



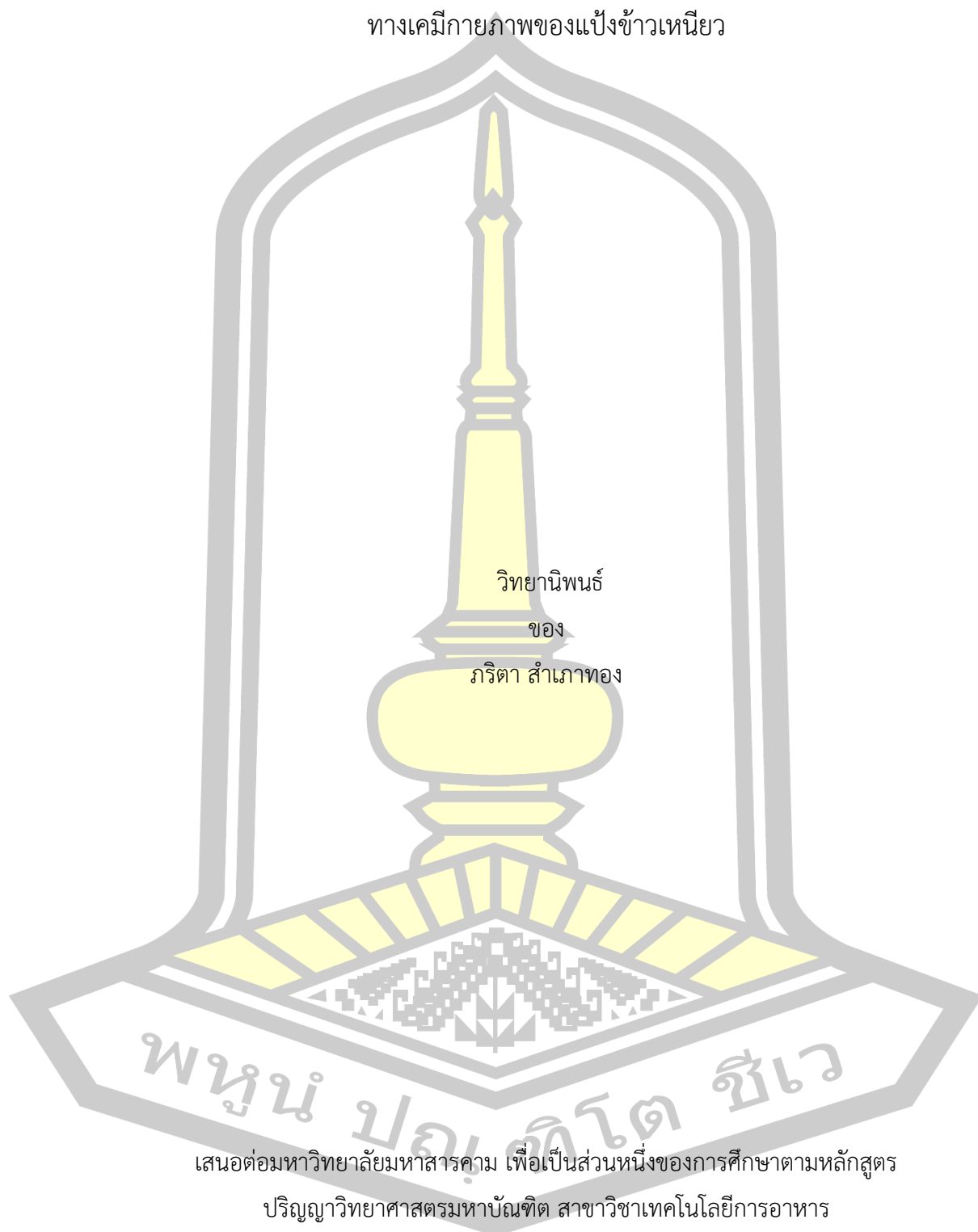
รากกระพังโหม (*Paedaria linearis* Hook. f.): องค์ประกอบทางเคมีและผลต่อสมบัติทางเคมี
กายภาพของแป้งข้าวเหนียว

วิทยานิพนธ์
ของ
ภริตา สำเภาทอง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร
พฤศจิกายน 2561

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รากกระพังโหม (*Paederia linearis* Hook. f.): องค์ประกอบทางเคมีและผลต่อสมบัติ
ทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว



พูน ปลูกโต ชเว

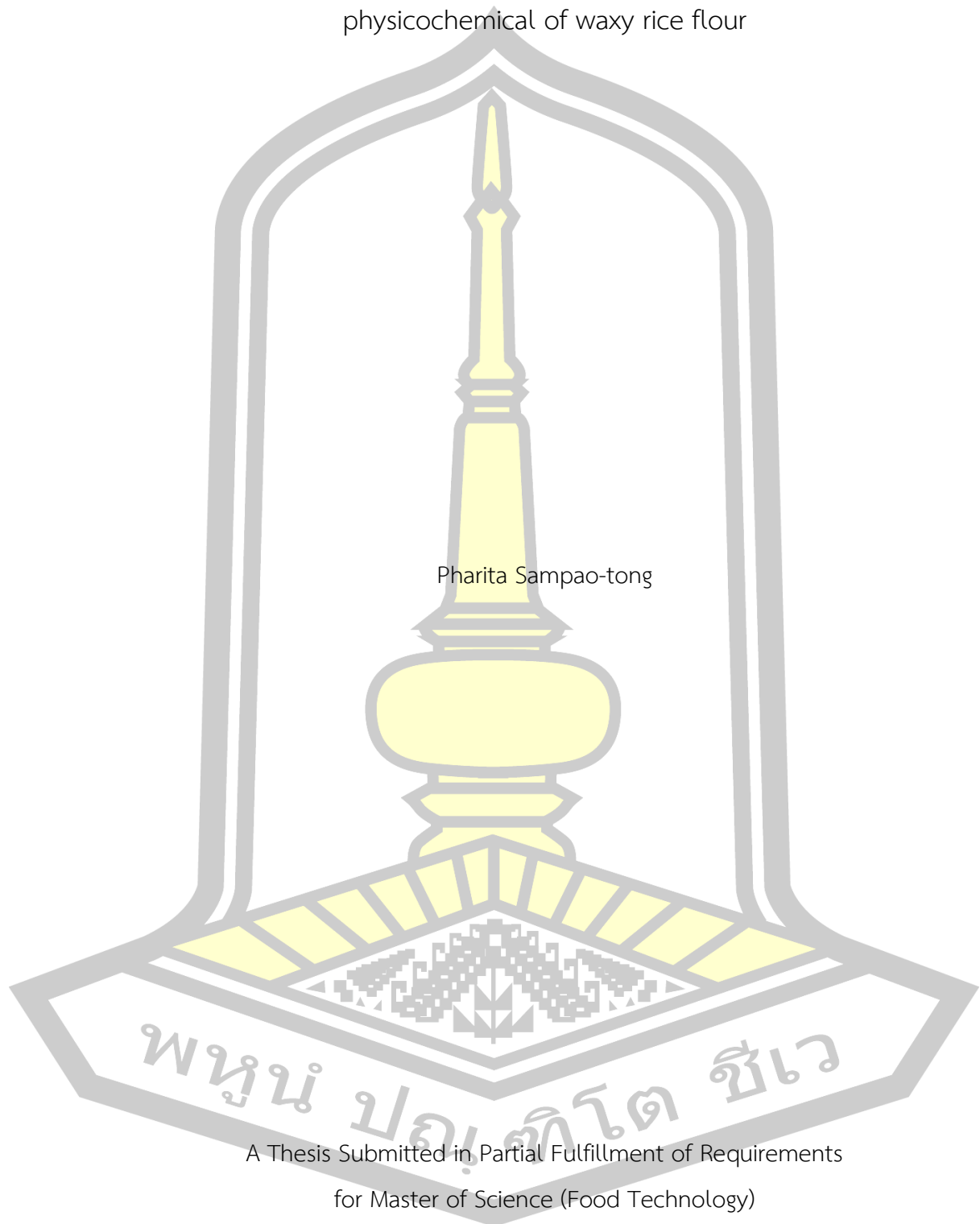
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

พฤษภาคม 2561

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Paederia linearis Hook. f. root: chemical compositions and its effect on
physicochemical of waxy rice flour



Pharita Sampao-tong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Food Technology)

November 2018

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวภริตา สำเภาทอง
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ทัดดาว ภาชีผล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. อังคณา จันทรพลพันธ์)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. บุษกร ทองใบ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ดุลย์จิรา สุขบุญญสถิตย์)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(อาจารย์ ดร. กรรณิการ์ ห้วยแสน)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม)

คณบดีคณะเทคโนโลยี

.....
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน.....เดือน.....ปี.....

ชื่อเรื่อง	รากกระพังโหม (<i>Paederia linearis</i> Hook. f.): องค์ประกอบทางเคมีและผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว		
ผู้วิจัย	ภริตา สำเภาทอง		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. อังคณา จันทรพลพันธ์		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	เทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของรากกระพังโหม (*Paederia linearis* Hook. f.) และผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ผลการศึกษาพบว่ารากกระพังโหมสดมีปริมาณความชื้น ไขมัน เถ้า โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลรีดิวซ์ เป็น 70.05% 0.07% 3.22% 2.00% 24.66% และ 34.81 mg/g (FW) ตามลำดับ ส่วนรากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้น ไขมัน เถ้า โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลทั้งหมดเป็น 6.48% 0.48% 8.08% 6.00% 78.97% และ 69.39 mg/g (FW) ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งอยู่ในรูปของน้ำตาลฟรักโทส (17.9 mg/g (FW)) และกลูโคส (22.2 mg/g (FW)) นอกจากนี้ยังพบสารประกอบฟีนอลิกในรากกระพังโหม (0.59 mg GAE/g (FW)) และพบว่าความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ DPPH เมื่อเทียบกับวิตามินซีมีค่าเป็น 48.05 mg VCEAC/100g (FW) ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ ABTS เมื่อเทียบกับวิตามินซีมีค่าเป็น 68.78 mg VCEAC/100g (FW) ตามลำดับ และกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่ตรวจวัดโดย FRAP assay มีค่าเป็น 345.67 $\mu\text{molFeSO}_4/100\text{g}$ (FW)

น้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0–10% มีผลต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งต่ำ (10%) พบว่า Pasting temperature ของแป้งข้าวเหนียว กข6 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Peak viscosity, Breakdown, Final viscosity และ Setback มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมที่เพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อและความเหนียวของแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำรากกระพังโหม การศึกษาผลของรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งสูง (50%) ซึ่งผลิตให้อยู่ในรูปของข้าวเกรียบพบว่า การใช้น้ำรากกระพังโหมทำให้ค่า L^* ของข้าวเกรียบลดลง และลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น

น้ำรากกระพังโหมทำให้ความแข็ง (Hardness) ของข้าวเกรียบลดลง และลดลงมากที่สุดเมื่อเติมน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 5% ($p < 0.05$)

