ์ ( $Y=0.0555X-0.0212$ ,  $R^2=0.9980$ ) ใช้เทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของสารมาตรฐานโทรล็อกซ์กับตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว (Trolox equivalent antioxidant capacity)

### 3. การเตรียมกราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต

3.1 เตรียมสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.025, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิโมลาร์ โดยละลายในตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์

3.2 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตในแต่ละความเข้มข้นใส่ในหลอดทดลอง 0.25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเติมสารละลาย FRAP reagent 0.75 มิลลิลิตร บ่มปฏิกิริยาในที่มืด 5 นาที

3.3 ใช้เอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ 0.25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเติมสารละลาย FRAP reagent 0.75 มิลลิลิตร เป็น Blank และ negative control

3.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

3.5 นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับ ความเข้มข้นสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต

3.6 สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต ( $Y=5.4804X-0.0577$ ,  $R^2=0.9980$ ) ใช้เทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต กับ ตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าว

#### 4. การเตรียมสารละลายสารสกัดน้ำมันรำข้าว

4.1 เตรียมสารสกัดตัวอย่างที่ความเข้มข้นช่วงความเข้มข้น 0.25 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร ในแต่ละสายพันธุ์น้ำมันรำข้าว โดยละลายในตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์

4.2 สารละลายสารสกัดตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้นใส่ในหลอดทดลอง 0.25 มิลลิลิตร (ใช้เอทานอลแบบกล) จากนั้นทำการเติมสารละลาย FRAP reagent 0.75 มิลลิลิตร บ่มปฏิกิริยาในที่มืด 5 นาที

4.3 เมื่อครบเวลาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

4.4 นำค่าการดูดแสงของตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวมาคำนวณเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของสารมาตรฐาน Trolox แสดงในหน่วยมิลลิกรัม Trolox ต่อสารสกัดน้ำมันรำข้าว (mg TEAC/g crude oil) และ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต แสดงในหน่วยมิลลิกรัม Trolox ต่อสารสกัดน้ำมันรำข้าว (mg  $Fe_2SO_4$ /g crude oil)

##### 4.4.1 การคำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox

เทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ในตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวกับสมการ  $Y=0.0555X-0.0212$ ,  $R^2=0.9980$  ของกราฟสารมาตรฐาน Trolox (Trolox equivalent antioxidant capacity) เนื่องจากสารละลายตัวอย่าง (stock solution) ที่เตรียมมีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะสามารถแสดงค่าในหน่วยกรัม Trolox ต่อกรัม น้ำหนักรำข้าว (mg TEAC/g DW) โดยเทียบจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณโทรลือกซ์ (mg TEAC/g crude oil)} = \left( \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} + 0.0555}{0.0212} \right) \div 1 \text{ (mg crude oil/ml)}$$

$$\text{ปริมาณโทรลือกซ์ (mg TEAC/g DW)} = \frac{\text{ปริมาณโทรลือกซ์ (mg TEAC/g crude oil)}}{\text{น้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ (g crude oil/g DW)}}$$

#### 4.4.2 การคำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต

เทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ในตัวอย่างสารสกัดน้ำมันรำข้าวกับสมการ  $Y=5.4804X-0.0577$ ,  $R^2=0.9980$  ของกราฟสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต เนื่องจากสารละลายตัวอย่าง (stock solution) ที่เตรียมมีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะสามารถแสดงค่าในหน่วยกรัมเฟอร์รัสซัลเฟตต่อกรัมน้ำหนักรำข้าว ( $\text{mg Fe}_2\text{SO}_4/\text{g DW}$ ) โดยเทียบจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต (mg Fe}_2\text{SO}_4/\text{g crude oil)} = \left( \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} + 0.0577}{5.4804} \right) \div 1 \text{ (mg crude oil/ml)}$$

$$\text{ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต (mg Fe}_2\text{SO}_4/\text{g DW)} = \frac{\text{ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต (mg Fe}_2\text{SO}_4/\text{g crude oil)}}{\text{น้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ (g crude oil/g DW)}}$$

