ผลของสภาวะการทำให้รำข้าวคงตัวด้วยลมร้อนต่อคุณสมบัติทางเคมี และคุณภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว

สุชานันต์ บูรณะไทย

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
ธันวาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "ผลของสภาวะการทำให้รำข้าวคงตัวด้วยลมร้อนต่อคุณสมบัติทางเคมี
และคุณภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว"
ของ นางสาวสุชานันต์ บูรณะไทย
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ สอดจิตร์)

.....ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา รุตรัตนมงคล)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.ศศิวิมล จิตรากร)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ ศรีแก้ว)

อนุมัติ

.....
(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)
รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน ปฏิบัติราชการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

24 ส.ค. 2558

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือ แนะนำ และให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา รุตรัตนมงคล และ ดร.ศศิวิมล จิตรากร กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ สอดจิตร์ ประธานคณะกรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ ศรีแก้ว กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร และห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ขอขอบพระคุณคุณประพนธ์ และคุณจงรัก ธนูพันธุ์ชัย ผู้บริหารห้างหุ้นส่วนจำกัด ลูกจงรักที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่บีบน้ำมันรำข้าว ขอขอบพระคุณคุณบรรจง ตั้งจิตรวัฒนกุล ผู้บริหารโรงสีข้าวร่วมเจริญ 2 ที่อนุเคราะห์รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท ที่สนับสนุนงบประมาณในงานวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

สุชานันต์ บูรณะไทย

ชื่อเรื่อง	ผลของสภาวะการทำให้รำข้าวคงตัวด้วยลมร้อนต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว
ผู้วิจัย	สุชานันต์ บูรณะไทย
ประธานที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์
กรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา รุตรัตนมงคล ดร.ศศิวิมล จิตรากร
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2558
คำสำคัญ	รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว ลมร้อน การคงสภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ คุณภาพน้ำมัน

บทคัดย่อ

การอบลมร้อนเป็นวิธีการคงสภาพรำข้าวที่มีประสิทธิภาพและประหยัดสำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็กและขนาดกลาง ข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวได้รับการยกย่องให้เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดพิจิตร วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณภาพของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนทำให้คงตัวและสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยลมร้อน ตลอดจนศึกษาผลของสภาวะการทำให้รำข้าวมีความคงตัวต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว โดยนำรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว มาคงสภาพโดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 100, 125 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 15 และ 20 นาที จากนั้นนำรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ จุลชีววิทยาและทางเคมี คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำให้รำข้าวมีความคงตัว 1 สภาวะ โดยใช้เกณฑ์ปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ เป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสและปริมาณน้ำมันรำข้าว ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การคงสภาพรำข้าวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (3.15 เปอร์เซ็นต์) และไม่พบค่าเปอร์ออกไซด์ กิจกรรมเอนไซม์ไลเปสมีค่า 4.22 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิส และปริมาณน้ำมันรำข้าวเท่ากับ 1.34 กรัม/น้ำมัน 100 กรัม รำข้าว เมื่อได้สภาวะในการทำให้รำข้าวคงตัวแล้ว นำรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวแล้ว ไปเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยบรรจุรำข้าว 15 กิโลกรัม ในถุงพลาสติกชนิด PE และเก็บไว้ที่

อุณหภูมิห้อง แล้วนำรำข้าวมาบีบน้ำมัน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของรำข้าวและน้ำมันรำข้าวทุก ๆ 3 สัปดาห์ พบว่าน้ำมันรำข้าวเสื่อมคุณภาพลงเมื่อเก็บรักษารำข้าวไว้เป็นเวลานาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วัตถุดิบมีผลต่อคุณภาพของน้ำมันรำข้าว โดยปริมาณน้ำมันรำข้าวลดลง ค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสเพิ่มขึ้น

Title	EFFECTS OF HOT AIR DRYING CONDITIONS ON CHEMICAL PROPERTIES AND QUALITY OF COLD-PRESSED RICE BRAN OIL OF KHAO GAW DIAW RICE
Author	Suchanan Buranathai
Advisor	Associate Professor Riantong Singanusong, Ph.D.
Co - Advisor	Associate Professor Khanitta Ruttarattanamongkol, Ph.D. Sasivimon Chitrakorn, Ph.D.
Academic Paper	Thesis M.Sc. in Food Science and Technology, Naresuan University, 2015
Keywords	Khao Gaw Diaw rice bran, hot air dying, stabilization, antioxidative activity, oil quality

ABSTRACT

Hot air drying is an effective and economical method for stabilization of rice bran for small and medium enterprises. Khao Gaw Diaw (KGD) rice is regarded as the geographical indication of Pichit province, Thailand. This study aimed to investigate the effect of stabilization by hot air drying on the chemical properties and antioxidative activity of KGD rice bran. The stabilization conditions in this study consisted of drying of KGD rice bran at 100, 125 and 150°C for 10, 15 and 20 minutes. The optimal conditions for stabilization, was selected based on results of free fatty acid, peroxide value, lipase activity and extraction oil yield, respectively. The results showed that stabilized KGD rice bran at 100°C for 10 minutes was the optimum condition, due to the lowest of free fatty acids value (3.15%) no peroxide value was detected, lipase activity was 4.22 % hydrolysis and extraction oil yield was 1.34 g oil/100 g rice bran. The 15 kg of stabilized KGD rice bran was kept in a polyethylene bag at room temperature for a period of 12 weeks, and then it was pressed for rice bran oil using a 2-HP screw press machine. Rice bran and cold-pressed rice bran oil were analyzed for its quality every 3 weeks.

Results showed that the quality of the rice bran oil was deteriorated when stored for a long time. This showed that materials affected the quality of the rice bran oil.

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ความเป็นมาของปัญหา	1
	จุดมุ่งหมายของการศึกษา	3
	ขอบเขตของงานวิจัย	3
	สมมติฐานของการวิจัย	4
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	5
	รำข้าว	5
	กระบวนการคงสภาพรำข้าว	11
	การคงสภาพรำข้าวด้วยการใช้ลมร้อน (dry heat)	15
	น้ำมันรำข้าวบีบเย็น	18
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	21
	วัตถุดิบ	21
	สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในงานวิจัย	21
	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	22
	ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	23
4	**ผลการวิจัย**	32
	ตอนที่ 1 การศึกษาคุณภาพรำข้าวขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัว	32
	ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำให้รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวคงตัวด้วย ลมร้อน	36
	ตอนที่ 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการบีบรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

5 บทสรุป..... 72

สรุปผลการวิจัย..... 72

ข้อเสนอแนะ..... 72

บรรณานุกรม..... 73

ภาคผนวก..... 81

ประวัติผู้วิจัย..... 97

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว 2

2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวที่ได้จากการขัดสีที่ระดับความชื้นร้อยละ 14 6

3 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวและรำข้าวสกัดน้ำมัน 7

4 การสะสมของวิตามินในรำข้าวและข้าวสาร 8

5 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในชั้นรำข้าว รำข้าวและจมูกข้าว (% น้ำหนักแห้ง) 8

6 ผลของการคงสภาพรำข้าวด้วยความร้อนต่อปริมาณความชื้นของรำข้าวและปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็น 13

7 ปริมาณน้ำมันรำข้าวกับอุณหภูมิในการอบรำข้าว 17

8 องค์ประกอบโดยประมาณในน้ำมันรำข้าว 19

9 ผลของการคงสภาพรำข้าวโดยการให้ความร้อนวิธีที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็น 20

10 คุณสมบัติทางกายภาพ จุลชีววิทยา และทางเคมี ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัว 33

11 ค่าสี L* a* และ b* ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ 37

12 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ 39

13 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ (น้ำหนักแห้ง) 41

14 Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ 44

15 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ 51

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

16 ค่าสี L*a* และ b* ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน 57

17 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน 59

18 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน (น้ำหนักแห้ง) 61

19 Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวและน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน 63

20 ปริมาณกรดไขมันและวิตามินอีของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน 70

21 ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียว (Extraction yield) ที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน..... 92

22 กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่าน การทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน..... 93

23 การวัดค่า TBA ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน..... 93

24 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน 94

25 Inhibition of Lipid peroxidation ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน..... 94

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

26 ปริมาณ Total antioxidant capacity (BHT and gallic acid equivalent) ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน..... 95

27 ปริมาณแกมมา-โอริซานอลของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน..... 96

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

1 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและรำข้าว 5
2 ตู้อบลมร้อนแบบถาด 16
3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของค่ากรด (AV) และระยะเวลาในการจัดเก็บ.... 17
4 วิธีการคงสภาพรำข้าวโดยใช้ลมร้อน..... 27
5 การสกัดตัวอย่างรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว 28
6 ขั้นตอนการบีบน้ำมันรำข้าวบีบเย็น 29
7 เครื่องบีบน้ำมันรำข้าวบีบเย็นแบบเกลียว ขนาด 2 แรงม้า 30
8 น้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวที่สภาวะแตกต่างกัน 30
9 ภาพรวมของวิธีดำเนินการวิจัย..... 31
10 รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว 32
11 ปริมาณน้ำมันรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว (extraction yield) ก่อนการทำให้คงตัว และที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ 38
12 กิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว ก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ..... 42
13 Thiobarbituric acid – reactive substance (TBARS) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ 45
14 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ 46
15 ปริมาณ Total phenolics ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ..... 47
16 Inhibition of lipid peroxidation ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ..... 49
17 ปริมาณ Total antioxidant capacity ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ..... 49

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
18	ปริมาณวิตามินอีของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ	53
19	ปริมาณแกมมา-โอริซานอลของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ	54
20	ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียว (Extraction yield) ที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน.....	58
21	กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	60
22	ค่า TBA ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้ คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน.....	
23	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการคงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน	65
24	Inhibition of Lipid peroxidation ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน.....	66
25	a, b Total antioxidant capacity (BHT and gallic acid equivalent) ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วย สภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน.....	67
26	ปริมาณแกมมา – โอริซานอลของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน..	69

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว เป็นข้าวที่มีชื่อเสียงของจังหวัดพิจิตร เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวคือต้นเดือนธันวาคม นิยมปลูกมากในเขตภาคเหนือตอนล่าง ให้ปริมาณผลผลิตประมาณ 645 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณอะไมโลสสูงร้อยละ 27.92 และในปัจจุบันมีการพัฒนาและให้ผลผลิตที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน จนถึงได้รับสัญลักษณ์ "สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์" หรือ "Geographical Indication (GI)"

จุดเด่นของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว จังหวัดพิจิตรนั้น นอกจากเมื่อหุงต้มมีความนุ่ม หอม หุงขึ้นหม้อแล้ว เนื้อแป้งยังมีคุณสมบัติในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นชนิดต่าง ๆ ได้ดี ให้คุณสมบัติเหนียวนุ่ม เส้นไม่ขาดง่าย เป็นที่ต้องการของโรงงานแปรรูป และข้าวหุงสุกไม่เหม็นบูดเมื่อเก็บไว้ข้ามคืน นอกจากนี้ ข้าวชนิดนี้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง (ดังตาราง 1) มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ เหมาะสำหรับผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน (จารุวรรณ ดำคง, 2555, หน้า 4-5) ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลวิชาการเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวและผลของการทำให้รำข้าวคงตัวต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว

ปัจจุบันรำข้าวถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันรำข้าวมากกว่าในอดีต น้ำมันรำข้าวได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติหลายชนิด เช่น แกมมา - โอริซานอล, โทโคฟีรอล, โทโคไตรอินอล, กรดเฟอรูลิค, ไฟโตสเตอรอล, โพลีฟีนอล และสควอลีน มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงและมีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณต่ำ อย่างไรก็ตาม การที่น้ำมันรำข้าวจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงหรือมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของรำข้าวที่นำมาผลิตน้ำมันรำข้าว ทั้งนี้เนื่องจาก รำข้าวสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว จากกิจกรรมของเอนไซม์เอนไซม์ไลเปสและไลพอกซีจีเนสที่มีอยู่ในรำข้าว โดยทำให้เกิดกรดไขมันอิสระและเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างของกรดไขมัน และเกิดกลิ่นเหม็นหืน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการยับยั้งหรือทำลายเอนไซม์ดังกล่าว โดยการทำให้รำข้าวมีความคงตัวก่อนนำมาผลิตน้ำมันรำข้าวเพื่อให้ได้น้ำมันรำข้าวที่มีคุณภาพมีคุณค่าทางโภชนาการและมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูง

ตาราง 1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวขาวกอเดียว		
ปริมาณสารที่มีประโยชน์ (ต่อ 100 กรัม)	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	373	366
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี่)	27	7
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	78.9	82.6
ไขมัน (กรัม)	3.0	0.8
ไนอะซีน (มิลลิกรัม)	7.06	2.12
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	241	104
โปรตีน (กรัม)	7.5	7.1
สารต้านอนุมูลอิสระ (µmol TE)	1,188	405
ใยอาหาร (กรัม)	3.5	1.2
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.04	0.11
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.02	-
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	8	5
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	1.4	0.4

ที่มา: สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว อ้างอิงใน จารุวรรณ ดำคง, 2555, หน้า 4-5

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ลูกจงรัก ตำบลบ้านคลอง จังหวัดพิษณุโลก มีโรงงานผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็นขนาด 2 แรงม้าโดยทางห้างหุ้นส่วนจำกัด ลูกจงรัก ซื้อรำข้าวละเอียดที่ผ่านการขัดสีภายใน 24 ชั่วโมง จากโรงสีในจังหวัดสุโขทัย แล้วนำมาผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็น ประสบปัญหาน้ำมันรำข้าวมีค่าเปอร์ออกไซด์และมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่ามาตรฐานน้ำมันรำสำหรับบริโภค (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับ 205 พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน) ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานได้กำหนดให้ค่ากรด (Acid Value) คิดเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม ไม่เกิน 0.4 และค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม ไม่เกิน 10 (ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานน้ำมันรำข้าวบีบเย็น ดังนั้นจึงอ้างอิงมาตรฐาน

น้ำมันรำสำหรับบริโภค) จึงต้องการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งการทำให้รำข้าวมีความคงตัวก่อนนำมาบีบน้ำมันเป็นแนวทางหลักเพราะวัตถุดิบที่ดีจะนำไปสู่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ดี

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ลูกจงรัก มีตู้อบลมร้อนซึ่งสามารถใช้ในการทำให้รำข้าวมีความคงตัวอยู่แล้ว และการใช้ตู้อบลมร้อนนั้นสามารถทำลายเอนไซม์ไลเปสที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของรำข้าวได้ ประกอบกับมีต้นทุนในการสร้างเครื่องต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ (Chu and Chou, 2003, pp. 519-529) และมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนนั้นคงที่ ควบคุมการทำงานได้ง่าย การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เร็ว ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการคงสภาพด้วยตู้อบลมร้อนนั้นจะไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด แต่เป็นวิธีที่เหมาะสมกับผู้ประกอบการ เนื่องจากเป็นโรงงานขนาดเล็กกำลังในการผลิตต่ำ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ที่จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้รำข้าวมีความคงตัวโดยใช้ลมร้อนและศึกษาผลของสภาวะการทำให้รำข้าวมีความคงตัวโดยใช้ลมร้อนต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณภาพของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนทำให้คงตัว
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีความคงตัวด้วยลมร้อน
3. เพื่อศึกษาผลของสภาวะการทำให้รำข้าวมีความคงตัวต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว

ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาผลของสภาวะการทำให้รำข้าวคงตัวต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นของข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว ใช้รำข้าวที่ละเอียดและผ่านการขัดสีใหม่ไม่เกิน 24 ชั่วโมงจากโรงสีข้าวร่วมเจริญ 2 จังหวัดพิจิตร และนำมาแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส โดยนำมาศึกษาคุณภาพของรำข้าวก่อนการทำ ให้คงตัว โดยทดสอบสมบัติทางกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยา

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำให้รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีความคงตัวด้วยลมร้อน โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 100 125 และ 150 องศาเซลเซียส และเวลาการทำให้รำข้าวมีความคงตัว 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 นาที นำรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ มาวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยาและทางเคมี

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการบีบรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกันนำรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว มาทำให้คงตัวโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมข้างต้น บรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 – 30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างรำข้าวมาทดสอบทุก ๆ 3 สัปดาห์ และนำมาบีบน้ำมันรำข้าวโดยใช้เครื่องบีบเย็นของ ห้างหุ้นส่วนจำกัดลูกจงรักนำรำข้าวและน้ำมันรำข้าวมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ จุลชีววิทยาและทางเคมี

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

สมมติฐานของการวิจัย

รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าว เป็นส่วนที่มีปริมาณไขมันสูง เกิดการเสื่อมคุณภาพได้ง่ายจากขบวนการไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ไลเปสและไลพอกซีจีเนส โดยทำให้เกิดกรดไขมันอิสระและเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกรดไขมัน และเกิดกลิ่นเหม็นหืน ซึ่งผลเหล่านี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันรำข้าว การคงสภาพรำข้าวด้วยลมร้อนในสภาวะที่เหมาะสมจะช่วยยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าว รักษาคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้ได้น้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่มีคุณภาพและได้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากขึ้น การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำให้รำข้าวคงตัวจะทำให้ได้น้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่มีคุณภาพ ทำให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมน้ำมันข้าวบีบเย็นนำผลจากงานวิจัยนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง โดยเลือกใช้รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดพิจิตรให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น

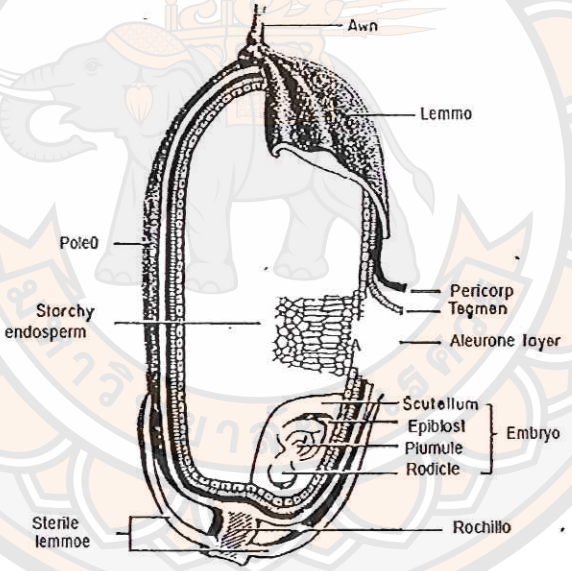
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รำข้าว

1. องค์ประกอบของรำข้าว

จากขั้นตอนการขัดสีข้าวกล้องด้วยเครื่องขัดขาวจะได้เป็นรำ (bran) ซึ่งมีประมาณร้อยละ 8-10 ของน้ำหนักข้าวเปลือก รำข้าวประกอบด้วยเนื้อเยื่อชั้นเอพิคาร์พ (epicarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) นิวเซลลัส (nucellus) เยื่ออลูโรน (aleurone layer) และส่วนที่เป็นแป้งหรือเอ็นโดสเปิร์ม (starchy endosperm) ดังภาพ 1 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550, หน้า 42)



ภาพ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและรำข้าว

ที่มา: Barber and Benedito de Barber, 1980, pp. 790-862

ในขั้นตอนการขัดขาวจะได้ข้าวสารและรำละเอียด รำที่ได้จากการขัดผิวข้าวจะมีสีน้ำตาลเข้ม และรำที่ได้จากการขัดมันจะมีสีขาว (white bran หรือ polish) รำข้าวสามารถนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ย และสามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันรำข้าวได้

ในรำข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีนร้อยละ 15 ไขมันร้อยละ 15-30 เส้นใยร้อยละ 6-20 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 50 แต่ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว พันธุ์ข้าว ชนิดหรือวิธีการขัดสี ระดับการขัดสี วิธีการคงสภาพ และคุณภาพของข้าวเปลือกก่อนการขัดสี (Saunder, 1985, pp. 465-495)

จากตาราง 2 จะเห็นได้ว่า รำข้าว ซึ่งประกอบด้วยรำข้าวจากการขัดขาว และรำข้าวจากการขัดมันและคัพภะปนกันอยู่ ทำให้สารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายในรำข้าวมีปริมาณสูง คือ โปรตีน (11.3-14.9 กรัม), ไขมัน (15.0-19.7 กรัม), เส้นใย (7.0-11.4 กรัม), เถ้า (6.6-9.9 กรัม), เส้นใยอาหาร (24-29 กรัม) แต่มีคาร์โบไฮเดรต (34-62 กรัม) และพลังงานลดลงเมื่อเทียบกับข้าวสาร (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550, หน้า 48)

ตาราง 2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวที่ได้จากการขัดสีที่ระดับความชื้นร้อยละ 14

องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100 กรัม)	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	รำข้าว	แกลบ
โปรตีน	5.8-7.7	7.1-8.3	6.3-7.1	11.3-14.9	2.0-2.8
ไขมัน	1.5-2.3	1.6-2.8	0.3-0.5	15.0-19.7	0.3-0.8
เส้นใย	7.2-10.4	0.6-1.0	0.2-0.5	7.0-11.4	34.5-45.9
เถ้า	2.9-5.2	1.0-1.5	0.3-0.8	6.6-9.9	13.2-21.0
คาร์โบไฮเดรต	64-73	73-87	77-89	34-62	22-34
เส้นใยอาหาร	16.4-19.2	2.9-3.9	0.7-2.3	24-29	66-74
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	378	363-385	349-373	399-476	265-332

ที่มา: ดัดแปลงจาก Juliano, 1993, p. 40

ตาราง 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวและรำข้าวสกัดน้ำมัน ซึ่งพบว่าในส่วนของรำข้าวนั้นเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าวกล้อง จะมีส่วนของเนื้อเยื่อชั้นเอพิคาร์พ เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเซลลัส เยื่ออลูโรน และส่วนเอ็นโดสเปิร์ม จะมีส่วนของไขมันมาก (ร้อยละ 16-22) ซึ่งองค์ประกอบของไขมันจะมีมากในชั้นอลูโรน สับอลูโรน และส่วนของคัพภะ (Shasty and Rao, 1976, pp. 190-200) ในส่วนของรำข้าวที่สกัดไขมันแล้ว (oil extracted rice

bran) หรือกากรำได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยวิธี Solvent extraction ซึ่งทำให้ได้ปริมาณน้ำมันรำข้าวสูง กากรำที่ได้มีคุณภาพที่ดี มีปริมาณน้ำมันเหลืออยู่เล็กน้อย (ร้อยละ 0.5-1.5)

ตาราง 3 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวและรำข้าวสกัดน้ำมัน

องค์ประกอบทางเคมี (% ความชื้นแห้ง)	รำข้าว	รำข้าวสกัดน้ำมัน
ความชื้น	8-12	6-9
โปรตีน	12-16	15-20
ไขมัน	16-22	0.5-1.5
ใยอาหาร	8-12	10-15
เถ้า	7-10	9-12
ใยอาหารทั้งหมด	20-25	24-28
ใยอาหารละลายน้ำ	1.8-2.6	2.0-2.4
แคลอรี่/กรัม	3.5	2.1

ที่มา: ชัยรัช ไหมเจริญ, 2546, หน้า 19

ตาราง 4 แสดงการสะสมของวิตามินในรำข้าวและข้าวสาร พบว่า แอลฟา-โทโคฟีรอล พบในปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 95 ในส่วนของรำที่เป็นคัพภะและพบในส่วนข้าวสารปริมาณน้อยกว่า (ร้อยละ 5) ในขณะที่กลุ่มของวิตามินบีพบว่าไทอะมินมีปริมาณมากที่สุดในรำ (ร้อยละ 78) โดยเฉพาะรำที่ได้จากการขัดขาว (ร้อยละ 65) ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มผลเยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นอลูโรน และคัพภะ ในขณะที่รำที่ได้จากการขัดมัน มีไทอะมินเพียงร้อยละ 13 ซึ่งประกอบด้วยส่วนรำขัดขาวที่เหลืออยู่ ชั้นซับอลูโรน และเนื้อของเมล็ดบางส่วน และไรโบฟลาวินจะสะสมอยู่ในข้าวสาร (ร้อยละ 53) มากกว่าในรำขัดขาว (ร้อยละ 39) และรำขัดมัน (ร้อยละ 8) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550, หน้า 51)

ตาราง 4 การสะสมของวิตามินในรำข้าวและข้าวสาร

ส่วนของข้าว	% การสะสมของวิตามิน (ต่อ 100% ของวิตามินทั้งหมด)			
	ไทอะมิน	ไรโบเฟลวิน	ไนอะซิน	แอลฟา-โทโคฟีรอล
รำ	78	47	67	95
รำขัดขาว (bran)	65	39	54	-
รำขัดมัน (polish)	13	8	13	-
คัพภะ	-	-	-	95
ข้าวสาร	22	53	33	5

ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550, หน้า 51

Moongngram, Daomuka and Khumpika (2012, pp. 73-79) ได้ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสะของรำข้าว (ประกอบด้วยชั้นรำและจมูกข้าว), ชั้นรำข้าว (ไม่มีจมูกข้าว) และจมูกข้าว ของข้าว 4 สายพันธุ์คือ Kao Dok Mali105, Red rice, RD6 และ Black rice ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 1.64-7.14 mg/g กรดไฟติก 39.26 – 63.88 mg/g และแกมมา - โอรีซานอล 5.07-13.55 mg/g สูงที่สุดในส่วนของชั้นรำข้าว และส่วนของชั้นรำข้าวที่มีสี (Red rice, Black rice) นั้นจะมีปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมดที่สูงกว่าข้าวสีขาว และในส่วนของจมูกข้าวจะมีปริมาณแกมมา-โทโคฟีรอล และแอลฟา-โทโคฟีรอล ในปริมาณสูง (ดังตาราง 5)

