ชื่องานวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว
ผู้วิจัย นางสาว ขนิษฐา หมวดเอียด
คณะ เทคโนโลยีการเกษตร
ปี 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของรำข้าว พบว่ารำข้าวมีองค์ประกอบหลักเป็นใยอาหาร ร้อยละ 33.95 (ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ร้อยละ 31.87 และใยอาหารที่ละลายน้ำ ร้อยละ 2.08) และมีค่า L*, a* และค่า b* เท่ากับ 68.19, 3.05 และ 18.58 ตามลำดับ และทำการศึกษาสูตรที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว โดยใช้แผนการทดลองทางสถิติแบบ Mixture design (Scheffe' D-optimal design) ประกอบด้วยปัจจัยที่ต้องการศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ แป้งสาลี ร้อยละ 65-85 รำข้าวร้อยละ 10-20 และน้ำร้อยละ 5-15 ได้สูตรการทดลองทั้งหมด 12 สูตร เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางด้านสถิติด้านคุณลักษณะของโดและผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว ได้แก่ แรงต้านการยืดขยาย ความสามารถในการยืดขยาย และความกรอบ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าคุณลักษณะที่มีค่าทดสอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$) ได้แก่ คุณลักษณะความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส และความกรอบ จากการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ (Optimization) จะได้อัตราส่วนผสมของโรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าวที่เหมาะสม ประกอบด้วย แป้งสาลี รำข้าว และน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 81.68, 11.44 และ 6.87 ตามลำดับ

เลข Bib# 11A2291
วันที่ 6 พ.ย. 2561
เลขเรียกหนังสือ bA1.33

Research Title	Developement of Crispy Roti Supplemented with Rice Bran
Researcher	Ms. Khanittha Muadiad
Faculty	Agricultural Technology
Year	2561

Abstract

The purpose of this study was to optimized the formula of crispy roti product supplemented with rice bran. Roti formulation was studied by using Mixture experimental design (Scheffe' simplex-centroid design) to determine the optimum formula. Chemical of rice bran, color and sensory characteristic of rice bran powder were determined. The chemical composition of rice bran was composed of high dietary fiber, 33.95% (insoluble fiber, 31.87 % and soluble dietary fiber, 2.08%) and consists of protein, fat, moisture, ash and crude fiber, 10.90%, 14.62%, 6.16%, 9.54% and 0.62%, respectively. L*, a* and b* values of rice bran powder were 73.39, 3.07 and 21.03 respectively. Roti formulation which included 12 combinations of wheat flour (65-85%), rice bran (10-20%) and water (5-15%) were subjected to the resistant to extension and extensibility of dough and color, crispiness and sensory evaluation of roti. The results showed that combinations were significantly affected ($p \leq 0.05$) on the appearance, color, flavor and crispiness. After overlapping contour plots, the optimal formulation range were 83.89% wheat flour, 11.10% rice bran powder and 5.00% water.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัยด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณบุคลากรคณะเทคโนโลยีการเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ และวัสดุ รวมทั้งให้คำแนะนำในการปฏิบัติงาน ตลอดจนบุคลากรหน่วยงานสถาบันวิจัยและพัฒนาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำด้านการบริหารจัดการด้านทุนและเอกสารงานวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขนิษฐา หมวดเอียด
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
พฤษภาคม 2560

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก
Abstract ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... จ
สารบัญภาพ ..... ฉ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย 2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
ขอบเขตการวิจัย 2
บทที่ 2 ทฤษฎี 3
บทที่ 3 การทดลอง 9
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 9
วิธีการทดลอง 10
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 13
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 25
เอกสารอ้างอิง 26
ภาคผนวก 28
ประวัติผู้วิจัย 42

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1 องค์ประกอบจากกระบวนการขัดสีข้าว 5
2 แผนการออกแบบสูตรโดยวางแผนการทดลองแบบ mixture design 11
3 ส่วนผสมโรตีสูตรมาตรฐาน 11
4 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว 13
5 ค่าสี L*, a* และ b* ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบ 19
6 คะแนนการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส Hedonic scale (9 คะแนน) ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว 20
7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบ เสริมใยอาหารจากรำข้าว 21
8 ระดับค่าของตัวแปรผลหลังการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม (Optimization) 24

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว 4
2 ผงรำข้าว 14
3 ความสามารถในการจับน้ำ และความความสามารถในการจับน้ำมันของรำข้าว 15
4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรำข้าว (Scanning Electron Microscopy) ที่กำลังขยาย 50X(a) และ 300X (b) 16
5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโดโรตีที่ไม่เติมรำข้าว (a) และเติมรำข้าว สูตรที่ 5 (b), 7 (c) และ 7 (d) โดย: G, S และ R แทนโครงข่ายกลูเตน เม็ดสตาร์ช และรำข้าว ตามลำดับ 17
6 ค่าแรงต้านการยืดขยาย (resistant to extention) และความสามารถในการยืดขยาย (extensibility) ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว 17
7 ค่าความกรอบ (hardness) และความกรอบ (crispyness) ของผลิตภัณฑ์ โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว 18
8 ผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว สูตรที่ 1-12 19
9 contour plot ของค่าแรงต้านการยืดขยาย (a) และค่าความสามารถในการยืดขยาย (b) ของโรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว 22
10 contour plot ของ ค่าสี L* (a), a* (b) และ b* (c) ของผลิตภัณฑ์ โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว 22
11 contour plot ของคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ (a), สี (b), กลิ่นรส (c) ลักษณะเนื้อสัมผัส (d) และความชอบโดยรวม (e) ต่อผลิตภัณฑ์ โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว 23
12 contour plot ของค่าความแข็ง (a) และความกรอบ (b) ของผลิตภัณฑ์ โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว 23
13. ระดับของปริมาณแป้งสาลี (A) รำข้าว (B) และน้ำ (C) ที่เหมาะสม (optimization) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว 24

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สามารถผลิตข้าวได้เป็นอันดับต้น ๆ ของโลกในช่วง 2547-48 ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ประมาณ 24 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ม.ป.ป.) การสีข้าวเปลือกจะได้แกลบ รำข้าว และข้าวสาร ผลจากการสีข้าว 1 ตันจะได้รำข้าวประมาณ 70 กิโลกรัม โดยส่วนใหญ่รำข้าวจะถูกนำไปเลี้ยงสัตว์ คิดเป็นร้อยละ 70 ของปริมาณรำข้าวทั้งหมด มีเพียงร้อยละ 15 เท่านั้นที่จะนำ ไปสกัดเป็นน้ำมันรำข้าว มีคุณค่าทางโภชนาการ คือ มีโปรตีน ไขมัน วิตามิน เกลือแร่ และ เส้นใยอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง คือ กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิกอยู่สูง ซึ่งปัจจุบันมีการนำรำข้าวไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพียงเล็กน้อย เช่น ใช้เป็นอาหารสัตว์ ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเด็กอ่อน ขนมปัง มัฟฟิน อาหารว่างอบกรอบ เป็นต้น ดังนั้นโรตีซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นแป้งแบนกลม ไม่ขึ้นฟู จึงเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่มีความน่าสนใจนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบสำหรับการเพิ่มมูลค่าให้แก่รำข้าว โดยเป็นอาหารมุสลิมที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคใต้ซึ่งมีชาวมุสลิมอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ไม่เฉพาะชาวมุสลิมเท่านั้นยังรวมไปถึงคนไทยพุทธหรือแม้แต่ชาวยุโรปก็ยังนิยมบริโภคโรตีเป็นอาหารว่าง นอกจากนั้นยังเป็นที่นิยมในประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ มาเลเซีย อินเดีย ปากีสถาน และสิงคโปร์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์โรตีมักมีคุณค่าทางอาหารไม่ครบถ้วน โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงและมีใยอาหารค่อนข้างต่ำ จึงทำให้เกิดการบริโภคที่ไม่ได้สัดส่วนสมดุลก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพ คือการเกิดภาวะโภชนาการเกิน ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ ตามมา เช่น โรคอ้วน โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ เป็นต้น จากผลการวิจัยของนักวิชาการด้านการแพทย์และโภชนาการ พบว่าการบริโภคใยอาหารสามารถช่วยลดการเกิดโรคต่างๆ ที่กล่าวมาได้ (Rodriguez *et al.*, 2006; Lairon *et al.*, 2005) โดยปริมาณใยอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันอยู่ในช่วง 25-35 กรัมต่อวัน (Buttriss and Stokes, 2008; Slavin and Green, 2007) และปริมาณใยอาหารในผลิตภัณฑ์ที่สามารถกล่าวอ้าง (claim) ได้ว่าเป็นแหล่งของใยอาหาร (source of fiber) คืออาหารนั้นต้องมี ใยอาหาร $\geq$ 3 กรัมต่อ 100 กรัมอาหาร และกล่าวอ้างได้ว่ามีใยอาหารเป็นองค์ประกอบสูง (high in fiber) ต้องมีใยอาหาร $\geq$ 6 กรัมต่อ 100 กรัมอาหาร (European Commission, 2007)

สืบเนื่องมาจากงานวิจัยการเสริมใยอาหารจากรำข้าวในผลิตภัณฑ์โรตีทอดของขนิษฐา หมวดเอียด (2557) พบว่าปริมาณรำข้าวสูงสุดที่ผู้บริโภคให้การยอมรับได้ อยู่ที่ระดับร้อยละ 6 ซึ่งเป็นระดับที่ไม่สามารถกล่าวอ้างได้ว่าผลิตภัณฑ์โรตีทอดที่ได้เป็นแหล่งของใยอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อทดแทนรำข้าวในระดับที่สูงขึ้นทำให้แผ่นโตโรตีมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และส่งผลให้โรตีทอดที่ได้มีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การทดแทนรำข้าวในปริมาณสูงยังส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์โรตีที่ได้ ทั้งทางด้านสีและการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การพัฒนา

สูตรให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการด้าน ใยอาหารสูงขึ้น โดยที่ผู้บริโภคยังคงให้ความยอมรับ โดยการวางแผนการทดลองแบบ mixture design ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มจากรำข้าวและเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ประเภทรำข้าวอื่นๆ ต่อไป

วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย

1. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว
2. ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่รำข้าวโดยการนำมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร
2. สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์โรตีกรอบให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้นโดยการเสริมใยอาหารจากรำข้าว
3. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับสภาวะการผลิตโดโรตีที่มีใยอาหารเป็นองค์ประกอบสูง
4. อาจารย์ผู้วิจัยสามารถใช้ผลการศึกษาไปประกอบในการเรียนการสอน
5. ได้แนวทางในการทำวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่น ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าและช่องทางทางการตลาดต่อไป
6. สามารถนำผลงานที่ได้มาถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน
7. ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยโดยการนำเสนอและจัดนิทรรศการในงานประชุมวิชาการระดับชาติ

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของรำข้าวทั่วไปที่ได้ และทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว ด้วยการวางแผนการทดลองแบบ mixture design แล้วศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของโดโรตี ได้แก่ ความสามารถในการยืดขยายตัว แรงต้านการยืดขยาย และลักษณะทางสัณฐานวิทยา และศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบ ได้แก่ ค่าสี ความกรอบ และการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง เขียนรายงาน รวมถึงถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ที่สนใจ

บทที่ 2
ทฤษฎี

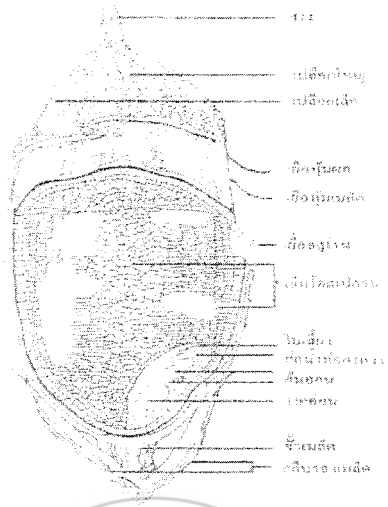
1. ผลิตภัณฑ์โรตี

โรตี มีลักษณะเป็นแผ่นแป้งแบนกลม ไม่ขึ้นฟู จะโรยหน้าด้วยนมข้นหวาน น้ำตาลทราย บางครั้งก็ใส่ไข่ไก่ลงไป ผลิตจากแป้งสาลี ซึ่งนิยมบริโภคเป็นอาหารหลักของชาวอินเดีย โดยทั่วไปโรตีมีลักษณะบางกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10-15 เซนติเมตร และความหนาตั้งแต่ 2-4 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่ประกอบด้วยส่วนของเปลือกโรตี (crust) และมีเนื้อโรตี (crumb) เพียงเล็กน้อย คุณลักษณะของโรตีที่ดีต้องมีความเหนียว ยืดหยุ่น เนื้อนุ่ม มีสีน้ำตาลนวล และให้กลิ่นหอมของแป้งสาลี (Shaikh *et al*., 2007; Srivastava *et al*., 2002) โดยตามมาตรฐานชุมชน โรตี หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งสาลีนวดผสมกับน้ำและส่วนประกอบอื่น เช่น เกลือ น้ำตาล น้ำมัน จนได้ก้อนแป้งที่เนียน นำมารีดเป็นแผ่น ม้วน แล้วรีดให้แบน ตัดเป็นชิ้น ทอดให้กรอบ คลุกกับน้ำตาลที่เคี่ยวจนข้นซึ่งอาจผสมเกลือหรือส่วนประกอบอื่น เช่น งา ต้นหอม ด้วยก็ได้ และโรตียังถือว่าเป็นขนมปังในวัฒนธรรมของชาวฮินดู โดยเฉพาะโรตีดั้งเดิมที่เรียกว่า โรตีทันดูรี (tandoori roti) หรือขนมปังที่อบในหม้อดินเหนียวที่เรียกว่าทันดูร์ (tandoor) โดยเตาดินเหนียวอินเดียแบบดั้งเดิมหรือทันดูร์นี้ มีรูปทรงภายนอกคล้ายหม้อดินเหนียวขนาดใหญ่ แล้วนำแผ่นแป้งโรตีแปะไว้บนผนังด้านในของเตา (แวแซตีฮายะ แซะบากอ, 2550)