## ภาคผนวก จ

### การใช้เครื่องวัดสี Minolta CR-300

#### 1. วิธีการตั้งค่าเครื่อง

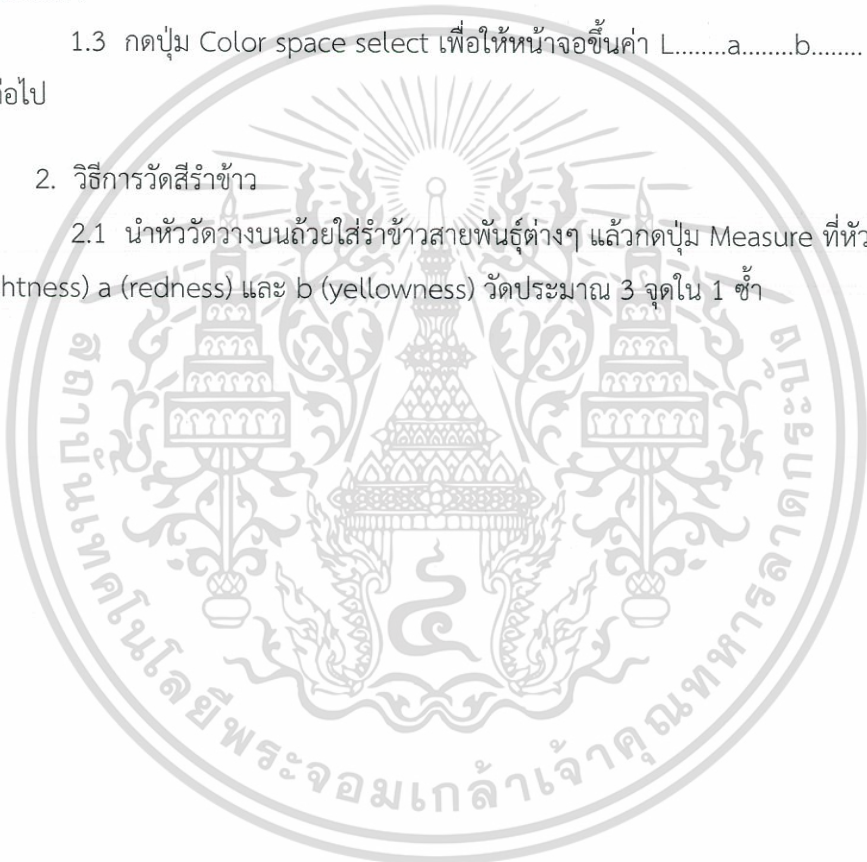
1.1 กดปุ่ม Calibrate หน้าจอจะขึ้นค่า Y.....x.....y..... ให้ใส่ค่าตรงกับแหล่งกำเนิดแสงที่เลือก คือ C หรือ D<sub>65</sub> ตามค่าที่ให้มาในแผ่น White plate

1.2 เมื่อค่า Y.....x.....y..... ตรงกับแหล่งกำเนิดแสงแล้วให้นำหัววัดวางบนแผ่น White plate แล้วกดปุ่ม Measure ที่หัววัด ไฟแฟลชจะปรากฏ 3 ครั้ง แสดงว่าเครื่องได้ Calibrate เรียบร้อยแล้ว

1.3 กดปุ่ม Color space select เพื่อให้หน้าจอขึ้นค่า L.....a.....b..... เพื่อใช้ในการวัดสีต่อไป

#### 2. วิธีการวัดสีกระดาษ

2.1 นำหัววัดวางบนถ้วยใส่กระดาษสายพันธุ์ต่างๆ แล้วกดปุ่ม Measure ที่หัววัดจะได้ค่าสี L (lightness) a (redness) และ b (yellowness) วัดประมาณ 3 จุดใน 1 ช้า



## ภาคผนวก ฉ

### การเตรียมกลูโคสมาตรฐาน

ชั่งกลูโคสมาตรฐาน 5 กรัม นำไปบดแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

### การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

#### 1. การเตรียมสารละลาย DNS (3, 5-dinitrosalicylic acid reagent)

ชั่ง DNS 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ละลายให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวนสารละลาย จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 16 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร) เติมควบคู่กับโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทต 300 กรัม ละลายให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจวบครบ 1 ลิตร เก็บไว้ในภาชนะขวดสีชาที่อุณหภูมิห้องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

#### 2. การคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

วัดค่าการดูดกลืนแสง นำไปเทียบกับสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานกลูโคส  $y = 0.7933x - 0.0944$ ,  $R^2 = 0.9953$  ทำการคำนวณความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสได้จากสมการ

ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540

อัตราการเจือจาง = 20

ความชันของกราฟมาตรฐาน = 0.7933

$$\text{ความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส (g/L)} = \left( \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} + 0.0944}{0.7933} \right) \times 20$$

### การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธีฟินอล-ซัลฟิวริก

ความเข้มของสีเหลืองส้มที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำตาลที่ทำปฏิกิริยา ค่าการดูดกลืนแสง นำไปเทียบกับสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานกลูโคส  $y = 10.45x + 0.0323$ ,  $R^2 = 0.9921$  ทำการคำนวณความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสได้จากสมการ

ค่าการดูดกลืนแสงที่ 490

อัตราการเจือจาง = 400

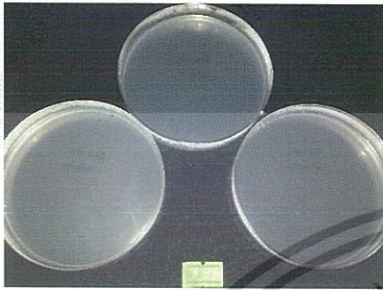
ความชันของกราฟมาตรฐาน = 10.45

$$\text{ความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส (g/L)} = \left( \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} - 0.0323}{10.45} \right) \times 400$$

## ภาคผนวก ข

### ผลการทดลองผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

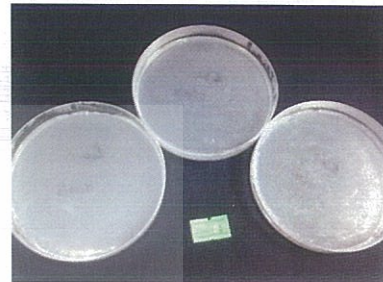
#### 1. การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของโลชั่นสูตรพื้นที่ 1 2 และ 3



สูตรที่ 1

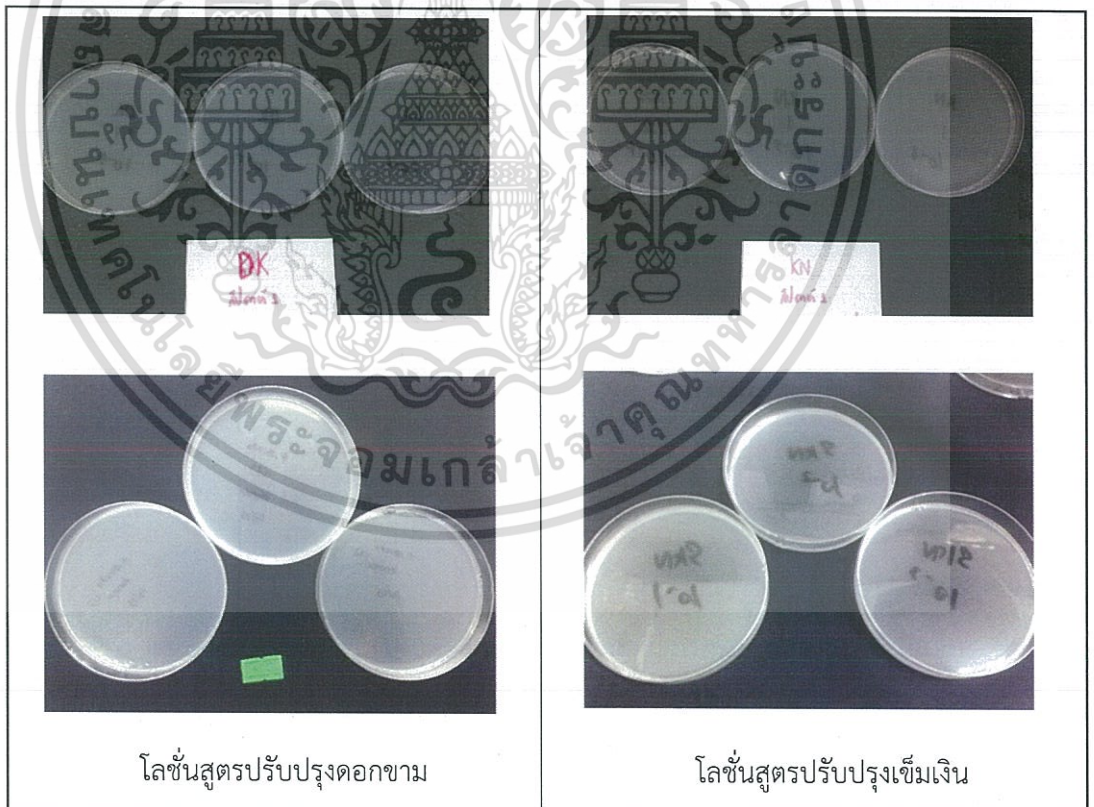


สูตรที่ 2



สูตรที่ 3

#### 2. การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของโลชั่นสูตรปรับปรุง



โลชั่นสูตรปรับปรุงดอกขาม

โลชั่นสูตรปรับปรุงเข็มเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของเซรัมพื้น