การดัดแปรสภาพแป้งข้าวเหนียว กข6 ด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0–10% ทำให้พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ Pasting temperature ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมเพิ่มขึ้น แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหม 10% มี Pasting temperature สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ($p < 0.05$) การดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมทำให้ Peak viscosity Breakdown Final viscosity และ Setback ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ลดลง ($p < 0.05$) และทำให้ความแน่นเนื้อ และความเหนียวของแป้งเปียก ลดลง ($p < 0.05$) แป้ง และแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ได้จากการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมมีการเปลี่ยนแปลงสีตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำรากกระพังโหม เมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมเพิ่มขึ้นค่า L^* และ Hue angle ของแป้งดัดแปรสภาพลดลง ในขณะที่ a^* b^* และ Chroma มีค่าเพิ่มขึ้น ผลึกภายในเม็ดแป้งของแป้งข้าวเหนียว กข6 ดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมยังคงลักษณะของโครงสร้างแบบ A-type เช่นเดียวกับแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ แต่มีปริมาณของผลึกต่ำกว่า ($p < 0.05$) ตรวจสอบโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้งด้วยเครื่อง Fourier Transform infrared (FT-IR) ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ และที่ผ่านการดัดแปรสภาพในตัวอย่างที่เป็นน้ำพบพีคที่ 1515 cm^{-1} และ 1516 cm^{-1} และพีคที่ 1304 cm^{-1} แต่ไม่พบพีคดังกล่าวในแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหม

คำสำคัญ : สารประกอบฟีนอลิก, กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ, น้ำตาลรีดิวซ์, อุณหภูมิในการเกิดแป้งเปียก, ข้าวเกรียบข้าวเหนียว

พูนุ ปณุกิตโต ชิว

TITLE	<i>Paederia linearis</i> Hook. f. root: chemical compositions and its effect on physicochemical of waxy rice flour		
AUTHOR	Pharita Sampao-tong		
ADVISORS	Angkana Chantaraponpan , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Food Technology
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2018

ABSTRACT

This research was conducted to investigate the chemical properties of fresh and convection-oven dried *Paederia linearis* Hook. f. root, and its effect on physico-chemical properties of RD6 waxy rice flour were also determined. The moisture contents, fat, ash, protein, carbohydrate and reducing sugar contents of the fresh *P. linearis* Hook. f. root were 70.05%, 0.07%, 3.22%, 2.00%, 24.66%, 34.81 mg/g (FW), respectively. The moisture contents, fat, ash, protein, carbohydrate and total sugar contents of the *P. linearis* Hook. f. root which was dried at 60°C for 8 hours were 6.48%, 0.48%, 8.08%, 6.00%, 78.97%, 69.39 mg/g (FW), respectively. The two major sugars in *P. linearis* Hook. f. root were fructose (17.9 mg/g, FW) and glucose (22.2 mg/g, FW). There was 0.59 mg GAE/g (FW) of total phenolic content in *P. linearis* Hook. f. root. has antioxidant capacity as measured by DPPH radical scavenging activity, ABTS radical scavenging activity and Ferric Reducing Ability Power (FRAP) of 48.05 mg VCEAC/100g (FW) 68.78 mg VCEAC/100g (FW) and 345.67 μ mol FeSO₄/100g (FW), respectively.

The solution of *P. linearis* Hook. f. root (0-10%, w/w) has a marked effect on the pasting behavior of waxy rice flour. In a low concentration of waxy rice flour system (10% flour, w/w), the Pasting temperature of waxy rice flour increased with increasing concentration of *P. linearis* Hook. f. root, whereas the Peak viscosity, Breakdown, Final viscosity and Setback tend to decreased as the concentration of *P. linearis* Hook. f. root increased. The hardness and stickiness of waxy flour paste was

decreased with increasing concentration of *P. linearis* Hook. f. root. The effect of *P. linearis* Hook. f. root on quality characteristics of rice cracker produced from high concentration of waxy rice flour system (50% flour, w/w) was evaluated. It was found that L^* of rice cracker was decreased with increasing concentration of *P. linearis* Hook. f. root. The hardness of rice cracker gradually reduced with increasing concentration of *P. linearis* Hook. f. root. The rice cracker produced from 5% solution of *P. linearis* Hook. f. root showed the lowest value of hardness ($p < 0.05$).

Modification of RD6 waxy rice flour with the solution of *P. linearis* Hook. f. root (0-10%, w/w) affected the pasting behavior of waxy rice flour. The pasting temperature of modified waxy rice flour was increased with increasing concentration of *P. linearis* Hook. f. root. The Peak viscosity, Breakdown, Final viscosity and Setback decreased as the concentration of *P. linearis* Hook. f. root increased ($p < 0.05$). The hardness and stickiness of modified waxy flour paste was decreased with increasing concentration of *P. linearis* Hook. f. root ($p < 0.05$). L^* and Hue angle of waxy rice flour and waxy rice flour paste were decreased, while a^* , b^* and Chroma were increased with increasing concentration of *P. linearis* Hook. f. root. The X-ray diffraction patterns of modified waxy rice flour showed A-type pattern similar to native waxy rice flour but with lower degree of crystallinity ($p < 0.05$). Fourier transform infrared spectroscopy data indicated the native waxy rice flour and waxy rice flour modified with 0% *P. linearis* Hook. f. root had peaks at 1515 cm^{-1} , 1516 cm^{-1} and 1304 cm^{-1} , but these peaks were absent in the case of waxy rice flour modified with 10% *P. linearis* Hook. f. root.

Keyword : Phenolic compound, Antioxidant activity, Reducing sugar, Pasting temperature, Waxy rice cracker

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วย ความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก อาจารย์ ดร.อังคณา จันทรพลพันธ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัตตาว ภาชีผล ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษกร ทองใบ อาจารย์ ดร.ศุภชัยจิรา สุขบุญญสถิตย์ กรรมการบัณฑิตศึกษาประจำคณะ และอาจารย์ ดร. กรรณิการ์ ห้วยแสน ผู้ทรงคุณวุฒิ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัวที่ให้การสนับสนุน และเป็นแรงผลักดันที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณอาจารย์ตลอดจนบุคลากรทุกท่าน สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการปฏิบัติงานตลอดการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ระดับปริญญาโท จากคณะเทคโนโลยี

ภริตา สำเภาทอง



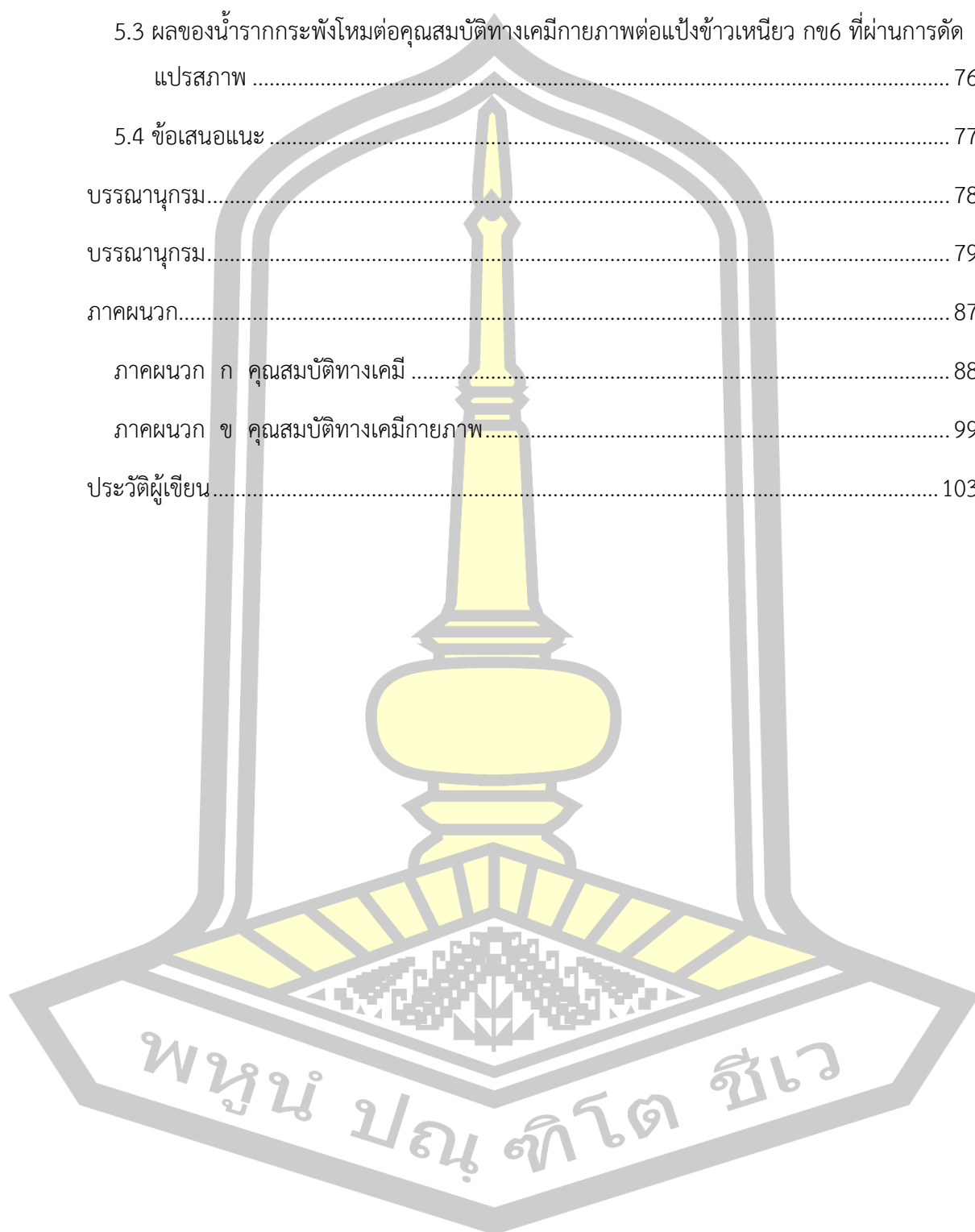
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ภูมิหลัง.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 ความสำคัญของงานวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
บทที่ 2 บริทัศน์เอกสารข้อมูล.....	7
2.1 กระทั่งใหม่.....	7
2.2 ข้าว.....	8
2.2.1 การแบ่งประเภทของข้าว.....	8
2.2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	9
2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	10
2.3 แป้งและคุณสมบัติของแป้ง.....	14
2.3.1 แป้ง.....	14

2.3.2 คุณสมบัติของแป้ง	18
2.4 ข้าวเกรียบว่าว.....	25
2.4.1 กรรมวิธีการผลิตข้าวเกรียบว่าว	26
2.4.2 การเก็บรักษาข้าวเกรียบว่าว (ข้าวโป่ง)	27
2.5 สารประกอบฟีนอลิก.....	27
2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ	27
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	32
3.1 การตั้งสมมติฐาน.....	32
3.2 แผนการวิจัย	33
3.2 การศึกษาและรวบรวมเครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	33
3.2.1 วัสดุดิบ	33
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์.....	33
3.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	34
3.3 วิธีการทดลอง.....	36
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างกระพังโหม และแป้งข้าวเหนียว.....	36
3.3.1.1 การเตรียมกระพังโหม.....	36
3.3.1.2 การเตรียมแป้งข้าวเหนียว กข6	36
3.3.1.3 การเตรียมน้ำรากลกระพังโหม	36
3.3.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากลกระพังโหม และการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6.....	37
3.3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6	38
3.3.3 การศึกษาผลของน้ำรากลกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ และสูง.....	38

3.3.3.1 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ	38
3.3.3.2 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวสูง	39
3.3.4 การศึกษาผลของน้ำรากลกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแป้งข้าวเหนียว กข 6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ โดยวิธีการ Annealing	41
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	43
3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	43
3.5.1 สถิติพื้นฐาน	43
3.5.2 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน	43
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	45
4.1 การคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของรากลกระพังโหม และแป้งข้าวเหนียว กข6	45
4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากลกระพังโหม	45
4.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6	47
4.2 การศึกษาผลของน้ำรากลกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ และสูง	48
4.2.1 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ	48
4.2.2 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวสูง	54
4.3 การศึกษาผลของน้ำรากลกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ โดยวิธีการ Annealing	60
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	74
5.1 คุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากลกระพังโหม และคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6	74
5.2 ผลของน้ำรากลกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ และสูง	75
5.2.1 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ	75