ปัจจุบันโรตีเป็นอาหารมุสลิมที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคใต้ซึ่งมีชาวมุสลิมอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากไม่เฉพาะชาวมุสลิมเท่านั้นแต่รวมไปถึงคนไทยพุทธหรือแม้แต่ชาวยุโรปก็ยังนิยมบริโภคโรตีเป็นอาหารว่าง นอกจากนั้นยังเป็นที่นิยมในประเทศเพื่อนบ้านได้แก่ มาเลเซีย อินเดีย ปากีสถาน และสิงคโปร์ เป็นต้น โรตีเป็นอาหารที่สามารถบริโภคได้ทั้งในรูปอาหารคาวและอาหารหวาน โดยนิยมบริโภคขณะที่มีการปรุงเสร็จ ใหม่ ๆ เพราะเมื่อวางโรตีทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะทำให้เกิดสเตลลิ่ง (staling) ขึ้นภายในไม่กี่ชั่วโมง คุณภาพของแผ่นโรตีจะเปลี่ยนไปคือเนื้อสัมผัสแข็งและเหนียวยากต่อการเคี้ยว ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Shaikh *et al*., 2007)

2. รำข้าว

ข้าว (*Oryza sativa*) มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ข้าวเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญมากในประเทศกำลังพัฒนา ทั้งยังเป็นอาหารหลักของประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลก และยังมีส่วนของรำข้าว (rice bran) ซึ่งเป็นส่วนที่ได้จากกระบวนการขัดสีข้าวที่เอาเปลือกแข็งภายนอก (แกลบ) ออกแล้ว มีลักษณะเป็นผงละเอียด หรือเป็นแผ่นบางๆ สีเหลืองปนน้ำตาลอ่อนๆ ในส่วนประกอบของเมล็ดข้าว (วันเพ็ญ ณัฐวุฒิ, 2548) รำข้าวเป็นแหล่งของใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน (วรรณา ตุลยธัญ, 2549)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา: กัญญา เชื้อพันธุ์ (2545)

2.1 องค์ประกอบที่ได้จากการสีข้าว

การสีข้าวเป็นกรรมวิธีที่แยกเอาเฉพาะส่วนเอนโดสเปิร์มออกจากเปลือก รำ และคัพพะ โดยทั่วไปผลของการสีข้าว 100 กิโลกรัม จะได้ส่วนต่างๆ ดังภาพที่ 2 และตารางที่ 1 โดยรำข้าวจะเป็นส่วน epidermis, epicarp, endosperm และ testa ถัดไปมีเซลล์อีกประมาณ 5-6 ชั้น เรียกว่า aleurone layer เป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงประกอบไปด้วยโปรตีน ไขมัน เกลือแร่ และวิตามินมากกว่าส่วนอื่น (ประชา บุญญสิริกูล และอรวินทร์ โทรกี, 2519)

2.1.1 แกลบ (hull หรือ husk) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ดกลีบเลี้ยง ฟาง และขั้วเมล็ด ประมาณ 20-24% ของข้าวเปลือก องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแกลบได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ประมาณ 68% ลิกนิน 19.2-24.5% เถ้า 13.2-29.0% (ประกอบด้วยซิลิก้า 86.9-97.3%)

2.1.2 รำ (bran) เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen) เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) คัพภะ (embryo) และผิวนอก ๆ ของข้าวสาร ประมาณ 8-10% ของข้าวเปลือก รำมีคุณค่าทางอาหารสูง เพราะมีสารที่เป็นประโยชน์มาก เช่น โปรตีน 10.6-13.4%ไขมัน 10.1-22.4% ไนโตรเจนอิสระ 38.7-44.3% และวิตามินบี 0.544% รำส่วนใหญ่ใช้เลี้ยงสัตว์ บางส่วนนำไปสกัดน้ำมัน ทำอาหารเด็กอ่อนและอื่น ๆ

2.1.3 ข้าวสาร (milled rice) มีประมาณ 68-70% ของข้าวเปลือก ประกอบด้วยแป้งประมาณ 90% มีโปรตีนบ้างเล็กน้อย ข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวจะถูกนำ ไปคัดแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวและข้าวหักในปริมาณมาก-น้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณภาพข้าวเปลือกก่อนสี หากข้าวเปลือกมีคุณภาพดีก็จะให้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง ข้าวหักน้อย เป็นต้น (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบจากกระบวนการขัดสีข้าว

Fragment	Weight (kg)	
	A	B
rice grain	50	60-73 (with broken rice)
broken rice	19	-
bran	10	10 -12
polish or white polish	1	8-9
hull	20	-

ที่มา : A : ประชา บุญญสิริกูล และอรวินทร์ โทรกี (2519)
B : งามชื่น คงเสรี (2546)

Amissah และคณะ (2003) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวจำนวน 16 สายพันธุ์ โดยเป็นข้าวที่ปลูกในสภาวะเดียวกันจำนวน 15 สายพันธุ์ ปลูกโดยอาศัยระบบชลประทาน และอีกหนึ่งสายพันธุ์เป็นสายพันธุ์พื้นเมืองอาศัยน้ำฝนในการปลูก จากผลการทดลองพบว่ารำข้าวแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 7.1-13.00 (โดยน้ำหนักเปียก) และมีไขมัน เยื่อใย โปรตีน และเถ้า เท่ากับ ร้อยละ 13.3-19.8, 7.3-13.4, 11.5-15.3 และ 8.47-22.16 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และจากการศึกษาของ Bhattacharya (1988) พบว่ารำข้าวประกอบด้วย ไขมัน เยื่อใย โปรตีน และเถ้า อยู่ในช่วงร้อยละ 13.00-23.00, 6.00-14.00, 12.00-17.00 และ 7.00-15.00 ตามลำดับ และจากการศึกษาของ ICAR (1964) พบว่ารำข้าวประกอบด้วยไขมัน เยื่อใย และโปรตีน อยู่ในช่วงร้อยละ 10.10-22.40, 9.6-14.1, และ 10.6-13.4 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าของเถ้าที่ได้จากการทดลองสูงกว่างานวิจัยอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากพันธุ์ข้าวที่ต่างชนิดกัน สภาพแวดล้อม และความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่เพาะปลูกต่างกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีผลต่อคุณภาพของรำข้าว ซึ่งจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ารำข้าวมีปริมาณของโปรตีน เถ้า และเยื่อใยที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงเป็นแหล่งโภชนาการที่ดีสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2.2 ผลิตภัณฑ์จากรำข้าว

รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการขัดขาวข้าว แบ่งออกเป็นรำ หยาบและรำ ละเอียด (bran and polish) ในส่วนของรำหยาบมีแกลบผสมอยู่บ้าง สำ หรับรำ ละเอียดนั้นได้จากการขัดเฉพาะผิวนอกของข้าวกล้องออก ซึ่งประกอบด้วย เยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) เยื่อแอลิวโลน (aleurone loyer) และ คัพภะ (embryo or germ) การใช้ประโยชน์จากรำ ได้แก่

1. เป็นอาหารสัตว์ รำ ข้าวทั้งชนิดรำ หยาบและรำ ละเอียดสามารถนำ มาผสมในอาหารสัตว์

2. เป็นอาหาร รำ ละเอียดสามารถใช้ผสมในอาหารเด็กอ่อน ในอาหารขบเคี้ยวต่าง ๆ รวมทั้งผสมในขนมปัง มัฟฟิน แพนเค็ก คุกกี้ เค้ก พาย และอาหารว่างชนิดอบกรอบหรือผ่าน extrusion ในประเทศญี่ปุ่นมีการนำ รำ ข้าวสกัดไขมันออกมาใช้ในการผลิตโคจิ (Koji) ในอุตสาหกรรมเต้าเจี้ยว และซีอิ้ว

3. สกัดน้ำมันรำ ข้าว หรือน้ำมันข้าว น้ำมันข้าวเป็นน้ำมันบริโภคที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมี chloresterol ต่ำมาก และจากขบวนการสกัดน้ำมันนี้ยังสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ด้านเภสัชกรรม และอุตสาหกรรมน้ำมันในเมล็ดข้าว โดยแทรกอยู่ตาม pericarp, seed coat, aleurone layer และ embryo ซึ่งมักถูกขัดออกจากเมล็ดไปเป็นรำ ข้าวละเอียด (polish) ในส่วนของรำ ขาวอาจมีน้ำมันอยู่ 15-20% น้ำมันรำ ข้าวเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี องค์ประกอบของกรดไขมันที่สำคัญในน้ำมันข้าวคือ Oleic acid 40-50%, Linoleic acid 20-42% และ Palmitic acid 12-18% ในน้ำมันข้าวยังมีphosphatide ประมาณ 2% ซึ่งค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น สาร phosphatide นี้ใช้ในขบวนการผลิต gum และ lecithin น้ำมันข้าวเมื่อผ่านขบวนการ Winterization เพื่อแยก saturated glyceride (stearin) สำหรับใช้ในการผลิตเนยเทียม (margarine หรือ shortening) ส่วนน้ำมันที่เหลือเหมาะสำ หรับนำมาทำน้ำมันสลัด Oryzanol ซึ่งเป็นส่วน nonsponifiable ในน้ำมัน เมื่อนำ ไปแยกให้บริสุทธิ์ สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ทางเภสัชกรรมโดยเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโต และการหลั่งฮอร์โมน (promote human growth and hormonal secretion) น้ำมันข้าวเกรดต่ำไม่เหมาะสำหรับบริโภค แต่สามารถนำ ไปผสมเป็นอาหารสัตว์ ไขข้าว (rice wax) มีคุณลักษณะคล้าย Carnauba wax สามารถ ใช้ในเครื่องสำอาง สารขัดเงา และสารเคลือบในอุตสาหกรรม (งามชื่น คงเสรี, 2546)

รำหยาบและรำละเอียด เป็นส่วนที่ได้หลังจากการขัดข้าวกล้องให้ขาวจะมีชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดและคัพภะ (จมูกข้าว) อยู่มาก ซึ่งอุดมด้วยคุณค่าทางอาหารเพราะเป็นส่วนที่เมล็ดเริ่มงอก เป็นต้นอ่อน ทำ ให้ส่วนรำข้าวนี้มีคุณค่าทางอาหารสูงในด้านโปรตีน ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และเส้นใยอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่เรานำ ส่วนนี้ไปผสมเป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากส่วนรำ ข้าวนี้มีเอนไซม์ลิเพสที่ย่อยสลายไขมันให้เป็นกรดไขมันอิสระและก่อให้เกิดกลิ่นหืนอย่างรวดเร็ว เราจึงควรหยุดการทำ งานของเอนไซม์นี้ด้วยความร้อนโดยการอบหรือเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ แล้วจึงนำรำข้าวนี้ไปใช้เป็นวัตถุดิบเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เป็นการเสริมคุณค่าทางโภชนาการแก่อาหารนั้น ๆ จัดเป็นอาหารเสริมสุขภาพได้เป็นอย่างดี ถ้าเราต้องการนำรำข้าวนี้ไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำมันจำเป็นต้องนำรำข้าวใหม่ที่ได้จากการขัดสีมาสกัดน้ำมันทันที จึงจะได้น้ำมันบริโภคคุณภาพดี (อรอนงค์ และ รุ่งนภา, 2537) รำข้าวนอกจากใช้ในการเกษตรและทำน้ำมันรำข้าวการใช้รำ ละเอียดหรือรำข้าวกล้อง (rice polish) ซึ่งได้จากการขัดผิวข้าวกล้อง ยังสามารถนำมาผสมอาหารเพื่อเพิ่ม เส้นใยได้อีกด้วย มีรายงานว่าการเติมรำข้าวกล้องลงในอาหารสุขภาพ (health food) ชนิดต่าง ๆ ช่วยให้ผู้บริโภคมีสุขภาพดีขึ้น ซึ่งรำข้าวกล้องนี้มีความระคายน้อยกว่ารำข้าวโอ๊ต ดังนั้นการพัฒนาอาหารสุขภาพโดยการเติมรำข้าวกล้องจึงเป็นแนวทางที่เป็นไปได้ (งามชื่น, 2537)

เพลินใจ ตังคณะกุล และคณะ (2538) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของขนมปัง (soft bun) จากแป้งสาลี ที่ผสมวัตถุดิบอันเป็นแหล่งของใยอาหารคือ ถั่วแดงหลวง รำข้าวเจ้า กากถั่วเหลือง และงาขาว ในปริมาณร้อยละ 10 – 30 โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าขนมปังที่ผสมใยอาหารจะมีปริมาตรลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่าขนมปังสูตรปกติ จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Instron พบว่าขนมปังที่ผสมใยอาหารจะมีความแข็งมากขึ้น และความยืดหยุ่นลดลง และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าขนมปังที่มีการผสมใยอาหารมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับปานกลาง ถึงยอมรับมาก เมื่อวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารในขนมปังผสมใย

อาหารจากงาขาว ถั่วเหลือง ถั่วแดง และรำข้าวพบว่ามีปริมาณ ใยอาหารเท่ากับร้อยละ 13.38, 10.77, 8.35 และ 7.37 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าขนมปังสูตรปกติที่ไม่ผสมใยอาหารซึ่งมีปริมาณใยอาหารเพียงร้อยละ 3.06