เซรัมสูตรพื้น

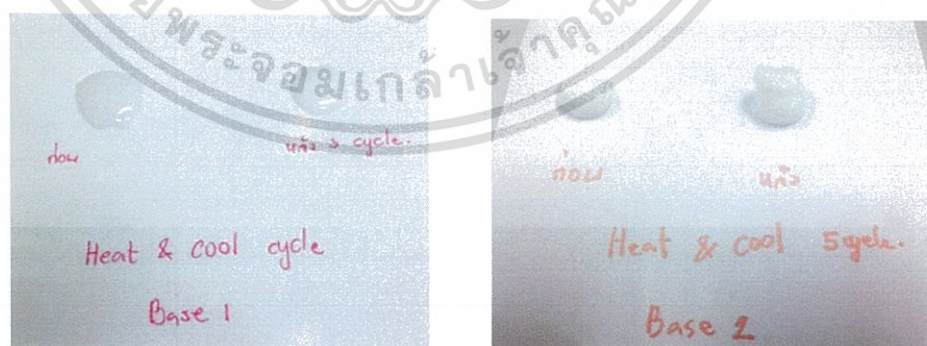
### 4. การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของเซรัมสูตรปรับปรุง



เซรัมสูตรปรับปรุงดอกขาม

เซรัมสูตรปรับปรุงเข็มเงิน

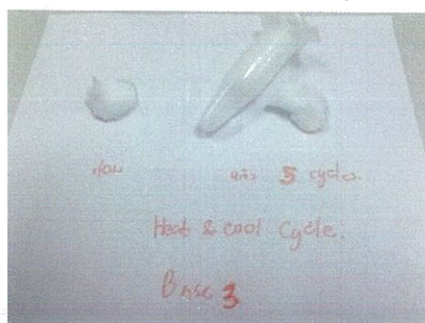
### 5. การทดสอบความคงตัวของสูตรพื้นด้วยวิธี heating and cooling cycle



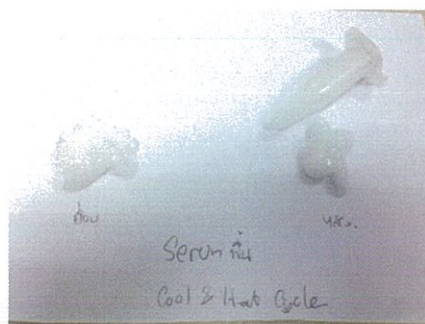
โลชั่นสูตรพื้น 1

โลชั่นสูตรพื้น 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โลชั่นสูตรพื้น 3



เซรั่มสูตรพื้น

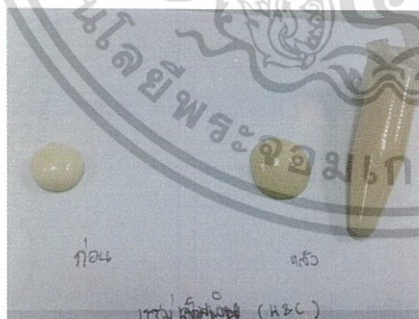
6. การทดสอบความคงตัวของสูตรปรับปรุงด้วยวิธี heating and cooling cycle



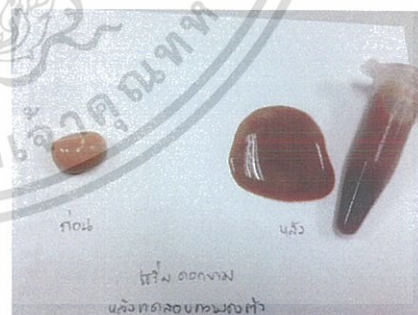
โลชั่นสูตรปรับปรุงดอกขาม



โลชั่นสูตรปรับปรุงเข็มเงิน



เซรั่มสูตรปรับปรุงดอกขาม



เซรั่มสูตรปรับปรุงเข็มเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. การทดสอบความชุ่มชื้นของผิวเมื่อทาผลิตภัณฑ์