5.2.2 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวสูง.....	75
5.3 ผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัด แปรรูป.....	76
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	77
บรรณานุกรม.....	78
บรรณานุกรม.....	79
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก คุณสมบัติทางเคมี.....	88
ภาคผนวก ข คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	103



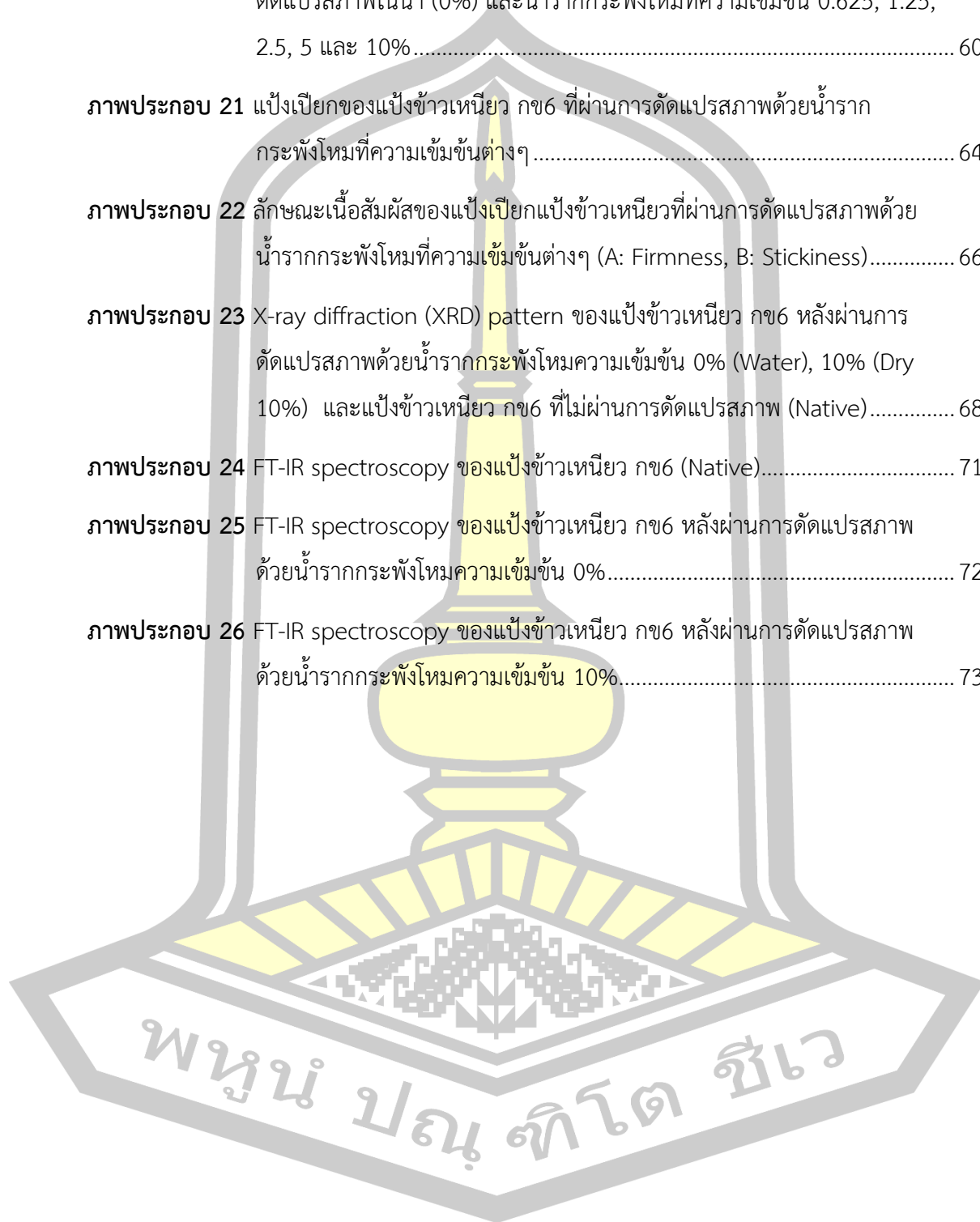
สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวเหนียว.....	10
ตารางที่ 2	ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด.....	17
ตารางที่ 3	คุณสมบัติทางเคมีและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม.....	46
ตารางที่ 4	คุณสมบัติทางเคมีของของแป้งข้าวเหนียว กข6.....	48
ตารางที่ 5	ผลของน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลง ความหนืดของแป้งข้าวเหนียวความเข้มข้น 10%.....	51
ตารางที่ 6	ค่าสีของแป้งเปียกแป้งข้าวเหนียวความเข้มข้น 10% เมื่อเติมน้ำรากกระพังโหมที่ ความเข้มข้นต่างๆ.....	52
ตารางที่ 7	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเกรียบแผ่นดิบ และข้าวเกรียบที่อบด้วย ไมโครเวฟเมื่อมีการเติมน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ.....	57
ตารางที่ 7 (ต่อ)	58
ตารางที่ 8	คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปร สภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ.....	64
ตารางที่ 9	ค่าสีของแป้งข้าวเหนียว กข6 และแป้งเปียกจากของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่าน การตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ.....	65
ตารางที่ 10	ร้อยละของโครงสร้างผลึกและรูปแบบผลึกในเม็ดแป้งจากข้าวเหนียว กข6 ชนิดต่างๆ	68
ตารางที่ 11	คลื่นความถี่ที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันต่างๆ.....	70

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ 1	ต้นและรากกระพังโหม (Paederia linearis Hook. f.).....	7
ภาพประกอบ 2	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	9
ภาพประกอบ 3	โครงสร้างของอะมิโลส	11
ภาพประกอบ 4	โครงสร้างของอะมิโลเพคติน	12
ภาพประกอบ 5	โครงสร้างทางผลึกชนิด A และ B.....	15
ภาพประกอบ 6	ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งผลึกของเม็ดสตาร์ช.....	16
ภาพประกอบ 7	X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน	17
ภาพประกอบ 8	รูปแบบความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ เมื่อแป้งตามกำลังการพองตัว	19
ภาพประกอบ 9	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer	21
ภาพประกอบ 10	การเกิดเจลลาติโนเซชันของเม็ดแป้ง.....	23
ภาพประกอบ 11	การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)	24
ภาพประกอบ 12	กลไกการคืนตัวของแป้ง.....	25
ภาพประกอบ 13	กระบวนการทำข้าวเหนียว.....	40
ภาพประกอบ 14	กระบวนการดัดแปรสภาพแป้ง	41
ภาพประกอบ 15	รากกระพังโหมอบแห้งและผงรากกระพังโหม.....	45
ภาพประกอบ 16	แป้งเปียกของแป้งข้าวเหนียว กข6 ความเข้มข้น 10% เมื่อเติมน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ	53
ภาพประกอบ 17	ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเปียกแป้งข้าวเหนียวความเข้มข้น 10% เมื่อเติมน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ (A: Firmness (g)).....	53
ภาพประกอบ 18	ความแข็งของข้าวเหนียวที่อบด้วยไมโครเวฟเมื่อมีการเติมน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ	59
ภาพประกอบ 19	ข้าวเหนียวดิบก่อนอบด้วยไมโครเวฟ และข้าวเหนียวหลังอบด้วยไมโครเวฟ.....	59

ภาพประกอบ 20	แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ (Native) และที่ผ่านการดัดแปรสภาพในน้ำ (0%) และน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5 และ 10%.....	60
ภาพประกอบ 21	แป้งเปียกของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ	64
ภาพประกอบ 22	ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเปียกแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ (A: Firmness, B: Stickiness).....	66
ภาพประกอบ 23	X-ray diffraction (XRD) pattern ของแป้งข้าวเหนียว กข6 หลังผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0% (Water), 10% (Dry 10%) และแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ (Native).....	68
ภาพประกอบ 24	FT-IR spectroscopy ของแป้งข้าวเหนียว กข6 (Native).....	71
ภาพประกอบ 25	FT-IR spectroscopy ของแป้งข้าวเหนียว กข6 หลังผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0%.....	72
ภาพประกอบ 26	FT-IR spectroscopy ของแป้งข้าวเหนียว กข6 หลังผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 10%.....	73



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

กระพังโหมสายพันธุ์ *Paederia linearis* Hook. f. เป็นพืชที่พบในทุกภูมิภาคของประเทศ ไทย มีรากใต้ดินทำหน้าที่สะสมอาหารในรูปของแป้ง ประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมนำ ส่วนรากของกระพังโหมมาคั้นน้ำและนำไปเป็นส่วนประกอบในการผลิตขนมที่มีแป้งข้าวเหนียวเป็นส่วนผสม เช่น ขนมเทียน และข้าวเกรียบว่าว (ข้าวโป่ง) นับเนื่องมาแต่โบราณเพราะน้ำคั้นจากราก กระพังโหมช่วยเพิ่มความหวานให้แก่ขนม ทำให้แป้งขนมมีความละเอียดนุ่มหยุ่นไม่คืนตัว และทำให้ ขนมเกิดการพองตัวอย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อแป้งยังมีอยู่อย่างจำกัด และงานวิจัยที่มีอยู่จำกัดนี้ส่วนใหญ่เน้นไปยังสรรพคุณทางยา เช่น ในปี ค.ศ. 2014 Saenphet และ คณะ (Saenphet et al., 2014) พบว่าสารสกัดจากรากของ *Paederia pilifera* Hook.f. (Rubiaceae) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแอสคอบิกในปริมาณสูง และมีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูง สามารถทำให้ผลในกระเพาะอาหารของหนูทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้สารสกัด จาก *P. pilifera* ในปริมาณ 250–750 mg/kg BW

แป้งข้าวเหนียวคือแป้งที่ได้จากการโม่เมล็ดข้าวเหนียว (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) มี องค์ประกอบที่สำคัญคือสตาร์ช โครงสร้างของสตาร์ชส่วนใหญ่ประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิดเป็นหลัก คืออะมิโลสและอะมิโลเพคติน แป้งข้าวเหนียวประกอบด้วยอะมิโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่และมีอะมิโลส เพียงเล็กน้อย (5–7%) นอกจากปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแล้ว องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ เช่น โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ สารประกอบอื่นๆ ที่เติมลงในระบบของแป้ง และสภาวะในการผลิตฯ อาจ ส่งผลถึงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าว ดังเช่นในปี ค.ศ. 2015 Jiamjariyatam และคณะ (Jiamjariyatam et al., 2015) ศึกษาผลของปริมาณอะมิโลส ต่อ คุณสมบัติและลักษณะของเจลแป้งข้าวและผลิตภัณฑ์แป้งที่พองตัว พบว่าปริมาณ Relative crystallinity (RC) Retrogradation enthalpy (ΔH_r) และความแข็งของเจลแป้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ปริมาณอะมิโลส เพิ่มขึ้น และปริมาณอะมิโลส ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แป้งที่พองตัวมีความแข็ง ความสามารถในการทำให้แตกหัก (Fracturability) ความกรอบ และความหนาแน่นสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาถึงการดัดแปรสภาพแป้งโดยใช้สารเคมี เพื่อให้ได้แป้งดัดแปรที่มีคุณสมบัติตาม ที่ต้องการ ตัวอย่างเช่นในปี ค.ศ. 2015 Colussi และคณะ (Colussi et al., 2015) ศึกษาผลของความเข้มข้นของอะซิติกแอนไฮไดรต์ในสารละลายในน้ำต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้า และพบว่าแป้ง ข้าวเจ้าที่ถูกอะซิติกแอนไฮไดรต์ด้วยสารละลาย Acetic anhydride ความเข้มข้นต่างๆ (5 g/100g, 10 g/100g