ณัฐนันท์ ชุมแก้ว (2543) ทำการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าว โดยการเสริมใยอาหารจาก รำข้าวในผลิตภัณฑ์ข้าวพองด้วยปริมาณร้อยละ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าวแล้วทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือมีคะแนนการพองตัวและกลิ่นหอมของข้าวลดลง ในขณะที่ค่าสีและความรู้สึกหลังการกลืนเพิ่มขึ้น ส่วนคะแนนด้านความชอบรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ข้าวพองเสริมใยอาหารที่ผู้บริโภคยอมรับคือ ข้าวพองที่มีการเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ซึ่งประกอบด้วยใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำได้เท่ากับ ร้อยละ 4.57, 4.09 และ 0.97 ตามลำดับ เมื่อนำข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าวร้อยละ 1.5 ทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคพบว่ามีคะแนนอยู่ในระดับปานกลางถึงชอบมาก หลังจากทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 บรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกชนิดฟิล์มประกบ 2 ชั้น ระหว่าง พอลิเอทิลีน/พอลิแอไมด์ (PE/PA) พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณความชื้น ค่า Aw ค่าทีบีเอเพิ่มขึ้น และความกรอบลดลง ในขณะที่คะแนนด้านการยอมรับของผู้บริโภคลดลง อย่างไรก็ตามผู้บริโภคยังยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์

Abdul-Hamid และ Luan (2000) ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารที่สกัดได้จากรำข้าวที่สกัดไขมันแล้ว และใยอาหารทางการค้า (FIBREX) ที่สกัดได้จากหัวบีท พบว่าใยอาหารจากรำข้าวมีความสามารถในการจับกับน้ำใกล้เคียงกับใยอาหารทางการค้า โดยมีค่าเท่ากับ 4.89 และ 4.56 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ และมีค่าความสามารถในการจับกับน้ำมันสูงกว่าใยอาหารทางการค้า โดยมีค่าเท่ากับ 4.54 และ 1.29 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อศึกษาการเสริมใยอาหารที่สกัดจากรำข้าวในผลิตภัณฑ์ขนมปัง โดยเติมใยอาหารร้อยละ 5 และ 10 พบว่าการเสริมใยอาหารส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังมีค่าลดลง แต่ความแน่นเนื้อมากขึ้น เนื่องจากปริมาณโปรตีนของแป้งลดลงทำให้โดขนมปังมีความสามารถในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เนื้อขนมปังจึงมีความแน่นมากขึ้นและเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าการเสริมใยอาหารร้อยละ 10 ส่งผลให้เนื้อขนมปังมีสีคล้ำขึ้นและการยอมรับจากผู้บริโภคลดลง และปริมาณใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมปังที่เสริมใยอาหารทั้งสองชนิดมีปริมาณสูงกว่าขนมปังที่ไม่เสริมใยอาหาร ซึ่งจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าใยอาหารจากรำข้าวนี้มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารเพื่อพัฒนาให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้

Sudha และคณะ (2007) ศึกษาผลของการเสริมใยอาหารจากรำข้าว 4 ชนิด ได้แก่ รำข้าวเจ้า รำข้าวสาลี รำข้าวโอ๊ต และรำข้าวบาร์เล่ ในผลิตภัณฑ์บิสกิต โดยทดแทนรำข้าวแต่ละชนิดที่ระดับร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 พบว่าเมื่อระดับการเสริมรำข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของโดบิสกิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 60.3 - 76.3 และค่าความต้านทานแรงดึงและความสามารถในการยืดขยายของโดมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามลำดับ และผลิตภัณฑ์บิสกิตมีสีคล้ำขึ้นเมื่อระดับการทดแทนของรำข้าวเพิ่มขึ้น จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์บิสกิตที่มีการเสริมใยอาหารจากรำข้าวโอ๊ต รำข้าวสาลีและรำข้าวบาร์เล่ และรำข้าว

เจ้า ร้อยละ 30, 20, 20 และ 10 ตามลำดับ โดยบิสกิตที่มีการเสริม ใยอาหารจากรำข้าวทุกชนิดมีปริมาณใยอาหารในผลิตภัณฑ์สูงกว่าผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ไม่เสริมใยอาหาร จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเสริมใยอาหารสามารถช่วยเพิ่มปริมาณการบริโภคใยอาหารได้

Hu และคณะ (2009) ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร 2 ชนิด ที่สกัดได้จากรำข้าว ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) พบว่า เฮมิเซลลูโลส และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มีองค์ประกอบที่เป็นใยอาหารทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 82.49 และ 62.73 ตามลำดับ และเฮมิเซลลูโลส มีความสามารถในการจับน้ำ การพองตัว และความสามารถในการจับน้ำมันสูงกว่าใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากมีความสามารถในการจับกับน้ำได้มากกว่า แต่มีสมบัติทางความหนืดน้อยกว่าใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเมื่อศึกษาผลของการเสริมใยอาหารเฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ 1, 2, และ 3 ของน้ำหนักแป้ง) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ 2, 4 และ 6 ของน้ำหนักแป้ง)ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง พบว่าปริมาตรจำเพาะและความแน่นเนื้อของขนมปังที่เสริมใยอาหารทั้งสองชนิดมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมปังที่เสริมใยอาหารเฮมิเซลลูโลสที่ทุกระดับการทดแทน สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมปังที่เสริมใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำผู้บริโภคให้การยอมรับที่ระดับการทดแทนร้อยละ 2 และ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าใยอาหารทั้งสองชนิดที่สกัดได้จากรำข้าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ขนมปังอบ

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3

การทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

- วัตถุดิบหลักสำหรับผลิตโรตี ได้แก่ แป้งสาลี สารเสริมคุณภาพ มาการีน เกลือแกง น้ำตาลทราย ไข่ไก่ นมสดจืด
- รำข้าวทั่วไป ชนิดข้าวขาว (โรงสีข้าวของตำบลบ้านขาว อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา)

3.2 ภาชนะบรรจุ

- ฟิล์มถนอมอาหาร
- ถุงซิป เป็นพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีน (polyethylene)
- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์

3.3 อุปกรณ์

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับผลิตโดและโรตี

- อุปกรณ์ทำโรตี ได้แก่ แก้วตวง ไม้รีดแป้ง ตะแกรงร่อนแป้ง ลูกกลิ้งตัดโดพายพลาสติก เครื่องผสม เป็นต้น
- เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น Scout ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องบรรจุสุญญากาศ ยี่ห้อ VAC-STAR รุ่น S 220 L ประเทศไทย
- ตะแกรงร่อนแป้ง (sieve) ขนาด 250 ไมโครเมตร ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องบรรจุสุญญากาศ ยี่ห้อ VAC-STAR รุ่น KD-200 ประเทศไทย
- เครื่องรีดแป้ง รุ่น 28400 ยี่ห้อ GEFU

3.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเคมีและกายภาพ

- เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex ประเทศสหรัฐอเมริกา
- ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ SINCE OFM รุ่น SO10A ประเทศไทย
- เครื่องวัดความชื้น (Infrared Moisture Balance) ยี่ห้อ kett electric Laboratory ประเทศญี่ปุ่น
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 400 ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) รุ่น TA-XT.Plus ประเทศอังกฤษ
- เครื่องเหวี่ยงแยก (centrifuge) ยี่ห้อ Hittich รุ่น Universal 16 ประเทศเยอรมัน
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น W350 ประเทศเยอรมัน
- เตาอบไฟฟ้า ยี่ห้อ Kenwood รุ่น KD-200 ประเทศไทย

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของรำข้าว

1.1 การเตรียมวัตถุดิบรำข้าว

นำรำข้าวทั่วไป ที่ระยะเวลาหลังการขัดสีข้าวไม่เกิน 1 วัน มาอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน 60 องศาเซลเซียส จนมีค่าความชื้นประมาณ ร้อยละ 8-10 (มาตรฐานน้ำหนักเปียก) แล้วนำไปบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 250 ไมโครเมตร แล้วบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกถุงให้สนิท เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในข้อ 1.2 และใช้ในศึกษาการพัฒนาสูตรการผลิตโรตีกรอบในข้อ 1.3 ต่อไป

1.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของรำข้าว

1.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

นำรำข้าวที่เตรียมได้จากข้อ (13.1.1) ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ ปริมาณโปรตีน ความชื้น เถ้า ไขมัน เยื่อใย และปริมาณใยอาหาร (ใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ) ตามวิธีของ AOAC (1999)

1.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของรำข้าว

- ค่าสี โดยทำการวัดค่าสีของรำข้าว ด้วยเครื่อง Hunter Lab
- ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) วิธี AACC (1983)
- ความสามารถในการจับกับน้ำมัน (Fat binding capacity) วิธี Abdul-Hamid (2000)

1.2.3 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรำข้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) โดยการนำผงรำข้าวมาวางบนแท่นวางตัวอย่าง (stub) และทำการเคลือบ (coating) ด้วยทอง แล้วนำไปตรวจดูด้วยเครื่อง SEM โดยใช้ accelerating voltage 20 kV ที่กำลังขยาย 50X, 100X และ 300X (Rosell *et al.*, 2009)

1.3 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมของโรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

ศึกษาปริมาณของส่วนประกอบหลัก ได้แก่ แป้งสาลี รำข้าว และน้ำ เพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบ วางแผนการทดลองแบบ mixture design โดยใช้แผนการออกแบบ Scheffe' D-optimal design โดยปัจจัยที่ต้องศึกษามี 3 ปัจจัย ได้แก่ แป้งสาลี ร้อยละ 65-85 รำข้าวร้อยละ 10-20 และน้ำร้อยละ 5-15 ได้สูตรสิ่งทดลองทั้งหมด 12 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 2

1.3.1 การผลิตโรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

ทำการผลิตโดและผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว โดยใช้อัตราของส่วนประกอบหลักตามปริมาณดังแสดงในตารางที่ 2 ส่วนปริมาณส่วนผสมอื่นใช้ในอัตราส่วนเดียวกับโรตีสูตรมาตรฐาน ดังตารางที่ 3 ชั่งส่วนผสมตามสูตรส่วนผสม โดยเตรียมส่วนผสมชุดที่ 1 ได้แก่ แป้ง

สาลี เนย เกลือ น้ำตาลทราย ไข่ไก่ นมสด และน้ำ มานวดให้เข้ากันในเครื่องผสม ปั้นก้อนแป้งให้เป็นลูกกลม แล้วนำไปบ่มในตู้บ่มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เตรียมผสมชุดที่ 2 โดยการนำแป้งสาลีและเนยมานวดให้เข้ากันในเครื่องผสม ปั้นให้เป็นลูกกลม แล้วบ่มในตู้บ่มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาการบ่มแล้วนำก้อนแป้ง 1 มาห่อก้อนแป้ง 2 รีดจนได้ความหนาแผ่นละประมาณ 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นแป้งไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 นาที ทำการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของโดและผลิตภัณฑ์โรตีกรอบสูตรมาตรฐาน

ตารางที่ 2 แผนการออกแบบสูตรโดยวางแผนการทดลองแบบ mixture design

ตัวอย่าง	แป้งสาลี (%)	รำข้าว (%)	น้ำ (%)
1	66.61	18.39	15.00
2	80.52	11.09	8.39
3	76.26	14.73	9.01
4	71.62	14.71	13.67
5	84.99	10.00	5.01
6	84.99	10.00	5.01
7	68.71	20.00	11.29
8	74.58	20.00	5.42
9	74.58	20.00	5.42
10	75.83	10.00	14.17
11	72.56	17.70	9.74
12	75.83	10.00	14.17

ตารางที่ 3 ส่วนผสมโรตีสูตรมาตรฐาน

ส่วนผสม	น้ำหนัก (%)	
	แป้งชุดที่ 1	แป้งชุดที่ 2
แป้งสาลี	53.13	61.67
สารเสริมคุณภาพ	0.90	0.83
มาการีน	6.57	37.50
เกลือแกง	0.60	-
น้ำตาลทรายขาว	2.09	-
ไข่ทั้งฟอง	10.45	-
นมสดจืด	18.81	-
น้ำ	7.46	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก ชนิษฐา หมวดเอียด (2557)

1.3.2 ศึกษาคุณลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโดโรตีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) (Ribotta *et al*., 2004) แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปส่องดูที่กำลังขยาย 1000X โดยใช้ accelerating voltage 15 kV

1.3.3 ศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โรตีเสริมใยอาหารจากรำข้าว

1.3.3.1 วัดค่าสีของโรตีด้วยเครื่อง Hunter lab

1.3.3.2 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโรตี โดยให้คะแนนตามลำดับความชอบ (Hedonic scale) ช่วงคะแนน 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ที่มีต่อลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค

1.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ mixture design โดยใช้แผนการออกแบบ Scheffe' D-optimal design ด้วยโปรแกรม Design-Expert Version 7 ในทุกการทดลองทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับการวิเคราะห์ทางกายภาพ และเคมี และการศึกษาทางด้านประสาทสัมผัสใช้การวางแผนแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลอง (Analysis of variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Rang test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของรำข้าวทั่วไป

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวทั่วไป

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวทั่วไปจากข้าวขาว ตามวิธี AOAC (2000) แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของรำข้าวประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 10.90 ± 0.01 และใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 33.95 ± 0.68 (โดยน้ำหนักแห้ง) โดยแบ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ ร้อยละ 31.61 ± 0.40 และ 6.38 ± 1.17 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่ารำข้าวยังประกอบด้วยไขมัน ความชื้น เถ้า และเยื่อใย ร้อยละ 14.62 ± 0.08, 6.16 ± 0.10, 9.54 ± 0.03 และ 0.62 ± 0.01 (โดยน้ำหนักเปียก) ตามลำดับ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวทั่วไป

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%, wb)
โปรตีน (Protein)	10.90 ± 0.01
เถ้า (Ash)	9.54 ± 0.03
ความชื้น (Moisture)	6.16 ± 0.10
เยื่อใย (Crude fiber)	0.62 ± 0.01
ไขมัน (Fat)	14.62 ± 0.08
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber)	33.95 ± 0.68
- ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber)	31.87 ± 0.40
- ใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber)	2.08 ± 0.57