ตาราง 5 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในชั้นรำข้าว รำข้าวและจมูกข้าว (% น้ำหนักแห้ง)

	องค์ประกอบ				
	ฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g)	กรดไฟติก (mg/g)	แกมมา-โอรีซานอล (mg/g)	แกมมา-โทโคฟีรอล (µg/g)	แอลฟา-โทโคฟีรอล (µg/g)
ชั้นรำข้าว					
KDML105	1.64 ± 0.11	63.88 ± 0.34	5.5 ± 0.08	2.77 ± 0.75	46.63 ± 1.52
Red rice	4.01 ± 0.04	41.22 ± 0.02	10.07 ± 0.06	36.80 ± 2.07	21.06 ± 1.38
RD6 rice	1.88 ± 0.24	61.76 ± 3.00	5.07 ± 0.52	32.80 ± 1.22	24.11 ± 0.57

ตาราง 5 (ต่อ)

	องค์ประกอบ				
	ฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g)	กรดไฟติก (mg/g)	แกมมา-โอรีซานอล (mg/g)	แกมมา-โทโคฟีรอล (µg/g)	แอลฟา-โทโคฟีรอล (µg/g)
Black rice รำข้าว	7.14 ± 0.60	39.26 ± 1.48	13.55 ± 0.70	37.44 ± 0.66	36.70 ± 0.49
KDML105	1.57 ± 0.07	50.68 ± 0.86	3.50 ± 0.03	46.12 ± 1.42	40.94 ± 1.82
Red rice	4.39 ± 0.09	39.91 ± 1.91	8.58 ± 0.02	44.00 ± 1.05	25.00 ± 0.17
RD6 rice	1.96 ± 0.04	48.12 ± 2.22	1.52 ± 0.10	41.36 ± 0.72	37.97 ± 1.35
Black rice จมูกข้าว	6.65 ± 0.93	35.00 ± 1.02	9.12 ± 0.73	43.57 ± 1.77	35.31 ± 1.11
KDML105	0.40 ± 0.04	37.92 ± 0.37	1.75 ± 0.01	62.52 ± 2.02	51.59 ± 1.66
Red rice	1.18 ± 0.01	39.54 ± 1.30	1.60 ± 0.06	69.77 ± 3.15	34.71 ± 1.53
RD6 rice	0.81 ± 0.01	35.01 ± 1.04	1.60 ± 0.02	60.61 ± 2.40	48.72 ± 1.54
Black rice	1.35 ± 0.01	31.87 ± 1.01	1.41 ± 0.07	71.09 ± 3.42	45.61 ± 2.06

ที่มา: ดัดแปลงจาก Moongngram, Daomuka and Khumpika, 2012, pp. 73-79

2. **เอนไซม์ที่พบในรำข้าว**

เอนไซม์ที่พบในรำข้าวมีหลากหลายชนิด เช่น ไลเปส (lipase), ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase), อะไมเลส (amylase), เอสเทอเรส (esterase), อินเวอร์เทส (invertase), มอลเตส (maltase), เพคติเนส (pectinase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) เป็นต้น (ทิพวรรณ ยืนยงค์, 2551, หน้า 4) แต่เอนไซม์หลักที่มีผลต่อคุณภาพของรำข้าวคือเอนไซม์ไลเปส (lipase) และไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักที่มีผลต่อคุณภาพการเก็บของรำข้าว โดยจะย่อยไขมันที่มีอยู่ในรำข้าว ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล ทำให้เกิดกลิ่นหืน รำข้าวเสื่อมเสียคุณภาพเร็วขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเอนไซม์ไลเปส คือ ค่าความเป็นกรดด่าง 7.5-8.0 และอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (Aizono, et al., 1976, pp. 317-324)

จินดารัตน์ โตกมลธรรม (2539, หน้า 195) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบ (80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา (1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง) ปริมาณความชื้น (ไม่ปรับ

ความชื้น, ปรับความชื้นร้อยละ 10, 15, 20 และ 25) และอุณหภูมิบ่ม (4, 20, 30, 40 และ 45 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อการคืนสภาพของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าว พบว่า สภาวะของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบต่ำนั้น เอนไซม์ไลเปสสามารถคืนสภาพธรรมชาติได้เร็วและในอัตราที่สูงกว่าสภาวะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบสูง และการเพิ่มระยะเวลาในการอบนานขึ้นมีผลทำให้เอนไซม์ไลเปสคืนสภาพธรรมชาติได้ช้าลง ในส่วนของปริมาณความชื้นนั้นพบว่า รำข้าวที่มีความชื้นต่ำถึงร้อยละ 3 เอนไซม์ไลเปส ไม่สามารถคืนสภาพธรรมชาติได้ แต่สามารถคืนสภาพได้เร็วขึ้นเมื่อปรับความชื้นในรำข้าวสูงถึงร้อยละ 20 ส่วนของอุณหภูมิการบ่มที่มีต่อการคืนสภาพเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวนั้น พบว่า อุณหภูมิการบ่มต่ำการคืนสภาพจะช้าลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 40 องศาเซลเซียส จะทำให้การคืนสภาพเอนไซม์ไลเปสนั้นรวดเร็วขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส การคืนสภาพของเอนไซม์จะเริ่มช้าลง

เอนไซม์ไลเปสในรำข้าวแต่ละสายพันธุ์มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานที่แตกต่างกัน ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล (2543, หน้า 119) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปสจากรำข้าวไทยสายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวเหนียวขาว กข6 และรำข้าวเหนียวดำ คือ 55 องศาเซลเซียส และรำข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 60 องศาเซลเซียส

ปัทมา ฤาชาฤทธิ์ (2554, หน้า 133) ได้ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการนำเอนไซม์ไลเปสจากรำข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ไปใช้ในปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน พบว่า เอนไซม์ไลเปสจากรำข้าวมีกิจกรรมจำเพาะมากที่สุดที่ 2.15 หน่วยต่อมิลลิลิตร และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปสจากรำข้าวที่สกัดน้ำมันออกมาแล้วเพื่อเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน คือ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Lakkakula, Lima and Walker (2004, pp.157-161) พบว่า การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับจากการให้ความร้อนแบบโอห์มมิคสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสใน รำข้าวได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกิน 100 องศาเซลเซียส

Ramezanzadeh, et al. (1999, pp. 2997-3000) พบว่า ความร้อนจากไมโครเวฟ 850 W เป็นเวลา 3 นาที ไม่เพียงพอสำหรับยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสได้ เนื่องจากได้ปรับปริมาณความชื้นในตัวอย่างรำข้าวที่ร้อยละ 4.7-21 ก่อนการให้ความร้อนจากไมโครเวฟ ซึ่งระหว่างการให้ความร้อนนั้น รำข้าวที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 21 จะเกาะติดกันมากเกินไป และรำข้าวที่ระดับความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 21 รำข้าวจะแห้งเกินไป จนทำให้รำข้าวไหม้ จึงทำให้ไม่เพียงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสได้

กระบวนการคงสภาพรำข้าว

ในการผลิตน้ำมันรำข้าวที่มีคุณภาพนั้น รำข้าวที่นำมาผลิตนั้นจะต้องมีคุณภาพด้วย ซึ่งรำที่ได้จากการขัดสีนั้น คุณภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว เกิดกลิ่นเหม็นหืน ไม่เหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และการสกัดน้ำมันรำข้าวที่มีคุณภาพดีนั้นต้องผ่านกระบวนการคงสภาพหรือการยับยั้งเอนไซม์ (stabilization) เพื่อรักษาคุณภาพของรำข้าว รำข้าวที่ไม่ผ่านการคงสภาพนั้น เป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ และมีผลต่อกระบวนการสกัดน้ำมัน ปริมาณและคุณภาพของน้ำมัน (Amarasinghe, Kumarasiri and Gangodavilage, 2009, pp. 108-114)

กระบวนการคงสภาพรำข้าวนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้ลมร้อน (dry heat), การให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำ (wet heat or steaming), การให้ความร้อนแบบคลื่นไมโครเวฟ (microwave heating), การให้ความร้อนแบบโอห์มมิค (ohmic heating), การใช้ความเย็น (refrigeration), การใช้สารเคมี (chemical stabilization) เป็นต้น

1. การใช้ลมร้อน (dry heat)

การใช้ลมร้อนเป็นการใช้ความร้อนแห้ง ซึ่งอาจเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำแต่ใช้ระยะเวลานานหรือเป็นการให้ความร้อนสูงในระยะเวลาสั้น ๆ การให้ความร้อนโดยวิธีนี้สามารถทำลายเอนไซม์ไลเปสได้บางส่วน แต่ความชื้นนั้นเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ ดังนั้นการคงสภาพรำข้าวโดยวิธีการนี้ควรควบคุมระดับความชื้นให้อยู่ที่ร้อยละ 3-6 (Loeb, Morris and Dollear, 1949, pp. 738-743) และการใช้อุณหภูมิสูงในการคงสภาพนั้น ควรระวังรำข้าวหลังอบและน้ำมันที่สกัดได้จะมีสีเข้ม มีกลิ่นไหม้ และเกิดการออกซิเดชันของน้ำมันขึ้นได้ (จินดารัตน์ โตกมลธรรม, 2539, หน้า 26)

2. การให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อน (steaming or wet heating)

การให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อน อุณหภูมิของไอน้ำอยู่ในช่วง 100-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-15 นาที ซึ่งการให้ความร้อนด้วยวิธีนี้มีหลายรูปแบบ เช่น การใช้ลูกกลิ้งนึ่งด้วยไอน้ำ และเอ็กทรูชั่น เป็นต้น ข้อควรระวังในการคงสภาพด้วยวิธีการนี้ ควรนำรำข้าวที่ผ่านการคงสภาพไปทำแห้งก่อน มิฉะนั้นเอนไซม์ไลเปสที่ถูกยับยั้งจะสามารถกลับมาทำงานได้ (Juliano, 1985, p. 659)

3. การให้ความร้อนแบบคลื่นไมโครเวฟ (microwave heating)

การให้ความร้อนแบบคลื่นไมโครเวฟเป็นพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นไมโครเวฟจะไม่สะสมในอาหาร อัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ ความสม่ำเสมอของการเพิ่มอุณหภูมิ และเครื่องมือมีขนาดเล็ก (วิไล รังสาดทอง, 2546, หน้า, 325) การให้ความร้อนโดยวิธีนี้จะคงสภาพรำข้าวได้ปริมาณน้อย ไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

4. การให้ความร้อนแบบโอห์มมิค (ohmic heating)

การให้ความร้อนแบบโอห์มมิคเป็นการทำให้อาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้กระแสไฟฟ้าสลับไปยังอาหารโดยตรง ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำประมาณ 50-60 เฮิรตซ์ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน (ปฏิวิทย์ ลอยพิมาน, 2552, หน้า 5) การให้ความร้อนโดยวิธีนี้ จะคงคุณค่าทางโภชนาการสูงเมื่อเทียบกับวิธีการให้ความร้อนทั่วไป ค่าใช้จ่ายต่ำ ควบคุมกระบวนการทำง่าย (Castro, et al., 2004, pp. 27-36)

5. การใช้ความเย็น (refrigeration)

การใช้ความเย็นสามารถควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสได้ แต่วิธีการนี้เมื่อนำรำข้าวออกสู่อุณหภูมิภายนอกเอนไซม์ไลเปสจะเริ่มทำงานทันที วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับที่เก็บขนาดเล็ก แต่ถ้านำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมต้องมีระบบการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพมิเช่นนั้นจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและมีค่าใช้จ่ายสูง

6. การใช้สารเคมี (chemical stabilization)

เป็นการใช้สารเคมีในการทำลายสภาพธรรมชาติของเอนไซม์ สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) วิธีการนี้เหมาะสำหรับรำข้าวที่มีปริมาณมาก แต่อาจมีการปนเปื้อนไปสู่น้ำมันรำข้าวได้ จึงไม่เหมาะสำหรับคุณภาพอาหารและการใช้ประโยชน์ทางการแพทย์

Thanonkaew, et al. (2012, pp. 231-236) ได้ศึกษาสภาวะการทำให้รำข้าวคงตัวด้วยวิธีการใช้ ลมร้อน การคั่ว การนึ่งด้วยไอน้ำ และการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ พบว่า วิธีการคงสภาพด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ 150 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที มีประสิทธิภาพในการทำให้รำข้าวมีความคงตัวดีกว่าวิธีการนึ่งด้วยไอน้ำและการคั่ว ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่สกัดได้สูงที่สุดคือการคงสภาพรำข้าวด้วยวิธีอบลมร้อน ดังตาราง 6

ตาราง 6 ผลของการคงสภาพรำข้าวด้วยความร้อนต่อปริมาณความชื้นของรำข้าวและปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

วิธีคงสภาพ	ปริมาณความชื้น (g/100 g bran)	ปริมาณน้ำมัน (g/100 g bran)
รำข้าวไม่ผ่านการคงสภาพ	14.56 ± 0.08	3.29 ± 0.23
การใช้ลมร้อน	4.58 ± 0.51	5.53 ± 0.16
การคั่ว	2.13 ± 0.04	4.77 ± 0.30
การนึ่ง	11.41 ± 0.04	3.41 ± 0.14
การใช้ไมโครเวฟ	4.05 ± 0.13	4.81 ± 0.24

ที่มา: Thanonkaew, et al., 2012, p. 233

ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย และคณะ (2554, หน้า 769-722) ศึกษาการคงสภาพรำข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ที่มีความชื้นร้อยละ 7 นำมาให้ความร้อนด้วยวิธีที่แตกต่างกัน คือ การคั่ว การนึ่ง และการอบด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ นาน 2 นาที, 600 วัตต์ นาน 2 นาที (แบบต่อเนื่อง) และ 600 วัตต์ นาน 1 นาที (แบบไม่ต่อเนื่อง) พบว่า การให้ความร้อนจากไมโครเวฟ 600 วัตต์ นาน 2 นาที แบบต่อเนื่อง ทำให้ความชื้นในรำข้าวลดลงมากที่สุดเหลือร้อยละ 2.96 สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลง และเพิ่มปริมาณไขมันในรำข้าวมากที่สุด แต่ลดปริมาณกรดไขมันอิสระและการทำงานของเอนไซม์ไลเปสต่ำ

ศศิวิมล จิตรากร และคณะ (2553, หน้า 221-224) ได้ศึกษาผลของการใช้ความร้อนต่อความคงตัวของรำข้าวและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของรำหยาบและรำละเอียด โดยใช้เครื่องไมโครเวฟที่ 800 วัตต์ นาน 3 นาที ทำให้มีปริมาณความชื้นของรำหยาบร้อยละ 4.36 และรำละเอียดร้อยละ 4.25 และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 2 รอบ/นาที โดยมีความชื้นของรำหยาบร้อยละ 5.50 และรำละเอียดร้อยละ 5.70 การใช้เครื่องไมโครเวฟลดการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในรำหยาบและรำละเอียดได้ร้อยละ 0.11 และ 0.14 ตามลำดับ และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ลดการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในรำหยาบและรำละเอียดได้ร้อยละ 0.14 และ 0.15 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 วิธีไม่มีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยรำละเอียดมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่ารำหยาบ

Ramezanzadeh, et al. (2000, pp. 464-467) ศึกษาการใช้ความร้อนแบบไมโครเวฟที่ 850 วัตต์ และ 2450 เมกะเฮิรตซ์ เพื่อคงสภาพรำข้าวที่ปรับความชื้นเป็นร้อยละ 21 นาน 3 นาที บรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 5 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณกรดไขมันอิสระของรำข้าวที่ผ่านการคงสภาพน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับรำข้าวที่ไม่ผ่านการคงสภาพ

Amarasinghe and Gangodavilage (2004, pp. 54-59) รายงานว่า การคงสภาพรำข้าวโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถชะลอการเกิดกรดไขมันอิสระร้อยละ 9.01 หลังเก็บไว้นาน 70 วัน และสามารถช่วยให้น้ำมันรำข้าวที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dacera, et al. (2003, pp. 6-17) ซึ่งพบว่า การใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ไลเปสและสามารถป้องกันการเกิดกรดไขมันอิสระก่อนนำไปสกัดน้ำมันรำข้าว

Azeemoddin, et al. (1978, p.589) ใช้โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ ผสมกับรำข้าว อัตราส่วนรำข้าว 25 กิโลกรัม ต่อ โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ 500 กรัม เก็บในถุงนาน 30 วัน พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากร้อยละ 2.2 เป็นร้อยละ 3.5

ปฏิวิทย์ ลอยพิมาน (2552, หน้า 71) ศึกษาการคงสภาพรำข้าวด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิคพบว่า รำข้าวที่ปรับระดับความชื้นเป็นร้อยละ 30 และให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการคงสภาพสูงสุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระ สารมาโลนิลไดอัลดีไฮด์ และกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสต่ำสุด หลังเก็บไว้นาน 21 วัน

Lakkakula, Lima and Walker (2004, pp.157-161) ศึกษาการคงสภาพรำข้าวที่ปรับระดับความชื้นเป็นร้อยละ 21 โดยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิค ที่ความถี่ 60 เฮิรตซ์ พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นช้ากว่ารำที่ไม่ผ่านการคงสภาพ ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3.25 เป็นร้อยละ 5.47 ในขณะที่รำข้าวที่ไม่ผ่านการคงสภาพนั้นปริมาณ กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3.96 เป็นร้อยละ 18.03

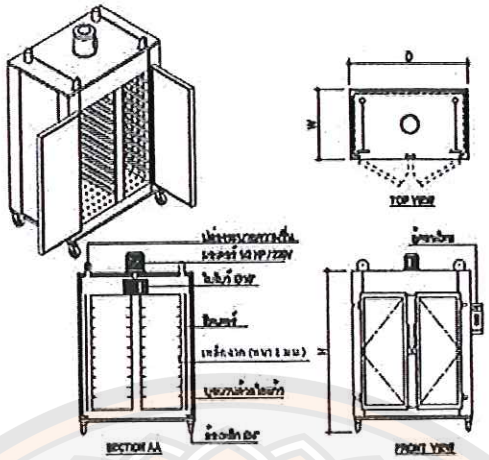
การคงสภาพรำข้าวมีหลากหลายวิธี มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน แต่จุดประสงค์หลักเพื่อต้องการยับยั้งหรือทำลายเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพในรำข้าว เนื่องจากรำข้าวมีปริมาณไขมันสูง สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจากเอนไซม์ไลเปสและปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้เกิดกรดไขมันอิสระขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงต้องคงสภาพรำข้าวเพื่อรักษาคุณภาพและคุณค่า

ทางโภชนาการของรำข้าว การคงสภาพรำข้าวในแต่ละวิธีนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผู้ประกอบการนั้น ๆ ว่าเหมาะแก่การลงทุนหรือผลตอบแทนที่จะได้รับหรือไม่ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการใช้ลมร้อนในการคงสภาพรำข้าว เนื่องจากเป็นวิธีที่ลงทุนต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ แต่ยังคงประสิทธิภาพในการคงสภาพได้ดี ถึงแม้ว่าวิธีอื่นจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแต่ไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ การใช้ลมร้อนนั้นเหมาะสมกับห้างหุ้นส่วนจำกัด ลูกจงรัก เนื่องจากเป็นโรงงานผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็นขนาดเล็ก มีกำลังในการผลิตต่ำ การปรับปรุงกระบวนการผลิตนี้ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้สูงขึ้น และสร้างมาตรฐานให้แก่ผู้ประกอบการ

การคงสภาพรำข้าวด้วยการใช้ลมร้อน (dry heat)

การทำงานของตู้อบลมร้อนนั้น อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตร/วินาที/เมตร^2 ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อหรือแบฟเฟิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ ดังภาพ 2 (วิไล รังสาดทอง, 2546, หน้า 278)

การคงสภาพโดยใช้ลมร้อน เป็นวิธีการแบบดั้งเดิมในการคงสภาพรำข้าว การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส จะทำลายเอนไซม์ที่ย่อยสลายไขมันในน้ำมันรำข้าว โดยไม่ทำลายคุณค่าทางโภชนาการของรำข้าว (Thanonkaew, et al., 2012, pp. 231-236) การคงสภาพรำข้าวโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-30 นาที เพื่อทำลายหรือยังยั้งเอนไซม์ไลเปสและไลพอกซีจีเนส การใช้ลมร้อนนั้นทำได้หลายวิธีเช่น การอบด้วยลมร้อน (hot - air drying) วิธีฟลูอิไดเซชั่น (fluidization) และการอบภายใต้สุญญากาศ (vacuum drying) การใช้ตู้อบลมร้อนในการคงสภาพเอนไซม์ในรำข้าว สายพันธุ์ Bw 335 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จะทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.98 หลังเก็บนาน 70 วัน (Amarasinghe and Gangodavilge, 2004, pp. 54-59)

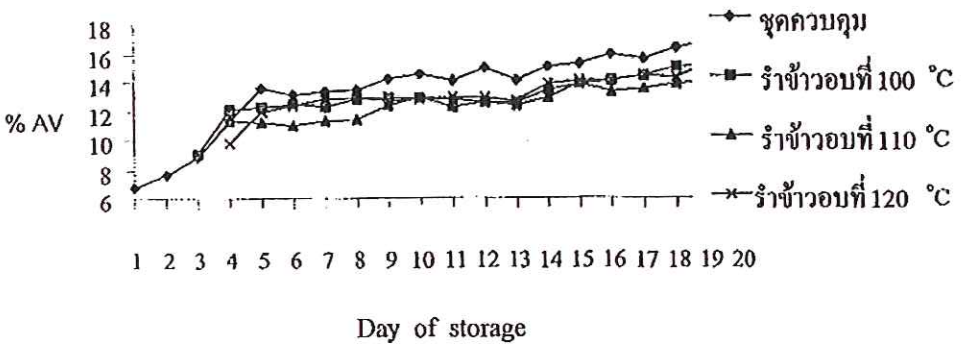


ภาพ 2 ตู้อบลมร้อนแบบถาด

ที่มา: www.kingmachinesworlds.com

Zullaikah, et al. (2005, pp. 1889-1896) ศึกษาการทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยการอบลมร้อน ภายใต้สภาพสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง มีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสและชะลอการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระหลังเก็บไว้นาน 1 สัปดาห์ แต่การใช้ลมร้อนคงสภาพนั้นจะใช้เวลานาน เนื่องจากค่าการนำความร้อนของรำข้าวต่ำทำให้ ความร้อนทำลายเอนไซม์และวัชพืชในรำข้าวไม่สมบูรณ์ส่งผลให้มีกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสเหลืออยู่ (Juliano, 1985, p. 659)

ชัยรัช ไหมเจริญ (2546, หน้า 73) รายงานว่า ตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส มีค่ากรด 15.60 และ 15.38% ตามลำดับ ซึ่งมีค่ากรดน้อยกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการอบ (16.48%) เนื่องจากรำข้าวที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำลายเอนไซม์ไลเปสโดยทำให้ค่ากรดต่ำกว่า แต่รำข้าวที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส มีค่ากรดเพิ่มขึ้นช้าที่สุด โดยมีค่ากรดเท่ากับ 14.38 ดังภาพ 3 ซึ่งสาเหตุอาจเป็นเพราะความชื้นของรำข้าวที่อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่า



ภาพ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของค่ากรด (AV) และระยะเวลาในการจัดเก็บ

ที่มา: ชัยรัช ไหมเจริญ, 2546, หน้า 66

ตาราง 7 แสดงปริมาณน้ำมันรำข้าวกับอุณหภูมิในการอบรำข้าว ที่อุณหภูมิในการอบรำข้าว 100 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นร้อยละ 10 จะได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยร้อยละ 25.69 และอุณหภูมิในการอบรำข้าว 110 และ 120 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 26.65 และ 26.55 ตามลำดับ ดังนั้น การอบมีผลให้รำข้าวมีปริมาณน้ำมันรำข้าวเพิ่มขึ้น

ตาราง 7 ปริมาณน้ำมันรำข้าวกับอุณหภูมิในการอบรำข้าว

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำมัน (%)
รำข้าวชุดควบคุม	23.50
รำข้าวอบที่ 100 องศาเซลเซียส	25.69
รำข้าวอบที่ 110 องศาเซลเซียส	26.65
รำข้าวอบที่ 120 องศาเซลเซียส	26.55

ที่มา: ดัดแปลงจาก ชัยรัช ไหมเจริญ, 2546, หน้า 8

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ตู้อบลมร้อนในการคงสภาพรำข้าวจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่ใช้ประกอบด้วย 80, 95, 100, 110, 120 และ 150 องศาเซลเซียส ส่วนเวลาที่ใช้อยู่

ในช่วง 10-30 นาที ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100, 125 และ 150 องศาเซลเซียส นาน 10, 15 และ 20 นาที