การทดสอบความชุ่มชื้นอสาสมัครก่อนและหลังการทำผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Dermalab COMBO

## 8. ผลิตภัณฑ์โลชั่น และ ผลิตภัณฑ์เซรั่ม



ผลิตภัณฑ์โลชั่นสูตรปรับปรุง

ผลิตภัณฑ์เซรั่มสูตรปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### แบบสอบถามความพึงพอใจผลิตภัณฑ์สูตรพื้น

**คำชี้แจง 1** กรุณาทำเครื่องหมาย (X) ลงในช่องว่างที่จัดไว้ให้ที่ตรงตามระดับความพึงพอใจของท่านมากที่สุด

- เพศ            ( ) ชาย                            ( ) หญิง
- อายุ            ( ) ต่ำกว่า 20 ปี    ( ) 20-25 ปี            ( ) 26-30 ปี            ( ) สูงกว่า 30 ปี
- สถานะภาพ    ( ) นักศึกษา            ( ) พนักงาน            ( ) ข้าราชการ            ( ) อื่นๆ ระบุ.....
- ท่านเคยใช้ผลิตภัณฑ์ทาผิวหรือไม่                            ( ) เคย                            ( ) ไม่เคย
- ท่านเคยแพ้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือไม่                            ( ) เคย                            ( ) ไม่เคย

**คำชี้แจง 2** กรุณาทำเครื่องหมาย (X) ลงในช่องว่างที่จัดไว้ให้ตรงตามหมายเลข 1-5 เพื่อระบุความพึงพอใจลงในตาราง

- หมายเลข (1) หมายถึง น้อยที่สุด                            (2) หมายถึง น้อย    (3) หมายถึง ปานกลาง
- (4) หมายถึง มาก                            (5) หมายถึง มากที่สุด

ลักษณะ	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
<b>สูตรพื้นที่ 1</b>					
การซึมซาบลงสู่ผิว					
ความละเอียดโลชั่น					
กลิ่น					
ความหนืด					
ความชุ่มชื้น					
<b>สูตรพื้นที่ 2</b>					
การซึมซาบลงสู่ผิว					
ความละเอียดโลชั่น					
กลิ่น					
ความหนืด					
ความชุ่มชื้น					
<b>สูตรพื้นที่ 3</b>					
การซึมซาบลงสู่ผิว					
ความละเอียดโลชั่น					
กลิ่น					
ความหนืด					
ความชุ่มชื้น					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แบบสอบถามความพึงพอใจผลิตภัณฑ์สูตรปรับปรุง

**คำชี้แจง 1** กรุณาทำเครื่องหมาย (X) ลงในช่องว่างที่จัดไว้ให้ที่ตรงตามระดับความพึงพอใจของท่านมากที่สุด

- เพศ            ( ) ชาย                    ( ) หญิง
- อายุ            ( ) ต่ำกว่า 20 ปี    ( ) 20-25 ปี    ( ) 26-30 ปี    ( ) สูงกว่า 30 ปี
- สถานะภาพ    ( ) นักศึกษา    ( ) พนักงาน    ( ) ข้าราชการ    ( ) อื่นๆ ระบุ.....
- ท่านเคยใช้ผลิตภัณฑ์ทาผิวหรือไม่            ( ) เคย            ( ) ไม่เคย
- ท่านเคยแพ้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือไม่    ( ) เคย            ( ) ไม่เคย
- เนื้อโลชั่น            ( ) เนื้อละเอียด    ( ) เนื้อมีเม็ด    ( ) เนื้อเหลว    ( ) เนื้อหนืด
- สีโลชั่นดอกขามที่มองเห็น            ( ) สีขาว            ( ) สีเหลือง    ( ) สีอื่นๆ ระบุ.....
- สีโลชั่นเซมเงินที่มองเห็น            ( ) สีขาว            ( ) สีเหลือง    ( ) สีอื่นๆ ระบุ.....