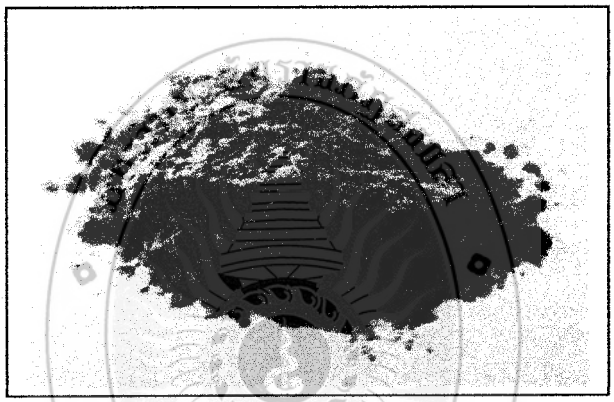
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการทดลองพบว่ารำข้าวประกอบด้วยใยอาหารค่อนข้างสูงโดยส่วนใหญ่เป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ สอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฐนันท์ ชุมแก้ว (2543) ซึ่งพบว่า รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันออกประกอบด้วยใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 28.27, 26.43 และ 1.56 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ นอกจากนี้ Abdul-Hamid and Luan (2000) พบว่ารำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้วมีองค์ประกอบของใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และโปรตีน เท่ากับ ร้อยละ 65 และ 9 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของรำข้าว

1.2.1 ค่าสี

จากการศึกษาค่าสีของรำข้าวโดยการวัดค่าสีของรำข้าวในระบบ CIE Hunter Lab ด้วยเครื่องวัดค่าสี Hunter Lab พบว่ารำข้าวทั่วไปมีค่า L* (ความสว่าง), a* (เป็นค่าของสีแดงไปจนถึงสีเขียว) และค่า b* (เป็นค่าของสีเหลืองจนถึงสีน้ำเงิน) เท่ากับ 73.39, 3.07 และ 21.03 ตามลำดับ (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของณัฐนันทน์ ชุมแก้ว (2543) พบว่ารำข้าวมีค่า L*a* b* เท่ากับ 71.19, -0.18 และ 15.41 ตามลำดับ จากค่าสี L*, a* และ b* แสดงให้เห็นว่ารำข้าวมีโทนสีน้ำตาลอ่อน ดังนั้นเมื่อนำไปเติมในโดโรตีในระดับการทดแทนที่สูงอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์โรตีมีสีคล้ำขึ้น ซึ่งอาจมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค



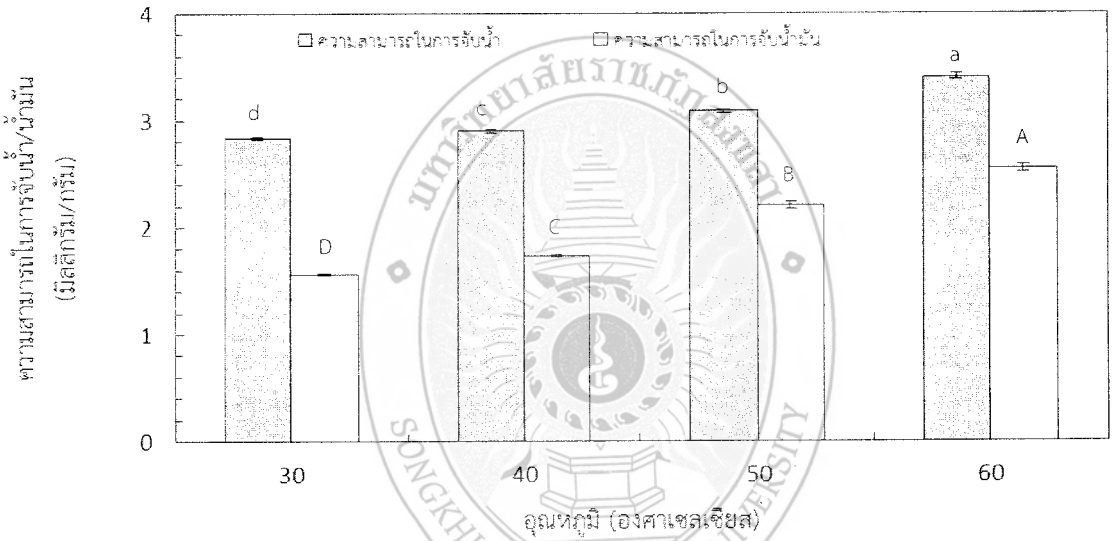
ภาพที่ 2 ผงรำข้าว

1.2.2 ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity)

จากการศึกษาความสามารถในการจับน้ำ ของรำข้าว พบว่าจากการศึกษาความสามารถในการจับน้ำของรำข้าวที่อุณหภูมิ 30, 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความสามารถในการจับน้ำของรำข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.84±0.01, 2.90±0.02, 3.09±0.02 และ 3.41±0.03 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 3) ซึ่งการศึกษาของ Abdul-Hamid และ Luan (2000) พบว่าค่าความสามารถในการจับน้ำของใยอาหารจากรำข้าวและรำข้าวทางการค้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 4.89 ± 0.19 มิลลิลิตร/กรัม และ 4.56 ± 0.20 มิลลิลิตร/กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ Hu และคณะ (2009) พบว่าค่าความสามารถในการจับน้ำของใยอาหารจากรำข้าวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 5.11 ± 0.14 มิลลิลิตร/กรัม Chen และคณะ (1984) พบว่าค่าความสามารถในการจับน้ำของรำข้าวและรำข้าวสาลี เท่ากับ 1 และ 2.6 มิลลิลิตร/กรัม ตามลำดับ อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้รำข้าวซึ่งเป็นใยอาหารที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์สามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น เนื่องจากเกิดการคลายตัวของสายพอลิแซ็กคาไรด์ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดีขึ้น

1.2.3 ความสามารถในการจับกับน้ำมัน (fat binding capacity)

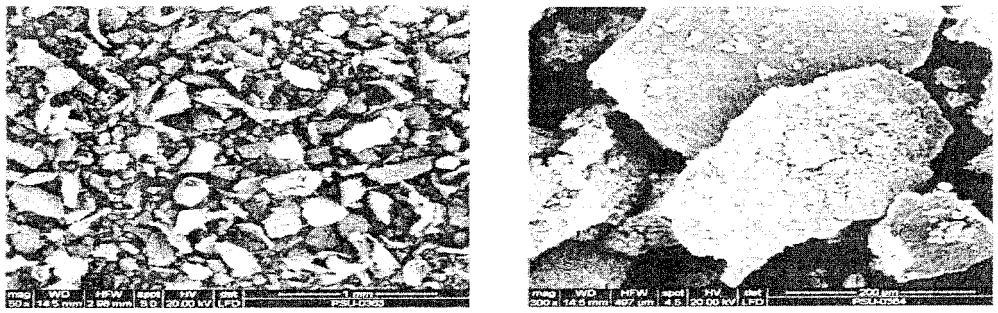
จากการศึกษาความสามารถในการจับกับน้ำมันของรำข้าว ที่อุณหภูมิ 30, 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการจับน้ำมันของรำข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.56 ± 0.01, 1.73 ± 0.01, 2.21±0.03 และ 2.55±0.03 มิลลิลิตร/กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 3) ซึ่งจากการศึกษาของ Abdul-Hamid และ Luan (2000) พบว่าค่าความสามารถในการจับน้ำมันของใยอาหารที่สกัดจากรำข้าว (4.54 ± 0.07 มิลลิลิตร/กรัม) มีค่าสูงกว่าของรำข้าว (1.29 ± 0.07 มิลลิลิตร/กรัม) นอกจากนั้น Hu และคณะ (2009) พบว่าค่าความสามารถในการจับน้ำมันของใยอาหารที่สกัดจากรำข้าวเท่ากับ 4.35 ± 0.08 มิลลิลิตร/กรัม โดยความสามารถในการจับน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที 3 ความสามารถในการจับนำ และความความสามารถในการจับนำมันของรำข้าว

1.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรำข้าว

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรำข้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ารำข้าวมีลักษณะรูปร่างที่ไม่แน่นอน มีทั้งโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและเป็นแผ่นทึบ (ภาพที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jesus และคณะ (2010)



(a) (b)

ภาพที่ 4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรำข้าว (Scanning Electron Microscopy) ที่กำลังขยาย 50X(a) และ 300X (b)

2. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

จากการศึกษาปริมาณของส่วนประกอบโรตี ได้แก่ แป้งสาลี รำข้าว และน้ำ เพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบ โดยการวางแผนการทดลองแบบ mixture design ใช้แผนการออกแบบ Scheffe' D-optimal design โดยปัจจัยที่ต้องการศึกษามี 3 ปัจจัย ได้แก่ แป้งสาลี ร้อยละ 65-85 รำข้าวร้อยละ 10-20 และน้ำร้อยละ 5-15 ได้สูตรทั้งหมด 12 สูตร ผลการทดลอง ดังนี้

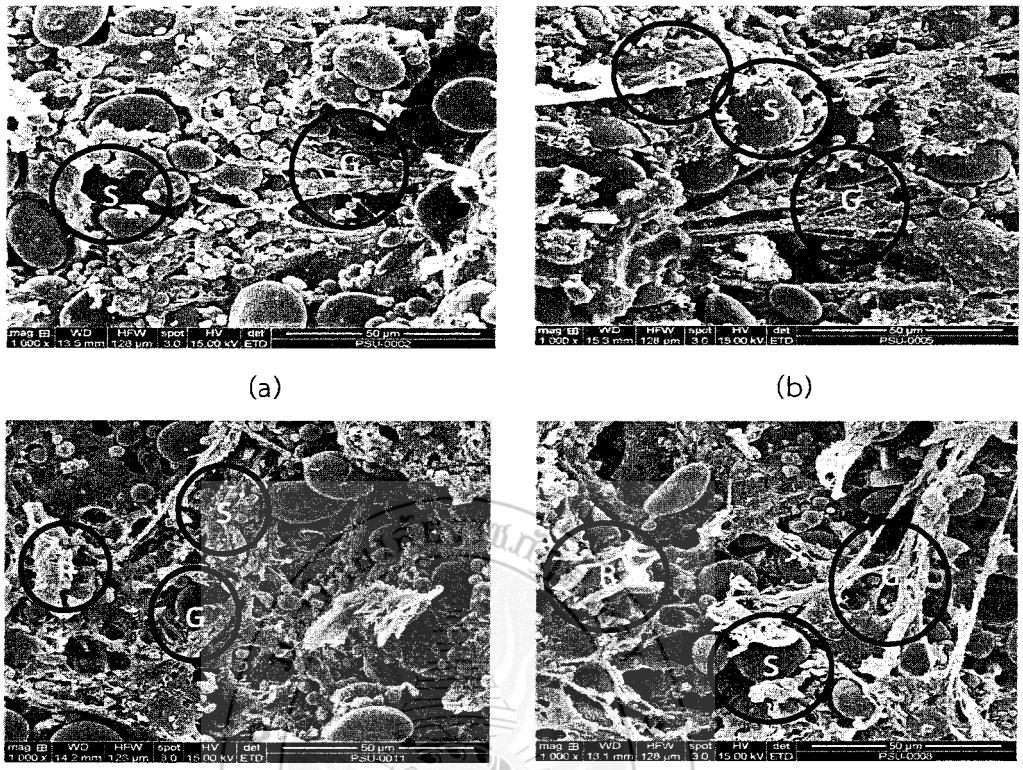
2.1 คุณลักษณะของโดโรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

2.1.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโดโรตีเสริมใยอาหารจากรำข้าว

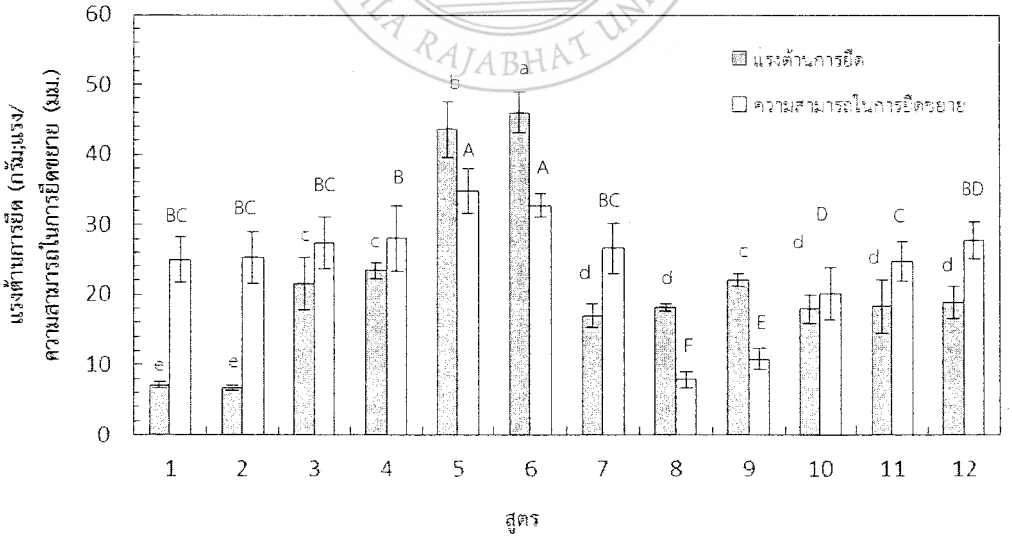
จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโดโรตีที่เติมและไม่เติมใยอาหารจากรำข้าว พบว่าลักษณะของโครงข่ายกลูเตนไม่แตกต่างกัน โดยโครงข่ายกลูเตนมีลักษณะหนาแน่นและมีเม็ดแป้งกระจายแทรกอยู่ภายในโครงข่ายกลูเตน และโดโรตีที่เติมรำข้าวสูตรที่ 5, 7 และ 8 ซึ่งเป็นตัวแทนสูตรที่มีปริมาณรำข้าวต่ำสุดและสูงสุด โดยมีปริมาณแป้ง:รำข้าว:น้ำ เท่ากับ 84.99:10.00:5.01, 68.71:20.00:11.29 และ 74.58:20.00:5.42 ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะโครงข่ายกลูเตนที่ไม่แตกต่างกัน โดยมีลักษณะโครงข่ายกลูเตนที่หนาแน่นและมีเม็ดแป้งกระจายแทรกอยู่ภายในโครงข่ายกลูเตน และมีรำข้าวกระจายตัวแทรกอยู่ทั่วทั้งโครงข่ายกลูเตน (ภาพที่ 5)