และ 20 g/100g แป้งความชื้นฐานแห้ง) ทำให้ค่า Viscosity Breakdown Final viscosity และ Retrogradation ของแป้งข้าวเจ้ามีค่าเพิ่มขึ้น และความแข็งของเจลแป้งมีค่าลดลง แต่ไม่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความไวต่อการย่อยสลายของแป้งโดยอะมิเลส แป้งอะซิทิเลทที่ใช้สาร Acetic anhydride 10 และ 20 g/100g มีการพองตัวและความสามารถในการละลายต่ำกว่าแป้งปกติ ในปี ค.ศ. 2016 Yang และคณะ (Yang et al., 2016) ผลิตแป้งดัดแปรสภาพจากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้ Disodium hydrogen phosphate anhydrous Propylene oxide Sodium dihydrogen phosphate dehydrate เพื่อให้ได้แป้งดัดแปรสภาพสามชนิดคือ แป้ง Hydroxypropylated, Phosphorylated และ Hydroxypropyl-phosphorylated และพบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนของแป้ง ความคงตัวต่อการแช่แข็งและการละลาย (Freeze-thaw stability) ของแป้งสูงขึ้น อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลาติโนเซชัน และเอนทาลปีในการเกิดเจลลาติโนเซชันลดลง อย่างไรก็ตามรูปแบบของ X-ray diffraction แป้งก่อนและหลังการดัดแปรสภาพไม่เปลี่ยนแปลงโดยแป้งยังคงมีรูปแบบผลึกเป็น A-type ผลการวิเคราะห์ FT-IR spectra แสดงความแตกต่างของสเปกตรัมระหว่างแป้งก่อนและหลังการดัดแปรสภาพเล็กน้อย ผลการทดลองที่กล่าวมาในเบื้องต้นชี้ให้เห็นว่าองค์ประกอบภายในของแป้งมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้ง อย่างไรก็ตามคุณสมบัติต่างๆ ของแป้งสามารถดัดแปรได้โดยวิธีการต่างๆ เช่นวิธีทางเคมี แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงความปลอดภัยในอาหารมากขึ้น ดังนั้นการใช้สารเคมีเพื่อดัดแปรสภาพของแป้งจึงมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ สวนทางกับความต้องการแป้งดัดแปรสภาพที่มีคุณสมบัติหลากหลายที่มีความต้องการสูงขึ้นเรื่อยๆ

ที่ผ่านมาเรามีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับรากกระพังโหม แต่เป็นการวิจัยในด้านสรรพคุณทางยา และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเกือบทั้งหมด แม้ว่าความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นชี้ชัดว่ากระพังโหมมีสรรพคุณในการทำให้แป้งข้าวเหนียวมีความละเอียดนุ่มหยุ่นไม่คืนตัว และทำให้ขนมเกิดการพองตัว อย่างไรก็ตามยังพบงานวิจัยที่ศึกษาผลของกระพังโหมที่มีต่อแป้งน้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของรากกระพังโหมสายพันธุ์ *P. linearis* Hook. f. และผลของความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งต่ำและสูง รวมถึงผลของความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพ

1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของรากกระพังโหม

1.2.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งต่ำ และสูง

1.2.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

รากกระพังโหมมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6

1.4 ความสำคัญของงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของรากกระพังโหมเพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาและนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ต่อไป

1.4.2 ได้ข้อมูลที่ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบจากรากกระพังโหมและแป้งข้าวเหนียว

1.4.3 ช่วยอนุรักษ์กระพังโหมที่เป็นพืชในท้องถิ่นของไทย

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้รากกระพังโหมสายพันธุ์ *P. linearis* Hook. f. จากจังหวัดสกลนคร แป้งจากข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 จากจังหวัดสกลนคร

การเตรียมตัวอย่างโดยนำรากกระพังโหมมาทำความสะอาดโดยขูดผิวด้านนอกออกให้หมดเหลือเป็นรากสีขาวแล้วล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นยาวประมาณ 1 เซนติเมตรเพื่อให้ได้รากกระพังโหมแบบสด นำรากกระพังโหมแบบสดไปอบแห้งในเตาอบลมร้อนที่ 60°C จนกระทั่งมีความชื้นที่ $10 \pm 1\%$ เพื่อให้ได้รากกระพังโหมแบบแห้ง

การเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวทำได้โดยนำข้าวเหนียว กข6 บดโดยใช้เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer mill) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh แล้วบรรจุแป้งในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท และเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

ส่วนการทดลองแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง โดยมีรายละเอียดของตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองต่างๆ เป็นดังนี้

การทดลองที่ 1: การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม และการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6

การทดลองที่ 1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม

ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

1) ตัวแปรอิสระ

รากกระพังโหมจากตำบไลพองแพง อำเภออากาศอำนวย จังหวัตสกลนคร เก็บเกี้ยวใน
เดือนกรกฎาคม 2560

2) ตัวแปรตาม

2.1) คุณสมบัตินางเคมีของรากกระพังโหม

- (1) ปริมาณความขึ้น
- (2) ปริมาณเก้า
- (3) ปริมาณไขมัน
- (4) ปริมาณโปรตีน
- (5) ปริมาณคาร์โบไฮเตรต
- (6) ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ
- (7) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด
- (8) ปริมาณฟรักโทส กลูโคส ซูโครส มอลโทส และแลคโตส
- (9) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic contents)

2.2) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม

- (1) DPPH radical scavenging activity
- (2) ABTS radical scavenging activity
- (3) Ferric Reducing Ability Power (FRAP)

การทดลองที่ 1.2 การศึกษาคุณสมบัตินางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6

ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

1) ตัวแปรอิสระ

แป้งจากข้าวเหนียว กข6 จากตำบไลพองแพง อำเภออากาศอำนวย จังหวัตสกลนคร
เก็บเกี้ยวในฤดูนาปี 2559/2560

2) ตัวแปรตาม

- (1) ปริมาณความขึ้น
- (2) ปริมาณเก้า
- (3) ปริมาณไขมัน
- (4) ปริมาณโปรตีน
- (5) ปริมาณคาร์โบไฮเตรต
- (4) ปริมาณอะมิโลส

การทดลองที่ 2: การศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ และสูง

การทดลองที่ 2.1 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ

ศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ความเข้มข้น 10% เมื่ออยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ และน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

- 1) ตัวแปรอิสระ
ความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหม
- 2) ตัวแปรตาม
 - (1) การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties)
 - (2) ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเปียกข้าวเหนียว กข6
 - (3) ค่าสี (L^* a^* b^* Chroma และ Hue angle) ของแป้งเปียกข้าวเหนียว กข6

การทดลองที่ 2.2 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวสูง

ศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ความเข้มข้น 50% ซึ่งอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

- 1) ตัวแปรอิสระ
ความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหม
- 2) ตัวแปรตาม
 - (1) ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) ของข้าวเกรียบ
 - (2) ปริมาตรการพองตัว (%) (% Volume expansion) ของข้าวเกรียบ
 - (3) ค่าสี (L^* a^* b^* Chroma และ Hue angle) ของข้าวเกรียบ
 - (4) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture properties) ของข้าวเกรียบ

การทดลองที่ 3: การศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพ โดยวิธีการ Annealing

ผลิตแป้งข้าวเหนียว กข6 ดัดแปรสภาพเมื่อนำน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นตัวกลาง ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

- 1) ตัวแปรอิสระ
ความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหม
- 2) ตัวแปรตาม

(1) ค่าสี (L^* a^* b^* Chroma และ Hue angle) ของแป้งข้าวเหนียว กข6 หลังผ่านการตัดแปรสภาพ

(2) การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties)

(3) ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเปียกข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ

(4) ค่าสี (L^* a^* b^* Chroma และ Hue angle) ของแป้งเปียกข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ

(5) ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของเม็ดแป้ง

(6) โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้ง

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 แป้งตัดแปรสภาพ (Modified starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งมาเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

1.6.2 กระพังกะพ้อม (สายพันธุ์ *P. linearis* Hook. f.) หรือเครือตดหมา เป็นไม้เลื้อยขนาดเล็ก มีรากสะสมอาหารใต้ดินอวบน้ำ เมื่อขยี้ใบจะมีกลิ่นเหม็นเขียว ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด พบได้ทั่วไปในทุกภูมิภาคของประเทศไทย (ศูนย์ศึกษาและพัฒนาวนศาสตร์ชุมชนที่ 15, 2552)



บทที่ 2

ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 กระพังโหม

กระพังโหมเป็นพืชที่พบทั่วไปในประเทศไทย โดยในแต่ละภูมิภาคจะมีชื่อเรียกที่พ้องกันแต่มีสายพันธุ์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น เครือตดหมา (*Paederia linearis* Hook. f.) หล้าตดหมา (*Paederia pilifera* Hook. f.) และพาโหม (*Paederia foetida* Linn.) เป็นต้น ทั้งหมดล้วนอยู่ในวงศ์เดียวกันคือ RUBIACEAE ซึ่งแต่ละสายพันธุ์จะมีลักษณะใกล้เคียงกันแต่มีขนาดและรูปร่างของใบแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 1 ต้นและรากกระพังโหม (*Paederia linearis* Hook. f.)

ที่มา: ศูนย์ศึกษาและพัฒนานวนศาสตร์ชุมชนที่ 15 (2552)

ลำต้นของกระพังโหมมีขนาดเล็กเลื้อยไปตามพื้นดินหรือพันต้นไม้อื่น ลำต้นมียางสีขาว มีรากสะสมอาหารใต้ดินอวบน้ำสีขาว ใบบนเกาะติดแบบตรงข้ามสลับตั้งฉาก มีเป็นแถบปลายแหลมถึงเรียวแหลม โคนมน มีขนาดประมาณ 0.5 x 4 เซนติเมตร ถึง 1.2 x 11.5 เซนติเมตร ก้านใบสั้น มีขนสั้นๆ นุ่มทั้งด้านหน้าและด้านหลังใบ เมื่อขยี้จะมีกลิ่นเหม็นเขียว ออกดอกเป็นช่อกระจุกที่ซอกใบบริเวณปลายยอด ดอกย่อยมีรูปทรงแบบหลอด หลอดด้านนอกสีขาว ด้านในสีม่วง ส่วนปลายแยกเป็นกลีบสั้นๆ มี 5 กลีบ เกสรตัวผู้มี 5 อัน เกสรตัวเมีย 1 อัน อยู่ตรงกลาง ก้านเกสรตัวผู้จะมีความยาว และมีขนกระจายที่โคน ส่วนรังไข่จะมีขนเกลี้ยง ส่วนของผลเป็นฝักยาวสีเขียวยาวประมาณ 4-7 เซนติเมตร กว้าง 1.6 เซนติเมตร ผลแห้งมีลักษณะกลม หรือรูปไข่มีประมาณ 4 กลีบ เปลือกคล้ายกระดาษ ผิวเกลี้ยง ส่วนเมล็ดจะมี 4 เมล็ด หรืออาจมีน้อยกว่านี้ เมล็ดจะเป็นสีดำหรือสีเทา (ศูนย์ศึกษาและพัฒนานวนศาสตร์ชุมชนที่ 15, 2552)