น้ำมันรำข้าวบีบเย็น

น้ำมันรำข้าวบีบเย็นคือน้ำมันที่ได้จากการบีบรำข้าว โดยใช้เครื่องบีบอัดแบบเกลียวจะมีความร้อนระหว่างการบีบอัดด้วยแรงดันมากไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส วิธีนี้จะช่วยรักษาคุณภาพของสารอาหาร และคุณประโยชน์ในรำข้าวอยู่อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองและเมมเบรน ในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็นจะไม่มีการใช้ความร้อนและสารเคมี ทำให้คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพยังคงอยู่ใน ปริมาณสูง จึงเหมาะสำหรับเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีคุณภาพสูง และในปัจจุบันได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเนื่องจากมีความปลอดภัยจากสารเคมีมากกว่าน้ำมันรำข้าวที่สกัดด้วยตัวทำละลาย และยังคงมีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระสูง แต่การผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็นนั้นจะได้ปริมาณน้ำมันน้อย ใช้ปริมาณรำข้าวมาก ใช้เวลาในการบีบน้ำมันนาน ไม่เหมาะในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่น้ำมันรำข้าวบีบเย็นมีมูลค่าสูงกว่าน้ำมันรำข้าวที่ผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายหลายเท่า และสีของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นจะมีสีเข้ม

สารสำคัญที่พบในน้ำมันรำข้าวประกอบด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ วิตามินอีในกลุ่มโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอล แกมมา - โอริซานอล ไฟโตสเตียรอล สารประกอบฟีนอลิคและสควอลีน ซึ่งจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ ดังตาราง 8 ซึ่งสารเหล่านี้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดสาเหตุการเกิดโรคได้หลายชนิด เช่น ลดคอเลสเตอรอลในเลือด ยับยั้งการเกิดลิ่มเลือด เป็นต้น งานวิจัยของ Gerhardt and Gallo (1998, pp. 865-869) พบว่า น้ำมันรำข้าวสามารถลดคอเลสเตอรอลชนิดแอลดีแอล-คอเลสเตอรอล ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลที่ไม่ดี แต่ไม่ลดเอชดีแอล-คอเลสเตอรอล ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลที่ดีต่อสุขภาพ

แกมมา - โอริซานอล เป็นสารที่สามารถป้องกันโรคมะเร็งได้ และยังป้องกันความผิดปกติของสมองที่เกิดจากการอุดตันของเส้นเลือดในสมองส่วนกลาง และโทโคไตรอีนอลนั้นสามารถยับยั้งการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล ลดระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด และลดปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรคหัวใจ และยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง (Cunha, et al., 2006, pp. 215-219)

ตาราง 8 องค์ประกอบโดยประมาณในน้ำมันรำข้าว

สารประกอบ	ปริมาณ (g)
ไขมันชนิดไตรกลีเซอร์ไรด์	92.0-97.0
สารประกอบที่ละลายในน้ำมัน	3-8
โทโคฟีรอล	0.06
โทโคไตรอินอล	0.07
โอริซานอล	0.09
อื่นๆ (Phytosterol, Triterpene, Polyphenol)	2.78-4.78

ที่มา: คมสันต์ หุตะแพทย์, 2550, หน้า 28-36

Thanonkaew, et al. (2012, pp. 231-236) ได้ศึกษาผลของการคงสภาพรำข้าวด้วยวิธีการใช้ลมร้อน การคั่ว การนึ่ง และการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ ที่มีผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็น พบว่า การคงสภาพรำข้าวด้วยการนึ่งมีปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับรำข้าวที่ไม่ผ่านการคงสภาพ การคงสภาพด้วยวิธีการให้ความร้อนจากไมโครเวฟและลมร้อน มีปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมันรำข้าวบีบเย็นสูงกว่าวิธีการคงสภาพแบบการคั่วและการนึ่ง และการคงสภาพด้วยการใช้ลมร้อนน้ำมันรำข้าวบีบเย็นมีปริมาณแกมมา-โอริซานอลสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับวิธีการคงสภาพด้วยความร้อนจากไมโครเวฟ การคั่ว และการนึ่ง ($p > 0.05$) ดังตาราง 9

ตาราง 9 ผลของการคงสภาพรำข้าวโดยการให้ความร้อนวิธีที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

วิธีคงสภาพ	ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ		
	ฟีนอลิก (mg FAE/g oil)	ฟลาโวนอยด์ (mg CE/g oil)	แกมมา-โอริซานอล (g/100 g oil)
รำข้าวไม่ผ่านการคงสภาพ	11.59 ± 0.89^{c}	9.04 ± 0.12^{b}	2.03 ± 0.05^{c}
การใช้ลมร้อน	15.70 ± 3.35^{a}	11.81 ± 1.20^{a}	2.30 ± 0.08^{a}
การคั่ว	13.71 ± 2.53^{b}	11.75 ± 0.28^{a}	2.24 ± 0.04^{ab}
การนึ่ง	13.65 ± 1.79^{b}	10.01 ± 0.69^{b}	2.16 ± 0.05^{b}
การใช้ไมโครเวฟ	16.27 ± 1.10^{a}	12.18 ± 0.65^{a}	2.25 ± 0.02^{ab}

ที่มา: Thanonkaew, et al., 2012, p.234

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากโรงสีข้าวร่วมเจริญ 2 ตำบลวังตะกู อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร โดยทางโรงสีทำการสีข้าวขาวกอเดียวบรรจุรำข้าวละเอียดในถุงพาสติกชนิด PE และขนส่งโดยรถบรรทุกมาเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทดสอบ

สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในงานวิจัย

1. Ethyl alcohol, AR grade, RCI Labscan
2. Acetic acid glacial, AR grade, RCI Labscan
3. Butan-l-ol, AR grade, RCI Labscan
4. Ferric sulfate, AR grade, RCI Labscan
5. 2 - Thiobarbituric acid (TBA), AR grade, Sigma-Aldrich
6. Sodium lauryl sulfate, AR grade, Fluka
7. Sodium dihydrogen phosphate dehydrate
8. Ammonium molybdate, AR grade, Fluka
9. Gallic acid, AR grade, Sigma-Aldrich
10. Butyl Hydroxytoluene (BHT), AR grade, Sigma-Aldrich
11. 1,1,3,3 Tetra-ethyoxypropane, AR grade, Fluka
12. Tricholoacetic acid, AR grade, RCI Labscan
13. Diethly ether, AR grade, RCI Labscan
14. *Phenolphthalein* indicator, AR grade, RCI Labscan
15. Methanol, AR grade, RCI Labscan
16. Sodium hydroxide, AR grade, RCI Labscan
17. Boric acid, AR grade, RCI Labscan
18. Sulfuric acid, AR grade, RCI Labscan
19. Folin-ciocalteu, AR grade, Fluka

20. Sodium carbonate, AR grade, RCI Labscan
21. 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), AR grade, Sigma-Aldrich
22. Potassium hydroxide, AR grade, RCI Labscan
23. Chloroform, AR grade, RCI Labscan
24. Sodium thiosulfate, AR grade, Merck
25. Starch solution
26. Photassium iodine, AR grade, Merck
27. Peptone water, Merck
28. Plate count agar, Merck
29. Lauryl sulfate tryptose broth, Merck
30. Brilliant Green Lactose 2% Bile Broth, Merck
31. Escherichia coli *broth* (EC), Merck
32. Dichloran Rose Bengal Chloramphenical Agar (DRBC), Merck
33. Methanol, HPLC grade, RCI Labscan
34. Dichloromethane, HPLC grade, RCI Labscan
35. Acetonitrile, HPLC grade, RCI Labscan
36. Acetic acid, HPLC grade, RCI Labscan
37. H_2O, HPLC grade, RCI Labscan

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. อุปกรณ์คงสภาพรำข้าว
   1.1 เครื่องร่อนรำข้าว
   1.2 เครื่องชั่ง
   1.3 ตะแกรงสำหรับใส่รำข้าว
   1.4 ตู้อบลมร้อน
2. อุปกรณ์บีบน้ำมันรำข้าวบีบเย็น
   2.1 เครื่องบีบน้ำมันแบบเกลียว ขนาด 2 แรงม้า
   2.2 กระชอน
   2.3 กระดาษกรองเบอร์ 91 (10 ไมโครเมตร)
   2.4 กรวยกรอง

2.5 ขวดแก้ว

3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1 เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, ED2244S)

3.2 เครื่องวัดสี (Hunter Lab, DP 9000)

3.3 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (Shimadzu)

3.4 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดย pH meter (Consort, C 830)

3.5 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (N-Biotek, 205Q)

3.6 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Buchi, E-816 SOX)

3.7 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Distillation : Buchi, B 323/ Digestion : Buchi, B 435)

3.8 เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย (LABCONCO, 266853)

3.9 เครื่องวิเคราะห์เถ้า (Fisher, 10-650-126)

3.10 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Thermo, Genesys 20)

3.11 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centurion, K240 R)

3.12 ตู้อบลมร้อน (UMAC, UM-Oven 120 L)

3.13 เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (Buchi, Rotavapor R-200)

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การศึกษาคุณภาพรำข้าวขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัว

นำรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ละเอียดและผ่านการขัดสีใหม่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง และผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส มาทดสอบคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

1. สมบัติทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าสี (L*, a*, b*)

2. สมบัติทางจุลชีววิทยา

2.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (FDA BAM, 2001)

2.2 จำนวนยีสต์และรา (FDA BAM, 2001)

2.3 จำนวนเชื้ออีโคไล (FDA BAM, 2001)

2.4 จำนวนเชื้อโคลิฟอร์ม (FDA BAM, 2001)

3. สมบัติทางเคมี

3.1 Proximate analysis: ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใยและคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

3.2 กิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) (Hoi, Holland and Hammond, 1999)

3.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (AOAC, 2000)

3.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) (AOAC, 2000)

3.5 TBARS (Mielnik, et al., 2006)

3.6 กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (Dasgupta and De, 2004)

3.7 Total phenolic (Iqbal, Bhanger and Anwer, 2005)

3.8 Lipid peroxidation (Dasgupta and De, 2004)

3.9 Total antioxidant capacity (Iqbal, Bhanger and Anwer, 2005)

3.10 Gamma-oryzanol (Chen and Bergman, 2005; Iqbal, Bhanger and Anwar, 2005)

3.11 Vitamin E (alpha-tocopherol) (Chen and Bergman, 2005)

3.12 Fatty acid composition (AOAC, 2012)

ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำให้รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวคงตัวด้วยลมร้อน

นำรำข้าวขาวกอเดียวที่ละเอียดและผ่านการขัดสีใหม่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง และผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส มาศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการทำให้รำข้าวมีความคงตัวต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว

อุณหภูมิที่ใช้ในการคงสภาพมี 3 ระดับ คือ 100 125 และ 150 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการคงสภาพมี 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 นาที นำรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะมาวิเคราะห์ ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพ

   วิเคราะห์ค่าสี (L* a* b*)

2. สมบัติทางจุลชีววิทยา

   2.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (FDA BAM, 2001)

   2.2 จำนวนยีสต์และรา (FDA BAM, 2001)

   2.3 จำนวนเชื้ออีโคไล (FDA BAM, 2001)

   2.4 จำนวนเชื้อโคลิฟอร์ม (FDA BAM, 2001)

3. สมบัติทางเคมี

3.1 Proximate analysis: ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใยและคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

3.2 กิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) (Hoi, Holland and Hammond, 1999)

3.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (AOAC, 2000)

3.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) (AOAC, 2000)

3.5 TBARS (Mielnik, et al., 2006)

3.6 กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (Dasgupta and De, 2004)

3.7 Total phenolic (Iqbal, Bhanger and Anwer, 2005)

3.8 Lipid peroxidation (Dasgupta and De, 2004)

3.9 Total antioxidant capacity (Iqbal, Bhanger and Anwer, 2005)

3.10 Gamma-oryzanol (Chen and Bergman, 2005; Iqbal, Bhanger and Anwar, 2005)

3.11 Vitamin E (alpha-tocopherol) (Chen and Bergman, 2005)

3.12 Fatty acid composition (AOAC, 2012)

คัดเลือกสภาวะที่มีค่ากรดต่ำที่สุด การทำให้รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีความคงตัว 1 สภาวะ โดยใช้เกณฑ์ ปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์เป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ กิจกรรมเอนไซม์ไลเปส และปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็น ตามลำดับ

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ได้จากรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

นำรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ละเอียดและผ่านการขัดสีไม่เกิน 24 ชั่วโมง และผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส มาทำให้คงตัวโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 จากนั้นบรรจุรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวแล้ว ลงในถุงพลาสติกชนิด PE และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างรำข้าวมาทดสอบทุก ๆ 3 สัปดาห์ และนำรำข้าว 20 กิโลกรัม มาบีบน้ำมัน โดยใช้เครื่องบีบเย็น แบบเกลียว ขนาด 2 แรงม้า ของ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ลูกจงรัก จากนั้นนำรำข้าวและน้ำมันรำข้าวบีบเย็นมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ จุลชีววิทยาและเคมี ดังนี้

1. **วิเคราะห์คุณสมบัติรำข้าว**

1.1 สมบัติทางจุลชีววิทยา

1.1.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (FDA BAM, 2001)

1.1.2 จำนวนยีสต์และรา (FDA BAM, 2001)

1.1.3 จำนวนเชื้ออีโคไล (FDA BAM, 2001)

1.1.4 จำนวนเชื้อโคลิฟอร์ม (FDA BAM, 2001)

1.2 สมบัติทางเคมี

1.2.1 Proximate analysis: ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใยและคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

1.2.2 กิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) (Hoi, Holland and Hammond, 1999)

1.2.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (AOAC, 2000)

1.2.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) (AOAC, 2000)

2. **วิเคราะห์คุณสมบัติน้ำมันรำข้าวบีบเย็น**

2.1 สมบัติทางกายภาพ

2.1.1 วิเคราะห์ค่าสี (L*, a*, b*)

2.1.2 ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็น (Extraction yield)

2.2 สมบัติทางเคมี

2.2.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) (AOAC, 2000)

2.2.2 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) (AOAC, 2000)

2.2.3 ค่ากรด (Acid value) (AOAC, 2000)

2.2.4 ค่า TBA (AOAC, 2000)

2.2.5 กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (Dasgupta and De, 2004)

2.2.6 Lipid peroxidation (Dasgupta and De, 2004)

2.2.7 Total antioxidant capacity (Iqbal,Bhanger and Anwer, 2005)

2.2.8 Gamma-oryzanol (Chen and Berman, 2005; Iqbal, Bhanger and Anwar, 2005)

2.2.9 Vitamin E (alpha-tocopherol) (Chen and Berman, 2005)

2.2.10 Fatty acid composition (AOAC, 2012)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ออกแบบการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS

ขั้นตอนการคงสภาพรำข้าวโดยใช้ลมร้อน การสกัดตัวอย่างรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวและการบีบน้ำมันรำข้าวบีบเย็น แสดงดังภาพ 4 - 6

ขั้นตอนการคงสภาพรำข้าวโดยใช้ลมร้อน

ชั่งน้ำหนักรำข้าวละเอียดที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 0.2 มิลลิเมตร จำนวน 500 กรัม

↓

เกลี่ยลงในถาด ให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร

↓

นำเข้าตู้อบลมร้อน ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้

↓

นำรำข้าวออกตู้อบลมร้อน ทิ้งให้เย็น

↓

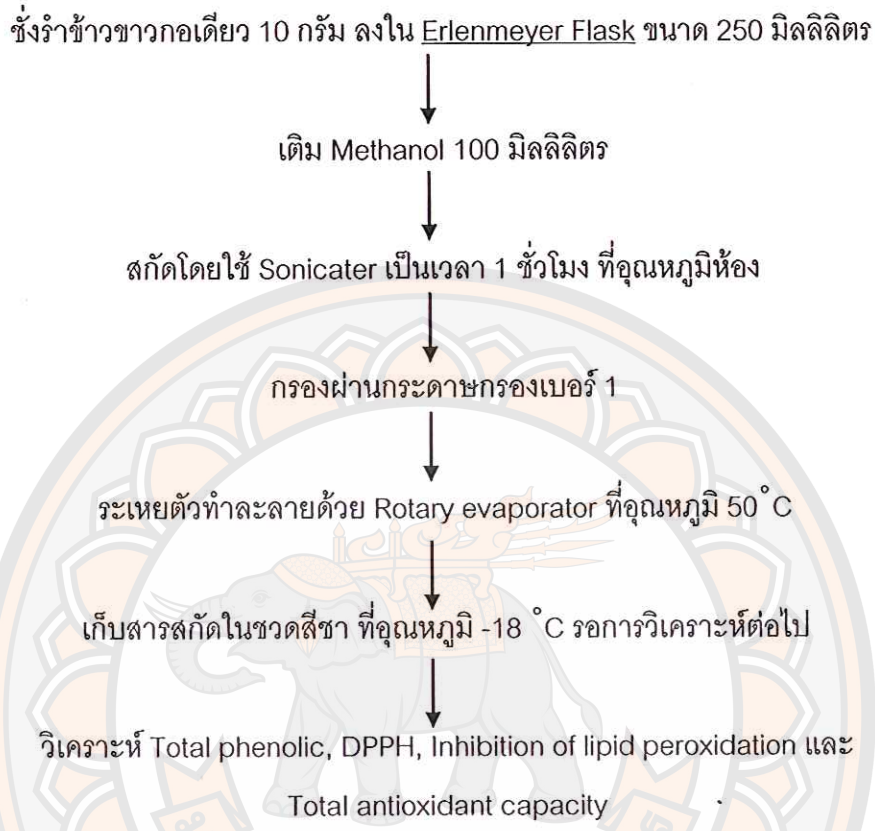
บรรจุลงในถุง PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

↓

นำไปวิเคราะห์

ภาพ 4 วิธีการคงสภาพรำข้าวโดยใช้ลมร้อน

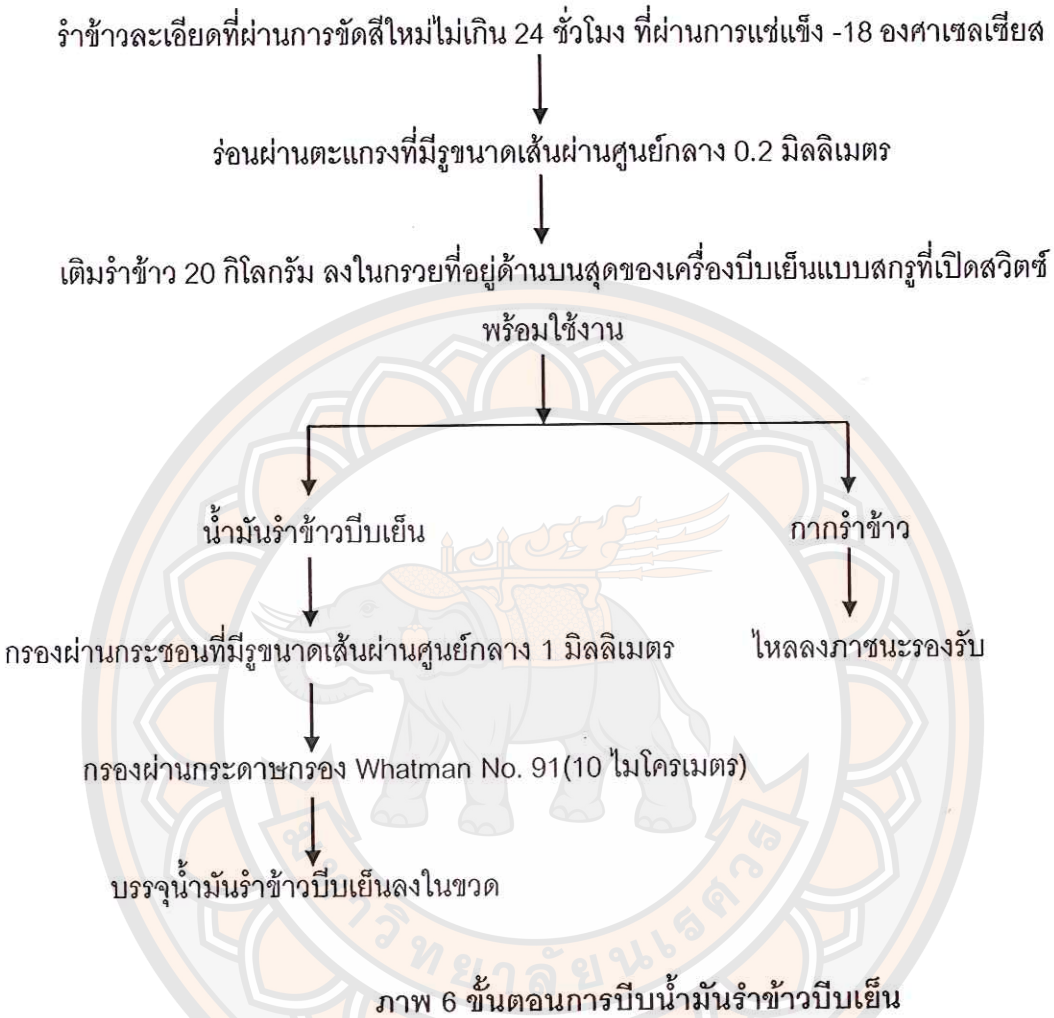
การสกัดตัวอย่างรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว



ภาพ 5 การสกัดตัวอย่างรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lai, et al., 2007

ขั้นตอนการบีบน้ำมันรำข้าวบีบเย็น



ภาพ 6 ขั้นตอนการบีบน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

ภาพ 7 เครื่องบีบน้ำมันรำข้าวบีบเย็นแบบเกลียว ขนาด 2 แรงม้า

ภาพ 8 น้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวที่สภาวะแตกต่างกัน

สรุปวิธีการทดลองทั้งหมด

ภาพ 9 ภาพรวมของวิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การศึกษาคุณภาพรำข้าวขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัว

นำรำข้าวละเอียดพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการขัดสีใหม่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง และผ่านแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส มาร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตรมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

1. **สมบัติทางกายภาพ (ค่าสี)**

รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลอ่อน (ภาพ 10) เมื่อนำรำข้าวมาร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร จะทำให้รำข้าวมีลักษณะเป็นผงละเอียดมากขึ้น เนื่องจากสามารถแยกข้าวเปลือก เศษหิน หรือสิ่งปลอมปนอื่นได้มากขึ้น ซึ่งทำให้รำข้าวสะอาดมากขึ้น และจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันรำข้าวได้ปริมาณเพิ่มขึ้น

เมื่อนำรำข้าวมาวัดค่าสีแบบ Hunter Lab scale พบว่า ค่าสี L* a* b* เท่ากับ 67.63, 2.35 และ 18.64 ตามลำดับ (ตาราง 10) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ จารุภา หล่อยดา (2556, หน้า 31) พบว่า สีของรำข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่า L* a* b* เท่ากับ 64.14, 1.69 และ 18.86 ซึ่งมีสีน้ำตาลอ่อนโดย มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว เนื่องจากเป็นรำข้าวขาวเช่นเดียวกัน

ภาพ 10 รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว

ตาราง 10 คุณสมบัติทางกายภาพ จุลชีววิทยา และทางเคมี ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว ก่อนการทำให้คงตัว

คุณสมบัติที่วิเคราะห์	ปริมาณ
สมบัติทางกายภาพ (ค่าสี)	
- L *	67.63 ± 0.04
- a*	2.35 ± 0.03
- b*	18.64 ± 0.16
สมบัติทางจุลชีววิทยา	
- Coliform bacteria (MPN/g)	>1100
- *E. coli* (MPN/g)	>1100
- Total plate count (cfu/g)	1.53×10^6
- Yeast and Mold (cfu/g)	5.73×10^5
สมบัติทางเคมี	
- Fat (% dry basis)	14.86 ± 0.33
- Protein (% dry basis)	9.70 ± 0.07
- Fiber (% dry basis)	5.73 ± 0.05
- Ash (% dry basis)	6.41 ± 0.16
- Carbohydrate (% dry basis)	51.97 ± 0.46
- Moisture (% dry basis)	11.33 ± 0.09
Lipase activity (% hydrolysis)	8.65 ± 0.20
Free Fatty acid (%)	5.12 ± 0.10
Acid Value (mg KOH/oil 1 g)	10.18 ± 0.20
Peroxide Value (meq/kg)	ND
TBARS (mg malondialdehyde/kg rice bran)	0.023 ± 0.001
Total Phenolic (mg gallic acid/g sample)	0.054 ± 0.005
Lipid peroxidation (Inhibition of lipid peroxidation %)	61.31 ± 0.61
Total antioxidant capacity (mg BHT equivalent/g rice bran)	2.80 ± 0.08
Total antioxidant capacity (mg gallic acid equivalent/g rice bran)	3.03 ± 0.10

2. **สมบัติทางจุลชีววิทยา**

การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ พบว่า รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สูงมาก โดยมีจำนวน Total plate count, Coliform bacteria, *E. coli* และ Yeast & Mold 1.53 x 10^6 cfu/g, >1100 MPN, >1100 MPN และ 5.73 x 10^5 cfu/g ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนดไว้ ว่า Total plate count < 1 x 10^6 cfu/g, *E. coli* < 100 MP, Yeast < 1 x 10^4 cfu/g และ Mold < 500 cfu/g (ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2, 2553) ทั้งนี้เนื่องจากรำข้าวเป็นแหล่งสารอาหารที่สมบูรณ์ของเชื้อจุลินทรีย์ประกอบกับรำข้าวมีความชื้นที่เหมาะสมแก่การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงสภาวะแวดล้อมในการสีข้าวและการเก็บรักษารำข้าวจากโรงสีที่ไม่ถูกสุขลักษณะจึงทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในรำข้าวเกินเกณฑ์มาตรฐาน จากการวิจัยนี้ในระหว่างการร่อนรำข้าวพบมูลนกปนเปื้อนมากับรำข้าวด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุให้รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เกินเกณฑ์มาตรฐาน