**คำชี้แจง 2** กรุณาทำเครื่องหมาย (X) ลงในช่องว่างที่จัดไว้ให้ตรงตามหมายเลข 1-5 เพื่อระบุความพึงพอใจลงในตาราง

- หมายเลข (1) หมายถึง น้อยที่สุด            (2) หมายถึง น้อย            (3) หมายถึง ปานกลาง
- (4) หมายถึง มาก            (5) หมายถึง มากที่สุด

ลักษณะ	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
สูตรปรับปรุงดอกขาม					
ความพึงพอใจ					
การซึมซาบลงสู่ผิว					
กลิ่น					
ความหนืด					
ความชุ่มชื้น					
สูตรปรับปรุงเซมเงิน					
ความพึงพอใจ					
การซึมซาบลงสู่ผิว					
กลิ่น					
ความหนืด					
ความชุ่มชื้น					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แบบสอบถามความพึงพอใจผลิตภัณฑ์เซรั่มสูตรปรับปรุง

**คำชี้แจง 1** กรุณาทำเครื่องหมาย (X) ลงในช่องว่างที่จัดไว้ให้ที่ตรงตามระดับความพึงพอใจของท่านมากที่สุด

- เพศ            ( ) ชาย                    ( ) หญิง
- อายุ            ( ) ต่ำกว่า 20 ปี    ( ) 20-25 ปี    ( ) 26-30 ปี    ( ) สูงกว่า 30 ปี
- สถานะภาพ    ( ) นักศึกษา    ( ) พนักงาน    ( ) ข้าราชการ    ( ) อื่นๆ ระบุ.....
- ท่านเคยใช้ผลิตภัณฑ์ทาผิวหรือไม่            ( ) เคย            ( ) ไม่เคย
- ท่านเคยแพ้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือไม่    ( ) เคย            ( ) ไม่เคย
- เนื้อเซรั่ม            ( ) เนื้อละเอียด    ( ) เนื้อมีเม็ด    ( ) เนื้อเหลว    ( ) เนื้อหนืด
- สีเซรั่มดอกขามที่มองเห็น            ( ) สีขาว            ( ) สีเหลือง    ( ) สีอื่นๆ ระบุ.....
- สีเซรั่มเข็มเงินที่มองเห็น            ( ) สีขาว            ( ) สีเหลือง    ( ) สีอื่นๆ ระบุ.....

**คำชี้แจง 2** กรุณาทำเครื่องหมาย (X) ลงในช่องว่างที่จัดไว้ให้ตรงตามหมายเลข 1-5 เพื่อระบุความพึงพอใจลงในตาราง หมายเลข (1) หมายถึง น้อยที่สุด (2) หมายถึง น้อย (3) หมายถึง ปานกลาง (4) หมายถึง มาก (5) หมายถึง มากที่สุด

ลักษณะ	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
เซรั่มดอกขาม					
ความพึงพอใจ					
การซึมซาบลงสู่ผิว					
กลิ่น					
ความหนืด					
ความชุ่มชื้น					
เซรั่มเข็มเงิน					
ความพึงพอใจ					
การซึมซาบลงสู่ผิว					
กลิ่น					
ความหนืด					
ความชุ่มชื้น					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฅ

### การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

#### การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

1. วิเคราะห์ค่าทางสถิติแบบ One-way ANOVA ตามวิธีของ Duncan เปรียบเทียบความแตกต่างในแต่ละตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