การใช้ประโยชน์ทางอาหาร: การปรุงอาหารคนโบราณใช้น้ำคั้นจากเถาและใบของกระพังโหมมาผสมปรุงเป็นขนม ชาวอีสานรับประทานร่วมกับลาบก้อยยอดอ่อนและใบอ่อนรับประทานเป็นผักสด ต้มหรือลวกรับประทานเป็นผักกับน้ำพริก

ราก ปอกเปลือกแช่น้ำแล้วกรองเอาน้ำมาผสมกับอาหารที่จะทำ เช่น ถ้าทำขนมเทียนก็นำน้ำที่แช่มาวดกับแป้งทำให้เนื้อแป้งนุ่มและมีกลิ่นหอม ถ้าทำข้าวเหนียว (ข้าวโป่ง) ก็นำน้ำที่แช่ไปตำกับข้าวเหนียวหนึ่ง เป็นต้น

ดอก มีการรับประทานสด เป็นผักในบางท้องที่แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก

ฤดูกาลใช้ประโยชน์: ตลอดปี

การเก็บรักษา: รากของกระพังโหมหากต้องการเก็บไว้ใช้นานควรนำไปตากแห้ง แล้วเก็บไว้ในตู้เย็น เมื่อนำมาใช้ให้นำไปแช่น้ำจะใช้ได้ตามปกติ และจะมีกลิ่นดังเดิม

2.2 ข้าว

ข้าว (Rice) เป็นอาหารหลักของคนในทวีปเอเชียโดยเฉพาะในประเทศไทย ข้าวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยววงศ์หญ้า (Family: POACEAE หรือ GRAMMINEAE) เรียกว่าธัญชาติสกุลออริซา (Genus: *Oryza*) เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ดังนั้นจึงมีหลายประเทศทั่วโลกที่สามารถปลูกข้าวได้ (สงกรานต์ จิตรากร, 2544)

2.2.1 การแบ่งประเภทของข้าว

2.2.1.1 แบ่งเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

1) ข้าวเจ้า (Nonwaxy rice) สตาร์ชจากข้าวเจ้าประกอบด้วยอะมิโลส (Amylose) ประมาณ 9–33% พันธุ์ข้าวเจ้า ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 60 กข7 เหลืองประทิว 123 ขาวตาแห้ง 17 พัทลุง 60 สุพรรณบุรี 1 สุรินทร์ 1

2) ข้าวเหนียว (Glutinous rice) สตาร์ชจากข้าวเหนียวประกอบด้วยอะมิโลเพกทิน (Amylopectin) เป็นส่วนใหญ่และมีอะมิโลสเพียงเล็กน้อย ประมาณ 5–7% เท่านั้น พันธุ์ข้าวเหนียว ได้แก่ สันป่าตอง 1 สกลนคร กข2 กข6 กข8 (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2558b)

2.2.1.2 แบ่งตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ดข้าวสาร (ปริมาณ Amylose)

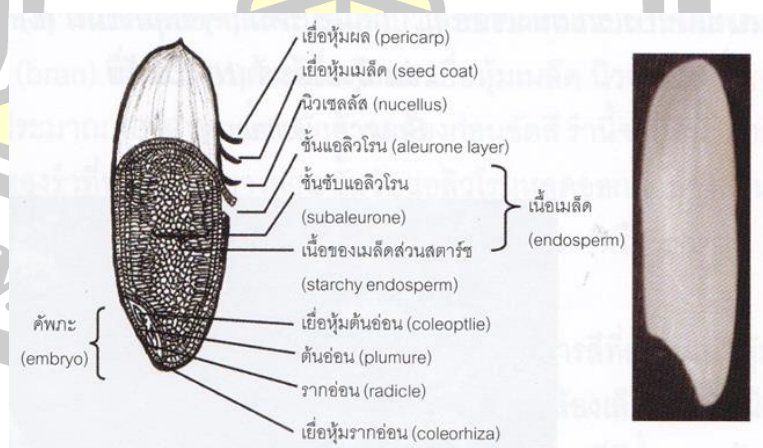
1) ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (9–20%) ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข15 ปทุมธานี 1 และ กข 21 ลักษณะข้าวสุกจะเหนียวและนุ่ม

2) ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง (20-25%) ได้แก่ กข23 กข7 สุพรรณบุรี 2 และ สุพรรณบุรี 60 ลักษณะข้าวสุกค่อนข้างเหนียวและนุ่ม

3) ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (25–33%) ได้แก่ เหลืองประทิว 123 ชัยนาท 1 และ สุพรรณบุรี 90 ลักษณะข้าวสุกร่วนและแข็ง (พิมพ์พิชญ์ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์, 2558b)

2.2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวหรือผล เรียกว่า แกลบ (Hull หรือ Husk) และส่วนเนื้อผล หรือผลแท้ (True fruit หรือ Caryopsis grain) หรือข้าวกล้อง (Caryopsis หรือ Brown rice) แกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (Lemma) เปลือกเล็ก (Palea) ประกบกันโดยแกลบจะถูกรักษา จัดออกระหว่างการสีข้าว (ชาญ มงคล, 2536) ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วย ขนหาง (Awn) ข้าวเมล็ด (Rachilla) และกลีบรองเมล็ด (Sterile lemmas) ซึ่งเชื่อมต่อกับก้าน (Pedicel) ส่วนเนื้อผลหรือข้าวกล้อง (ภาพประกอบ 2) มีส่วนประกอบเรียงลำดับจากชั้นนอกถึงชั้นใน ดังนี้ คือเยื่อหุ้มผล (Pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) นิวเซลลัส (Nucellus) เยื่อหุ้มชั้นใน (Aleurone layer) เอนโดสเปิร์ม (Endosperm) หรือส่วนของข้าวสาร ในส่วนนี้ประกอบด้วย เยื่อชั้นในสุด (Subaleurone) และส่วนของเนื้อสตาร์ช (Starchy endosperm) ซึ่งมีมากที่สุด ในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80% ของเมล็ดทั้งหมด) ซึ่งประกอบด้วยเม็ดสตาร์ชมีลักษณะห้าเหลี่ยมขนาดประมาณ 2–10 ไมครอนจับเป็นกลุ่มแน่น ส่วนโปรตีนมีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาด 1–4 ไมครอน แทรกอยู่กับเม็ดสตาร์ชที่กระจายตัวอย่างอิสระโดยมีเม็ดไขมันอยู่ใกล้ๆ แต่มีในปริมาณน้อยกว่าโปรตีน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556)



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล (2556)

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

2.2.3.1 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในข้าวซึ่งมีสตาร์ชเป็นหลัก และสตาร์ชนี้ประกอบไปด้วยอะมิโลสและอะมิโลเพกติน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว ทำให้ข้าวมีลักษณะในการหุงต้มและคุณภาพในการกินต่างกันออกไป ตลอดจนมีผลต่อคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากเป็นแหล่งสะสมพลังงาน (Henry & Kettlewell, 1996)

1) สตาร์ช จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ที่พบมากที่สุดเนื้อเมล็ดของข้าวประมาณ 90% จึงมีผลต่อคุณภาพของข้าวมากที่สุด โดยโมเลกุลของสตาร์ชรวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ช (Starch granule) ซึ่งมีขนาดประมาณ 3–5 ไมครอน และมีรูปร่างลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายเหลี่ยม รวมกันเป็นกลุ่มภายในอะมิโลพลาสต์ (Amyloplast) จำนวน 20–60 เม็ดสตาร์ชมีลักษณะกลมหรือรี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7–39 ไมโครเมตร และระหว่างเม็ดสตาร์ชจะมีกลุ่มโปรตีนแทรกอยู่เห็นเป็นร่องเม็ดสตาร์ช (Champagne, 1996) ซึ่งสตาร์ชจากข้าวเจ้าและข้าวเหนียวจะมีคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538) โครงสร้างทางเคมีของสตาร์ชประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวขนาดใหญ่ ซึ่งโดยส่วนใหญ่โครงสร้างของสตาร์ชประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิดเป็นหลัก คือ อะมิโลส และอะมิโลเพกติน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

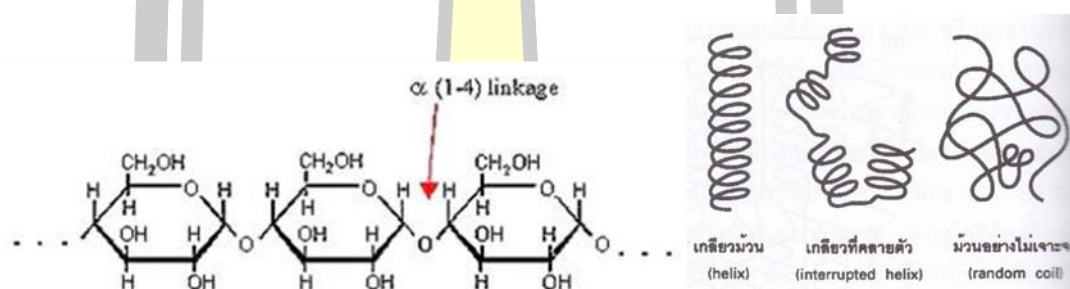
คุณสมบัติ	สตาร์ชข้าวเจ้า	สตาร์ชข้าวเหนียว
อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล (°C)	58-79	58-78.5
ขนาดเม็ดสตาร์ช (ไมโครเมตร)	1.6-8.7	1.9-8.1
ความหนาแน่น (แทนที่โดยไลซีน) (กรัม/มิลลิกรัม)	1.49-1.51	1.48-1.50
ความสามารถในการจับไอโอดีน (%)	2.36-6.96	0.15-0.86
โปรตีนที่เหลืออยู่ (น้ำหนักแห้ง%)	0.02-0.12	0.01-1.64

ที่มา: Juliano (1985)

2) อะมิโลส เป็นพอลิเมอร์สายตรงของ α -D-กลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 กลูโคสิดิกอะมิโลสสามารถถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ α -อะไมเลส, β -อะไมเลสและกลูโคอะไมเลส ปัจจุบันพบว่าอะมิโลสไม่ใช่พอลิเมอร์สายตรง 100% แต่มีสายกิ่งที่ยาวจับกับสายโซ่หลักด้วยพันธะ α -1, 6 กลูโคสิดิกแต่จะพบสายกิ่งไม่มาก มีรายงานว่าอยู่ในช่วง 9–20 กิ่งต่อโมเลกุล แต่ละกิ่งมีน้ำตาล D-กลูโคส 4 ถึงมากกว่า 100 AGU (หน่วยแอนไฮโดรกลูโคส) (Hizukuri et al., 1981) ขนาด

โมเลกุลของอะมิโลสอาจจะมีจำนวนน้ำตาลกลูโคสหรือระดับการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) 1,000–6,000 AGU ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งของอะมิโลส เช่น สตาร์ชข้าวสาลีจะมี DP ในช่วง 1,000-2,000 เป็นต้น