3. **สมบัติทางเคมี**

ผลของคุณสมบัติทางเคมี ในด้านขององค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนทำให้คงตัวพบว่ารำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีปริมาณความชื้นสูง (ร้อยละ 11.33%) ไขมัน ร้อยละ14.86, โปรตีน ร้อยละ 9.70, เยื่อใย ร้อยละ 5.73, เถ้า ร้อยละ 6.41 และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 51.97 ดังแสดงในตาราง 10 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย Juliano (1993, p. 40) ที่รำข้าวมีระดับความชื้น ร้อยละ 14 พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกันกับงานวิจัยนี้ โดยปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่รายงานโดย Juliano (1993, p. 40) พบว่า มีปริมาณไขมัน ร้อยละ 15.0-19.7, โปรตีน ร้อยละ 11.3-14.9, เยื่อใย ร้อยละ 7.0-11.4, เถ้า ร้อยละ 6.6-9.9 และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 34.62

Lipase activity ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวเท่ากับ 8.65 (% hydrolysis) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไขมันที่ไม่อิ่มตัวกับน้ำ โดยมีเอนไซม์จากจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันที่มีกลิ่นเหม็นหืน ในงานวิจัยของ Hoi, Holland and Hammond (1999, pp. 1055-1059) ได้ศึกษา lipase activity ในรำข้าวสาลี โดยวัดจาก % hydrolysis พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 7.5–16.8 % ซึ่งใกล้เคียงกับรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว

การตรวจค่า Acid value, Free fatty acid และ Peroxide value ของรำข้าวพันธุ์สังข์หยดก่อนทำให้คงตัว ในงานวิจัยของ Thanonkaew, et al. (2012, p. 234) พบว่า มีค่า 11.11 mg KOH/g oil, 5.58 % และ 18.85 mg Eqv/kg oil ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว จากตาราง 10 (10.18 mg KOH/g oil และ 5.12% ตามลำดับ) ปรากฏว่า

มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นค่า peroxide value ซึ่งรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวตรวจไม่พบ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่ากรดและปริมาณกรดไขมันอิสระกับค่ามาตรฐานพบว่า สูงกว่ามาตรฐาน

ค่า TBARS ในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนทำให้คงตัว มีค่าต่ำมาก (0.023 mg malondialdehyde/kg rice bran) เมื่อเปรียบเทียบกับรำข้าวก่อนทำให้คงตัวในงานวิจัยของ Loypimai, Moonggarm and Chottanom (2009, p. 3648) ซึ่งมีค่า TBARS ประมาณ 1.4 mg malondialdehyde/kg rice bran ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในงานวิจัยนี้รำข้าวมีปริมาณความชื้น ร้อยละ 11.33 ซึ่งต่ำกว่าจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้น้อยกว่ารำข้าวในงานวิจัยของ Loypimai, Moonggarm and Chottanom (2009, p. 3648) ที่ใช้ความชื้นสูง ร้อยละ 20-40

การวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (IC_{50}) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว พบว่ามีค่า IC_{50} เท่ากับ 6.96 mg/ml เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ปิยนาถ ประเสริฐสังข์ (2557, หน้า 56) ที่วัดค่า DPPH ของรำข้าวข้าวเหนียวดำ, หอมแดงและหอมนิล (IC_{50} 0.100, 0.139 และ 0.371 mg/ml ตามลำดับ) พบว่ารำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำกว่าและ Moongngarm, Daomukda and Khumpika (2012, pp. 73-79) พบว่า ในรำข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่า IC_{50} เท่ากับ 35 mg/ml ดังนั้น รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีค่า IC_{50} ต่ำกว่ารำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งแสดงว่ามีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่า

ในงานวิจัยของ Iqbal, Bhanger and Anwer (2005, pp. 265 - 272) ศึกษาปริมาณ Total phenolics ในรำข้าวที่เพาะปลูกในประเทศปากีสถาน 5 สายพันธุ์ (Rice bran-Super kernel, Rice bran-Super 2000, Rice bran-Super Basmati, Rice bran-Super-386 และ Rice bran-Super fine) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 2.51-5.39 mg gallic acid/g sample ซึ่งมีปริมาณ Total phenolics ที่สูงกว่ารำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมาก (0.054 mg gallic acid/g sample) และเมื่อเปรียบเทียบกับรำข้าวสายพันธุ์ที่เพาะปลูกในประเทศไทยทั้ง 5 สายพันธุ์ (ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 60, สุพรรณบุรี 90, ขาวชัยนาท 1 และ กข 13) พบว่า มีค่า Total phenolics เท่ากับ 2.2 – 3.2 mg gallic aid/g sample (Chotimarkorn, Benjakul and Silalai, 2008, pp. 636-641) ซึ่งพบว่า รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีปริมาณ total phenolics ต่ำกว่ารำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ดังกล่าวมาก ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของพันธุ์ข้าว การปลูก การดูแลรักษา และความสมบูรณ์ของข้าวขณะเก็บเกี่ยว

Inhibition of Lipid peroxidation ในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีค่าเท่ากับ 61.31% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงฤทธิ์การต้านการเกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันได้สูง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Iqbal, Bhanger and Anwer (2005, pp. 265-272) ที่มีค่า Inhibition of Lipid peroxidation

ของรำข้าวที่เพาะปลูกในประเทศปากีสถานสายพันธุ์ต่างๆ ต่ำกว่ามาก (10% Lipid peroxidation) และ Thanonkaew, et al.. (2012, pp. 231-236) พบว่า รำข้าวสังข์หยด พัทลุง มี Inhibition of Lipid peroxidation เท่ากับ 20% นอกจากนี้ Moongngarm, Daomukda and Khumpika (2012, pp. 73-79) พบว่ารำข้าวขาวดอกมะลิ มี Inhibition of lipid peroxidation เท่ากับ 45% ดังนั้นจะเห็นได้ว่ารำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมี Inhibition of Lipid peroxidation สูงกว่าค่าที่รายงานในงานวิจัยอื่นๆ

Total antioxidant capacity ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว มีค่าเท่ากับ 2.80 mg BHT equivalent/g rice bran เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ปฏิวิทย์ ลอยพิมาน (2552) พบว่า รำข้าวพันธุ์ กข6 ที่ไม่ผ่านการคงสภาพ มีค่า Total antioxidant capacity เท่ากับ 4.49 mg BHT equivalent/g rice bran ซึ่งสูงกว่าค่าที่พบในงานวิจัยนี้ และเมื่อเปรียบเทียบ Moongngarm, Daomukda and Khumpika (2012, pp. 73-79) พบว่าในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่ารำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15 mg BHT equivalent/g rice bran จะเห็นได้ว่าพันธุ์ข้าว การดูแลรักษา การสี ความอ่อนแก่หรือความสมบูรณ์ขณะเก็บเกี่ยวอาจส่งผลให้รำข้าวดังกล่าวมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน

ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำให้รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวคงตัวด้วยลมร้อน

1. **การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ**

1.1 ค่าสี

ค่าสี (L* a* และ b*) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวทั้ง 10 ชุดการทดลอง (ตาราง 11) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีสีคล้ำขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เห็นได้จากการลดลงของค่า L* และการเพิ่มขึ้นของค่า a* และ b* ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานกว่า 10 นาที ทำให้รำข้าวมีสีที่เข้มขึ้น นอกจากนี้ที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อน รำข้าวมีสีที่เข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 11 ค่าสี L* a* และ b* ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ

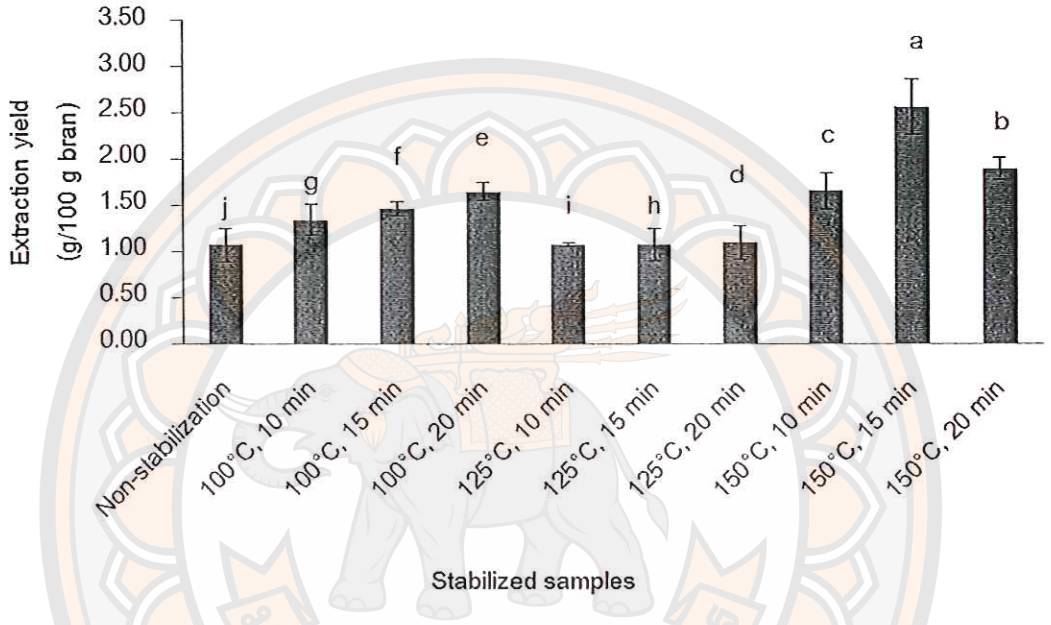
Rice bran sample	L*	a*	b*
Non-stabilization	$67.63^{a} \pm 0.04$	$2.35^{f} \pm 0.04$	$18.64^{i} \pm 0.16$
100°C, 10 min	$65.68^{e} \pm 0.13$	$2.62^{d} \pm 0.07$	$19.97^{e} \pm 0.01$
100°C, 15 min	$66.77^{b} \pm 0.07$	$2.51^{e} \pm 0.05$	$19.42^{g} \pm 0.24$
100°C, 20 min	$67.69^{a} \pm 0.15$	$2.43^{f} \pm 0.03$	$18.98^{h} \pm 0.06$
125°C, 10 min	$66.27^{d} \pm 0.07$	$2.68^{d} \pm 0.04$	$19.72^{f} \pm 0.05$
125°C, 15 min	$66.43^{c} \pm 0.05$	$2.82^{c} \pm 0.06$	$20.39^{d} \pm 0.04$
125°C, 20 min	$66.81^{b} \pm 0.13$	$2.67^{d} \pm 0.03$	$20.14^{e} \pm 0.08$
150°C, 10 min	$62.90^{f} \pm 0.04$	$4.56^{b} \pm 0.03$	$22.45^{c} \pm 0.16$
150°C, 15 min	$60.26^{h} \pm 0.03$	$6.09^{a} \pm 0.05$	$23.09^{b} \pm 0.17$
150°C, 20 min	$60.87^{g} \pm 0.08$	$6.10^{a} \pm 0.05$	$25.43^{a} \pm 0.03$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – i กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

1.2 ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็น (extraction yield)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็น (extraction yield) จากตัวอย่างทั้ง 10 ชุดการทดลอง พบว่า รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีปริมาณน้ำมันสูงกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว ยกเว้นที่สภาวะ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (ภาพ 11) การทำให้รำข้าวคงตัวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มความร้อนสูงขึ้นที่ 150 องศาเซลเซียสปริมาณน้ำมันจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีปริมาณน้ำมันสูงกว่ารำข้าวที่ให้ความร้อนที่ 100 และ 125 องศาเซลเซียส เนื่องจากความร้อนจะทำให้ผนังเซลล์นั้นถูกทำลาย ทำให้เกิดรูพรุน มีความดันเกิดขึ้นภายในและปล่อยสารนั้นๆ ออกจากวัตถุ (Aguilera and Stanley, 1999, p. 386 ; Starmans and Nijhuis, 1996, pp. 191-197) และเมื่อเซลล์ถูกทำลายลงก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันได้ดีขึ้น (Uquiche, Jere and Ortizet, 2008, pp. 495-500) ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับ Thanonkaew, et al. (2012, p. 233) ซึ่งได้รายงานว่า ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นจากรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวทั้ง 4 วิธี (ลมร้อน,

การคั่ว, ไอน้ำ และไมโครเวฟ) มีปริมาณสูงกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว และ Amarasinghe and Gangodavilage (2004, pp. 54-59) รายงานว่ารำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวทั้ง 6 วิธี (ลมร้อน, ไอน้ำ, ความเย็น, ตากแห้ง, อบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และสารเคมี) ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันรำข้าวและมีปริมาณน้ำมันมากกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว



ภาพ 11 ปริมาณน้ำมันรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว (extraction yield) ก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (AOAC, 2000) พบว่า รำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุด และมีค่าเกินมาตรฐาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำให้คงตัวปริมาณจุลินทรีย์ลดลง การทำให้รำข้าวคงตัวที่ 150 องศาเซลเซียสทุกช่วงเวลา ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงมากที่สุด (ตาราง 12) ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2, 2553 ที่กำหนดไว้ว่า Total plate count < 1 x 10^6 cfu/g, *E. coli* < 100 MP,

Yeast < 1 x 10^4 cfu/g และ Mold < 500 cfu/g แสดงว่ารำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและทำให้รำข้าวเน่าเสีย

ตาราง 12 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ

Rice bran sample	Coliform bacteria (MPN/g)	*E. coli* (MPN/g)	Total plate count (cfu/g)	Yeast and Mold (cfu/g)
Non-stabilization	>1100	>1100	1.53 x 10^6	5.73 x 10^5
100°C, 10 min	>1100	150	1.63 x 10^5	1.23 x 10^3
100°C, 15 min	240	15	4.95 x 10^5	9.75 x 10^2
100°C, 20 min	23	3.6	5.71 x 10^5	6.75 x 10^2
125°C, 10 min	210	21	2.49 x 10^5	4.30 x 10^2
125°C, 15 min	75	15	8.73 x 10^4	0
125°C, 20 min	23	3.6	6.24 x 10^4	0
150°C, 10 min	<3	<3	7.65 x 10^3	0
150°C, 15 min	<3	<3	5.53 x 10^2	0
150°C, 20 min	<3	<3	5.03 x 10^2	0

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.1 Proximate analysis

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 2000) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ (ตาราง 13) พบว่า ปริมาณไขมัน โปรตีน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของรำข้าวทุก ๆ สภาวะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการทำให้คงตัวด้วยลมร้อน ส่วนปริมาณความชื้นของรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว (ร้อยละ11.33) มีปริมาณความชื้นสูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อได้ผ่านการทำให้คงตัวปริมาณความชื้นของรำข้าวลดลงทุกสภาวะ (ร้อยละ 3.73-1.23) และพบว่า มีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และเยื่อใย ร้อยละ 9.70-12.35, 14.86-19.04, 51.97-54.68, 6.41-8.20 และ 5.73-7.15 ตามลำดับ Silva, Sanches and Amante (2006, pp. 487-491) รายงานว่า

รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยการคั่วนั้นมีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ ความชื้น ร้อยละ 3.98, โปรตีน ร้อยละ 13.63, ไขมัน ร้อยละ 22.27, คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 54.85 และเถ้า ร้อยละ 9.25 และ Moongngarm, Daomukda and Khumpika (2012, pp. 73-79) รายงานว่า ในรำข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการคงสภาพที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ โปรตีน ร้อยละ 13.66, ไขมัน ร้อยละ 18.80, คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 40.63, เถ้า ร้อยละ 10.65 และเยื่อใย ร้อยละ 12.48 จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยดังกล่าว พบว่า มีค่าใกล้เคียงหรืออยู่ในช่วงเดียวกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาวะในการคงสภาพรำข้าวนั้นใกล้เคียงกัน

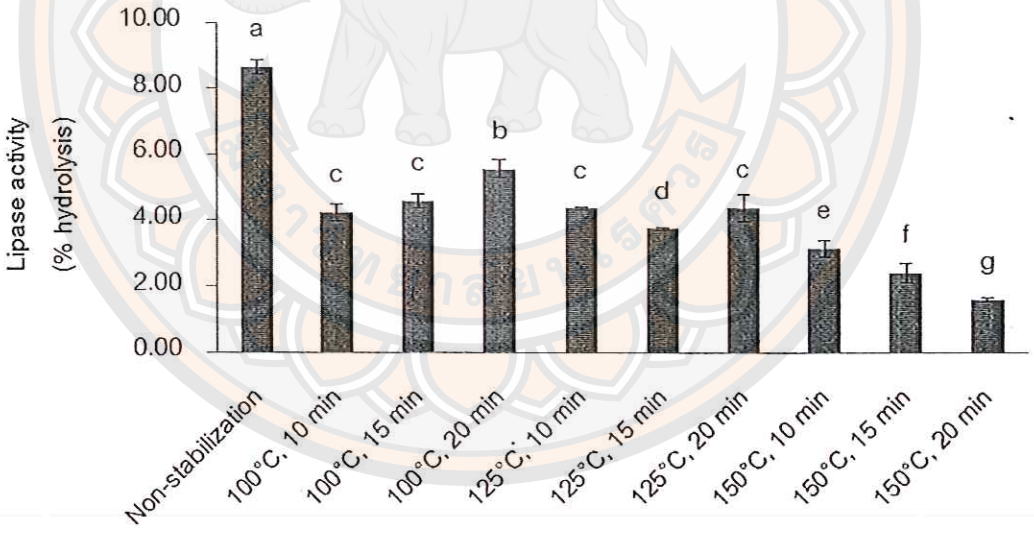
ตาราง 13 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ (น้ำหนักแห้ง)

Rice bran sample	Moisture (%)	Fat (%)	Protein (%)	Fiber (%)	Ash (%)	Carbohydrate (%)
Non-stabilization	$11.33^{a} \pm 0.09$	$14.86^{f} \pm 0.33$	$9.70^{d} \pm 0.07$	$5.73^{d} \pm 0.05$	$6.41^{f} \pm 0.16$	$51.97^{f} \pm 0.46$
100°C, 10 min	$3.73^{b} \pm 0.19$	$18.09^{c,d} \pm 0.14$	$11.68^{b,c} \pm 0.12$	$6.48^{b,c} \pm 0.07$	$7.71^{d,e} \pm 0.05$	$52.30^{e,f} \pm 0.04$
100°C, 15 min	$2.36^{c} \pm 0.27$	$19.04^{a} \pm 0.57$	$11.65^{b,c} \pm 0.15$	$7.15^{a} \pm 0.38$	$8.11^{a} \pm 0.09$	$51.69^{f} \pm 0.63$
100°C, 20 min	$3.35^{b} \pm 0.39$	$17.41^{e} \pm 0.33$	$11.41^{c} \pm 0.32$	$6.33^{c} \pm 0.29$	$7.59^{e} \pm 0.01$	$53.91^{a,b} \pm 0.69$
125°C, 10 min	$2.63^{c} \pm 0.24$	$17.76^{d,e} \pm 0.37$	$11.66^{b,c} \pm 0.01$	$6.44^{b,c} \pm 0.36$	$7.73^{d,e} \pm 0.01$	$53.77^{b,c} \pm 0.41$
125°C, 15 min	$1.77^{d} \pm 0.08$	$18.28_{b,c,d} \pm 0.32$	$12.35^{a} \pm 0.18$	$6.65^{b,c} \pm 0.14$	$8.07^{a,b} \pm 0.05$	$52.87^{d,e} \pm 0.10$
125°C, 20 min	$1.27^{d} \pm 0.18$	$18.21^{b,c,d} \pm 0.32$	$11.70^{b,c} \pm 0.12$	$6.31^{c} \pm 0.14$	$7.83^{c,d} \pm 0.08$	$54.68^{a} \pm 0.60$
150°C, 10 min	$1.59^{d} \pm 0.48$	$18.27^{b,c,d} \pm 0.30$	$11.76^{b} \pm 0.13$	$6.40^{c} \pm 0.23$	$7.94^{b,c} \pm 0.12$	$54.05^{a,b} \pm 0.38$
150°C, 15 min	$1.48^{d} \pm 0.55$	$18.50^{a,b,c} \pm 0.36$	$11.61^{b,c} \pm 0.12$	$6.62^{b,c} \pm 0.07$	$8.20^{a} \pm 0.03$	$53.59^{b,c,d} \pm 0.01$
150°C, 20 min	$1.23^{d} \pm 0.31$	$18.78^{a,b} \pm 0.19$	$11.91^{b} \pm 0.15$	$6.88^{a,b} \pm 0.33$	$8.10^{a} \pm 0.06$	$53.10^{c,d} \pm 0.33$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – f กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

3.2 **กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส** (Lipase activity)

รำข้าวเกิดการเสื่อมคุณภาพลงอย่างรวดเร็ว จากเอนไซม์ไลเปสที่พบในรำข้าว ซึ่งเอนไซม์ที่พบในรำข้าวนั้นสามารถพบได้จาก 2 แหล่ง คือ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและจากเชื้อจุลินทรีย์ (Sastry, Ramakrishna and Roa, 1977, pp. 273-274) จากการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส พบว่า รำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวนั้นมีค่า % hydrolysis สูงกว่ารำข้าวที่สภาวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 8.65% และรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัว ที่อุณหภูมิสูงขึ้น มี % hydrolysis ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพ 12) แสดงให้เห็นว่าความร้อนสามารถยับยั้งเอนไซม์ไลเปสได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสลดลง โดยรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มี % hydrolysis ต่ำที่สุด และรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที , 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที, 125 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และ 125 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มี % hydrolysis ที่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)



ภาพ 12 กิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) **ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว ก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ**

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – g กำกับที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

Tussanaekgajit, et al. (2012, pp. 9-12) รายงานว่า การทำให้รำข้าวคงตัวโดยใช้ Tray dryer ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (% hydrolysis) ต่ำกว่าการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 120 และ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ ซึ่งที่อุณหภูมิ 150องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Keo-oudone and Vananuvat (2004, pp. 566-574) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้รำข้าวคงตัวโดยใช้ไมโครเวฟ (850 W และ 2450 MHz) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมนั้น คือ ชั่งน้ำหนักรำข้าว 150 กรัม ปรับความชื้นเป็น ร้อยละ 12 และคงสภาพโดยใช้ไมโครเวฟนาน 5 นาที เมื่อผ่านการคงสภาพแล้วความชื้นลดลงเหลือ ร้อยละ 4.8 และเอนไซม์ไลเปสจะถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ และ Lakkakula, Lima and Walker (2004, pp. 157-161) พบว่า การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับจาก Ohmic heating สามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวได้ เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ที่แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงมีผลในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวได้

3.3 Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value

ค่า FFA, AV และ PV เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำมันรำข้าวบีบเย็น โดยทั่วไปแล้วค่า FFA, AV และ PV จะมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (Thanonkaew, et al., 2012, pp. 231-236) จากการวิเคราะห์ค่า FFA, AV และ PV ในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว (ตาราง 14) พบว่า รำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวมีค่า FFA และ AV สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 5.12% และ 10.18 mg KOH/g oil ตามลำดับ ส่วนรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวจะมีค่าดังกล่าวลดลง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ค่า FFA และ AV มีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่า PV นั้นตรวจไม่พบทุกสภาวะ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 ถึง 150 องศาเซลเซียส ที่เวลาเดียวกัน ค่า AV และ FFA นั้นเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Wiset, Kongkiattikajorn and Potchanachai, 2005) เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกันแต่เวลาต่างกันพบว่า ที่อุณหภูมิ 100 และ 150 องศาเซลเซียส ค่าของ FFA และ AV มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลามีผลต่อการคงสภาพ และที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างกันพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตาราง 14 Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ