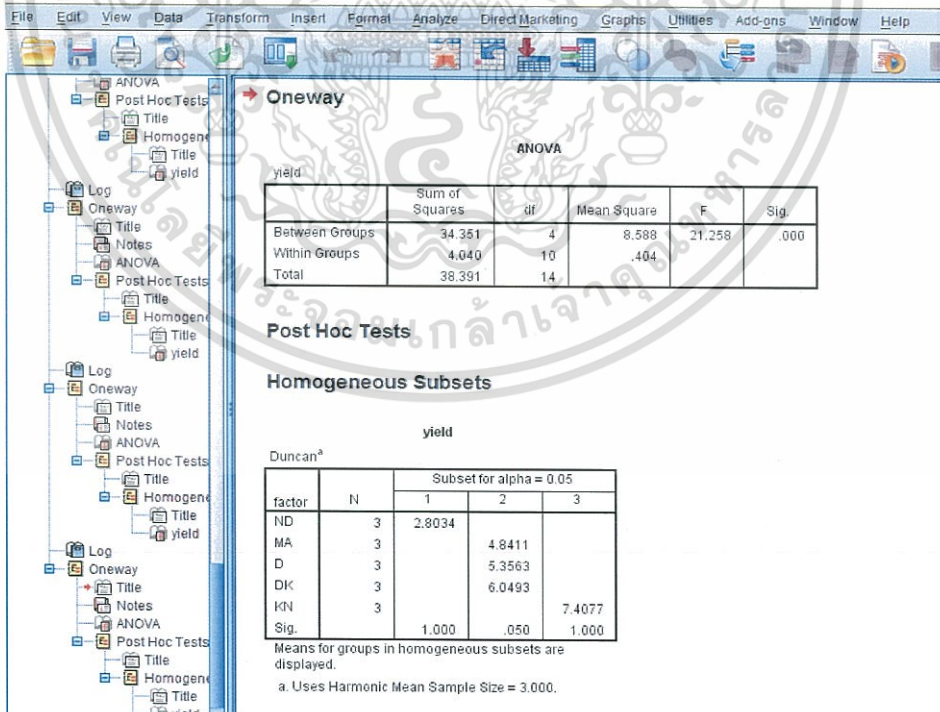
2. กำหนดตั้งสมมติฐาน ดังนี้

$H_0$  = อิทธิพลของทุกปัจจัยไม่แตกต่างกัน

$H_1$  = มีอย่างน้อย 2 ปัจจัยที่ต่างกัน

พิจารณาจากค่านัยสำคัญ (Significance; sig.) ในตาราง ANOVA กรณีค่า sig. มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่านัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จะปฏิเสธ  $H_0$  และยอมรับ  $H_1$  หมายถึงปัจจัยที่ทำการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกัน และกรณีค่า sig. มีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จะยอมรับ  $H_0$  และปฏิเสธ  $H_1$  คือ หมายถึงปัจจัยที่ทำการเปรียบเทียบไม่มีความแตกต่างกัน

3. ตัวอย่างการเปรียบเทียบปริมาณแกมมาออโรซานอลในน้ำมันรำข้าว 5 สายพันธุ์ (control) วิเคราะห์ค่าทางสถิติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปภาพข้างต้น ตัวแปร factor คือน้ำมันรำข้าว 5 สายพันธุ์ได้แก่ DK (ดอกขาม) D (ดอกข่า) KNG (เข็มเงิน) ND (นางดำ) และ MA (ขาวดอกมะลิ) เปรียบเทียบปริมาณแกมมาอโรซานอลที่สกัดได้จากแต่ละสายพันธุ์ ตัวแปร N ในตารางแทนจำนวน 3 ซ้ำผลการทดลองของปริมาณแกมมาอโรซานอล ค่าทางสถิติที่ได้แสดงในตารางคอลัมน์ 1 2 และ 3 เป็นค่าการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีทดสอบแบบ Duncan ค่าเฉลี่ยปริมาณแกมมาอโรซานอลของปัจจัยอยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกัน และค่าของปัจจัยไม่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

4. ทำตารางแสดงผลเปรียบเทียบขึ้นมาใหม่ ซึ่งจะใช้การเปรียบเทียบโดยใช้ตัวอักษรที่ต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกัน

สายพันธุ์รำข้าว	ปริมาณแกมมาอโรซานอลสกัดแบบเขย่า (mg/g DW)
ดอกขาม	6.05 ± 0.11 <sup>b</sup>
ดอกข่า	5.35 ± 0.58 <sup>b</sup>
เข็มเงิน	7.41 ± 0.83 <sup>a</sup>
นางดำ	2.80 ± 0.32 <sup>c</sup>
ขาวดอกมะลิ	4.84 ± 0.94 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณแกมมาอโรซานอลแต่ละสายพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาววนาพร แซ่อึ้ง
วัน เดือน ปีเกิด	18 มีนาคม 2535
ที่อยู่ปัจจุบัน	99/137 หมู่ 4 ตำบลแพรกษา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ
ประวัติการศึกษา	(2556) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ เกรดเฉลี่ย 3.01 สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2559) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	1. Sae-ang, V., Thawai, C., and Ruen-ngam, D. 2014 “Microwave Pretreatment for Lipase Retardation in Rice Bran.” <i>The 12<sup>th</sup> International Symposium on Biocontrol and Biotechnology</i> . (Oral presentation) 2. Sae-ang, V., Thawai, C., Nokkoul, R. and Ruen-ngam, D. 2015 “Antioxidant Determination of Nang Dam Upland Rice Bran Oil by DPPH Assay.” <i>2<sup>nd</sup> International Symposium on Agricultural Technology</i> . (Poster presentation) 3. Sae-ang, V., Thawai, C., Sukonthamut, S., Nokkoul, R. and Ruen-ngam, D. 2015 “Evaluation of antioxidant activity of Khem-ngen rice bran oil By ABTS + Assay Measurement.” <i>The 27<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference</i> . (Poster presentation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้