2.1.2 ค่าแรงต้านการยืดขยาย (resistant to extention) และความสามารถในการยืดขยาย (extensibility)

จากการศึกษาค่าแรงต้านการยืดขยาย และความสามารถในการยืดขยาย ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว (ภาพที่ 6) พบว่าค่าแรงต้านการยืดขยายของโดผลิตภัณฑ์โรตีมีค่าอยู่ในช่วง 6.71±0.49 - 46.02±2.93 กรัม;แรง และมีค่าความสามารถในยืดขยายของโดผลิตภัณฑ์โรตีมีค่าอยู่ในช่วง 7.86±1.19-34.79±3.19 มิลลิเมตร โดยโดของผลิตภัณฑ์โรตีสูตรที่มีการเสริมใยอาหารจะมีแรงต้านการยืดขยายลดลง โดมีลักษณะแข็ง ไม่เยืดหยุ่น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีการทดแทนรำข้าวในระดับที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณกลูเตนในการพัฒนาเป็นโครงข่ายโดลดน้อยลง และปริมาณน้ำที่น้อยจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาโครงข่ายกลูเตนที่ไม่ดีทำให้โดมีลักษณะแข็งและขาดง่ายเมื่อออกแรงดึงส่งผลให้ค่าความสามารถในการยืดขยายลดลง



ภาพที่ 5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโดโรตีที่ไม่เติมรำข้าว (a) และเติมรำข้าว สูตรที่ 5 (b), 7 (c) และ 7 (d) โดย: G, S และ R แทนโครงข่ายกลูเตน เม็ดสตาร์ช และรำข้าว ตามลำดับ

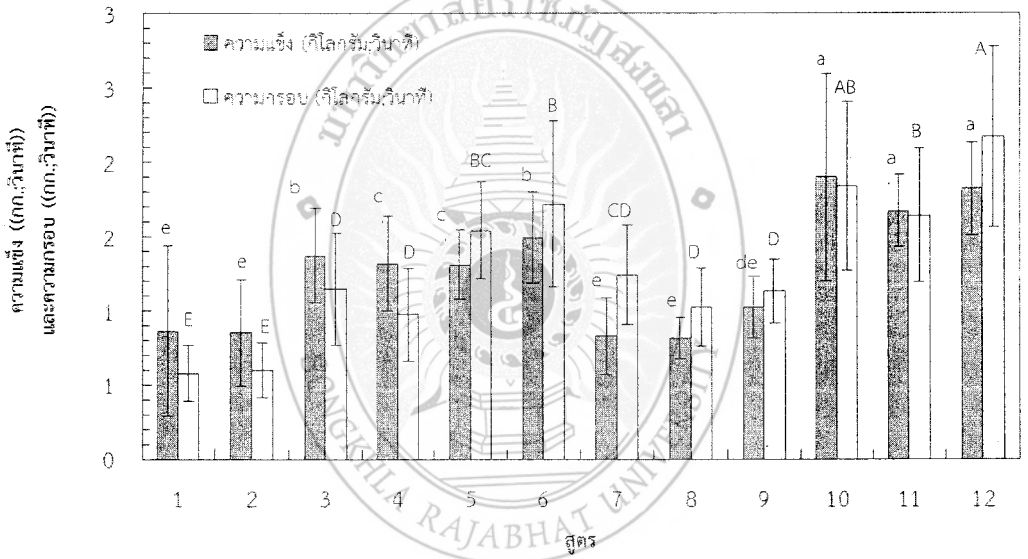


ภาพที่ 6 ค่าแรงต้านการยืดขยาย (resistant to extention) และความสามารถในการยืดขยาย (extensibility) ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

2.2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

2.2.1 ความกรอบ

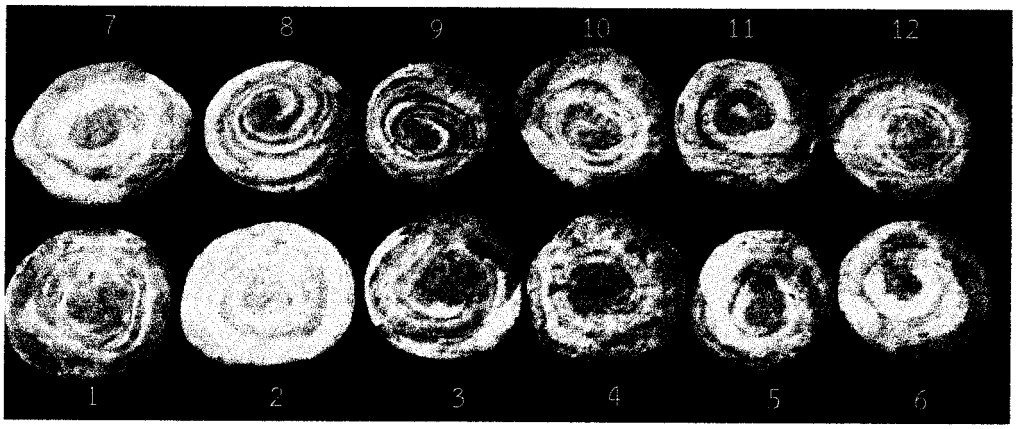
จากการศึกษาค่าความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว (ภาพที่ 7) พบว่าค่าความแข็งและความกรอบมีค่าอยู่ในช่วง 0.82-1.90 กิโลกรัม;แรง และ 0.57-2.17 กิโลกรัม;แรง โดยระดับการทดแทนรำข้าวและปริมาณน้ำจะส่งผลต่อความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีการทดแทนรำข้าวในระดับที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณกลูเตนในการพัฒนาเป็นโครงข่ายโดลดน้อยลง และปริมาณน้ำที่น้อยจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาโครงข่ายกลูเตนที่ไม่ดีทำให้โดมีลักษณะแข็งและขาดง่าย โดยมีความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ภายในโครงข่ายโดได้น้อยทำให้ผลิตภัณฑ์โรตีมีลักษณะที่แข็งและกรอบ



ภาพที่ 7 ค่าความแข็ง (hardness) และความกรอบ (crispyness) ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

2.2.2 ค่าสี

จากการศึกษาค่าสีของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบสูตรมาตรฐาน พบว่ามีค่า L* (ค่าความสว่าง) เท่ากับ 70.37±0.21, a* (ค่าความเป็นสีแดง) เท่ากับ 8.19±0.15 และ b* (ค่าความเป็นสีเหลือง) เท่ากับ 34.16±0.51 และค่าสีของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว มีค่า L* อยู่ในช่วง 55.70±0.80 - 66.47±0.36 ค่า a* อยู่ในช่วง 5.55±0.15 - 8.87±0.12 และค่า b* อยู่ในช่วง 22.01±0.10 - 32.13±0.33 (ตารางที่ 5) จากค่าสี L*, a* และ b* แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์โรตีกรอบมีโทนสีน้ำตาล (ภาพที่ 6) เนื่องจากอิทธิพลของรำข้าวที่เติมในผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค



ภาพที่ 8 ผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว สูตรที่ 1-12

ตารางที่ 5 ค่าสี L*, a* และ b* ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบ

สูตร	L*	a*	b*
1 (84.99:10.00:5.01)	66.47±0.36^{a}	8.51±0.13^{a}	31.03±0.09^{b}
2 (84.99:10.00:5.01)	65.89±0.17^{a}	8.81±0.14^{a}	29.63±0.07^{c}
3 (75.83:10.00:14.17)	63.39±0.62^{b}	7.59±0.89^{bc}	29.84±0.77^{c}
4 (75.83:10.00:14.17)	63.37±0.40^{b}	8.61±0.54^{a}	32.13±0.33^{a}
5 (80.52:11.09:8.39)	62.94±0.55^{b}	6.35±0.11^{de}	27.90±0.58^{d}
6 (71.62:14.71:13.67)	58.64±0.09^{e}	7.31±0.09^{bc}	24.27±0.47^{e}
7 (76.26:14.73:9.01)	63.55±0.66^{b}	6.09±0.38^{e}	29.13±0.72^{c}
8 (72.56:17.70:9.74)	59.39±0.05^{d}	8.10±0.65^{ab}	27.88±0.29^{d}
9 (66.61:18.39:15.00)	59.07±0.10^{de}	8.50±0.63^{a}	32.11±0.38^{a}
10 (74.58:20.00:5.42)	59.60±0.12^{d}	6.99±0.59^{cd}	28.38±0.31^{d}
11 (74.58:20.00:5.42)	60.62±0.15^{c}	5.55±0.15^{e}	22.01±0.10^{f}
12 (68.71:20.00:11.29)	55.70±0.80^{f}	8.87±0.12^{a}	28.36±0.16^{d}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.2.3 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบสูตรมาตรฐาน พบว่ามีค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม เท่ากับ 7.47±0.33, 7.6±0.88, 7.67±0.49, 7.73±0.70, 7.93±0.70 ตามลำดับ โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง และเมื่อพิจารณาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โรตีที่เสริมใยอาหารจากรำข้าว (ตารางที่ 5) พบว่าความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และ

ความชอบรวม อยู่ในช่วง 4.33-7.00, 5.07-6.67, 5.47-6.80, 5.73-7.00 และ 5.93-7.27 ตามลำดับ โดยสูตรโรตีกรอบที่มีปริมาณรำข้าวน้อยจะมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านต่างๆ มากกว่าสูตรโรตีกรอบที่เสริมรำข้าวมาก ทั้งนี้เนื่องจากรำข้าวส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์โรตีคล้ำขึ้นและแข็งมากขึ้น

ตารางที่ 6 คะแนนการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส Hedonic scale (9 คะแนน) ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

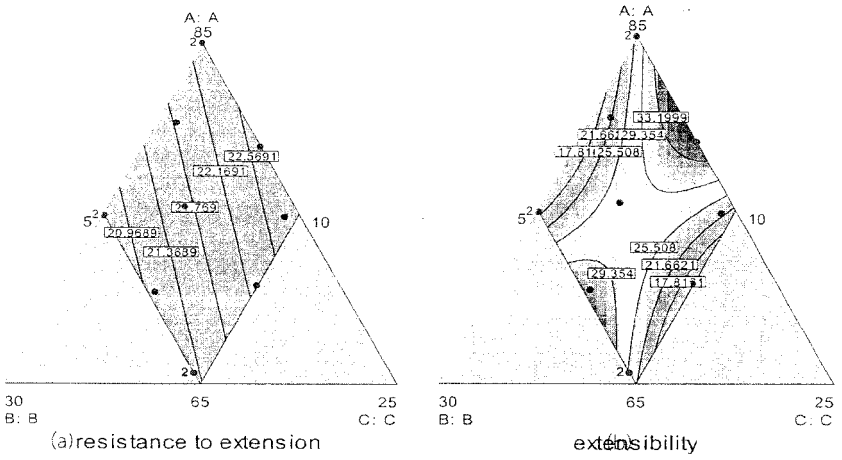
สูตร	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1 (84.99:10.00:5.01)	6.60±1.20^{ab}	6.47±1.20^{a}	6.80±1.17^{a}	7.00±1.15^{a}	7.07±0.93^{ab}
2 (84.99:10.00:5.01)	7.00±0.82^{a}	6.67±1.01^{a}	6.67±1.19^{ab}	7.00±1.15^{a}	7.27±1.00^{a}
3 (75.83:10.00:14.17)	6.40±0.88^{abc}	6.20±0.75^{ab}	6.00±1.03^{abcd}	6.33±1.01^{abc}	6.60±0.88^{abcd}
4 (75.83:10.00:14.17)	6.67±1.07^{ab}	6.53±1.02^{a}	6.60±1.36^{abc}	6.80±1.17^{ab}	6.80±0.65^{abc}
5 (80.52:11.09:8.39)	6.27±0.57^{abcd}	6.13±0.88^{ab}	6.73±0.85^{ab}	6.27±1.00^{abc}	6.33±0.60^{bcd}
6 (71.62:14.71:13.67)	5.93±1.24^{bcd}	5.40±0.88^{bcd}	6.00±0.73^{abcd}	5.73±0.68^{c}	6.07±0.93^{cd}
7 (76.26:14.73:9.01)	5.60±0.95^{cd}	5.40±0.88^{bcd}	5.87±1.50^{abcd}	6.20±1.05^{abc}	6.40±1.02^{bcd}
8 (72.56:17.70:9.74)	5.47±0.88^{d}	5.07±0.68^{d}	5.60±1.58^{cd}	5.87±1.02^{bc}	5.93±1.00^{d}
9 (66.61:18.39:15.00)	5.80±1.17^{bcd}	5.13±0.96^{d}	5.47±1.26^{d}	5.80±1.38^{c}	6.07±0.77^{cd}
10 (74.58:20.00:5.42)	5.87±1.36^{bcd}	6.00±1.10^{abc}	6.33±1.07^{abcd}	6.00±0.89^{bc}	6.13±0.72^{cd}
11 (74.58:20.00:5.42)	4.33±1.19^{e}	5.27±1.29^{cd}	5.80±1.38^{abcd}	6.47±1.45^{abc}	6.07±1.48^{cd}
12 (68.71:20.00:11.29)	5.60±0.95^{cd}	5.20±1.22^{cd}	5.73±0.77^{bcd}	5.87±0.96^{bc}	6.20±0.83^{cd}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย 15 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