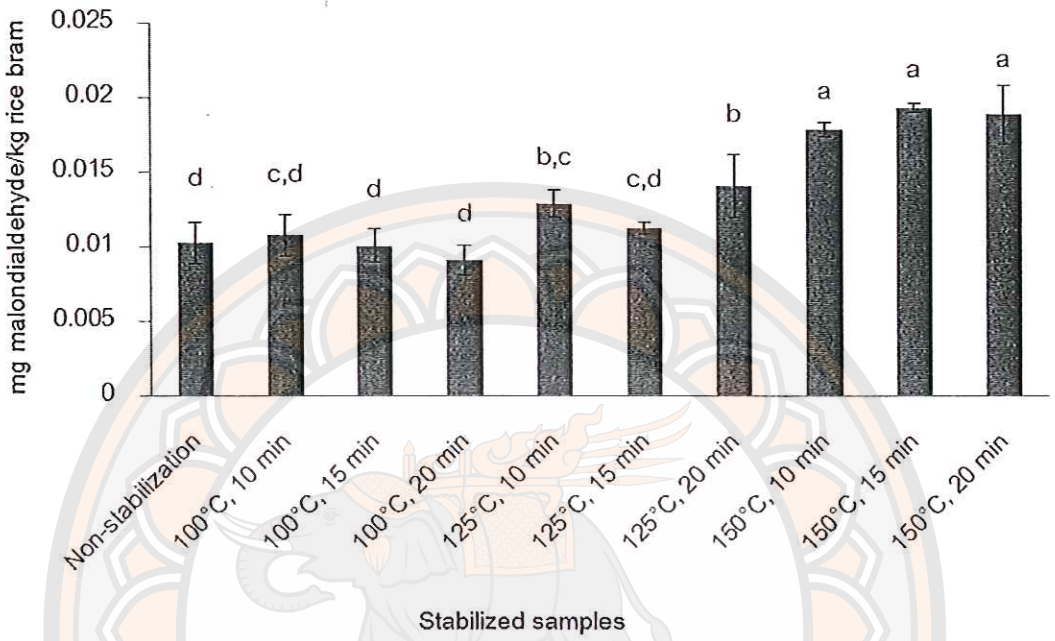
Rice bran sample	Free Fatty acid (%)	Acid Value (mg KOH/g oil)	Peroxide Value (meq/kg)
Non-stabilization	$5.12^{a} \pm 0.10$	$10.18^{a} \pm 0.20$	ND
100°C, 10 min	$3.15^{d} \pm 0.27$	$6.27^{d} \pm 0.54$	ND
100°C, 15 min	$4.19^{b} \pm 0.26$	$8.35^{b} \pm 0.52$	ND
100°C, 20 min	$3.93^{c} \pm 0.04$	$7.81^{c} \pm 0.07$	ND
125°C, 10 min	$3.89^{c} \pm 0.05$	$7.75^{c} \pm 0.10$	ND
125°C, 15 min	$3.76^{c} \pm 0.06$	$7.48^{c} \pm 0.12$	ND
125°C, 20 min	$3.81^{c} \pm 0.08$	$7.57^{c} \pm 0.16$	ND
150°C, 10 min	$3.74^{c} \pm 0.15$	$7.45^{c} \pm 0.30$	ND
150°C, 15 min	$4.35^{b} \pm 0.11$	$8.66^{b} \pm 0.22$	ND
150°C, 20 min	$4.39^{b} \pm 0.02$	$8.74^{b} \pm 0.03$	ND

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – d กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

3.4 Thiobarbituric acid – reactive substance (TBARS)

การวิเคราะห์การเกิดกลิ่นหืนโดยการวัดค่า Thiobarbituric acid – reactive substance (TBARS) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ แสดงดังภาพ 13 พบว่ารำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีค่า TBARS 0.009-0.019 mg malondialdehyde/kg rice bran รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 15 และ 20 นาที มีค่า TBARS สูงที่กว่าสภาวะอื่น ๆ ในส่วนของรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวและรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัว ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที, 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที, 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และ 125 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที มีค่า TBARS ต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) และไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ค่า TBARS เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานจะเป็นสาเหตุในการเร่งการเกิดออกซิเดชันจากกรดไขมันอิสระมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Wiset, Kongkiattikajorn

and Potchanachai, 2005) ดังนั้นรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานจะนำไปสู่การเกิดกลิ่นหืนได้มากขึ้น ซึ่งวัดได้จากค่า TBARS ที่เพิ่มขึ้น



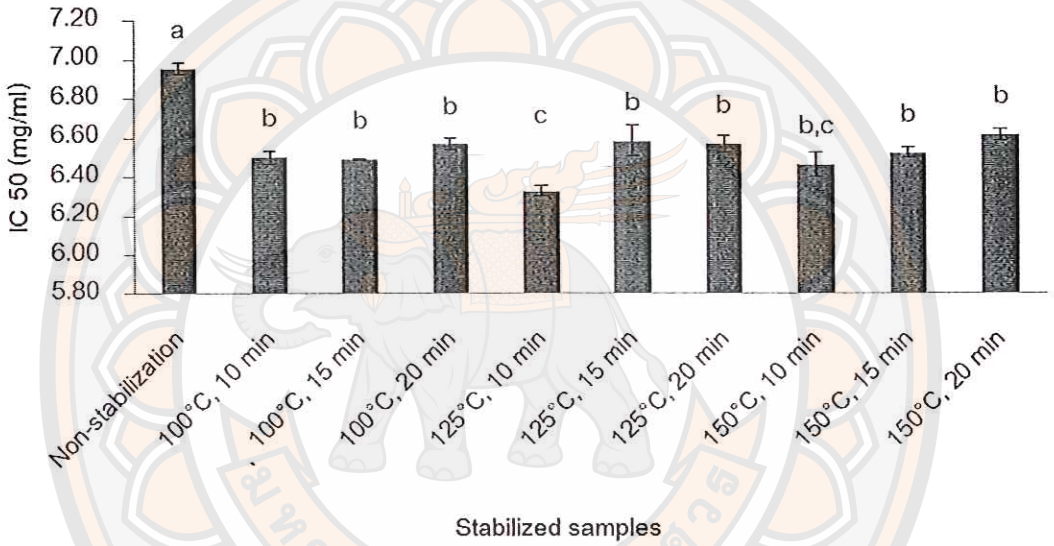
ภาพ 13 Thiobarbituric acid – reactive substance (TBARS) **ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ**

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – d กำกับที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

3.5 DPPH radical scavenging activity

การวัดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity วิเคราะห์ผลเป็น IC_{50} คือค่าความเข้มข้นของรำข้าวที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50% (ภาพ 14) พบว่า รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 6.33-6.61 mg/ml หรือมีค่าการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว (IC_{50} 6.96 mg/ml) ($p \leq 0.05$) รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสภาวะอื่น ๆ ($p<0.05$) ยกเว้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่สภาวะอื่น ๆ นั้นมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) Loypimai,

Moonggarm and Chottanom (2009, pp. 3650; Thanonkaew, et al., 2012, p. 235) รายงานว่า รำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำกว่ารำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัว ซึ่งแสดงให้เห็นว่างานวิจัยดังกล่าวสนับสนุนผลงานวิจัยนี้ที่ว่า รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยลมร้อน สามารถเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้มากขึ้น เนื่องจากความร้อนจะทำให้ผนังเซลล์นั้นถูกทำลาย ทำให้เกิดรูพรุน มีความดันเกิดขึ้นภายในและปล่อยสารนั้น ๆ ออกจากวัตถุได้มากขึ้น (Aguilera and Stanley, 1999, p. 386; Starmans and Nijhuis, 1996, pp. 191-197)

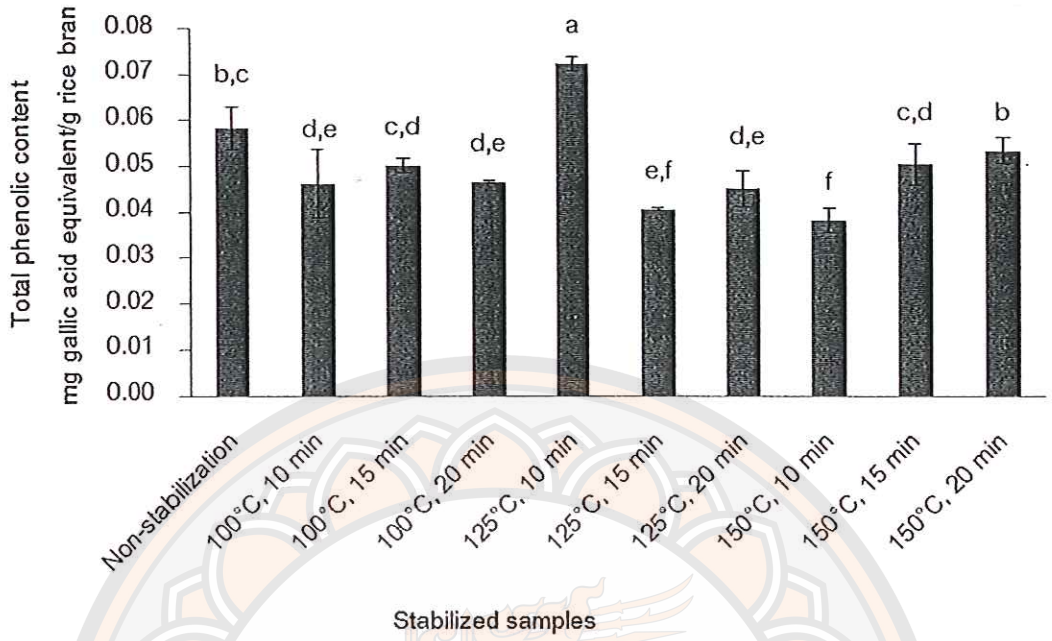


ภาพ 14 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – c กำกับที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

3.6 Total phenolics

การวิเคราะห์ปริมาณ Total phenolics ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ แสดงดังภาพ 15 พบว่า รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีปริมาณ Total phenolics อยู่ในช่วง 0.039-0.072 mg gallic acid equivalent/g rice bran รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที มีปริมาณ Total phenolics สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.072 mg gallic acid/g rice bran ($p \leq 0.05$)



ภาพ 15 ปริมาณ Total phenolics ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – f กำกับที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

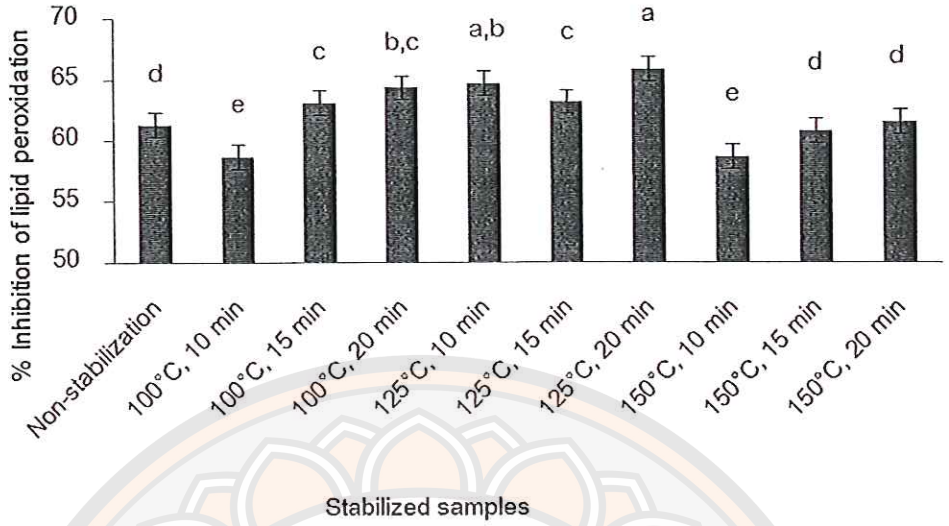
ปริมาณของ Total phenolics มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกเสียสภาพเมื่อสัมผัสกับความร้อน (Supakot, Poom-ad and Wiset, 2013, pp. 557-560) ซึ่ง Miranda, et al. (2010, pp. 258-263) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีต่อ Total phenolic compounds และสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดควินัวซึ่งพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แสดงปริมาณ Total phenolic compounds สูงที่สุดและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ Zilic, et al. (2013, pp. 1-7) รายงานว่า เมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสมีปริมาณ Total phenolics สูงที่สุดและลดลงเมื่อให้ความร้อนสูงถึง 140 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้

3.7 Inhibition of lipid peroxidation

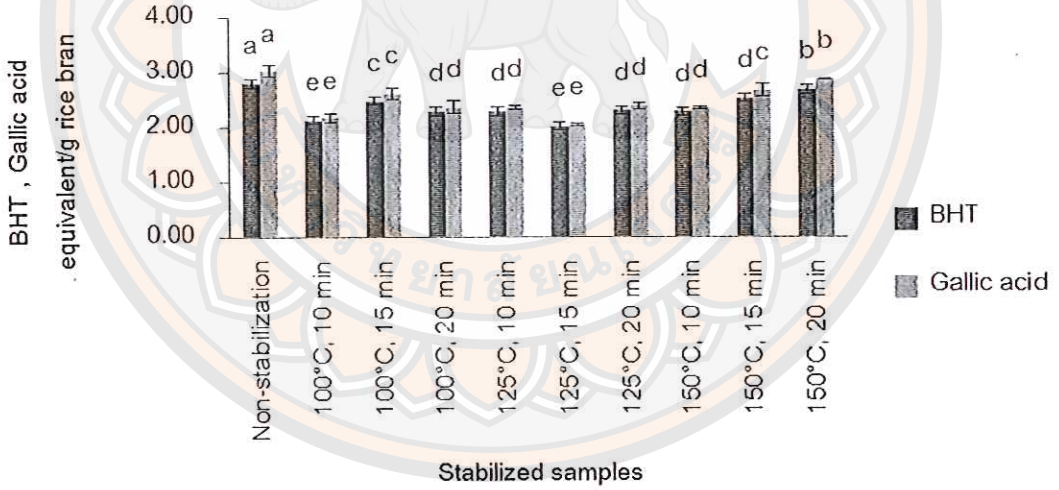
การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวอยู่ในช่วง 58.63 - 65.81% (ภาพ 16) รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่าสภาวะอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) ยกเว้น ที่สภาวะ 125 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากรายงานของ Lai, et al. (2009, pp. 538-544) ซึ่งได้ศึกษารำข้าวที่ทำให้คงตัวด้วยไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำรำข้าวไปสกัดด้วยเมทานอล พบว่า มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน 20% นอกจากนี้ Thanonkaew, et al. (2012, pp. 231-236) พบว่า รำข้าวที่ผ่านการคงตัวด้วยลมร้อน 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน เท่ากับ 25% ซึ่งมีค่าสูงกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว และIqbal, Bhanger and Anwar (2005, pp. 265-272) ศึกษารำข้าวที่เพาะปลูกในประเทศปากีสถาน โดยทำให้คงตัวด้วยไมโครเวฟที่ 550 W พบว่ามีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน 10% ทั้งนี้ผลงานวิจัยที่แตกต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากการใช้รำข้าวที่แตกต่างสายพันธุ์และการใช้วิธีการให้ความร้อนหรือวิธีการทำให้รำข้าวคงตัวที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้

3.8 Total antioxidant capacity

รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีค่า Total antioxidant capacity อยู่ในช่วง 2.04-2.68 mg BHT equivalent/g rice bran และ 2.05-2.87 mg gallic acid equivalent/g rice bran (ภาพ 17) ซึ่งรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวมีค่า Total antioxidant capacity ที่สูงกว่ารำข้าวที่ถูกทำให้คงตัว ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการทำให้รำข้าวคงตัวด้วยอุณหภูมิสูงและเวลานาน ทำให้เกิดการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดจึงทำให้ปริมาณและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระลดลง (Clifford, 2000, pp. 1063-1072) จากงานของวิจัย Moongngarm, Daomukda and Khumpika (2012, pp. 73-79) พบว่า ปริมาณ Total antioxidant capacity ของรำข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเท่ากับ 15 mg BHT equivalent/g rice bran ซึ่งมีค่าแตกต่างกับงานวิจัยนี้ ทั้งนี้อาจเกิดจากการใช้รำข้าวต่างสายพันธุ์ วิธีการในการคงสภาพรำข้าว และการเก็บรักษารำข้าวที่แตกต่างกัน



ภาพ 16 Inhibition of lipid peroxidation **ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ**



ภาพ 17 ปริมาณ Total antioxidant capacity **ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ**

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

3.9 ชนิดและกรดไขมัน (Fatty acid compositions)

ชนิดและปริมาณกรดไขมันในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว วิเคราะห์โดยเทคนิค Gas chromatography (GC) แสดงดังตาราง 15 พบว่า กรดไขมันที่ตรวจพบในตัวอย่างรำข้าวประกอบด้วย กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid, SFA) 4 ชนิด ได้แก่ Myristic acid (C14:0), Palmitic acid (C16:0), Stearic acid (C18:0) และ Arachidic acid (C20:0) ซึ่งปริมาณของ Palmitic acid มีค่ามากที่สุด (3.44 – 3.88 g/100 g) และพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Momounsaturated fatty acid, MUFA) 1 ชนิด คือ Palmitoleic acid (C16:1n7) มีปริมาณ 0.03 g/100 g ทุกชุดการทดลอง พบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) อยู่ในช่วง 11.45 – 12.96 g/100 g กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid, PUFA) มีค่า 5.18 – 5.82 g/100g และไม่พบกรดไขมันชนิดทรานส์ทุกชุดการทดลอง นอกจากนี้พบกรดไขมันชนิด Omega -3 (206.40 - 233.00 mg/100g) Omega -6 (4970.76 - 5594.00 mg/100g) และ Omega - 9 (6135.87 – 7018.73 mg/100g) แสดงให้เห็นว่าในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวทุกชุดการทดลองมีกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกาย

ปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการคงสภาพรำข้าว ซึ่งรำข้าวที่ไม่ผ่านการคงสภาพมีปริมาณกรดไขมันน้อยกว่ารำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัว ทั้งนี้อาจเกิดจากความร้อนจะทำให้ผนังเซลล์นั้นถูกทำลายทำให้เกิดรูพรุน มีความดันเกิดขึ้นภายในและปล่อยสารนั้น ๆ ออกจากวัตถุมากขึ้น (Aguilera and Stanley, 1999, p.386; Starmans and Nijhuis, 1996, pp. 191-197)

ตาราง 15 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ

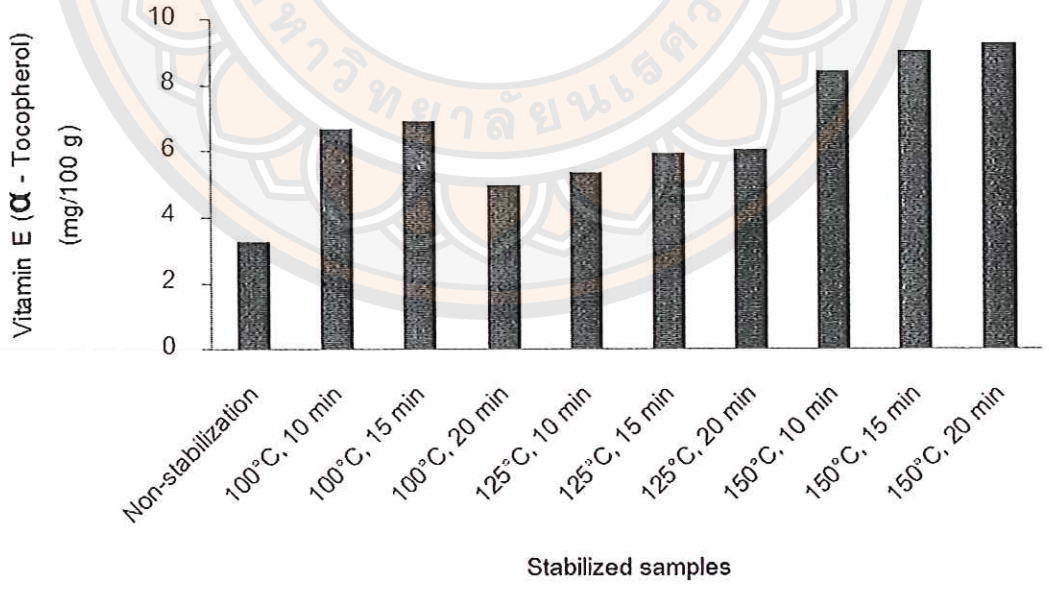
Fatty acid composition (g/100g)	Control	100°C, 10 min	100°C, 15 min	100°C, 20 min	125°C, 10 min	125°C, 15 min	125°C, 20 min	150°C, 10 min	150°C, 15 min	150°C, 20 min
Myristic acid (C14:0)	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.10
Palmitic acid (C16:0)	3.44	3.67	3.80	3.63	3.66	3.88	3.79	3.77	3.46	3.87
Stearic acid (C18:0)	0.33	0.31	0.33	0.32	0.31	0.34	0.33	0.33	0.30	0.34
Heptadecanoic acid (C17:0)	ND	ND	0.02	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND
Arachidic acid (C20:0)	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.16	0.15	0.15	0.13	0.15
Bechenic acid (C22:0)	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.50	0.06
Lignoceric acid (C24:0)	0.11	0.11	0.13	0.12	0.11	0.14	0.13	0.13	0.10	0.12
Saturated fat	4.14	4.38	4.60	4.36	4.37	4.70	4.57	4.54	4.13	4.64
Palmiloleic acid (C16:1n7)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	6.16	6.54	6.77	6.51	6.50	7.02	6.83	6.80	6.14	7.01

ตาราง 15 (ต่อ)

Fatty acid composition (g/100g)	Control	100°C, 10 min	100°C, 15 min	100°C, 20 min	125°C, 10 min	125°C, 15 min	125°C, 20 min	150°C, 10 min	150°C, 15 min	150°C, 20 min
cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11)	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08	0.10
Monounsaturated fatty acid	6.27	6.66	6.89	6.63	6.62	7.15	6.95	6.92	6.25	7.14
cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	4.97	5.28	5.45	5.22	5.25	5.58	5.44	5.43	5.00	5.59
alpha-Linolenic acid (C18:3n3)	0.21	0.22	0.23	0.22	0.22	0.23	0.22	0.22	0.21	0.23
Polyunsaturated Fatty acid	5.18	5.50	5.68	5.44	5.47	5.81	5.66	5.56	5.21	5.82
Unsaturated fat	11.45	12.16	12.57	12.07	12.09	12.96	12.61	12.57	11.46	12.96
Trans fat	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Omega-3 mg/100g)	206.40	216.97	227.18	217.21	216.78	230.14	223.75	223.70	207.56	233.00
Omega-6 mg/100g)	4970.76	5279.71	5451.09	5219.77	5247.90	5583.61	5443.46	5432.48	4998.07	5594.00
Omega-9 mg/100g)	6158.47	6536.81	6774.95	6508.84	6497.94	7018.73	6831.19	6803.50	6135.87	7011.01

3.10 ปริมาณวิตามินอี (α - Tocopherol)

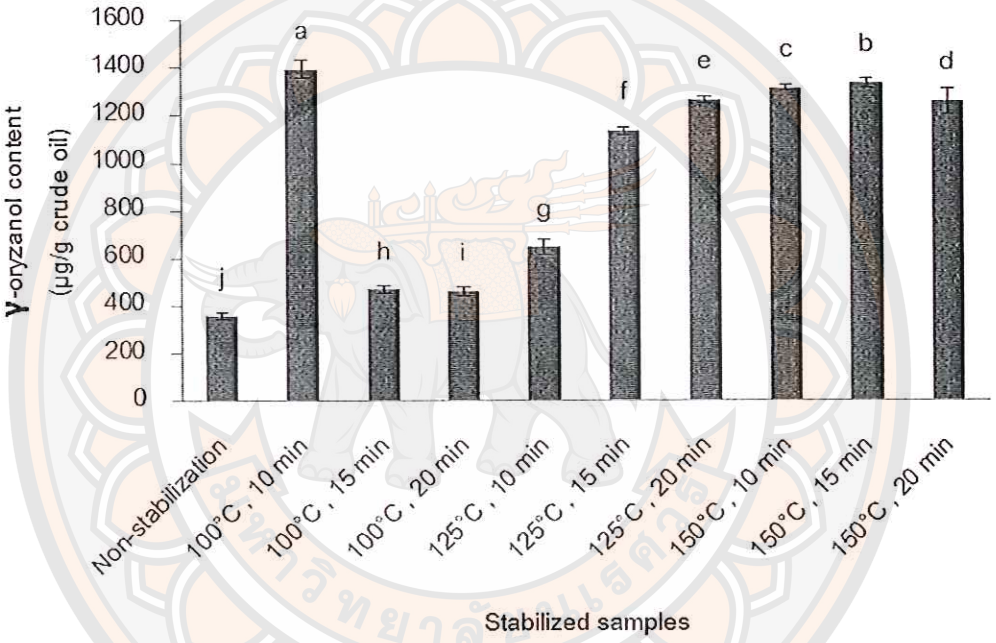
การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินอี (α - Tocopherol) ในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว พบว่า มีค่าระหว่าง 3.29 – 9.29 mg/100 g (ภาพ 18) ซึ่งรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวมีปริมาณวิตามินอีต่ำที่สุดและรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลาเวลา 20 นาที มีปริมาณวิตามินอีสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณวิตามินสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ จึงออกมาได้มากขึ้น ประกอบกับวิตามินอีเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ทนความร้อนสูงทำให้รำข้าวที่ผ่านการคงสภาพที่อุณหภูมิสูง ยังคงมีวิตามินอีอยู่ Chotimakorn, Benjakul and Silalai (2008, pp. 636-641) ได้ศึกษาปริมาณวิตามินอีในรำข้าว 5 สายพันธุ์ในประเทศไทยพบว่ามีปริมาณวิตามินอีอยู่ในช่วง 12-33 mg/100 g rice bran ในขณะที่ Iqbal, Bhanger and Anwar (2005, pp. 265-272) ศึกษาปริมาณวิตามินอีในรำข้าว 5 สายพันธุ์ในประเทศปากีสถานพบว่ามีปริมาณวิตามินอีในรำข้าวอีอยู่ในช่วง 32.9-51.2 mg/100 g ซึ่งปริมาณวิตามินอีในรำข้าวของงานวิจัยดังกล่าวมีปริมาณที่แตกต่างกันและสูงกว่างานวิจัยนี้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของรำข้าวและกรรมวิธีในการสีรำข้าว ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย (2552, หน้า 78) พบว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวนั้นมีปริมาณวิตามินอีน้อยกว่ารำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้