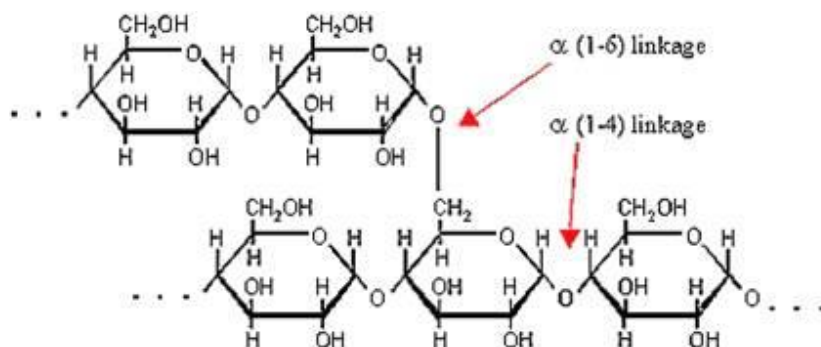
เนื่องจากอะมิโลสมีสายโมเลกุลที่ยาวดังนั้นเมื่ออยู่ในสารละลาย อะมิโลสจะอยู่ในรูปแบบเกลียว (ฮีลิกซ์) ที่สามารถจับกับไอโอดีน โดยไอโอดีนอยู่ในรูปโพลีไอโอดด์ (I₃- หรือ I₅-) จะเข้าไปอยู่ภายในของเกลียวจึงทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับไอโอดีนที่มีสีน้ำเงิน (ค่า λ_{\max} ประมาณ 640 nm) นอกจากนี้เมื่ออะมิโลสอยู่สารละลายจะมีแวนเดอร์วาลส์ที่โมเลกุล จะรวมกลุ่มระหว่างสายโซ่เกิดโมเลกุลเกลียวคู่ โมเลกุลเหล่านี้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นส่งผลให้อะมิโลสเกิดการรีโทรเกรด (Retrograde) ได้เจลหรือตะกอนที่ไม่ละลายน้ำเกิดขึ้น (ในกรณีหลังจะเกิดขึ้นเมื่ออะมิโลสมีระดับความเข้มข้นต่ำเช่น 1%)



ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของอะมิโลส

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2546), Whiseler and Daniel (1984)

3) อะมิโลเพกติน เป็นโมเลกุลของสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่กว่าอะมิโลสหลายเท่าและมีกิ่งมากประกอบขึ้นด้วยกลูโคสที่เชื่อมต่อกันเป็นสายตรงด้วยพันธะ α -1, 4 กลูโคสิดิกและมีสายกิ่งมากมายที่จับกับน้ำตาลในสายตรงด้วยพันธะ α -1, 6 กลูโคสิดิก ปริมาณสายกิ่งในอะมิโลเพกตินมีประมาณ 4–5% อะมิโลเพกตินมีระดับการเกิดพอลิเมอร์ DP 10^4 – 10^5 ต่อโมเลกุล มีน้ำหนักโมเลกุล 107–108 ดาลตัน ถึงแม้จะมีฮีลิกซ์ในสายกิ่งแต่จะสั้นกว่าของอะมิโลส ดังนั้นอะมิโลเพกตินเมื่อย้อมด้วยสารละลายไอโอดีน (สารละลาย I₂/KI) จะให้สีม่วงแดง (ค่า λ_{\max} ประมาณ 540 nm) เมื่ออะมิโลเพกตินอยู่ในสารละลายในภาวะเป็นกลางจะไม่เกิดการรีโทรเกรด โมเลกุลจะเสถียรหรือคงตัวเพราะการมีกิ่งก้านมากทำให้ไม่สามารถรวมตัวกันได้ง่ายเหมือนอะมิโลส (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ภาพประกอบ 4 โครงสร้างของอะมิโลเพคติน

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2546)

2.2.3.2 โปรตีน (Protein)

ในข้าวมีโปรตีนอยู่ประมาณ 6–14% ของน้ำหนักข้าวสาร ปริมาณโปรตีนของข้าวสารคำนวณจาก การวิเคราะห์วิธีเจลดาลท์ (Kjeldahl nitrogen) ข้าวแต่ละชนิดจะมีปริมาณโปรตีนมากน้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว โปรตีนในข้าวอยู่กันเป็นกลุ่มเรียกว่า Protein body แทรกอยู่ระหว่าง Starch compound มีขนาด 1–4 ไมครอน และจะหนาแน่นตามบริเวณขอบมากกว่าส่วนตรงกลาง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

โปรตีนอาจจะแบ่งตามลักษณะการละลายได้ 4 ชนิด

- 1) แอลบูมิน (Albumin-water soluble protein)
- 2) โกลบูลิน (Globulin-salt soluble protein)
- 3) โปรลามิน (Prolamin-Alcohol soluble protein)
- 4) กลูเตลิน (Glutelin-Diluted acid or alkali soluble protein)

ข้าวสารมีกลูเตลินอยู่ประมาณ 80% ของโปรตีนทั้งหมด โกลบูลิน 10% แอลบูมิน 5% และโปรลามินไม่เกิน 5% กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนมีไลซีน (Lysine) ประมาณ 4 g/16.8 gN ซึ่งนับเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดีกว่าโปรตีนจากเมล็ดธัญพืชชนิดอื่น โปรตีนในเมล็ดข้าวมีส่วนทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวสูง ความนุ่ม ความเหนียวและความเลื่อมมันลดลงด้วย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538)

2.2.3.3 ไขมัน (Fat)

ไขมันในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่อยู่ตามแถบบริเวณเยื่อออลูโรน และคัพภะ ซึ่งถูกขัดออกมาเมื่อผ่านกระบวนการขัดสีข้าว ไขมันของข้าวประมาณ 80% อยู่ในส่วนที่เป็นรำและไขมันจากทุกส่วนของเมล็ดข้าวจะมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน ไม่ว่าจะสกัดจากเมล็ดข้าวเหนียวหรือเมล็ดข้าว

เจ้า กรดไขมันส่วนใหญ่เป็น Oleic, Linoleic และ Palmitic อัตราส่วนของ Oleic และ Linoleic เป็น 1:1 (Juliano, 1995)

นอกจากนี้ในไขมันของข้าวสารยังมีสาร Antioxidant อยู่คือ Oryzanol และ Tocopherols สารนี้จะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาเติมออกซิเจน (Oxidation) ทำให้ไขมันคงอยู่ได้นานโดยไม่หืน แต่อย่างไรก็ตามแป้งข้าวเจ้าที่ดีควรมีปริมาณไขมันอยู่เพียงเล็กน้อย เนื่องจากถ้ามีปริมาณไขมันอยู่มากก็อาจเกิดปัญหาต่อคุณภาพแป้งในแง่การเกิดการหืน (Rancidity) ได้เช่นกัน เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารที่ได้จะมีคุณภาพด้อยลงและแปงเก็บไว้ไม่ได้นาน

2.2.3.4 ปริมาณเส้นใย (Crude fiber)

ปริมาณเส้นใยในข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวหนึ่ง เป็น 0.9, 0.3 และ 0.2% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์แต่ละส่วนของข้าว (โปรตีนสูง) ที่ขัดสีในท้องปฏิบัติการ และข้าวที่ขายในท้องตลาด พบปริมาณเส้นใยตั้งแต่ 1.5–3% (Juliano, 1995)

2.2.3.5 แร่ธาตุ (Mineral)

แร่ธาตุต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่ตามบริเวณผิวนอกของเมล็ดและจะแตกต่างกันไปตามความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ปลูก จากรายงานค่าของเถ้าจากข้าวสาร 239 ตัวอย่าง มีค่าตั้งแต่ 0.26% ถึง 1.95% (Dry basis) เฉลี่ย 0.69, 0.64 และ 0.61% สำหรับข้าวเมล็ดยาว ปานกลาง และสั้นตามลำดับ

ในข้าวมีฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโพแทสเซียม อยู่พอสมควรและมีธาตุแคลเซียม คลอรีน ซิลิกอน โซเดียม และเหล็กอยู่เล็กน้อย ในข้าวกล้องและข้าวสารมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมยังไม่เพียงพอับความต้องการของร่างกาย ธาตุฟอสฟอรัสที่มีอยู่แล้ว แม้จะมีปริมาณสูงแต่อยู่ในรูปที่ร่างกายนำไปใช้ได้ไม่หมด เพราะเป็น Phytin phosphoras สูงถึง 55%

การวิเคราะห์หาแร่ธาตุในอาหารอาจต้องใช้เถ้าเป็นตัวแทนในการเผาอาหารที่อุณหภูมิ 500°C สารอินทรีย์จะถูกเผาให้กลายเป็นแก๊ส ส่วนที่เหลือเรียกว่า “เถ้า” ซึ่งเป็นตัวแทนของอนินทรีย์สารแต่ไม่ได้เป็นตัวแทนของอนินทรีย์สารอย่างแท้จริง เนื่องจากมีแร่ธาตุบางอย่าง เช่น โซเดียม โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส ได้สูญเสียไประหว่างการเผา และยังมีแร่ธาตุบางอย่างมาจากอนินทรีย์สาร เช่น กำมะถันและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน

ในแป้ง ถ้ามีการปะปนของอนินทรีย์สารอื่นๆ ก็จะทำให้ปริมาณเถ้าสูงด้วย ดังนั้นปริมาณเถ้าในแป้งจะบอกให้ทราบถึงคุณภาพแป้งว่ามีความบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ปริมาณเถ้ายังมีผลต่อประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในความระคายต่อลิ้นเวลารับประทาน ทั้งยังมีผลต่อปริมาตรของผลิตภัณฑ์ขนมอีกด้วย (Juliano, 1995)

2.2.3.6 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ข้าวควรมีความชื้นประมาณ 14% ถ้าความชื้นน้อยกว่านี้จะเป็นผลให้สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น ในแป้งยังมีผลต่อคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย การที่แป้งมีความชื้นสูงเป็นผลทำให้ Starch granule ดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น แป้งจะมีลักษณะเป็นก้อน ไม่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเมื่อนำไปกระจายตัวในน้ำเป็นผลให้ เมื่อนำแป้งไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดี เนื้อสัมผัส (Texture) ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในการนำแป้งไปใช้ประกอบอาหารนิยมทำให้ความชื้นในแป้งลดลงก่อน โดยนำไปตากแดดหรืออบด้วยความร้อนต่ำ ประมาณ 45–60°C ก่อนนำมาร้อนให้แป้งกระจายตัว (ชาญ มงคล, 2536)

2.3 แป้งและคุณสมบัติของแป้ง

2.3.1 แป้ง

แป้งจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตจำพวกพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบในพืช สะสมอยู่ในเมล็ด ราก หัว ลำต้น และใบของพืช เช่น ข้าว มัน เผือก กลวย เป็นต้น ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด ได้แก่ อะมิโลสและอะมิโลเพคติน ต่อกันเป็นจำนวนมากมีโครงสร้างเป็นทั้งแบบสายยาวและกิ่งก้านสาขา เมื่อแป้งถูกความร้อนจะกลายเป็นเด็คซ์ทรินซึ่งเป็นสารที่มีรสหวานเล็กน้อยและมีสมบัติเหนียวแบบกาว (จริยาภรณ์ มากล้ำ และภรณ์นิมิตวดี พร้อมมิตร, 2557) เมื่อแป้งถูกย่อยถึงขั้นสุดท้ายจะได้น้ำตาลกลูโคส (พัชรินทร์ ก้อนมณี, 2560) แป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วย พื้นฐานเป็น Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี Anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลาย ที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง Reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะมิโลส ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อยและอะมิโลเพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามากมาย (ศิริจรรยา กันภัย, 2560)

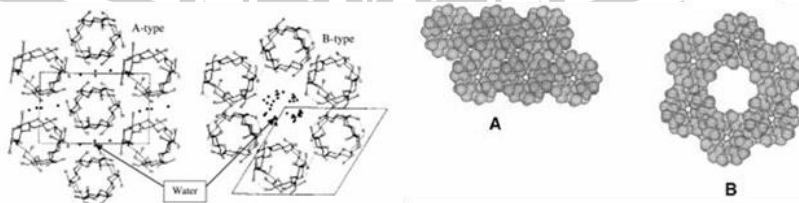
2.3.1.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาด 1–100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้นๆ เม็ดแป้งประกอบด้วยวงแหวน เรียกว่า Growth ring ซึ่งสังเกตได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์หรือ Scanning Electron Microscopy เม็ดแป้งที่เปียกและสดจะสังเกตเห็น