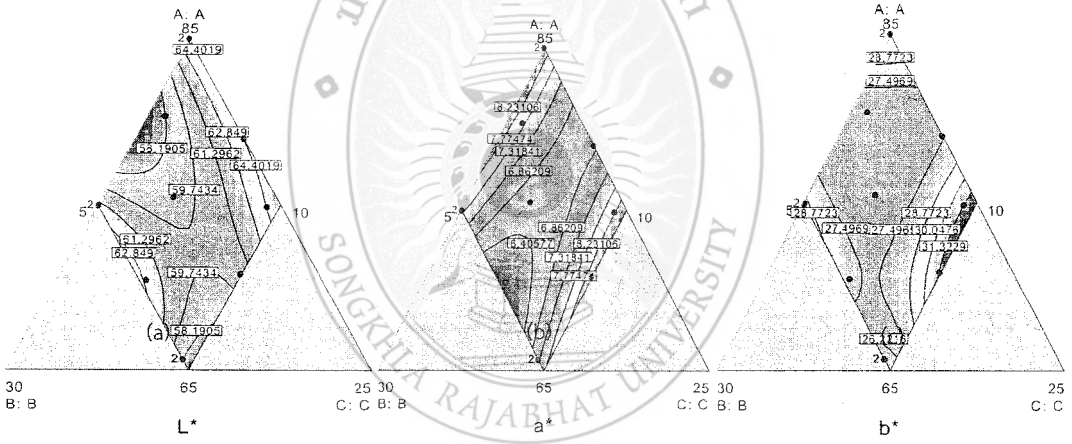
จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดคุณภาพของโดโรตี ได้แก่ ค่าแรงต้านการยืดขยาย ความสามารถในการยืดขยาย ค่าสี ความแข็ง ความกรอบ และผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบ ทั้ง 12 สูตร โดยวิเคราะห์หาค่าคุณภาพที่เหมาะสมในการนำไปวิเคราะห์หาสูตรที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ผลการวิเคราะห์ได้ contour plot ดังภาพที่ 9-12 โดยพิจารณาจากคุณลักษณะความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส ที่มีค่ามากกว่า 6 คะแนน และความกรอบมากกว่า 1.30 กิโลกรัม;แรง (ซึ่งเป็นค่าความกรอบของสูตรมาตรฐานที่ไม่มีการทดแทนรำข้าว) เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบ lack of fit ซึ่งเป็นการทดสอบว่าฟังก์ชันถดถอยหรือแบบจำลองการถดถอยที่ใช้ว่ามีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ซึ่งสมการที่ได้มีค่า lack of fit > 0.05 (ตารางที่ 7) แสดงว่าแบบจำลองสมการถดถอยมีความเหมาะสมกับข้อมูล นั่นคือปริมาณสัดส่วนของปัจจัยหลัก ได้แก่ แป้งสาลี รำข้าว และน้ำ ส่งผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส ของผู้บริโภค และความกรอบของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) แล้วทำการวิเคราะห์ contour plot เพื่อหาระดับของปริมาณแป้งสาลี รำข้าว และน้ำที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ได้ผลดังภาพที่ 13 ซึ่งแสดงว่าในการผลิตผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าวที่เหมาะสมนั้นต้องใช้ปริมาณสัดส่วนของแป้งสาลี ร้อยละ 81.68 รำข้าว ร้อยละ 11.44 และน้ำ ร้อยละ 6.87 ซึ่งค่าทำนายที่ได้ในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

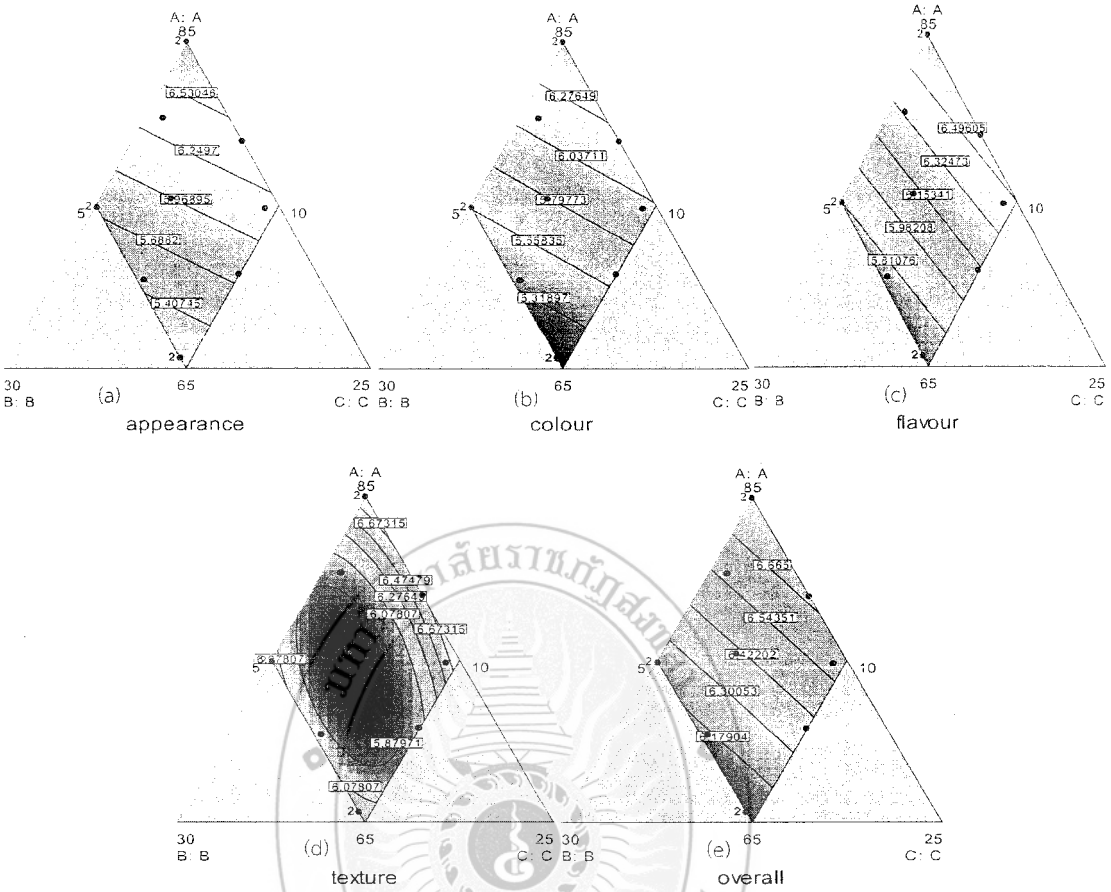
คุณลักษณะ	adjusted R-squared	P-value	Lack of fit
L*	0.3149	0.2595	0.5321
a*	0.0828	0.4094	0.8381
b*	0.1704	0.3716	0.5735
แรงต้านการยืดขยาย	0.2489	0.4400	0.4200
ความสามารถในการยืดขยาย	-0.2176	0.9831	0.1103
ความแข็ง	0.6513	0.0620	0.9977
ความกรอบ	0.7478	0.0296*	0.5945
ลักษณะปรากฏ	0.5654	0.0095*	0.9284
สี	0.5808	0.0081*	0.7551
กลิ่นรส	0.6313	0.0046*	0.1480
เนื้อสัมผัส	0.3925	0.1560	0.3751
ความชอบโดยรวม	0.2344	0.1219	0.4247



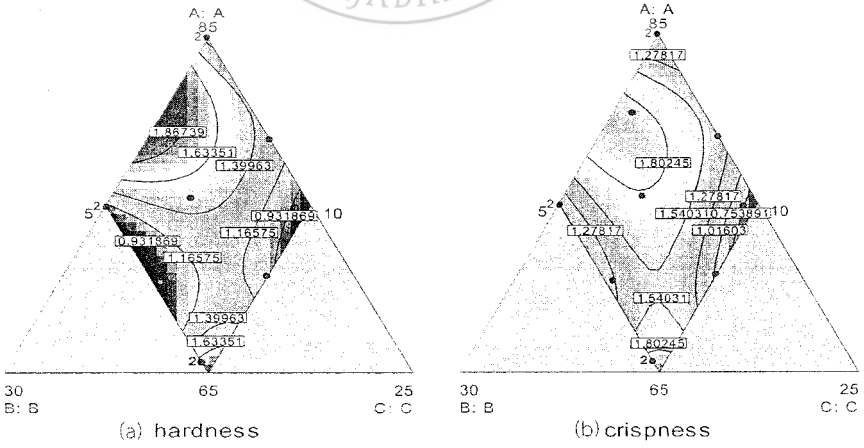
ภาพที่ 9 contour plot ของค่าแรงต้านการยืดขยาย (a) และค่าความสามารถในการยืดขยาย (b) ของโรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว



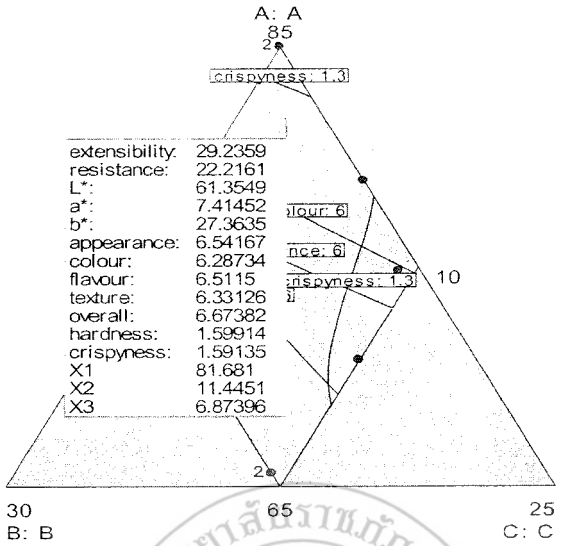
ภาพที่ 10 contour plot ของค่าสี L* (a), a* (b) และ b* (c) ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว



ภาพที่ 11 contour plot ของคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ (a), สี (b), กลิ่นรส (c) ลักษณะเนื้อสัมผัส (d) และความชอบโดยรวม (e) ต่อผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว



ภาพที่ 12 contour plot ของค่าความแข็ง (a) และความกรอบ (b) ของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว



ภาพที่ 13 ระดับของปริมาณแป้งสาลี (A) รำข้าว (B) และน้ำ (C) ที่เหมาะสม (optimization) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว

ตารางที่ 8 ระดับค่าของตัวแปรผลหลังการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม (Optimization)

คุณลักษณะ	ค่าการทำนาย
L*	61.35
a*	7.41
b*	27.36
แรงต้านการยืดขยาย; กรัม (แรง)	22.22
ความสามารถในการยืดขยาย; มม.	29.24
ความแข็ง; กิโลกรัม (แรง)	1.60
ความกรอบ; กิโลกรัม (แรง)	1.59
ลักษณะปรากฏ	6.54
สี	6.29
กลิ่นรส	6.51
เนื้อสัมผัส	6.33
ความชอบโดยรวม	6.67

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว พบว่ารำข้าวประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 10.90 ± 0.01 และใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 33.95 ± 0.68 (โดยน้ำหนักแห้ง) โดยแบ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำ ร้อยละ 31.61 ± 0.40 และ 6.38 ± 1.17 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่ารำข้าวยังประกอบด้วยไขมัน ความชื้น เถ้า และเยื่อใย ร้อยละ 14.62 ± 0.08, 6.16 ± 0.10, 9.54 ± 0.03 และ 0.62 ± 0.01 (โดยน้ำหนัก) โดยปริมาณสัดส่วนของปัจจัยหลักได้แก่ แป้งสาลี รำข้าว และน้ำ ส่งผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และความกรอบของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบ เมื่อปริมาณรำข้าวมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์โรตีกรอบที่ได้มีสีคล้ำขึ้นและเนื้อสัมผัสแข็งมากขึ้น ทั้งนี้ปริมาณของแป้งสาลี รำข้าว และน้ำ ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว เท่ากับ ร้อยละ 81.68, 11.44 และ 6.87 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม โดยการศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว เพื่อคงความกรอบและลดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์โรตีกรอบในระหว่างการเก็บรักษา

6 มิ.ย. 2561

เอกสารอ้างอิง

กัญญา เชื้อพันธุ์. 2545. คุณภาพข้าวทางกายภาพ, น. 1-8. *ใน* คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิ. (กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม บรรณาธิการ) บริษัทจิรวัฒน์เอ็กซ์เพรส จำกัด. กรุงเทพฯ

กนกจันทร์ บริพัตรมงคล, นุสรา จิวรวัฒนกุล และ ณัฐพร ทวีโชติภัทร์. 2554. การผลิตและจำหน่ายคุกกี้จากข้าวไรซ์เบอรี่. บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ขนิษฐา หมวดเอียด. 2557. ผลของการแช่เยือกแข็ง การเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง และไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติของโดและผลิตภัณฑ์โรตีเสริมใยอาหารจากรำข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

งามชื่น คงเสรี. 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. ม.ป.ท.

ณัฐนันทน์ ชุมแก้ว. 2543. การผลิตข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วันเพ็ญ ณัฐวุฒิ. 2548. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนยถั่วลิสงผสมรำข้าว. คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณา ตุลยธัญ. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ

ประชา บุญญสิริกูล และอรวินทร์ โทรกี. 2519. อาหาร. สมาคมเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. การใช้ประโยชน์จากแป้งและข้าวสาลี. *ใน* ข้าวสาลี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. 208-219. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

แวซีตีฮายะ เซะบากอ. 2550. โครงการศึกษารูปแบบการพัฒนาโรตีสมุนไพรเพื่อสุขภาพด้วยภูมิปัญญาชาวบ้านและโภชนาการด้านวิทยาศาสตร์การอาหารของกลุ่มสตรีปูยุด ตำบลปูยุด อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี. สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำนักงานภาค.

AACC. 2000. Approved Methods of the AACC. 10th Ed. American Association of Cereal Chemists.

Abdul-Hamid, A. and Luan, Y. S. 2000. Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. Food Chem. 68: 15-19.

Amissah, N. G. J., Ellis, O. W., Oduro, I. and Manful, T. J. 2003. Nutrient composition of bran from new rice varieties under study in Ghana. Department of Biochemistry, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi, Ghana. Food Control. 14: 21–24.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C.