ภาพ 18 ปริมาณวิตามินอีของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ

3.11 ปริมาณแกมมา - โอริซานอล (γ- oryzanol)

รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีปริมาณแกมมา - โอริซานอล ระหว่าง 385.22 – 1395.15 ppm (ภาพ 19) ซึ่งรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวมีปริมาณแกมมา - โอริซานอลต่ำที่สุด และรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที มีปริมาณแกมมา - โอริซานอลสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปริมาณแกมมา - โอริซานซอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพ 19 ปริมาณแกมมา-โอริซานอลของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว ก่อนการทำให้คงตัวและที่ผ่านการทำให้คงตัวในแต่ละสภาวะ

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – j กำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

Shin and Godber (1996, pp. 657-573) พบว่า มีปริมาณแกมมา – โอริซานอลในรำข้าว 2,480 – 3,100 ppm ส่วน Proctor and Bowen (1996, pp. 811-813) พบปริมาณแกมมา - โอริซานอล 2,650 ppm และงานวิจัยของ Iqbql, Banger and Anwer (2005, pp. 265-272) ศึกษาปริมาณแกมมา-โอริซานอลในรำข้าว 5 สายพันธุ์ในประเทศปากีสถานมีค่าอยู่ในช่วง 500 –

800 ppm และ Butsat and Siriamornpun (2010, pp. 606-613) ศึกษาปริมาณแกมมา -โอริซานอลในรำข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบ 3,430 – 5,380 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยดังกล่าว ในงานวิจัยนี้มีปริมาณแกมมา - โอริซานอลค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้ในสกัดรำข้าวที่แตกต่างกัน จึงมีสมบัติในการละลายที่แตกต่างกัน รวมถึงสถานที่ในการเพาะปลูกหรือฤดูกาลมีผลต่อปริมาณแกมมา - โอริซานอล (Miller and Engel, 2006, pp. 8127-8133)

เมื่อทำการคัดเลือกสภาวะการทำให้รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวมีความคงตัว โดยมีเกณฑ์การคัดเลือก คือ 1) ค่ากรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ 2) กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส และ 3) ปริมาณน้ำมันรำข้าว ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเน้นคุณภาพของน้ำมันรำข้าวเป็นหลัก พบว่า 1) รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 10 นาที มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 3.15% ค่าเปอร์ออกไซด์นั้นตรวจไม่พบ (ดังตาราง 14) 2) กิจกรรมเอนไซม์ไลเปสของรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลสิสต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) อยู่ที่ 1.59% (ดังภาพ 12) และ 3) รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) 2.56% (ดังภาพ 11) ดังนั้น จึงคัดเลือกรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำที่สุด และเป็นตัวแปรสำคัญในวัดคุณภาพของน้ำมันสำหรับบริโภค ในด้านของผู้ประกอบการทั่วไปอาจต้องการปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เป็นอันดับแรก แต่ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้เน้นในด้านคุณภาพของน้ำมันรำข้าว จึงให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ มีความสำคัญมากที่สุด

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการบีบรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ได้จากการบีบรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน โดยนำรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว มาทำให้คงตัวโดยใช้สภาวะที่เหมาะสม ที่คัดเลือกจากตอนที่ 2 (100 องศาเซลเซียส 10 นาที) แล้ว บรรจุรำข้าวลงในถุงพลาสติกชนิด PE และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างรำข้าวมาทดสอบทุก ๆ 3 สัปดาห์ และนำมาบีบน้ำมันรำข้าวโดยใช้เครื่องบีบเย็น ขนาด 2 แรงม้า ของ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ลูกจงรัก และนำรำข้าวและน้ำมันรำข้าวมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ จุลชีววิทยาและทางเคมี ผลการทดลองมีดังนี้

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1.1 ค่าสี

ค่าสีของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการคงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน (ตาราง 16) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าสีของน้ำมันรำข้าวสัปดาห์ที่ 0 มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 3.05, 2.51 และ 1.62 ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 12 พบว่า มีค่าสีเท่ากับ 2.58, 1.89 และ 1.11 ทั้งค่า L*, a* และ b* โดยน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานานมีสีคล้ำขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำมันรำข้าวสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน จึงเกิดการออกซิเดชั่นเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำมันรำข้าวมีสีเข้มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Thanonkaew, et al. (2012, p.231-236) พบว่ามีค่าสีของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่แตกต่างกัน (L* 9.69, a* 2.84 และ b* 10.66) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาวะในการทำให้รำข้าวคงตัวและสายพันธุ์ของรำข้าวที่นำมาบีบน้ำมัน

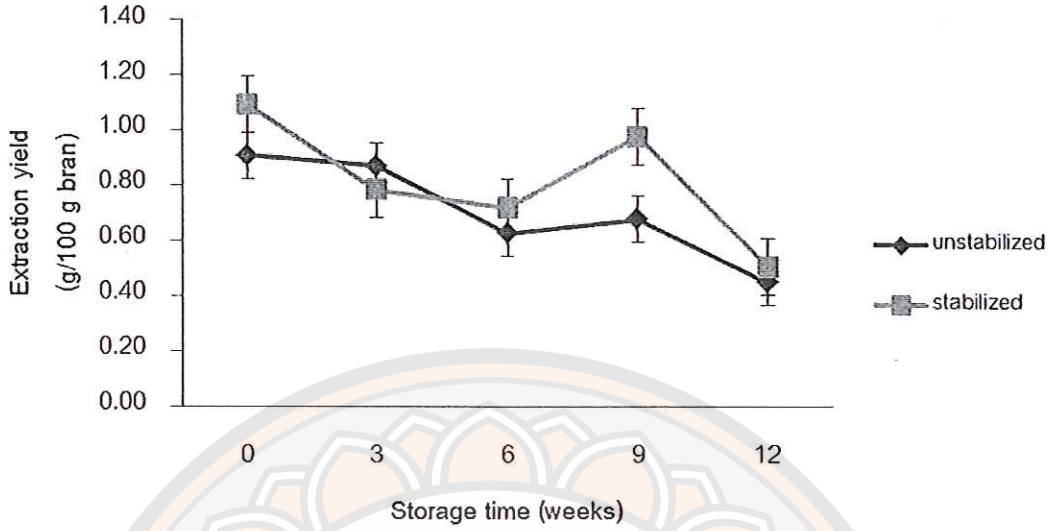
1.2 ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็น (Extraction yield)

ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการคงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน (ภาพ 20) พบว่า รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีแนวโน้มปริมาณน้ำมันรำข้าวที่สูงกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว และเมื่อเก็บรักษารำข้าวจากสัปดาห์ที่ 0 ถึง สัปดาห์ที่ 12 พบว่าปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นมีแนวโน้มลดลง (จาก 1.09 ถึง 0.51%) ทั้งนี้เนื่องจากรำข้าวที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานานทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้น ชัยรัช ไหมเจริญ (2546, หน้า 60) พบว่า ความชื้นและอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณน้ำมัน ความชื้นในรำข้าวสูง ทำให้การสกัดปริมาณน้ำมันรำข้าวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Thanonkaew, et al. (2012, p. 233) พบว่า รำข้าวที่ไม่ผ่านการคงสภาพมีความชื้นสูงกว่ารำข้าวที่ผ่านการคงสภาพ ทำให้มีปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นต่ำกว่ารำข้าวที่ผ่านการคงสภาพและมีความชื้นต่ำ การไม่คงสภาพหรือยับยั้งเอนไซม์ ไขมันจะถูกไฮโดรไลซ์และส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ลดลง (O'Connor, Perry and Harwood, 1992, pp. 153-163) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้

ตาราง 16 ค่าสี L*a* และ b* ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Rice bran sample	Storage time (weeks)	L*	a*	b*
Non – Stabilized (control)	0	$3.24^{a} \pm 0.07$	$2.62^{a} \pm 0.22$	$1.74^{a} \pm 0.39$
	3	$3.18^{b} \pm 0.06$	$2.30^{b} \pm 1.60$	$1.69^{b} \pm 1.11$
	6	$2.96^{c} \pm 0.02$	$2.23^{c} \pm 0.10$	$1.51^{c} \pm 0.19$
	9	$2.87^{d} \pm 0.02$	$2.04^{d} \pm 0.13$	$1.48^{d} \pm 0.07$
	12	$2.65^{e} \pm 0.01$	$1.97^{e} \pm 0.13$	$1.35^{e} \pm 0.12$
Stabilized (100°C, 10 min)	0	$3.05^{a} \pm 0.04$	$2.51^{a} \pm 0.07$	$1.62^{a} \pm 0.09$
	3	$2.92^{b} \pm 1.03$	$2.46^{b} \pm 0.94$	$1.53^{b} \pm 2.16$
	6	$2.84^{c} \pm 0.03$	$2.31^{c} \pm 0.14$	$1.47^{c} \pm 0.19$
	9	$2.77^{d} \pm 0.01$	$2.12^{d} \pm 0.15$	$1.28^{d} \pm 0.17$
	12	$2.58^{e} \pm 0.02$	$1.89^{e} \pm 0.16$	$1.11^{e} \pm 0.21$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan



ภาพ 20 ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียว (Extraction yield) ที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน แสดงในตาราง 17 พบว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวมีปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์สูงกว่ารำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัว โดยรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัว เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลานานขึ้น ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารอาหารในรำข้าวที่ใช้ในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มลดลง ทำให้อัตราการเจริญลดลงโดยปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในรำข้าวนี้ผ่านตามเกณฑ์ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 (2553) ระบุไว้ว่าTotal plate count < 1 x 10^6 cfu/g, *E. coli* < 100 MP, Yeast < 1 x 10^4 cfu/g และ Mold < 500 cfu/g ยกเว้นปริมาณ yeast และ mold ที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในรำข้าวมีปริมาณสูง ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมแก่การเจริญของเชื้อรา

ตาราง 17 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Rice bran sample	Storage time (Weeks)	Coliform bacteria (MPN/g)	*E. coli* (MPN/g)	Total plate count (cfu/g)	Yeast and Mold (cfu/g)
Non-stabilization (Control)	0	240	< 3	5.30×10^6	1.40×10^5
	3	460	< 3[c]	4.30×10^6	2.24×10^5
	6	>1000	75	4.49×10^6	2.20×10^5
	9	240	23	5.56×10^6	1.40×10^5
	12	240	23	1.30×10^4	2.00×10^2
Stabilized (100°C, 10 min)	0	75	< 3	7.40×10^4	2.00×10^3
	3	43	< 3	8.45×10^4	4.23×10^3
	6	23	< 3	3.36×10^4	1.19×10^3
	9	43	< 3	7.40×10^4	2.00×10^3
	12	43	< 3	2.30×10^3	2.0 10^3

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

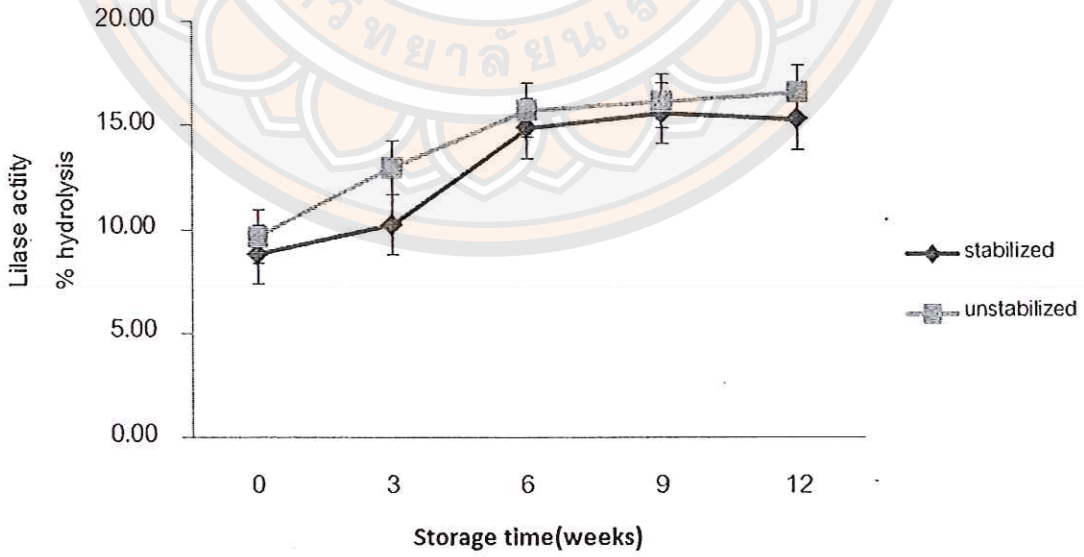
3.1 องค์ประกอบทางเคมี

จากตาราง 18 พบว่า รำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว ยกเว้นความชื้นที่มีปริมาณต่ำกว่ารำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีปริมาณไขมัน โปรตีน เยื่อใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต และความชื้น ร้อยละ 17.05-18.21, 10.63-16.74, 4.66-6.28, 6.49-8.05, 45.73-53.21 และ 5.77-7.96 ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานองค์ประกอบทางเคมีมีแนวโน้มลดลง ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีในงานวิจัยนี้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Juliano (1993, p. 40) พบว่า มีไขมัน ร้อยละ 15.0-19.7, โปรตีน ร้อยละ 11.3-17.9, เยื่อใย ร้อยละ 7.0-11.4, เถ้า ร้อยละ 6.6-9.9 และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 34-62 และ Malekian, et al. (2000, p. 52) พบว่า ในรำข้าวมี ปริมาณความชื้น ร้อยละ 14.0 โปรตีน ร้อยละ 11.3-14.9 ไขมัน ร้อยละ 15.0-19.7 เยื่อใย ร้อยละ 7.0-11.4 เถ้า ร้อยละ 6.6-9.9 และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 34.0-62.0 และ Silva, Sanches and Amante (2006, pp. 487-491) ซึ่งรายงานองค์ประกอบทางเคมีในรำข้าว พบว่า มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 13.73, ไขมัน

ร้อยละ 28.08, คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 48.30 และเถ้า ร้อยละ 9.90 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รำข้าวเป็นแหล่งที่ดีของสารอาหารที่จำเป็นต่อสุขภาพมนุษย์

3.2 **กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส** (Lipase activity)

กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการคงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน (ภาพ 21) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษารำข้าวไว้เป็นเวลานาน ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวมีกิจกรรมเอนไซม์เปสสูงกว่า และรำข้าวที่ผ่านการคงสภาพแล้วมีกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสเพิ่มขึ้น 8.81-15.31 % hydrolysis เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องจากรำข้าวที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานานสามารถดูดซับความชื้นได้สูง จึงเหมาะต่อการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์ไลเปสในรำข้าว จันทร์สม แก้วอุดร (2546, หน้า 28) พบว่า สภาวะ ที่สามารถทำลายเอนไซม์ไลเปสในรำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้มากที่สุดคือเมื่อทดลองใช้รำข้าว 150 กรัมที่ปรับให้มีความชื้น ร้อยละ 21 คงสภาพโดยไมโครเวฟ ทั้งนี้เอนไซม์ไลเปสในรำข้าวสามารถกลับคืนสภาพธรรมชาติได้เองเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบรำข้าวตั้งแต่ 80-100 องศาเซลเซียส ปรับความชื้นร้อยละ 10-25 และผ่านการอบรำข้าวเป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง เมื่อทิ้งให้เย็น เอนไซม์ไลเปสสามารถกลับคืนสภาพธรรมชาติได้ (จินดารัตน์ โตกมลธรรม, 2539, หน้า 129) ดังนั้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในงานวิจัยนี้



ภาพ 21 กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ตาราง 18 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน (น้ำหนักแห้ง)

Rice bran sample	Storage time (Weeks)	Moisture	Fat	Protein	Fiber	Ash	Carbohydrate
Non-stabilization (Control)	0	$12.14^{a} \pm 0.55$	$14.91^{ab} \pm 0.29$	$18.13^{a} \pm 0.21$	$5.74^{a} \pm 0.37$	$6.33^{ab} \pm 0.11$	$42.76^{b} \pm 0.51$
	3	$9.82^{b} \pm 0.07$	$16.25^{a} \pm 0.17$	$15.23^{a} \pm 4.32$	$5.60^{a} \pm 1.48$	$6.91^{a} \pm 0.01$	$46.19^{b} \pm 3.47$
	6	$9.76^{b} \pm 0.43$	$14.13^{b} \pm 2.34$	$10.95^{b} \pm 0.20$	$5.62^{a} \pm 0.69$	$5.67^{c} \pm 0.26$	$53.87^{a} \pm 2.32$
	9	$9.73^{b} \pm 0.10$	$15.46^{ab} \pm 0.14$	$9.65^{b} \pm 1.08$	$4.73^{a} \pm 0.79$	$5.98^{b} \pm 0.56$	$54.45^{a} \pm 2.10$
	12	$8.65^{c} \pm 0.11$	$15.35^{ab} \pm 0.23$	$10.37^{b} \pm 0.14$	$4.97^{a} \pm 0.13$	$6.93^{a} \pm 0.39$	$53.73^{a} \pm 0.38$
Stabilized (100°C, 10 min)	0	$6.12^{c} \pm 0.21$	$17.10^{a} \pm 0.03$	$15.71^{a} \pm 4.17$	$5.89^{a} \pm 0.31$	$6.83^{ab} \pm 0.50$	$48.35^{b} \pm 4.69$
	3	$7.84^{b} \pm 0.17$	$16.14^{b} \pm 0.15$	$11.45^{b} \pm 0.27$	$4.82^{ab} \pm 0.08$	$7.42^{a} \pm 0.39$	$52.32^{ab} \pm 0.69$
	6	$8.54^{a} \pm 0.27$	$15.72^{c} \pm 0.14$	$10.39^{b} \pm 0.35$	$6.27^{a} \pm 0.64$	$5.90^{c} \pm 0.61$	$53.09^{a} \pm 0.19$
	9	$8.63^{a} \pm 0.12$	$15.72^{c} \pm 0.20$	$9.16^{b} \pm 0.42$	$3.51^{b} \pm 1.65$	$6.25^{bc} \pm 0.60$	$53.54^{a} \pm 2.19$
	12	$8.65^{a} \pm 0.09$	$15.99^{bc} \pm 0.23$	$10.62^{b} \pm 0.35$	$4.25^{ab} \pm 1.54$	$6.94^{ab} \pm 0.10$	$56.81^{a} \pm 1.47$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Dancan

3.3 Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value

จากตาราง 19 Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวและน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่า ในรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ มีค่า Free Fatty acid และ Acid Value เท่ากับ 7.98-15.21% และ 15.87-30.26 mg KOH/g rice bran ตามลำดับ แต่ Peroxide Value ตรวจไม่พบ และในน้ำมันรำข้าวบีบเย็นจากรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีค่า Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value เท่ากับ 37.77-68.75%, 75.17-136.81 mg KOH/g rice bran และ 1.00-9.94 mg Eqv/kg rice bran ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับรำข้าวและน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ไม่ผ่านการคงสภาพ พบว่า มีค่า Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value ที่ต่ำกว่า และเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน 12 สัปดาห์มีค่า Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

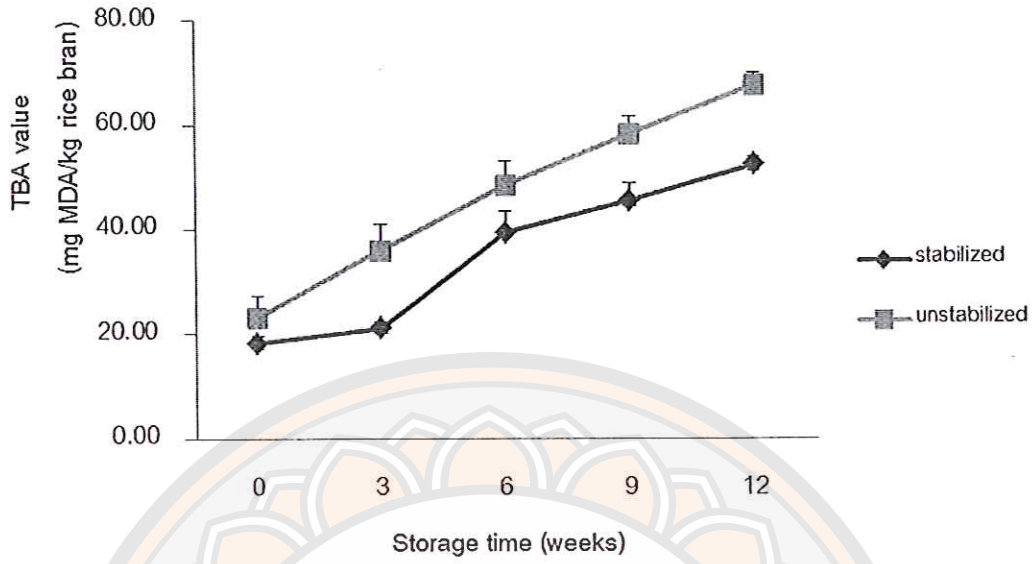
Ramezanzadeh, et al. (1999, pp. 2997-3000) รายงานว่า เมื่อเก็บรักษารำข้าวในภาชนะบรรจุแบบสุญญากาศไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 16 สัปดาห์มีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 2.5% เป็น 6.9% นอกจากนี้ Amarasinghe and Gangodavilage (2004, pp. 54-59) รายงานว่ารำข้าวสายพันธุ์ Bw 335 ในประเทศศรีลังกาที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น 10.98% หลังเก็บรักษานาน 70 วัน ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าในงานวิจัยนี้ ซึ่งอาจเป็นเพราะสายพันธุ์ของรำข้าวที่ต่างกัน สภาวะการเก็บรักษาและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

3.4 ค่า TBA

TBA เป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด โดยการวัดปริมาณแอลแอลดีไฮด์ ในรูปมาโลนาลแอลดีไฮด์ ที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งจัดเป็นอันตรายทางเคมี ในอาหารค่า TBA ในน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน แสดงดังรูป 22 น้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ได้จากรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวนั้นมีค่า TBA อยู่ในช่วง 18.14-52.39 mg MDA/kg rice bran ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษารำข้าวไว้นานขึ้น น้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่สกัดได้มีค่า TBA ที่สูงขึ้น โดยน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีค่า TBA ที่ต่ำกว่าน้ำมันที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว ซึ่งค่า TBA นี้สอดคล้องกับค่า FFA, AV และ PV

ตาราง 19 Free Fatty acid, Acid Value และ Peroxide Value ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวและน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

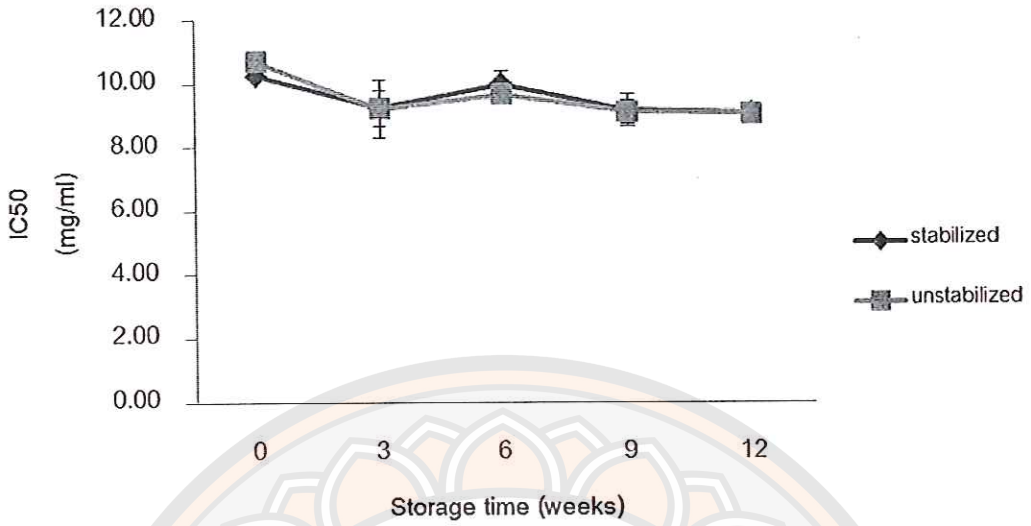
Rice bran sample	Storage time (Weeks)	Free Fatty acid (%)	Acid value (mg KOH/g rice bran)	Peroxide value (mg Eqv/kg rice bran)
		Rice Bran		
Non-stabilization (Control)	0	$8.59^{e} \pm 0.06$	$17.10^{e} \pm 0.11$	ND
	3	$11.46^{c} \pm 0.73$	$22.81^{c} \pm 1.45$	ND
	6	$11.31^{d} \pm 0.10$	$22.50^{d} \pm 0.19$	ND
	9	$14.30^{b} \pm 1.55$	$28.45^{b} \pm 3.09$	ND
	12	$15.58^{a} \pm 0.35$	$30.61^{a} \pm 0.70$	ND
Stabilized (100°C, 10 min)	0	$7.98^{e} \pm 0.24$	$15.87^{e} \pm 0.48$	ND
	3	$9.20^{d} \pm 0.05$	$18.31^{d} \pm 0.11$	ND
	6	$11.78^{c} \pm 0.69$	$23.44^{c} \pm 1.38$	ND
	9	$13.20^{b} \pm 0.14$	$26.27^{b} \pm 0.27$	ND
	12	$15.21^{a} \pm 0.21$	$30.26^{a} \pm 0.41$	ND
		Cold Pressed Rice Bran Oil		
Non-stabilization (Control)	0	$38.92^{e} \pm 0.07$	$77.45^{e} \pm 0.15$	$1.65^{e} \pm 0.29$
	3	$56.12^{d} \pm 0.49$	$111.68^{d} \pm 0.97$	$5.82^{d} \pm 1.06$
	6	$60.19^{c} \pm 0.29$	$119.78^{c} \pm 0.58$	$6.99^{c} \pm 0.30$
	9	$72.78^{b} \pm 0.80$	$144.83^{b} \pm 1.60$	$7.38^{b} \pm 0.93$
	12	$77.81^{a} \pm 0.29$	$154.83^{a} \pm 0.59$	$9.97^{a} \pm 1.30$
Stabilized (100°C, 10 min)	0	$37.77^{e} \pm 0.26$	$75.17^{e} \pm 0.52$	$1.00^{e} \pm 0.50$
	3	$46.43^{d} \pm 0.21$	$92.40^{d} \pm 0.42$	$5.11^{d} \pm 0.71$
	6	$56.67^{c} \pm 0.14$	$112.78^{c} \pm 0.27$	$5.59^{c} \pm 0.80$
	9	$67.05^{b} \pm 1.69$	$133.42^{b} \pm 3.37$	$6.39^{b} \pm 0.49$
	12	$68.75^{a} \pm 0.84$	$136.81^{a} \pm 1.68$	$9.94^{a} \pm 1.34$