Growth ring ได้ง่าย เม็ดแป้งขนาดใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งต้นพุทธรักษาที่ผ่านการแช่น้ำ จะสังเกตเห็น Growth ring ได้ชัดเจน ในแป้งที่แห้งจะไม่พบ Growth ring สำหรับเม็ดแป้งขนาดเล็ก เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์ และแป้งข้าวเจ้าจะสังเกตเห็นได้ยากจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อนำแป้งผ่าน ปฏิกิริยาเคมีหรือย่อยด้วยเอนไซม์และศึกษาด้วย SEM (ศิริรจนา กันภัย, 2560)

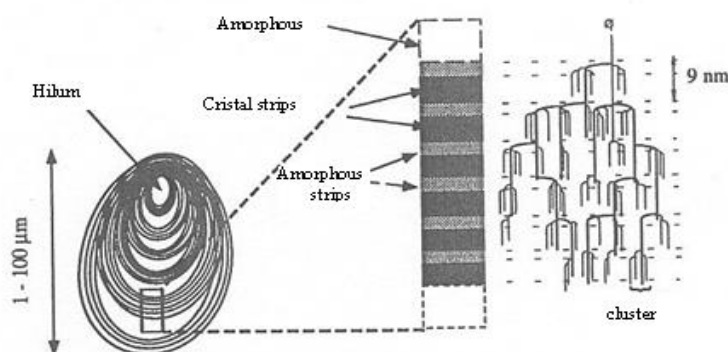
2.3.1.2 โครงสร้างของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยลักษณะความเป็นผลึกเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โกลิวโคสของอะมิโลเพคตินในแนวรัศมีเป็นชั้นๆ ในรูปของคลัสเตอร์ (Series of stacked amylopectin clusters) ซึ่งในแต่ละคลัสเตอร์ประกอบด้วยบริเวณที่เป็นส่วนรวมของจุดที่แตกกิ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเรียกว่า Amorphous lamellar และบริเวณที่มีสายโซ่โกลิวโคสของอะมิโลเพคตินที่จัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ที่มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบเรียกบริเวณส่วนนี้ว่า Crystalline lamellar เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (A-type) ซึ่งมีอะมิโลเพคตินที่มีความยาวของโซ่ประมาณ 23–29 หน่วยกลูโคส เป็นแป้งจากพืชต่างๆ เช่น ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (B-type) ซึ่งมีอะมิโลเพคตินที่มีความยาวของโซ่ประมาณ 30–44 หน่วยกลูโคส เป็นแป้งจากพืชหัวเช่น มันฝรั่งดิบ และกล้วย เป็นต้น ดังภาพประกอบ 5 ถ้ามีการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (C-type) ซึ่งมีอะมิโลเพคตินที่มีความยาวของโซ่ประมาณ 26–29 หน่วยกลูโคส เป็นแป้งจากพืชตระกูลถั่ว นอกจากนี้ยังมีสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับโกลิวโคสของสารอินทรีย์ที่มีชื่อว่ารูปแบบผลึกเป็นแบบ V (V-type) จะพบในสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสมากกว่าหรือเท่ากับ 40% เช่น ในสตาร์ชข้าวโพดที่มีการดัดแปลงพันธุกรรม (Jacobs & Delcours, 1998)



ภาพประกอบ 5 โครงสร้างทางผลึกชนิด A และ B

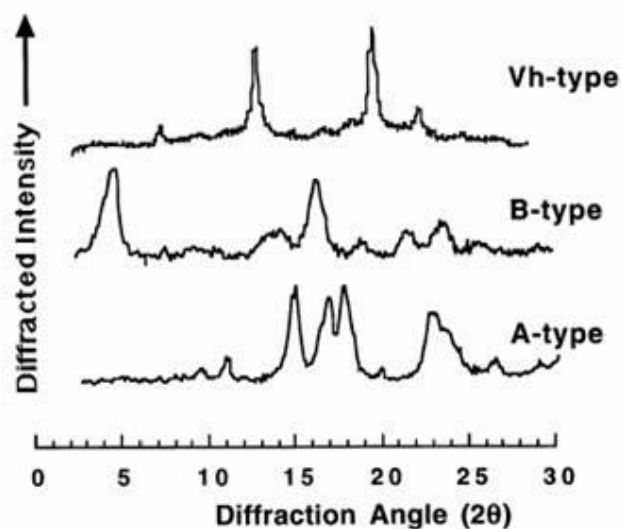
ที่มา: Tester et al. (2004)



ภาพประกอบ 6 ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งผลึกของเม็ดสตาร์ช

ที่มา: Jacobs and Delcour (1998)

โครงสร้างของผลึกที่ต่างกันทำให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชได้โดยใช้เทคนิควิธีเอกซ์-เรย์ดิฟแฟรคชั่น (X-ray diffraction, XRD) แบ่งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันให้รูปแบบของ X-ray diffraction pattern ต่างกัน ดังภาพประกอบ 7 แบ่งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A-type ให้พีคคู่ที่มุมหักเห (Diffraction angle) หรือที่ 2θ ที่ 17° และ 18° และพีคเดี่ยวที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 23° แต่ไม่มีพีคที่ 5.6° แบ่งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า แบ่งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B-type ให้พีคที่ตำแหน่ง 2θ ที่ 5.6° และ 17° แต่ไม่มีพีคที่ 18° และมีพีคคู่ (double peak) ที่ 22° และ 24° ซึ่งได้แก่ แบ่งจากพืชหัวและแบ่งที่มีอะมิโลสสูง เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น แบ่งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ C-type ให้ลักษณะร่วมกันระหว่างผลึกแบบ A-type และ B-type นั่นคือ ให้พีคที่ตำแหน่ง 2θ ที่ 5.6° และ 17.9° ตัวอย่างเช่น แบ่งจากพืชตระกูลถั่ว ราก ลำต้นและแบ่งผลไม้บางชนิด แบ่งบางชนิดอาจให้ลักษณะของผลึกได้มากกว่า 1 ชนิด เช่น แบ่งมันสำปะหลังซึ่งสามารถตรวจพบลักษณะผลึกทั้งแบบ A-type และ C-type โครงสร้างผลึกของเม็ดแบ่งดิบในธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับวิธีการปฏิบัติ (Treatment) ต่อเม็ดแบ่ง เช่น แบ่งมันฝรั่งชั้นที่ถูกบ่มไว้นานที่อุณหภูมิสูง (110°C , 30 นาที: heat moisture treatment) มีชนิดของผลึกเปลี่ยนจากเดิมที่เป็นชนิด B-type ไปเป็นชนิด A-type (Kawabata et al., 1994) ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแบ่งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2 (ศิริจนา กันภัย, 2560)



ภาพประกอบ 7 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน

ที่มา: Buleon et al. (1998)

ตารางที่ 2 ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดแป้ง	ความเป็นผลึก (%)	อุณหภูมิการเกิดเจลละตินในเซชัน (°C)	ปริมาณอะมิโลส (%)
<i>โครงสร้าง A</i>			
ข้าวโอ๊ต	33	60.7	23
ข้าวสาลี	36	63.5	23
ข้าวเหนียว	37	64.5	-
ข้าวฟ่าง	37	72.2	25
ข้าวเจ้า	38	70.0	17
ข้าวโพด	40	71.3	27
<i>โครงสร้าง B</i>			
Amylomaize	15 – 22	86.0	55 – 75
สาคุ	26	70.5	28
มันฝรั่ง	28	67.3	22
<i>โครงสร้าง C</i>			
มันเทศ	38	70.0	20
มันสำปะหลัง	38	66.0	18

ที่มา: Oates (1997)

2.3.2 คุณสมบัติของแป้ง

2.3.2.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงไปแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศจนเกิดสมดุลระหว่างเม็ดแป้งและความชื้นในบรรยากาศปริมาณน้ำที่ดูดซึมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายในบรรยากาศปกติจะมีความชื้นอยู่ที่ 10–17% น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือน้ำในผลึก น้ำในรูป Bound water น้ำอิสระ (Free water) โดยมีการจับกันกับแป้งแน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8–10% สามารถจับกับน้ำได้มากกว่าแป้งที่มีความชื้นมากกว่านี้ เนื่องจากการจับกับน้ำของหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้งจะได้สตาร์ชโมโนไฮเดรต ($C_6H_{10}O_5H_2O$)_n

น้ำและของเหลวอื่นสามารถแทรกเข้าไปในร่างแหของไมเซลล์ในเม็ดแป้งได้อย่างอิสระ ทดสอบได้จากการแขวนลอยของเม็ดแป้งในสารละลายเจือจางจะเกิดสีขึ้นในเม็ดแป้งเมื่อใส่โซเดียมไธโอซัลไฟต์ (Sodium thiosulfate) ลงไป พบว่าสีจะหายไปอย่างรวดเร็ว เมื่อนำมาส่งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าเม็ดแป้งประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากซึ่งทำหน้าที่เป็น Molecular sieve รูพรุนเหล่านี้อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแป้งหรืออาจจะอยู่แล้วในแป้งธรรมชาติแต่มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นในขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแป้ง

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตินซ์เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันหรือ Water bridges ต่อเมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิเจลลิตินซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายโมเลกุลของแป้งจะเข้ามาจับกันหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการ Birefringence จะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อความพองตัวและความสามารถในการละลายคือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง ลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้งและการตัดแปลงแป้งทางเคมี รูปแบบการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบที่แตกต่างกัน

เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้งเม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวและบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของเม็ดแป้งจะแสดงออกมาเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน

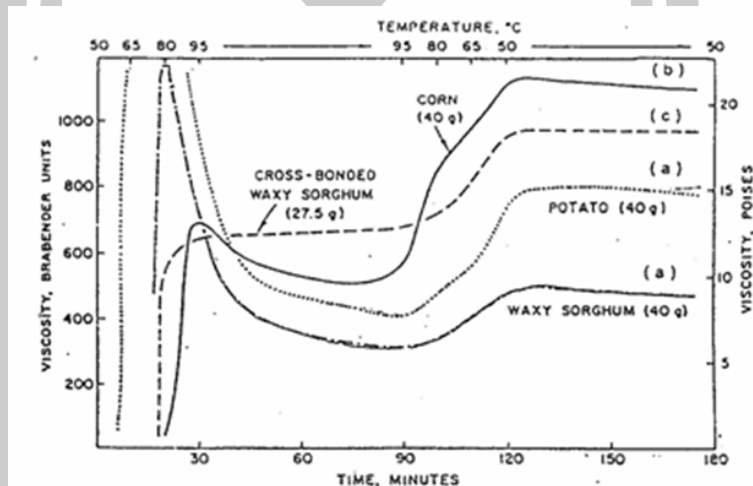
2.3.2.2 ความหนืด

1) ปัจจัยการเกิดความหนืด

ความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้งและการตัดแปรสภาพแป้งด้วยวิธีต่างๆ

(1) ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติความหนืดแตกต่างกัน สามารถแบ่งรูปแบบของแป้งสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamyograph ตามกำลังการพองตัวของแป้งได้เป็น 4 ประเภท ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 รูปแบบความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ เมื่อแป้งตามกำลังการพองตัวที่มา: Leach (1995)

แบบ a: เม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูง (High-swelling starch) เช่น แป้งข้าวฟ่าง แป้งมัน แป้งธัญพืช

แบบ b: เม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (Moderate-swelling starch) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่างๆ

แบบ c: เม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวน้อย (Restricted-swelling starch) ได้แก่ แป้งจากถั่วต่างๆ และแป้งครอสลิงหรือครอสบอนด์ (Cross-bond)