Bhattacharya, K. R. 1988. Rice Bran: Regional Extension Service Centre (Rice Milling) Scientific Series No. 7. Department of Food, Government of India, CFTRI, Mysore 570013.

Buttriss, J. L. and Stokes, C. S. 2008. Dietary fibre and health: an overview. Am. J. Clin. Nutr. 33: 186-200.

Hu, G., Huang, S., Cao, S. and Ma, Z. 2009. Effect of enrichment with hemicellulose from rice bran on chemical and functional properties of bread. Food Chem. 115: 839-842.

ICAR. 1964. Rice bran as a feed and Oil, Rice News Teller. 12: 34–35.

Lairon, D., Arnault, N., Bertrais, S., Planells, R., Clero, E., Hercberg, S. and Boutron-Ruault, M. C. 2005. Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults. Am. J. Clin. Nutr. 82: 1185–1194.

Rodríguez, R., Jiménez, A., Fernández-Bolaños, J., Guillén, R., Heredia, A. 2006. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. Trends in Food Sci. Technol. 17: 3–15.

Shaikh, I. M., Ghodke, S. K. and Ananthanarayan, L. 2007. Staling of chapatti (Indian unleavened flat bread). Food Chem. 101: 113–119.

Slavin, J. and Green, H. 2007. Dietary fibre and satiety. Br. J. Nutr. 32: 32-42. European Commission, 2007

Srivastava, A. K., Meyer, D., Rao, P. H. and Seibel, W. 2002. Scanning electron microscopic study of dough and chapati from gluten-reconstituted good and poor quality flour. J. Cereal Sci. 35: 119–128.

Stable Micro System.1995. Extensibility of Dough and Measure of Gluten quality. *In* Manual of TA.XT2 Texture Analyser. Stable Micro System Ltd.

Sudha, M. L., Vetrimani, R. and Leelavathi, K. 2007. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. Food Chem. 10: 1365–1370.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. โถดูดความชื้น (desiccator)
4. ภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิด

วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำข้อ (1.) จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก ประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะสำหรับหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
5. อบตัวอย่างซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที และทำซ้ำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

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

กำหนดให้ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furance)
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain crucible)
3. โถดูดความชื้น (desiccator)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง (หลังจากนั้นปิดสวิทช์เตาเผา แล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในเตาเผาลดลงประมาณ 200 องศาเซลเซียส) นำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำข้อ (1.) จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปเผาในตู้ควันจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผา ทำเช่นเดียวกับการเผาถ้วยกระเบื้องเคลือบ (ข้อ 1-2)
4. คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

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

กำหนดให้ W คือ น้ำหนักครูซิเบิล (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

3. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl Method (A.O.A.C., 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาย่อย (VELP DK 6) และเครื่องดักจับไอกรด (scrubber)
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน (Markham Semi-micro Kjeldahl Distillation Apparatus)
3. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer) ขนาด 125 มิลลิลิตร และขวดปรับปริมาตร (Volimetric) ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. ปิเปต (แบบกระเปาะ) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
5. บูเรตต์ขนาด 25 มิลลิลิตร
6. ลูกแก้ว
7. ตู้ดูดควัน

8. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. ตัวเร่งผสม (Catalyst) ระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 . 5H_2O$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1:10
2. กรดซัลฟิลริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40%
4. กรดบอริกที่มีความเข้มข้น 4%
5. กรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (HCl 0.1 N)
6. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต
7. อินดิเคเตอร์ผสม (เป็นสารผสมระหว่าง เมทิลเรด เมทิลีนบลู 0.1 กรัม กับ โบรโมครีซอลกรีน 0.2 กรัม ละลายในแอลกอฮอล์ 90% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร)

วิธีการ

การทำมาตรฐานสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต
   1.1 ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลตที่ผ่านการอบแห้ง (อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ให้ได้น้ำหนักอยู่ในช่วง 2.0-2.2 กรัม โดยเครื่องชั่งละเอียดบันทึกน้ำหนักที่ชั่ง
   1.2 นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าขวดให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
   1.3 คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอน
2. การเตรียมสารละลาย 0.1 M HCl จากกรดเกลือเข้มข้น
   2.1 รินกลดเกลือเข้มข้นจากขวดลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร (ทำในตู้ควัน)
   2.2 ตวงกรดเกลือเข้มข้นให้มีปริมาตร 4.0-4.5 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร
   2.3 เทกรดเกลือเข้มข้นที่ตวงแล้วลงในน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุอยู่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร คนให้สารละลายเข้ากันดี
   2.4 สารละลาย HCl ที่เตรียมขึ้นมีความเข้มข้นประมาณ 0.1 M ถ่ายเก็บในขวดแก้วเพื่อเก็บสารละลายนี้ไว้ใช้ต่อไป
3. การทำมาตรฐานสารละลายกรดเกลือ
   3.1 ปิเปตสารละลายกรดเกลือมา 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด เขย่าให้สารละลายในขวดให้เข้ากัน
   3.2 ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งสารละลายในขวดเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์
   3.3 ไทเทรตซ้ำ 2 ครั้ง
   3.4 คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดเกลือ

การย่อยตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน และทำแบลงค์ด้วย
2. การย่อย
   2.1 เติมตัวเร่งผสม (Catalyst) ระหว่าง $CuSO_4 . 5H_2O$ 0.5 กรัม และ K_2SO_4 ปริมาณ 5 กรัม ในขวดย่อยโปรตีน เพื่อเร่งปฏิกิริยาการย่อย
   2.2 เติมกรดซัลฟิลริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร (ค่อยๆ ไหลตามข้างขวด) เขย่าเบาๆ จนตัวอย่างไม่จับเป็นก้อน ปิดปากขวดด้วยกระเปาะแก้วกลม
   2.3 วางหลอดย่อยในเตาย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่างและเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย
   2.4 เปิดสวิทซ์เครื่องดักจับไอกรดแต่ละเตาย่อย แล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใสสีเขียว
   2.5 ทิ้งไว้ให้เย็น
   2.6 นำมาถ่ายลงขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นล้างหลอดย่อยให้หมดสารละลายตัวอย่าง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เก็บไว้กลั่นต่อไป
3. การกลั่น
   3.1 จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน แล้วเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่นด้วย
   3.2 เติมกรดบอริกเข้มข้น 4% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วหยดอินดิเคเตอร์ 5-6 หยด นำไปรองรับสารละลายที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดบอริก
   3.3 ดูดสารละลายตัวอย่างด้วยปิเปตแบบกระเปาะขนาดความจุ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในช่องใส่ตัวอย่าง แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป 20 มิลลิลิตร
   3.4 กลั่นประมาณ 20 นาที หรือจนกระทั่งไม่มีแอมโมเนียเหลือ ให้ได้สารละลายที่กลั่นได้ประมาณ 150 มิลลิลิตร ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ
   3.5 ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง จดปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
   3.6 ทำแบลงค์ (blank) โดยใส่สารเคมีและขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง แต่ไม่ใส่ตัวอย่าง

คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีนคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{1.4007 \times N \times (A-B) \times F}{W}$$

โดยที่ A = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

W= น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

F = แฟกเตอร์เท่ากับ 6.31

4. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วยขวดกลม (สำหรับใส่สารตัวทำละลาย) ซอคเลต (soxhlet) อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)
3. สำลี
4. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. โถดูดความชื้น (desiccator)

สารเคมี

1. ปิโตรเลียม อีเทอร์ (petroleum ether) หรือ เฮกเซน (hexane)

วิธีการ

1. อบขวดกลมสำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้จะกระทั่งอุณหภูมิของขวดกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำเช่นข้อที่ (1) จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างหนักประมาณ 1-2 กรัม บนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารตัวทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
4. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในซอคเลต เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตาให้ความร้อน
5. ประกอบอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทช์ ให้ความร้อน
6. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
7. เมื่อครบ 14 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากซอคเลต ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจากซอคเลตลงในขวดกลมจนหมด
8. ทำการกลั่นเก็บสารทำละลายโดยการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ จนเหลือสารทำละลายในขวดกลมเพียงเล็กน้อย
9. นำขวดหาไขมันอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้ง ใช้เวลาประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

10. ทำซ้ำข้อเช่นข้อ (9) จนกระกระทั่งผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
11. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{W_2 \times 100}{W_1}$$

กำหนดให้ W1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)
W2 คือ น้ำหนักไขมันหลังอบ (กรัม)

5. การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหาร

5.1 วิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
2. โถดูดความชื้น (desiccator)
3. hot plate
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เตาเผา (muffle furance)
6. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain crucible)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิลริก ความเข้มข้น 1.25%
2. อินดิเคเตอร์ n-octanol
3. Deionized water
4. โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25%
5. อะซีโตน (AR grade)

วิธีการ

1. ใช้ตัวอย่างที่ได้จากการหาความชื้นด้วยการอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1-2 กรัม
3. เติม 1.25% กรดซัลฟิลริกที่ร้อน 150 มิลลิลิตร (ทำให้ร้อนโดยการอุ่นใน hot plate เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการย่อย)
4. เติมอินดิเคเตอร์ n-octanol 3-5 หยด
5. ทำการย่อยตัวอย่างเป็นเวลา 30 นาที
6. กดปุ่ม vacumn เพื่อถ่ายกรดซัลฟิลริกออก
7. ล้างตัวอย่างด้วย Deionized water ที่ทำให้ร้อน 30 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง โดยกดปุ่ม compressed air เพื่อกวนตัวอย่างให้กระจาย
8. หลังจากล้างน้ำสุดท้ายแล้ว เติม 150 มิลลิลิตร ของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.25% แล้วเติม n-octanol 3-5 หยด

9. ทำการย่อยเป็นเวลา 30 นาที
10. ทำการกรองและล้างตัวอย่างเหมือนข้อ 7 หลังจากล้างด้วยน้ำกลั่นครั้งสุดท้ายแล้วให้ล้างด้วย acetone 25 มิลลิลิตร พร้อมทั้งกดปุ่ม compressed air เพื่อกวนตัวอย่างให้กระจายด้วย
11. นำครูซิเบิลออกจากตัวอย่าง แล้วชั่งน้ำหนักหลังจากอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้นี้จะเป็นน้ำหนักของ crude fiber + ash content (F1)
12. นำไปหาเถ้า โดยนำตัวอย่างที่เหลือจากการหาเยื่อใย ไปเผาในเตาอบที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ผลต่างของน้ำหนักที่ได้นี้กับน้ำหนักที่ได้ในข้อ 10 จะเป็นค่า crude fiber + ash content (F2)
13. คำนวณหาปริมาณเยื่อใย จากสูตร

$$\text{ปริมาณเยื่อใย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(F1-F2)\times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

5.2 วิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอด centrifuge ขนาด 80 มิลลิลิตร
2. Magnetic bar ขนาด 15x16 มิลลิเมตร
3. Hot plate และ stirrer
4. เทอร์โมมิเตอร์ ช่วงอุณหภูมิ 0 -150 องศาเซลเซียส หรือ 0 -100 องศาเซลเซียส
5. Glass filter crucible porosity no.2 ขนาด 20 มิลลิลิตร วิธีเตรียมครูซิเบิลคือ เผาที่อุณหูมิ 525 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง วางให้เย็นแล้วผ่านน้ำ เติม celite น้ำหนักที่แน่นอน 0.5 กรัม อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (มากกว่า 1 ชั่วโมง) ทำให้เย็นแล้วเก็บใน desicator จนกว่าจะใช้งาน
6. Porcelain crucible (filter crucible) porosity no.2 ขนาด 30 มิลลิลิตร
7. บีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
8. Rubber politeman
9. โถดูดความชื้น (desicaor)
10. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
11. เตาอบไฟฟ้า (muffle fernance)
12. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน

สารเคมี

1. เอนไซม์

   1.1 α-amylase heat stable (sigma A3306, activity 39,300 U/ml)

   1.2 protease (sigma A9913)

1.3 amyloglucosidase (sigma P3910)

2. ปิโตรเลียมอีเทอร์
3. เมทานอล
4. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.08 M, pH 6.0
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.275 นอร์มอล
6. กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.325 นอร์มอล
7. เอทานอล 78% และ 95% (technical grade)
8. อะซีโตน (AR grade)
9. Celite
10. Deionised water
11. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหนักแน่นอน 0.5 กรัม ลงในหลอด centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 4 หลอด น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งไม่ควรห่างกันเกิน 20 มิลลิกรัม ใส่ magnetic bar ลงไปในแต่ละหลอด และใส่ลงในหลอดเปล่าจำนวน 2 หลอด เพื่อใช้เป็น blank
2. เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.0 ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ตรวจสอบ pH โดยปรับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 นอร์มอล หรือกรดไฮโดรคลอริก 0.325 นอร์มอล
3. เติม α-amylase heat stable 50 ไมโครลิตร ปิดฝาแล้วหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ฝาอีกครั้ง วางในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที โดยใช้ hot plate และ stirrer เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 95-100 องศาเซลเซียส เปิด stirrer เพื่อเขย่าตัวอย่าง
4. เมื่อครบเวลายกออกจาอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้ววางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องหรือแช่น้ำ
5. เติม 0.275 N NaOH 5 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 7.5
6. เติมสารละลายโปรตีเอส (protease) 50 ไมโครลิตร วางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เมื่อครบเวลานำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นหรือแช่น้ำ
7. เติมสารละลาย 0.325 N HCL 5 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 4.5
8. เติม amyloglucosidase 100 ไมโครลิตร วางไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เมื่อครบเวลานำออกมา

   8.1 ในกรณีที่วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber)

      8.1.1 หลังจากย่อยด้วย amyloglucosidase นำตัวอย่างออกจากหลอด centrifuge ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร แล้วชะตัวอย่างในหลอดและฝาด้วย 95% เอทานอล 225 มิลลิลิตร วางไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน

      8.1.2 นำตะกอนมากรองผ่าน fritted glass crucible ที่เตรียมไว้ โดยต่อกับ aspirator ชะ celite บริเวณผิวหน้าของครูซิเบิลด้วยเอทานอล 78% ก่อนการกรองตัวอย่าง

8.1.3 ชะล้างตะกอนโดยใช้เอทานอล 78% ครั้งละ 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง แล้วชะด้วยเอทานอล 95% ครั้งละ 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง แล้วล้างด้วย อะซีโตนครั้งละ 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ในระหว่างการล้างตะกอนให้ชะตัวอย่างออกจากบีกเกอร์ให้หมด โดยใช้ rubber politeman ขัด หากมีตะกอนเกาะติดเป็นก้อนกรองได้ยากให้ใช้ spatula เขี่ยบริเวณผิวหน้าของ celite

8.1.4 นำตะกอนที่ได้ไปอบที่ 100-105 องศาเซลเซียส ข้ามคืน วางให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักหลังอบ

8.1.4.1 นำตัวอย่างไปหาโปรตีน 2 หลอด และ blank 1 หลอด ตามขั้นตอนการวิเคราะห์โปรตีน

8.1.4.2 นำตัวอย่างไปวิเคราะห์เถ้า 2 หลอด และ blank 1 หลอด ตามขั้นตอนการวิเคราะห์เถ้า โดยเผาที่ 525 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง

8.2 ในกรณีที่วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (insoluble dietary fiber)

8.2.1 หลังจากย่อยด้วย amyloglucosidase นำตัวอย่างออกจากหลอด centrifuge ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร แล้วชะตัวอย่างในหลอดและฝาด้วย 95% เอทานอล 225 มิลลิลิตร วางไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน

8.2.2 นำตะกอนมากรองผ่าน fritted glass crucible ที่เตรียมไว้ โดยต่อกับ aspirator ทำการชะ celite บริเวณผิวหน้าของครูซิเบิลด้วยน้ำ DI อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ส่วนของเหลวที่เหลือนำไปวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber)

8.2.3 นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ตามขั้นตอน 8.1.4

8.3 ในกรณีที่วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber)

8.3.1 นำของเหลวที่ได้จากการกรองเอาตะกอนออกในขั้นตอน 8.2.2 มาตกตะกอนโดยใช้เอทานอล 95% ปริมาณ 225 มิลลิลิตร แล้ววางให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง 1 คืน

8.3.2 นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ตามขั้นตอน 8.1.2 – 8.1.4

การคำนวณผล

ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) หรือปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber)

$$= \frac{\left(\frac{residue\,protein + residue\,ash}{2}\right) - P - A - B}{\frac{W_{Ex1} + W_{Ex2}}{2}} \times 100$$

residue protein = น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือหลังการย่อย (วิเคราะห์โปรตีนต่อ) (g)

residue ash = น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือหลังการย่อย (วิเคราะห์เถ้าต่อ) (g)

P = ปริมาณโปรตีนจาก residue protein

A = ปริมาณเถ้าจาก residue ash

B = $\frac{BR_1+BR_2}{2} - BP - BA$

BR_1 = residue protein blank (g)

BR_2 = residue ash blank (g)

BP = ปริมาณโปรตีนจาก residue protein blank

BA = ปริมาณเถ้าจาก residue ash blank

ปริมาณใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (insoluble dietary fiber)

= ปริมาณใยอาหารทั้งหมด – ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1. **การหาความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity)** (AACC, 1983)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
2. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
3. หลอด centrifuge ขนาด 15 มิลลิลิตร
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งรำข้าว 300 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปใส่ในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 g เป็นเวลา 20 นาที
4. ดูดสารละลายส่วนใสทิ้ง
5. ชั่งน้ำหนักตะกอนรำข้าวที่ได้เพื่อคำนวณหาค่าความสามารถในการจับน้ำในหน่วยมิลลิกรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง

สูตรคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการจับน้ำ(ร้อยละ)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังดูดน้ำ (มิลลิกรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น (กรัม)}}$$

2. **การหาความสามารถในการจับน้ำมัน (fat binding capacity)** (Abdul-Hamid and Luan, 2000)

เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุ

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
2. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
3. หลอด centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. น้ำมันข้าวโพด

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งรำข้าว 250 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำมันข้าวโพด 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปใส่ในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 16,000 g เป็นเวลา 30 นาที
4. ดูดน้ำมันส่วนที่แยกออกทิ้ง

5. ชั่งน้ำหนักตะกอนรำข้าวที่ได้เพื่อคำนวณหาค่าความสามารถในการจับน้ำในหน่วยมิลลิกรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง

สูตรคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการจับน้ำมัน (มก./ก.)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังดูดน้ำมัน (มิลลิกรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น (กรัม)}}$$

3. **การวัดค่าสี**

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Color Flex

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดสวิตซ์เครื่องสำรองไฟ มาที่ตำแหน่ง on
2. เปิดคอมพิวเตอร์เข้าสู่โปรแกรมการทำงาน
3. หลังจากเปิดเครื่อง 15 นาที ทำการ Calibrate ด้วยแผ่นสีมาตรฐาน ดังนี้
   3.1 คลิกเมาส์ที่ Standardize เลือก Port size คลิก OK
   3.2 วางแผ่นสีดำโดยวางด้านสีดำมันลงบน Port คลิก OK
   3.3 วางแผ่นสีขาวมาตรฐานโดยให้จุดสีขาวบนแผ่นสีอยู่กึ่งกลาง Port
   3.4 เครื่องจะทำการ Calibrate จนเสร็จสิ้น คลิก OK เครื่องพร้อมที่จะใช้งาน
4. กำหนดค่าในการวัดสี
5. การเตรียมตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างที่เป็นผง
   5.1 ทำตัวอย่างให้เข้ากันดี บรรจุในถ้วยประมาณครึ่งถ้วย
   5.2 วางบน Sample Port โดยถอดวงแหวนขนาด 1.25 นิ้วออกวางถ้วยลงบนวงแหวน
   5.3 ใช้ Cover ปิดตัวอย่าง กรณีตัวอย่างมีความโปร่งแสง และเพื่อไม่ให้มีแสงรบกวน
6. วัดสีตัวอย่าง โดยวางตัวอย่างบน Port แล้วคลิกเมาส์ที่ Read Sam
7. บันทึกค่า L*a*b*

4. **วัดความสามารถในการยืดขยายตัวของโด (extensibility)** (Stable Micro Systems,UK, 1995)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer (TA. XTplus) หัววัด Kieffer Extensibility

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมแท่นสำรับขึ้นรูป โดยทา paraffin oil หรือน้ำมันพืช เพื่อป้องกันตัวอย่างติดแน่น
2. นำโดโรตีที่รีดเป็นแผ่นบางกลมแล้ว จำนวน 2 แผ่น มาวางซ้อนกันบนแท่น นำแท่นอีกอันวางประกบบนโด ระวังไม่ให้ตัวอย่างลื่น เนื่องจากอาจทำให้ตัวอย่างติดกับแท่นที่กดทับได้
3. กดแท่นตัวอย่างให้สนิท ใช้ spatula ปาดตัวอย่างที่เกินออก แท่นจะตัดตัวอย่างออกเป็นเส้น
4. นำแท่นตัวอย่างบรรจุใน clamp แล้วขันสกรูให้แน่น เพื่อให้ตัวอย่างแยกออกจากกัน

5. นำโดออกจากแท่นโดยค่อยๆ เลื่อนออกทีละเส้นเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น (1 – 2 เส้นแรกทิ้งไป) ระวังไม่ให้มีตัวอย่างส่วนเกินบริเวณด้านข้างของแท่นตัวอย่าง
6. นำโดที่เตรียมไว้วางบนอุปกรณ์ โดยใช้หัววัดชนิด Kieffer Extensibility Rig
7. ตั้งค่าในการวัด โดยใช้ load cell ขนาด 5 กิโลกรัม

Mode : Measure Force in Tension (extensibility of dough and measure of gluten quality)

Option : Return to Start Pre – test speed : 2.0 mm/s

Test speed : 3.3 mm/s Distance : 75* mm

Trigger force : 5 g

* สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นกับตัวอย่าง

9. การแปลผล

อ่านค่า แรงสูงสุด (positive peak force) เป็นค่าแรงต้านการดึง (resistance to extension)

อ่านค่า ระยะทางที่ตัวอย่างแยกออกจากกัน (distance at rupture) เป็นค่าความสามารถในการยืดขยายตัว (extensibility)

5. การวัดความแข็งของผลิตภัณฑ์โรตี (Stable Micro Systems, UK, 1995)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Texture analyzer (TA.XTplus) โดยใช้หัววัด knife edge with slotted insert (HDP/BS) และ heavy duty platform (HDP/90)

วิธีวิเคราะห์

1. ติดตั้งเครื่อง Texture analyzer (TA.XTplus)
   1.1 ติดตั้งหัววัด HDP/BS และ HDP/90 เข้ากับเครื่อง Texture analyzer (TA.XTplus) และทำการ Calibrate หัววัด
   1.2 ตั้งค่าในการวัด โดยใช้ load cell ขนาด 5 กิโลกรัม

   Mode : Measure Force in Compression (hardness measurement of biscuit by cutting)

   Option : Return to start Pre – test speed : 2.0 mm/s

   Test speed : 2.0 mm/s Post – test speed : 10.0 mm/s

   Distance : 30 mm Force : 10 g
2. การเตรียมตัวอย่าง โดยการนำแผ่นโรตีทอดมาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก 8 ชิ้น/แผ่น ขนาด 22x60 มิลลิเมตร ตัดด้านขอบออก
3. วัดความแข็งของโรตี โดยใช้หัววัด HDP/BS ตัดตัวอย่างจนขาด
4. บันทึกค่าแรง (hardness; kg_f) ที่ใช้ตัดตัวอย่าง

ภาคผนวก ค การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-Point Hedonic Scale)

ผลิตภัณฑ์: **ผลิตภัณฑ์โรตีเสริมใยอาหารจากรำข้าว**

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่ทดสอบ.....เวลา.....

โปรดเลือกคะแนนที่ตรงกับความชอบของท่านลงในช่องว่าง โดยคะแนนเรียงตามลำดับ ดังนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด	4 = ไม่ชอบน้อยที่สุด	7 = ชอบปานกลาง
2 = ไม่ชอบมาก	5 = เฉย ๆ	8 = ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง	6 = ชอบน้อยที่สุด	9 = ชอบมากที่สุด

ความชอบ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
ลักษณะปรากฏ (appearance)					
สี (colour)					
เนื้อสัมผัส (texture)					
กลิ่นรส (flavour)					
ความชอบโดยรวม (overall)					

ข้อเสนอแนะ:.....

.....

ขอบคุณค่ะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล: (ภาษาไทย) นางสาวขนิษฐา หมวดเอียด
(ภาษาอังกฤษ) Khanittha Muadiad
2. เลขบัตรประจำตัวประชาชน: 1930800012330
3. ตำแหน่งปัจจุบัน: อาจารย์ โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

หน่วยงาน : คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
160 ถ.กาญจนวนิช ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา
90000
โทรศัพท์/โทรสาร 074-260272, 089-7356965/074-260273
E-mail : khanittha.mu@skru.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับ	วุฒิปริญญา	สาขาวิชาเอก	สถาบันที่ศึกษา
2557	ปริญญาโท	วท.ม.	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2551	ปริญญาตรี	วท.บ.	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ -

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย เป็นต้น

7.1 ผู้อำนวนการแผนงานวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :

7.2.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว: งบประมาณ กองทุนสนับสนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ปี 2558

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการ/วารสารวิชาการ

Muadiad, K. and Sirivongpisal P. 2016. The development of high dietary fiber crispy roti product. In proceeding of The Food Innovation Asia Conference "Food Research and Innovation for Sustainable Global Prosperity", BITECH, Bangkok Thailand. 16-18 June 2016. P. 610-615.

Muadiad, K. and Sirivongpisal, P. 2013. Effect of frozen storage on structure and properties of roti dough supplemented with rice bran. In Proceeding of the VII International Conference on Starch Technology, Thailand. 21-22 November 2013. P. 189-196.

Muadiad, K. and Sirivongpisal, P. 2012. Effect of dietary fiber from rice bran on properties of dough and crispy roti product. In proceeding of International Conference and IMT-GT Halal Product Exhibition, Thailand. 11-15 January 2012.

ขนิษฐา หมวดเอียด, ปณิธาน กลั่นทอง และ ศราวุฒ โร๊ะศรี. 2560. ผลของอัตราส่วนประกอบและสภาวะในการบ่มต่อคุณภาพของไวน์ส้มแขก. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 8: 2559 "การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมอย่างยั่งยืนสู่โลกาภิวัตน์".*

ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล, ขนิษฐา หมวดเอียด และปาริดา จันทร์สว่าง. 2558. อนุสิทธิบัตร: โดโรตีเสริมใยอาหารจากรำข้าวและกรรมวิธีการผลิต. เลขที่อนุสิทธิบัตร 10210.

ขนิษฐา หมวดเอียด. 2557. ผลของการแช่เยือกแข็ง การเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง และไฮโดร-คอลลอยด์ต่อสมบัติของโดและผลิตภัณฑ์โรตีเสริมใยอาหารจากรำขาว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ขนิษฐา หมวดเอียด และสุจินดา ภาษี. 2550. ผลของใยอาหารจากเนื้อสำรองแห้งต่อสมบัติของโดและขนมปัง. ทุนวิจัย IRPUS ของ สกว. ปีการศึกษา 2550.

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ :

7.4.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์โรตีกรอบเสริมใยอาหารจากรำข้าว
แหล่งทุน : กองทุนสนับสนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ปี 2558
สถานภาพในการดำเนินงานวิจัย : หัวหน้าโครงการวิจัย
ผลการดำเนินงาน : ดำเนินการไปแล้ว ร้อยละ 90