ภาพ 22 ค่า TBA ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้ คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

3.5 DPPH radical scavenging activity

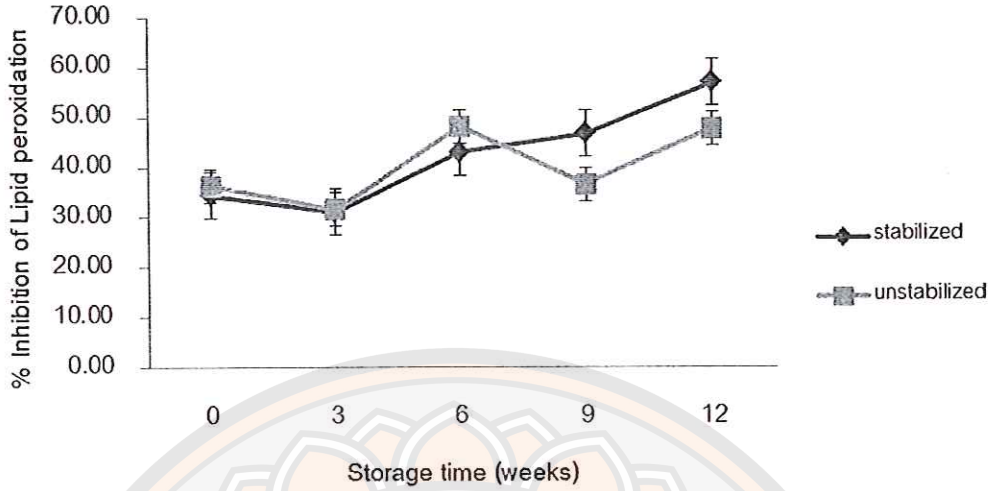
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียว (ภาพ 23) พบว่ามีค่า IC 50 ที่ลดลง หรือมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 9.07-10.23 mg/ml กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น สัมพันธ์กับค่า Inhibition of lipid peroxidation (ภาพ 24) และปริมาณแกมมา-โอริซานอล (ภาพ 26) ซึ่งมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น สารต้านอนุมูลอิสระในที่นี้อาจเป็นสารแกมมา - โอริซานอล ที่สามารถยับยั้งสารอนุมูลอิสระ DPPH ได้



ภาพ 23 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการคงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

3.6 Inhibition of lipid peroxidation

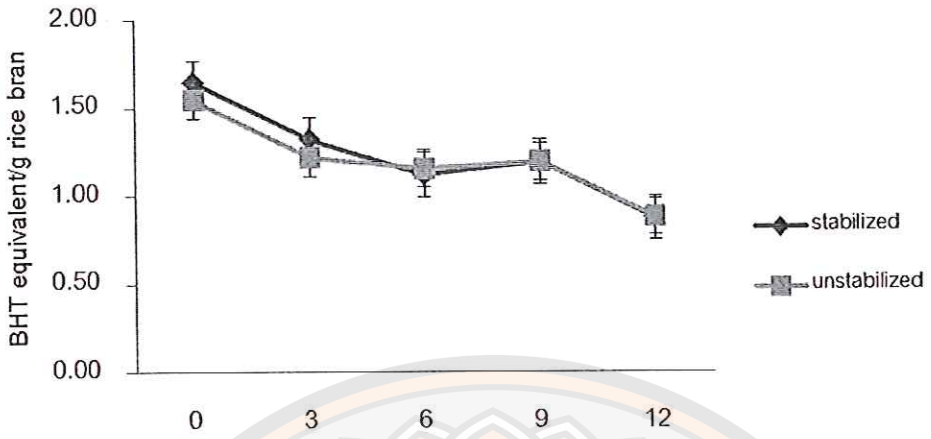
การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันในน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน แสดงใน ภาพ 24 น้ำมันรำข้าวมีแนวโน้มที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันได้สูงขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 12 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ในน้ำมันรำข้าว (ภาพ 23)



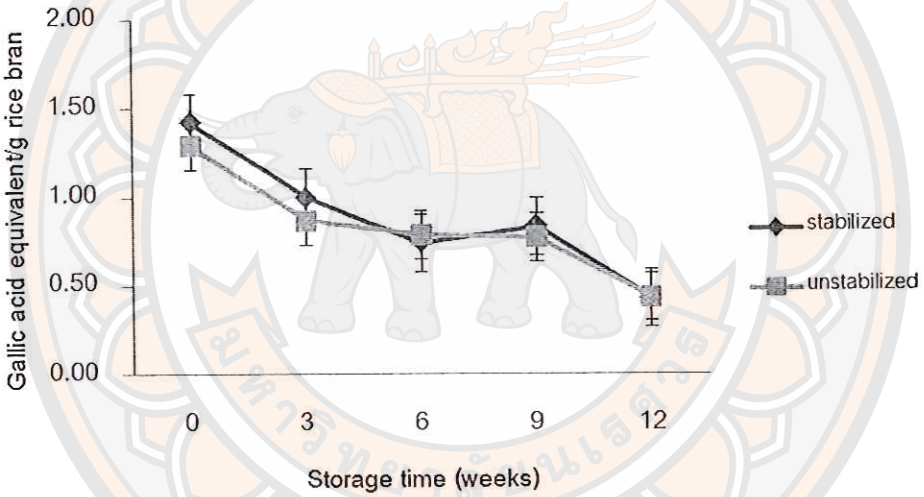
ภาพ 24 Inhibition of Lipid peroxidation ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

3.7 Total antioxidant capacity

Total antioxidant capacity ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน แสดงดัง ภาพ 25 a, b แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดมีค่าลดลง เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ และน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดสูงกว่าน้ำมันรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย (2552, หน้า 76; Clifford, 2000, pp. 1063-1072) ที่รายงานว่าที่อุณหภูมิสูงและเวลาการทำให้คงตัวเป็นเวลานานทำให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระบางส่วนลดลง



25



a) 25 b)

ภาพ 25 a, b Total antioxidant capacity (BHT and gallic acid equivalent) **ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วย สภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน**

3.8 กรดไขมันและวิตามินอี

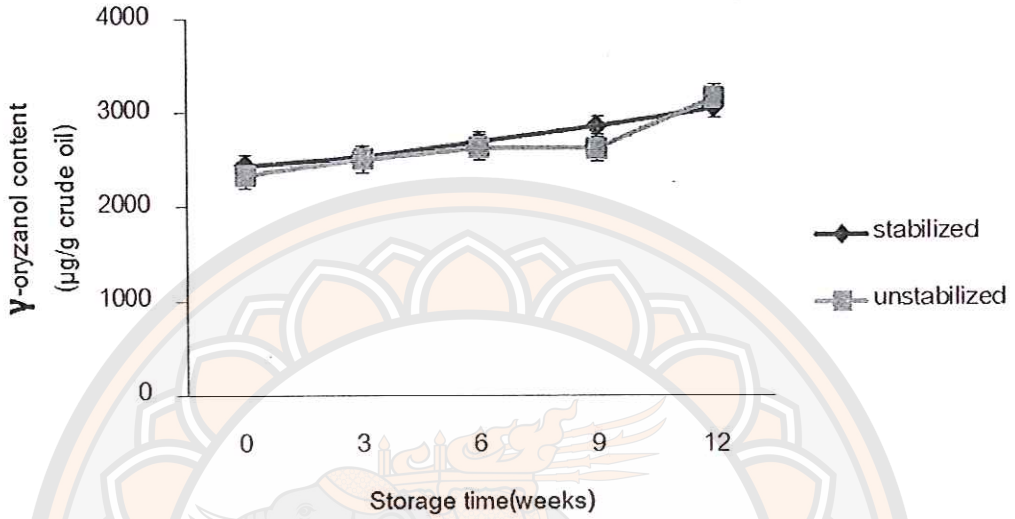
ปริมาณกรดไขมันและวิตามินอีของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน (ตาราง 20) พบว่า มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว อยู่ในช่วง 9.07-10.23 g/100 g, กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว 40.74-42.89 g/100 g, กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 32.20-35.12 g/100 g และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 72.94-78.51 g/100 g ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Abdul-Hamid, et al. (2007, pp. 627-637) พบว่า น้ำมันรำข้าวประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 80-85 นอกจากนี้ ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย (2552) รายงานว่า พบกรดไขมันในน้ำมันรำข้าวที่ผ่านการคงสภาพด้วยโอห์มมิค มีกรดไมริสติค ร้อยละ 2.97, กรดปาล์มิติค ร้อยละ 25.37, กรดสเตรียริค ร้อยละ 0.03, กรดโอเลอิค ร้อยละ 34.51, กรดลิโนเลอิค ร้อยละ 34.90 และกรดลิโนเลนิค ร้อยละ 2.25

องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้แนะนำการบริโภคน้ำมัน โดยกำหนดสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ในอัตราส่วน 1 : 1.5 : 1 ตามลำดับ พบว่าในน้ำมันรำข้าวบีบเย็นนี้ มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับองค์การอนามัยโลกแนะนำ (1 : 1.57 : 1.28 และ 1 : 1.56 : 1.24 สำหรับน้ำมันรำข้าวจากรำที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวและรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัว ตามลำดับ) ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวนั้น เป็นกรดไขมันที่ดีช่วยในการลดคอเลสเตอรอลในเส้นเลือดได้ และปริมาณวิตามินอีในน้ำมันรำข้าวนี้ ไม่ตรวจพบ ยกเว้นในน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัว ในสัปดาห์ที่ 6 พบว่า มีปริมาณวิตามินอี 1.06 mg/100 g

3.9 ปริมาณแกมมา - โอริซานอล (γ - oryzanol)

ปริมาณแกมมา - โอริซานอลของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน (ภาพ 26) พบว่า ปริมาณแกมมา - โอริซานอลในน้ำมันรำข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษารำข้าวไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2440.34 – 3055.77 ppm จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของจารุภา หล่อยดา (2556, หน้า 52) ซึ่งรายงานว่า น้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่บรรจุในขวด PET, ถุงพลาสติก, แคปซูลแบบนิ่ม (soft gel) และแคปซูลแบบแข็ง มีปริมาณแกมมา - โอริซานอลลดลง เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 6 เดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมรรถภาพของเครื่องบีบน้ำมัน ถ้าเครื่องบีบน้ำมันมีสมรรถภาพดี สามารถบีบน้ำมันรำข้าวได้อย่างต่อเนื่อง จะทำให้น้ำมันรำข้าวนั้นมีคุณภาพดี ยังคงสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ ได้ดี Kumar, et al. (2006, pp. 341-353) รายงานว่า ปริมาณแกมมา - โอริซานอลในน้ำมันรำข้าวส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการสกัด และสายพันธุ์ของรำข้าว

เมื่อพิจารณาค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน พบว่า มีผลไปในทิศทางเดียวกัน



ภาพ 26 ปริมาณแกมมา - โอริซานอลของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ตาราง 20 ปริมาณกรดไขมันและวิตามินอีของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Fatty acid composition (g/100g)	Week 0		Week 3		Week 6		Week 9		Week 12	
	Non -stabilized	Stabilized	Non - stabilized	Stabilized	Non - stabilized	Stabilized	Non - stabilized	Stabilized	Non - stabilized	Stabilized
Lauric acid (C12:0)	0.01	0.01	0.01	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Myristic acid (C14:0)	0.51	0.50	0.52	0.52	0.54	0.55	0.51	0.52	0.51	0.51
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Palmitic acid (C16:0)	21.53	21.70	20.89	20.29	19.01	17.84	21.20	21.22	21.35	21.15
Stearic acid (C18:0)	1.89	1.94	1.87	1.89	1.43	1.47	1.65	1.58	1.93	1.93
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.05	0.05	0.04	0.05	ND	0.04	0.04	0.05	0.10	0.05
Arachidic acid (C20:0)	0.85	0.90	0.86	0.87	0.79	0.77	0.92	0.88	0.92	0.92
Bechenic acid (C22:0)	0.30	0.33	0.30	0.31	0.29	0.28	0.34	0.33	0.36	0.35
Tricosanoic acid (C23:0)	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	ND	ND	ND
Lignoceric acid (C24:0)	0.52	0.59	0.51	0.53	0.50	0.48	0.59	0.58	0.67	0.65
Saturated fat	25.72	26.07	25.07	24.53	22.61	21.49	25.31	25.19	25.87	25.59
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.20	0.18	0.19	0.18	0.18
cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	39.59	39.96	40.71	40.95	41.47	42.07	40.88	40.78	40.47	40.59
cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11)	0.55	0.57	0.55	0.55	0.56	0.57	0.58	0.58	0.56	0.55
Erucic acid (C22:1n9)	0.04	0.03	0.03	0.03	ND	ND	0.03	0.03	0.04	0.04
Neronic acid (C24:1n9)	ND	ND	ND	ND	0.05	0.05	ND	ND	ND	ND
Monounsaturated fatty acid	40.36	40.74	41.48	41.72	42.27	42.89	41.67	41.58	41.25	41.36

ตาราง 20 (ต่อ)

Fatty acid composition (g/100g)	Week 0		Week 3		Week 6		Week 9		Week 12	
	Non -stabilized	Stabilized	Non - stabilized	Stabilized	Non - stabilized	Stabilized	Non - stabilized	Stabilized	Non - stabilized	Stabilized
cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	31.55	30.97	32.08	32.37	33.79	34.23	31.75	31.98	31.6	31.77
alpha-Linolenic acid (C18:3n3)	1.27	1.23	1.31	1.34	1.33	1.36	1.27	1.26	1.29	1.29
cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	ND	ND	0.04	0.04	ND	0.03	ND	ND	ND	ND
Polyunsaturated Fatty acid	32.82	32.20	33.43	33.75	35.12	35.62	33.02	33.24	32.89	33.06
Unsaturated fat	73.18	72.94	74.91	75.74	77.39	78.51	74.69	74.82	74.14	74.42
Omega-3 (mg/100g)	1274.05	1232.97	1306.80	1338.61	1329.72	1359.21	1267.83	1258.65	1290.52	1292.74
Omega-6 (mg/100g)	31548.83	30972.68	32084.07	32369.82	33794.52	34231.95	31747.39	31980.75	31596.03	31468.85
Omega-9 (mg/100g)	39631.30	39997.01	40744.03	40985.96	41519.63	42118.75	40916.92	40809.54	40509.61	40623.69
Vitamin E (α – Tocopherol) (mg/100g)	ND	ND	ND	ND	ND	1.06	ND	ND	ND	ND

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การคงสภาพรำข้าวเพื่อการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็นที่มีคุณภาพพบว่า การทำให้รำข้าวมีความคงตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที มีปริมาณกรดไขมันอิสระและค่ากรดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่น ๆ โดยค่ากรดเป็นตัวแปรสำคัญในการผลิตน้ำมัน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำมันรำสำหรับบริโภค) พบว่ามีค่ากรดเท่ากับ 6.27 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม ซึ่งยังคงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันรำสำหรับบริโภค มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปสเท่ากับ 4.23 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิส และมีปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นเท่ากับ 1.34 กรัม/100 กรัม รำข้าว

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว นำรำข้าวมาเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ และนำรำข้าวและน้ำมันรำข้าวบีบเย็นมาตรวจวิเคราะห์ พบว่า เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน ค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ กิจกรรมเอนไซม์ไลเปส ค่า TBA กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน (Inhibition of lipidperoxidation) และปริมาณแกมมา - โอริซานอล มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่มีความสามาถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (Total antioxidant capacity) ลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. การคงสภาพรำข้าวจากงานวิจัยนี้ยังคงมีค่ากรดเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ พบว่า มีค่ากรดเท่ากับ 6.27 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม (เกณฑ์มาตรฐานได้กำหนดให้ค่ากรด คิดเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม ไม่เกิน 0.4 และค่าเปอร์ออกไซด์ คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม ได้ไม่เกิน 10) ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะการเก็บรักษารำข้าวที่ไม่คงที่ จึงทำให้ค่ากรดมีค่าสูง

2. ขั้นตอนการบีบน้ำมันรำข้าวบีบเย็น พบว่าเครื่องบีบน้ำมันมีปัญหาไม่สามารถบีบน้ำมันได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้การบีบน้ำมันใช้เวลานาน รวมถึงขั้นตอนการกรองน้ำมันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 91 จึงทำให้น้ำมันรำข้าวบีบเย็นค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานอย่างมาก ส่งผลให้น้ำมันรำข้าวมีคุณภาพต่ำ งานวิจัยต่อไปควรปรับปรุงเครื่องมือ และวิธีการผลิตที่รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2553). **ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ฉบับ 2 เรื่อง. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร**. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข.

กระทรวงสาธารณสุข. (2543). **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับ 205 เรื่อง น้ำมันและไขมัน**. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข.

คมสันต์ หุตะแพทย์. (2550). น้ำมันรำข้าวคุณค่าดั่งทอง. **เกษตรกรรมธรรมชาติ**, 10, 28-36.

คิงแมชชีนส์. (2553). **ตู้อบลมร้อนแบบถาด**. สืบค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2556, จาก http://kingmachineworlds.com

จันทร์สม แก้วอุดร. (2546). **การทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยไมโครเวฟ**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จารุภา หล่อยดา. (2556). **การวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาโอรีซานอลและสมบัติบางประการในน้ำมันรำข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้จากการบีบเย็น**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

จารุวรรณ ดำคง. (2555). ข้าวขาวกอเดียวพิจิตร ข้าวเจ้าอร่อยเลื่องลือ ตำนานเมืองชาละวัน. **วารสารสำนักงานปฏิรูปที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม**, 34(3), 4-5.

จินดารัตน์ โตกมลธรรม. (2539). **การคืนสภาพธรรมชาติของเอนไซม์ไลเปสในรำข้าว**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ชัยรัช ไหมเจริญ. (2546). **การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานสกัดน้ำมันรำข้าว**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย, เกศินี สังข์คำ, วาริช ศรีละออง, อภิรดี อุทัยรัตนกิจ และสร้อยสุดา อุตระกูล. (2554). ผลของเทคนิคการให้ความร้อนต่อคุณภาพรำข้าว. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร(ฉบับพิเศษ)**, 42(3), 769-722.

ทิพวรรณ ยืนยงค์. (2551). **ความคงตัวของแกมมา-โอรีซานอลในน้ำมันรำข้าวที่อุณหภูมิสูง**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

ธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล. (2543). **การศึกษาจลศาสตร์ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันชนิดต่าง ๆที่ถูกเร่งด้วยเอนไซม์ไลเปส**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ปฏิวิทย์ ลอยพิมาน. (2552). **การผลิตน้ำมันรำข้าวเพื่อสุขภาพ โดยการคงสภาพรำข้าวด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิค และการสกัดน้ำมันโดยใช้เอนไซม์**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ปัทมา ฤาชาฤทธิ์. (2554). **การเปรียบเทียบการทำงานของเอนไซม์ไลเปสจากรำข้าวดิบและรำข้าวที่สกัดน้ำมันออกแล้ว**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปิยนาถ ประเสริฐสังข์. (2557). **ผลของรำข้าวและรำข้าวหมักด้วยแบคทีเรียโปรไบโอติกต่อการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งลำไส้และมะเร็งตับ**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

วิไล รังสาดทอง. (2546). **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศศิวิมล จิตรากร, แพรจันทร์ สังขะจันทร์, นิติพงศ์ จิตรีโภชน์ และเหรียญทอง สิงห์จานุสงค์. (2553). การศึกษาความคงตัวของรำข้าว กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของรำข้าวและสมุนไพร. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร (ฉบับพิเศษ)**, 41(3/1), 221-224.

สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว. (2552). **ข้าวขาวกอเดียว พิจิตร**. สืบค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2556, จาก http://riceproduct.org/index.php?option=com_content&task=view&id= 30&Itemid=52.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abdul-Hamid, A., Raja Sulaiman, 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.

Aguilera, J.M. and Stanley, D.W. (1999). **Microstructural principles of food processing and engineering**. Gaithersburg, MD: Aspen.

Aizono, Y., Funatsu, M., Fujiki, Y. and Watanabe, M. (1976). Purification and characterization of rice bran lipase II. **Agriculture Biological Chemistry**, 40, 317-324.

Amarasinghe, B. and Gangodavilage, N.C. (2004). Rice bran oil extraction in Sri Lanka. **Food and Bioproducts Processing**, 82, 54-59.

Amarasinghe, B., Kumarasiri, M. and Gangodavilage, N.C. (2009). Effect of method of stabilization on aqueous extraction of rice bran oil. **Food and Bioproducts Processing**, 87, 108-114.

AOAC. (2000). **Official methods of analysis**. Washington, D.C.: Association of Official of Analytical Chemists.

AOAC. (2012). **Official methods of analysis**. Washington, D.C.: Association of Official of Analytical Chemists.

Azeemoddin, G., Rao, D.C.M., Reddy, N.K., Rao, G.R. and Rao, S.D.T. (1978). Stabilization of rice bran with sodium metabisulfite. **Journal of the American Oils Chemists' Society**, 56(5), 589.

Barber, S. and Benedito de Barber, C. (1980). **Rice: Production and utilization**. Connecticut: The AVI.

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.

Castro, I., Teixeira, J.A., Salengke, S., Sastry, S.K. and Vicente, A.A. (2004). Ohmic heating of strawberry products : electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. **Innovation Food Science and Emerging Technology**, 5(1), 27-36.

Chen, M.H. and Bergman, C.J. (2005). A rapid procedure for analysing rice bran tocopherol, tocotrienol and γ-oryzanol contents. **Journal of Food Composition and Analysis**, 18(2-3), 139–151.

Chotimarkorn, C., Benjakul, S. and Silalai, N. (2008). Antioxidant components and properties of five long-grained rice bran extracts from commercial available cultivars in Thailand. **Food Chemistry**, 111, 636–641.

Chu, K.J. and Chou, S.K. (2003). Low-cost drying method for developing countries. **Food Science and Technology**, 14, 519-529.

Clifford, M.N. (2000). Anthocyanins-nature, occurrence and dietary burden. **Science Food Agriculture**, 80, 1063-1072.

Cunha, A.B., Frey, B.N., Andreazza, A.C., Goi, J.D., Rosa, A.R., Goncalves, C.A., et al. (2006). Serum brain-derived neurotrophic factor is decreased in bipolar disorder depressive and manic episodes. **Neuroscience Letters**, 398, 215-219.

Dacera, D., Jenvanitpanjakul, P., Nitisoravut, S. and Babel, S. (2003). Hexane reduction in a Thai rice bran oil factory : A cleaner technology approach. **Thammasat International Journal** of Science and Technology, 8(4), 6-17.

Dasgupta, N. and De, B. (2004). Antioxidant activity of *piper betle L.* leaf extract in vitro. **Food Chemistry**, 88, 219-224.

Food and Drug Administration (FDA). (2001). **Bacteriologiical Analytical Manual (BAM)**. Retrieved 20 March 2014, from http://www.fda.gov.

Gerhardt, A.L. and Gallo, N.B. (1998). Full fat rice bran and oat bran similarly reduced hypercholesterolemia in human. **The Journal of Nutrition**, 128, 865-869.

Hoi, S.W., Holland, J.B and Hammond, E.G. (1999). Heritability of lipase activity of oat caryopes. **Crop Science**, 39, 1055-1059.

Iqbal, S., Bhanger, M.I. and Anwar, F. (2005). Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. **Food Chemistry**, 93, 265-272.

Juliano, B.O. (1985). **American association of cereal chemistry**, U.S.A.: St. Paul, MN.

Juliano, B.O. (1993). **Rice in human nutrition**, Rome: Foof and Agriculture organization of the United Nation.

Keo-oudone, C. and Vananuvat, N. February 3-6, 2004, Stabilization of rice bran by microwave heat and chemical changes during storage. In **proceeding of 42nd Kasetsart University Annual Conference** (pp.566-574). Bangkok, Thailand: Kasetsart University.

Kumar, H.G. A., Khatoon, S., Prabhakar, D.S. and Krishna, A. G. G. (2006). Effect of cooking of rice bran on the quality of extracted oil. **Journal of food lipids,** 13(4), 341-353.

Lai, P., Li, K.Y., 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.R., Lima, M. and Walker, T. (2004). Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. **Bioresource Technology,** 92, 157-161.

Loeb, J.R., Morris, N.J. and Dollear, F.G. (1949). Rice bran oil IV. Storage of the bran as it affects hydrolysis of the oil. **Journal of The American Oils Chemists' Society,** 26(12), 738-743.

Loypimai, P., Moonggarm, A. and Chottanom, P. (2009). Effects of ohmic heating on lipase activity, bioactive compounds and antioxidant activity of rice bran. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences,** 3(4), 2642-3652.

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 storange.** Los Angels: Baton Rouge.

Mielnik, M.B., Olsen E., Vogt G., Adeline D. and Skrede G. (2006). Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored Turkey meat. **Food Science and Technology,** 39, 191-198.

Miller, A. and Engel, K. H. (2006). Content of oryzanol and composition of steryl ferulates in brown rice (*Oryza sativa* L.) of European origin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** 54, 8127–8133.

Miranda, M., Vega-Galvez A., Lopez J., Parada G., Sanders M., Aranda M., et al. (2010). Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Industrial Crops and Products,** 32, 258-263.

Moongngarm, A., Daomukda, N. and Khumpika, S. (2012). Chemical compositions, phytochemical, and antioxidant capacity of rice bran layer, rice bran, and rice germ. **APCBEE Procedia,** 2, 73-79.

O'Conner, J., Perry, H.J. and Harwood, J.L. (1992). A comparison of lipase activity in various cereal grains. **Cereal Science**, 16, 153-163.

Proctor, A. and Bowen, D.J. (1996). Ambient–temperature extraction of rice bran oil with hexane and isopropanol. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 73, 811- 813.

Ramezanzadeh, F.M., Rao, R.M., Prinyawiwatkul, W., Marshall, W.E. and Windhauser, M. (2000). Effect of microwave heat, packaging, and storage temperature on fatty acid and proximate composition in rice bran. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48, 464-467.

Ramezanzadeh, F.M., Rao, R.M., Windhauser, M., Prinyawiwatkul, W. and Marshall, W.E. (1999). Prevention of Oxidative Rancidity in Rice Bran during Storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 47, 2997-3000.

Sastry, B.S., Ramakrishna, M and Roa, M.R.R. (1977). Histochemical localization of lipase in the rice grain. **Food Science and Technoligy**, 14, 273-274.

Saunders, R.M. (1985). Rice bran: composition and potential food sources. **Food Review International**, 1(3), 465-495.

Shasty, B.S. and Rao, R.M.R. (1976). Chemical studies on rice bran lipase. **Cereal Chemistry**, 53(2), 190-200.

Shin, T. S. and Godber, J. S. (1996). Changes of endogenous antioxidants and fatty acid composition in irradiated rice bran during storage. **Journal of Agriculture Food Chemistry**, 44, 567–573.

Silva, M.A., Sanches, C. and Amante, E.R. (2006). Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran. **Journal of Food Engineering**, 75, 487–491.

Starmans, D.A. and Nijhuis, H.H. (1996). Extraction of secondary metabolites from plant material: a review. **Trends in Food Science and Technology**, 7, 191-197.

Supakot, P., Poom-ad, N. and Wiset, L. (2013). Effect of drying temperatures and media on bioactive compounds and free fadical scavenging activity of Turmeric. **Journal of Agricultural Science**, 44(3), 557-560.

Thanonkaew, A., Wongyai, S., McClements, J.D. and Decker, A.E. (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 Saltiva* L.). **Food Science and Technology**, 48, 231-236.

Tussanaekgajit, S., Niamnuy, C., Devadastin, S. and Soponronnarit, S. (2012). The effect of drying conditions on the qualities of rice bran. **Journal Agricultural Science**, 43(2), 9-12.

Uquiche, E., Jere, M. and Ortiz, J. (2008). Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (*Gevuina avellana Mol*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 9, 495-500.

Wiset, L., Kongkiattikajorn, J. and Potchanachai, S. October, 18-20, 2005. Effect of free fatty acid contents on pasting behavior of postharvest brown rice flour. In 31st **Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of** Technology. Nakhon Ratchasima, Thailand: Suranaree University of Technology.

Zilic, S., Mogol, B.A., Akillioglu, G., Serpen, A., Babic, M. and Gokmen, V. (2013). Effects of infrared heating on phenolic compounds and Maillard reaction products in maize flour. **Journal of Cereal Science**, 58, 1-7.

Zullaikah, S., Lai, C.C., Vali, S.R. and Ju, Y.I. (2005). A two-step acid-catalyzed process for the production of biodiesel from rice bran oil. **Bioresource Technology**, 96(17), 1889-1896.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ

1. **การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น** (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

1.1 ชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาที่ผ่านการอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้ว บันทึกน้ำหนัก ที่แน่นอน

1.2 ตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดแล้วใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมประมาณ 2 กรัม เกลี่ยให้ ตัวอย่างแผ่ด้วยความ สม่ำเสมอ แล้วปิดฝา บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.3 วางตัวอย่างในตู้อบลมร้อนโดยเปิดฝาถ้วยอะลูมิเนียมบางส่วนอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 3 ชั่วโมงหรือจนได้น้ำหนักที่แน่นอน

1.4 เมื่อครบเวลา ปิดฝาถ้วย แล้วนำตัวอย่างใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

1.5 คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

2. **การวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธีซอล์กเลต** (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

2.1 อบขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร โดยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_1)

2.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม (W) ใส่กระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำไปใส่ในทิมเบอร์กระดาษ (cellulose thimber) ปิดด้วยสำลี แล้วใส่ลงในชุดสกัดซอล์กเลต

2.3 สกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petrolium ether) ที่มีจุดเดือด 40-60°C ตามเวลาที่กำหนด (ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันในตัวอย่าง) เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากตัวอย่าง

2.4 นำขวดก้นกลมที่มีไขมันเหลืออยู่ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)

2.5 คำนวณปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ร้อยละของไขมัน} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_1 = น้ำหนักขวดก้นกลมก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักขวดก้นกลมและไขมันหลังอบ (กรัม)

3. **การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเคลดาห์ล** (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

3.1 ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ลงในหลอด Kjeldahl เติมซิลิเนียมลงไป 3 กรัม จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟูริคเข้มข้น 98% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3.2 นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดย่อยโปรตีน ย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นและไม่มีไอระเหยของกรด

3.3 กลั่นตัวอย่างที่ย่อยด้วยเครื่อง distillation unit โดยเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 90 มิลลิลิตร เก็บส่วนที่กลั่นได้ในสารละลายบอริค เข้มข้น 2% ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ ก๊าซแอมโมเนียมที่เกิดขึ้น ถูกควบแน่นจนหมด ได้ปริมาณสารละลายในบอริค ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

3.4 ทำการไทเทรตส่วนที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.1 N จนได้จุดยุติสีส้ม บันทึกปริมาตรที่ไทเทรตได้

3.5 ทำ blank โดยใช้สารละลายต่างๆ ในปริมาณเท่าๆ กัน เช่นเดียวกับตัวอย่างแต่ไม่ใส่ ตัวอย่าง

3.6 คำนวณปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{\% ไนโตรเจน} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times f \times 1400}{E}$$

$$\text{\% โปรตีน} = \text{\% ไนโตรเจน} \times F$$

เมื่อ V_1 = ปริมาณกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

V_2 = ปริมาณกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการไทเทรต blank

N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการไทเทรต (0.1 N)

f = factor of acid = 1

E = น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

F = conversion factor = 6.25

4. **การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย** (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

4.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (W) ลงในครูซิเบิล จากนั้นวางในตำแหน่งที่บรรจุ fritted crucible ของเครื่อง Fibertec hot extraction unit

4.2 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 0.223 โมล ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ ทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดปล่อยสารละลายกรดซัลฟูริกออกจากคอลัมน์ ล้างกรดออกจากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเดือด

4.3 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.128 โมล ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ ทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปล่อยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากคอลัมน์ ล้างด่างออกจากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเดือด

4.4 นำ fritted crucible พร้อมตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วยกรดและด่างไปอบที่ 105°C เป็น เวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความร้อน แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จะได้น้ำหนัก fritted crucible รวมกับกาก (W_1)

4.5 นำเข้าเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนได้เถ้า ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จะได้น้ำหนัก fritted crucible รวมกับเถ้า (W_2)

4.6 คำนวณปริมาณเยื่อใยจากสูตร

$$\text{ร้อยละของเยื่อใย} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_1 = น้ำหนัก fritted crucible รวมกับกาก (กรัม)

W_2 = น้ำหนัก fritted crucible รวมกับเถ้า (กรัม)

5. **การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า** (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

5.1 เผาถ้วยกระเบื้อง (crucible) ในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความร้อน ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W)

5.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม (W_1) ลงในถ้วยกระเบื้อง นำไปเผาบน hot plate จนหมดควัน แล้วนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550°C จนได้เถ้าสีขาว จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)

5.3 คำนวณปริมาณเถ้าในตัวอย่างได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

6. **การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์** (Peroxide value) (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

6.1 ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

6.2 เติมสารละลายกรดอะซิติกกับคลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 3 : 2 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

6.3 เติมสารละลายอิ่มตัวโพแตสเซียมไอโอไดด์ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 1นาที โดยมีการเขย่าเป็นบางครั้ง จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร

6.4 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายสีเหลืองจางหายไป แล้วเติมน้ำแป้งสุกความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ไทเทรตต่อจนสารละลายสีน้ำเงินหมดไป

6.5 เตรียมและไทเทรตแบลงค์เช่นเดียวกับข้อ 2-4

6.6 คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์จากสูตร

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม)} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{W}$$

เมื่อ S = ปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (0.01 นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

7. **การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ** (Free fatty acid content) (AOAC, 2000)

วิธีการทดลอง

7.1 ชั่งตัวอย่าง 7.05 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

7.2 เติมตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงไปในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมสารละลายฟีนอล์ฟธาลีน ร้อยละ 2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

7.3 นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล จนได้สารละลายสีชมพู

7.4 คำนวณค่ากรดหรือปริมาณกรดไขมันอิสระได้จากสูตร

$$\text{ค่ากรด (มิลลิกรัม)} = \frac{V \times N \times 56.1}{W}$$

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ} = \frac{V \times N \times 282}{W}$$

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระคิดเป็นร้อยละ} = \frac{V \times N \times 28.2}{W}$$

เมื่อ V = ปริมาณด่างที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นด่าง (0.25 นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

หมายเหตุ น้ำหนักโมเลกุลของกรดลอริก = 200

น้ำหนักโมเลกุลของกรดปาล์มิติก = 256

น้ำหนักโมเลกุลของกรดโอเลอิก = 282

ในการคำนวณนี้ใช้ค่าน้ำหนักโมเลกุลของกรดโอเลอิกเป็นตัวแทนของกรดไขมันอื่นๆ

8. **การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ไลเปส** (Lipase activity) (Hoi, Holland and Hammond, 1999)

วิธีการทดลอง

8.1 ชั่งรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวและรำข้าวสด 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร

8.2 เติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 ชั่วโมง

8.3 เติมน้ำมันรำข้าวรีไฟน์ 10 กรัม คนให้เข้ากัน พร้อมทั้งทำตัวอย่างควบคุมควบคู่

8.4 นำมาบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

8.5 นำน้ำมันรำข้าวจากแต่ละตัวอย่าง 0.2 กรัม ละลายในตัวทำละลาย ไดเอทิลอีเทอร์: เมทานอล (2:1 v/v)

8.6 นำสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเมทานอล 50 มิลลิลิตร

8.7 ไทเทรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 โมลาร์ ไทเทรทจนกว่า pH ถึง 9

8.8 คำนวณเปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ไลเปส จากสูตร

เปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิส = 4.334 x (ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ของตัวอย่าง - ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ของตัวอย่างควบคุม)

4.334 - คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันรำข้าว

9. **การวิเคราะห์ค่า** Thiobariyuric acid- reactive substance (ดัดแปลงจาก Mielnik, et al., 2006)

วิธีการทดลอง

9.1 ชั่งตัวอย่างรำข้าว 5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่

9.2 เติมสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก เข้มข้น 7.5% ปริมาตร 30 มิลลิลิตร

9.3 นำไปเขย่าด้วยเครื่องโซนิคเคเตอร์ นาน 20 นาที

9.4 นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 3600 rpm อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

9.5 กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1

9.6 นำสารละลายสกัดจากตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และเติมสารละลายไทโอบาร์บิตูริค เข้มข้น 0.02 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

9.7 ต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นแช่ในน้ำเย็น 5 นาที

9.8 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ 352 นาโนเมตร

9.9 เทียบกับสารมาตรฐาน 1,1,3,3 เตรทตะ-เอทิลออกซีโพรเพน (TEP)

10. **กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี** DPPH (Dasgupta and De, 2004)

วิธีการทดลอง

10.1 การสกัดรำข้าว

10.1.1 ชั่งรำข้าวขาวกอเดียว 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมเมทานอล 100 มิลลิลิตร

10.1.2 สกัดโดยใช้เครื่องโซนิเคเตอร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

10.1.3 กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

10.1.4 ระเหยตัวทำละลายด้วย Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

10.1.5 เก็บสารสกัดในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ -18 °C รอการวิเคราะห์ต่อไป

10.2 นำสารสกัดตัวอย่างรำข้าวปรับความเข้มข้นด้วยเมทานอล ที่ความเข้มข้น 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

10.3 ปิเปตสารสกัดตัวอย่างรำข้าวที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงในหลอดทดลอง 1 มิลลิลิตร

10.4 เติมสารละลาย DPPH 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที

10.5 วัดค่าการดูดกลืนแสง โดยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 517 นาโนเมตร

10.6 คำนวณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ จากสูตร

เปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ = $(1 - (A517nm_{sample} / A517nm_{control})) \times 100$

10.7 นำค่าที่ได้ไปพลอตกราฟและรายงานผลเป็น IC_{50} (50% Inhibition concentration)

11. การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolics) (Iqbal, Bhanger and Anwer, 2005)

วิธีการทดลอง

11.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิค ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับความเข้มข้น 0.5, 1.5, 3.5, 4.5 และ 5.5 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร

11.2 นำสารสกัดรำข้าว 0.2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-Ciocateu (เจือจางกับน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:10) 0.8 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนทเข้มข้น 7.5%ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

11.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 7 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที

11.4 วัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ 765 นาโนเมตร โดยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

11.5 นำค่าที่ได้คำนวณแสดงผล เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิค

12. การวิเคราะห์ Inhibition of Lipid peroxidation (Dasgupta and De, 2004)

วิธีการทดลอง

12.1 เตรียมสารละลายไข่แดง โดยใช้ไข่แดง 10 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องโซนิเคเตอร์

12.2 นำสารละลายไข่แดงปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และเติมสารสกัดรำข้าว 0.1 มิลลิลิตร

12.3 เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 1 มิลลิลิตร

12.4 เติมสารละลายเฟอร์ริก ซัลเฟต เข้มข้น 0.07 โมลาร์ ปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อทำให้เกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชั่น

12.5 เติมสารละลายกรดไทโอบาร์บิติริก เข้มข้น 0.8% โดยเตรียมในสารละลายโซเดียมโดเดดซัลเฟต เข้มข้น 1.1% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร

12.6 ผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

12.7 เติมบิวทานอลปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

12.8 นำไปปั่นเหวี่ยง ที่ 3000 rpm นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

12.9 ดูดเฉพาะส่วนใสด้านบน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร

12.10 คำนวณ Inhibition of lipid peroxidation การสูตร

$$\% \text{ Inhibition of lipid peroxidation} = (1 - (A532nm_{sample} / A532nm_{control})) \times 100$$

13. Total antioxidant capacity (Iqbal, Bhanger and Anwer, 2005)

วิธีการทดลอง

13.1 นำสารสกัดรำข้าว 0.5 มิลลิลตร ลงในหลอดทดลอง และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร

13.2 เติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟส เข้มข้น 28 มิลลิโมลาร์ และสารละลายแอมโมเนียมโมลิปเดท เข้มข้น 4.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรอย่างละ 1 มิลลิลิตร

13.3 นำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

13.4 วัดค่าการดูดกลืนแสง 695 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

13.5 เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิคและสารละลายบีเอชที

14. **วิเคราะห์ปริมาณสารแกมมา - โอรีซานอล**

วิธีการทดลอง

14.1 สกัดตัวอย่างรำข้าว (Chen and Bergman, 2005)

14.1.1 นำตัวอย่างปริมาณ 0.05 กรัม สกัดด้วยเมทธานอล HPLC grade 3 มิลลิลิตร

14.1.2 เขย่าด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 3 นาที และนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 825*g* เป็นเวลา 10 นาที กรองแล้วนำส่วนใสไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

14.2 สภาวะการตรวจวัด (Iqbal, Bhanger and Anwar, 2005)

โดยสภาวะเครื่อง HPLC มีดังนี้ คอลัมน์ C_{18}, 150x2.1 มิลลิเมตร, 5 ไมโครเมตร อัตราการไหล 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวทำละลาย (mobile phase) ที่ใช้คือ เมทธานอล อะซิโตไนไตรล์ ไดคลอโรมีเทน และกรดอะซิติก ที่อัตราส่วน 50 : 44 : 3 : 3 ตามลำดับ ปริมาตรที่ฉีดสารเข้าเครื่อง HPLC คือ 20 ไมโครลิตร ใช้ตัวตรวจวัดแบบยูวีที่ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร ใช้เวลา (run time) ทั้งหมด 30 นาที

14.3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารแกมมา - โอรีซานอลในรำข้าว

14.3.1 หาปริมาณสารแกมมา - โอรีซานอลโดยเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่างกับพื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐาน

14.3.2 การคำนวณ

เมื่อฉีดสารสกัดของตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร (0.02 มิลลิลิตร) ได้ความเข้มข้นของตัวอย่างเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของกราฟมาตรฐาน คำนวณได้เท่ากับ 853.47 ppm หรือ 853.47 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

สาร 1 มิลลิลิตร มีสารแกมมา – โอริซานอล 853.47 ไมโครกรัม

ฉีดสารสกัดตัวอย่าง 0.02 มิลลิลิตร มีสารแกมมา – โอริซานอล 17.0694 ไมโครกรัม

ฉีดสารสกัดของอย่าง 0.02 มิลลิลิตร มีสารแกมมา – โอริซานอล 17.0694 ไมโครกรัม

สารสกัด 3 มิลลิลิตร มีสารแกมมา – โอริซานอล 2560.41 ไมโครกรัม

เห็นได้ว่าสารสกัด 3 มิลลิลิตร ที่ใช้ตัวอย่างรำข้าว 0.05 กรัม มีสารแกมมา – โอริซานอล 2560.41 ไมโครกรัม

ถ้าตัวอย่างรำข้าว 1 กรัม มีสารแกมมา - โอริซานอล 51,208 ไมโครกรัม

หรือ ตัวอย่างรำข้าว 1 กรัม มีสารแกมมา - โอริซานอล 51.208 มิลลิกรัม

ตัวอย่างรำข้าว 100 กรัม มีสารแกมมา - โอริซานอล 51,20.8 มิลลิกรัม

หรือ 5,121 มิลลิกรัม

คำนวณเฉพาะส่วนของน้ำมันในรำข้าว

ในรำข้าวมีปริมาณไขมันร้อยละ 22.04 หรือ 22.4 กรัมต่อ 100 กรัม

รำข้าว 100 กรัม มีสารแกมมา - โอริซานอล 5,121 มิลลิกรัม

ในรำข้าวมีปริมาณไขมัน 22.40 กรัมต่อ 100 กรัม

มีสารแกมมา - โอริซานอล 232.35 มิลลิกรัมต่อกรัม

ถ้าคิดเป็น 100 กรัม มีสารแกมมา - โอริซานอล 23,235 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ถ้าคิดร้อยละ 6 (กรัม) มีสารแกมมา - โอริซานอล 1,394 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

เพราะฉะนั้น ในรำข้าวมีปริมาณสารแกมมา - โอริซานอล 1,394 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำมัน หรือ 1,394 ppm น้ำมัน

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์

ตาราง 21 ปริมาณน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียว (Extraction yield) ที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Storage time (week)	Extraction yield (g/100 g rice bran)	
	Non - stabilized	Stabilized
Week 0	$0.91^{a} \pm 0.43$	$1.09^{a} \pm 0.05$
Week 3	$0.87^{b} \pm 0.75$	$0.78^{c} \pm 0.76$
Week 6	$0.63^{d} \pm 0.67$	$0.72^{d} \pm 0.73$
Week 9	$0.68^{c} \pm 0.33$	$0.98^{b} \pm 0.54$
Week 12	$0.45^{e} \pm 0.14$	$0.51^{e} \pm 0.13$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 22 กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) ของรำข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่าน การทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Storage time (week)	Lipase activity (% hydrolysis)	
	Non - stabilized	Stabilized
Week 0	$9.68^{e} \pm 1.00$	$8.81^{e} \pm 0.13$
Week 3	$13.00^{d} \pm 2.14$	$10.26^{d} \pm 0.43$
Week 6	$15.75^{c} \pm 0.90$	$14.88^{c} \pm 0.90$
Week 9	$16.18^{b} \pm 0.25$	$15.60^{a} \pm 0.75$
Week 12	$16.61^{a} \pm 0.25$	$15.31^{b} \pm 0.25$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 23 การวัดค่า TBA ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Storage time (week)	TBA value (mg MDA/kg rice bran)	
	Non - stabilized	Stabilized
Week 0	$23.04^{e} \pm 0.91$	$18.14^{e} \pm 0.73$
Week 3	$35.91^{d} \pm 0.84$	$21.04^{d} \pm 0.39$
Week 6	$48.42^{c} \pm 0.73$	$39.31^{c} \pm 1.68$
Week 9	$58.21^{b} \pm 0.68$	$45.48^{b} \pm 0.68$
Week 12	$67.62^{a} \pm 1.10$	$52.39^{a} \pm 0.19$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 24 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Storage time (week)	IC_{50}	
	Non - stabilized	Stabilized
Week 0	$10.70^{a} \pm 0.26$	$10.23^{a} \pm 0.10$
Week 3	$9.21^{c} \pm 0.91$	$9.23^{c} \pm 0.56$
Week 6	$9.65^{b} \pm 0.29$	$9.99^{b} \pm 0.41$
Week 9	$9.10^{d} \pm 0.36$	$9.16^{d} \pm 0.50$
Week 12	$9.08^{e} \pm 0.06$	$9.07^{e} \pm 0.29$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 25 Inhibition of Lipid peroxidation ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Storage time (week)	% inhibition of lipidperoxidation	
	Non - stabilized	Stabilized
Week 0	$36.35^{d} \pm 1.84$	$34.38^{d} \pm 4.86$
Week 3	$31.62^{e} \pm 0.47$	$31.04^{e} \pm 1.24$
Week 6	$48.23^{a} \pm 1.41$	$43.00^{c} \pm 3.89$
Week 9	$36.62^{c} \pm 1.08$	$46.75^{b} \pm 7.84$
Week 12	$47.91^{b} \pm 1.62$	$57.12^{a} \pm 2.23$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 26 ปริมาณ Total antioxidant capacity (BHT and gallic acid equivalent) ของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Storage time (weeks)	Non - stabilized	Stabilized
	BHT (equivalent/g rice bran)	
Week 0	$1.546^{a} \pm 0.018$	$1.644^{a} \pm 0.019$
Week 3	$1.217^{b} \pm 0.011$	$1.319^{b} \pm 0.007$
Week 6	$1.155^{d} \pm 0.049$	$1.119^{d} \pm 0.092$
Week 9	$1.195^{c} \pm 0.066$	$1.193^{c} \pm 0.104$
Week 12	$0.884^{e} \pm 0.007$	$0.877^{e} \pm 0.009$
	Gallic acid (equivalent/g rice bran)	
Week 0	$1.293^{a} \pm 0.023$	$1.420^{a} \pm 0.024$
Week 3	$0.869^{b} \pm 0.014$	$1.000^{b} \pm 0.009$
Week 6	$0.789^{c} \pm 0.063$	$0.743^{d} \pm 0.071$
Week 9	$0.774^{d} \pm 0.112$	$0.838^{c} \pm 0.134$
Week 12	$0.438^{e} \pm 0.009$	$0.429^{e} \pm 0.012$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan

ตาราง 27 ปริมาณแกมมา-โอริซานอลของน้ำมันรำข้าวบีบเย็นพันธุ์ขาวกอเดียวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสภาวะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Storage time (week)	γ - oryzanol content (ppm)	
	Non - stabilized	Stabilized
Week 0	2338.93^{d} ± 0.20	2440.34^{e} ± 0.45
Week 3	2507.31^{e} ± 0.51	2534.01^{d} ± 2.14
Week 6	2631.76^{b} ± 7.07	2694.75^{c} ± 0.11
Week 9	2627.51^{c} ± 2.33	2858.92^{b} ± 0.28
Week 12	3165.82^{a} ± 1.23	3055.77^{a} ± 2.41

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a – e กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีของ Duncan