แบบ d: เม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวน้อยมาก (Highly-restricted-swelling starch) ได้แก่ แป้งที่มีอะไมโลสสูง เช่น แป้ง Amyomaiz มีอะไมโลสถึง 50 - 80%

(2) การดัดแปรแป้ง

นอกจากปัจจัยทั้งสองที่กล่าวมาแล้วปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากความหนืดของแป้งเมื่อวิเคราะห์ลงในรายละเอียด คือขนาดของเม็ดแป้ง ขนาดของอะมิโลส ก็มีส่วนสำคัญต่อความหนืดกล่าวคือ ขนาดเม็ดแป้งที่ใหญ่ ย่อมมีกำลังในการพองตัวสูงและให้ความหนืดของ Peak viscosity สูง ปริมาณอะมิโลสสูงย่อมแสดงค่า Final viscosity สูงด้วยเช่นกัน สำหรับปัจจัยภายนอกคือ ถ้าการใช้ความร้อนสูงหรือมีการใช้แรงกลมาก จะทำให้เม็ดแป้งแตกและความหนืดลดลง (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

โดยทั่วไปแล้วแป้งจะมีคุณสมบัติบางอย่างที่ไม่เหมาะกับการใช้ในอุตสาหกรรม เช่น มีช่วงความหนืดแคบ ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี ทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือสภาวะต่างๆ ต่ำ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำและสิ้นเปลือง ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติของแป้งเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

สามารถแบ่งกลุ่มแป้งดัดแปรสภาพตาม BeMiller (1997) ได้ดังนี้

(2.1) การดัดแปรทางเคมี (Chemical modification)

(2.1.1) การเกิดอนุพันธ์ (Derivatization) การแทนที่โมโนเลกุลเดี่ยวของแป้ง หรือการแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่

(2.1.2) การลดขนาดโมเลกุลแป้งโดยกรด (Acid thinning)

(2.1.3) เดกซ์ทรีไนเซชัน (Dextrinization) เป็นการลดขนาดหรือเปลี่ยนการยึดเกาะด้วยความร้อน หรือความร้อนกับกรด

(2.1.4) ออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดโมเลกุลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

(2.1.5) การย่อยสลาย (Hydrolysis) ใช้น้ำย่อยหรือกรด เพื่อให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก

(2.2) การดัดแปรทางกายภาพ (Physical modification)

(2.2.1) เจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ให้ความร้อนแป้งจนผ่านการเจลาติไนเซชันแล้วทำให้แห้งทันที

(2.2.2) แป้งละลายน้ำเย็น (Granular-Cold-Water-Soluble-Starch: GCWSS) การแปรรูปจนได้แป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น

(2.2.3) การลดขนาดเม็ดแป้งโดยทางกล จะได้เม็ดแป้งขนาดเล็กกว่าปกติ

(2.2.4) Annealing การให้ความร้อนขณะที่แป้งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเจลาติไนเซชัน

(2.2.5) การแปรรูปด้วยความร้อนชื้น (Heat moisture treatment) การให้ความร้อนสูงกว่าจุดเจลาติไนเซชันขณะที่แป้งมีความชื้น

(2.3) การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnological modification)

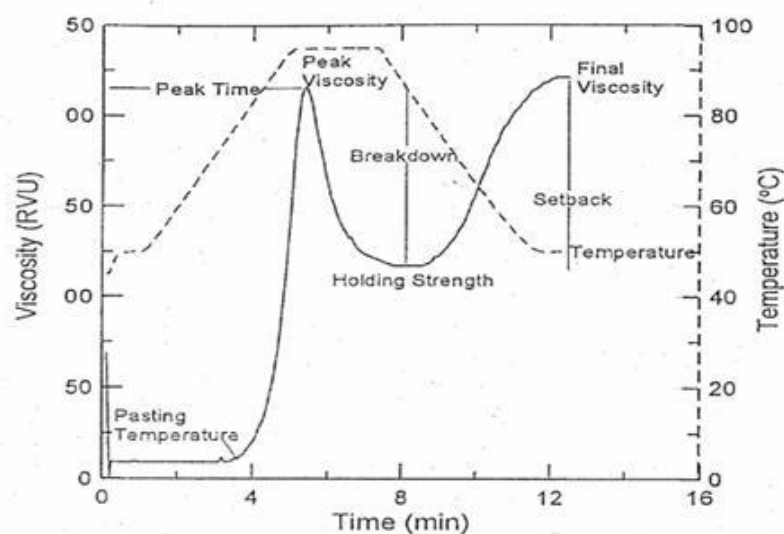
การเปลี่ยนคุณสมบัติแป้งโดยการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

(2.3.1) Waxy starch คือแป้งที่มีอะมิโลสต่ำหรือไม่มีเลย

(2.3.2) High-amylose starch คือแป้งที่มีอะมิโลสสูง

2) วิธีการวัดความหนืด

Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จะต้องพิจารณาความหนืดขณะให้ความร้อน คุณสมบัติพิเศษ คือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อนและเย็นลงได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้จึงทำให้สามารถหาได้ภายใน 13 นาที เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดีกว่าและใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าสมบัติความหนืดของแป้งแต่ละชนิดแสดงในภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer

ที่มา: Newport scientific Pty (1995)

ในการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA สามารถอ่านค่าต่างๆ ได้ ดังนี้

(1) Peak time: เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (Peak) ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที

- (2) Pasting temperature: อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- (3) Peak temperature: อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (Peak) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- (4) Peak Viscosity: ความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU
- (5) Holding strength: ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำเย็น มีหน่วยเป็น RVU
- (6) Breakdown: ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU
- (7) Final Viscosity: ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU
- (8) Setback from peak: ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด (Peak) มีหน่วยเป็น RVU
- (9) Setback from trough: ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

2.3.2.3 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

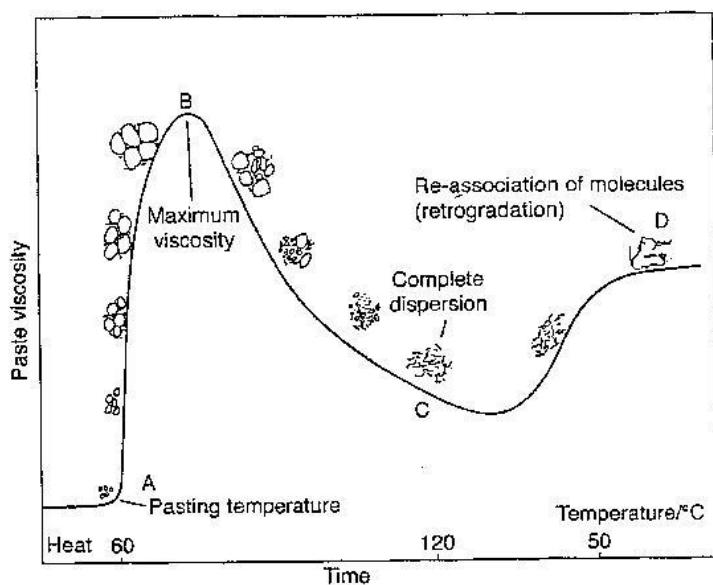
โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในลักษณะร่างแหไมเซลล์ ซึ่งการจัดเรียงตัวในลักษณะนี้จะทำให้แป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก เมื่อแป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้น้อย แต่เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งพันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของแป้งอิสระที่อยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้น้อยลงทำให้เกิดความหนืด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ ซึ่งแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง จะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช การเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้เป็น 3 ระยะดังนี้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

ระยะแรก แป้งจะดูดซึมน้ำได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัดเม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ Birefringence ได้ เมื่อมีการเติมสารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิแก่สารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65°C

ระยะที่สอง เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาจนการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างแบบ Birefringence ความหนืดของสารละลายแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลาย

ออกมา ซึ่งถ้าแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีก

ระยะที่สาม รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอนการละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลลาติไนเซชันจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีกว่า



ภาพประกอบ 10 การเกิดเจลลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง

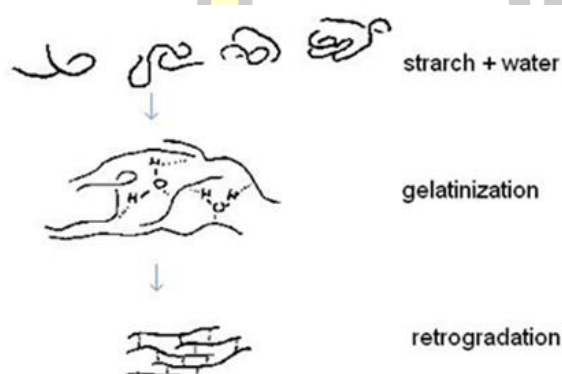
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2546)

ความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างเจลลาติไนเซชันจะเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้ง แป้งมันฝรั่งจะมีความหนืดสูงสุดและมี Thickening power สูงด้วย ในขณะที่แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีความหนืดต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอะมิโลสและไขมัน นอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนอะมิโลสและอะมิโลเพคติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน

2.3.2.4 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะ

การจัดกระจายออกกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นโมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้ไม่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคืนตัว หรือ Setback เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะเกาะตัวกันแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกนอกเจล เรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

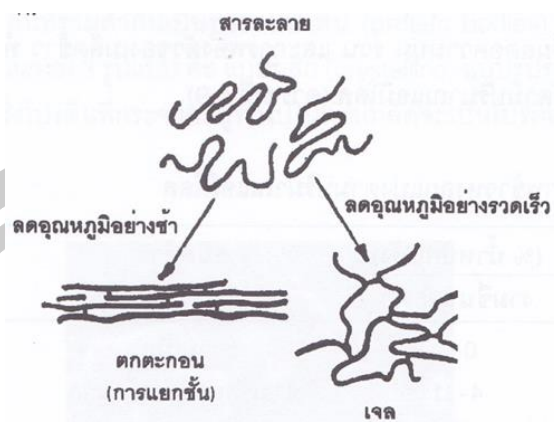


ภาพประกอบ 11 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิริยา รัตนานนท์ (2558a)

การคืนตัวของสารละลายแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดขึ้นส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกร้อน เกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจลและโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมานอกเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพคติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง เป็นต้น ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น แสดงกลไกการคืนตัวของแป้งดังภาพประกอบ 12 ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดีในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุดสำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก (Monovalent anion หรือ Cation) แคลเซียมไนเตรท (Calcium nitrate) และยูเรีย (Urea) (Swinkels, 1985)



ภาพประกอบ 12 กลไกการคืนตัวของแป้ง

ที่มา: Fruton and Simmonds (1953)

2.4 ข้าวเกรียบว่าว

ข้าวเกรียบว่าวหรือ ข้าวโป่ง เป็นขนมทานเล่นโบราณของไทยที่ทำจากข้าวเหนียว ตามประวัติความเป็นมา ในการทำข้าวโป่งนั้นไม่มีหลักฐานแน่ชัดว่ามีการทำตั้งแต่สมัยใด แต่สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นในช่วงกรุงรัตนโกสินทร์ตอนต้น โดยได้เล่าต่อกันมาว่าในสมัยโบราณนั้น เนื่องจากสังคมไทยเป็นสังคมเกษตรกรรม โดยมีการปลูกข้าวเป็นอาชีพหลักที่สำคัญ ดังนั้นข้าวจึงถือเป็นอาหารหลักของคนไทย ซึ่งข้าวที่นิยมปลูกก็จะเป็นข้าวเหนียวและข้าวเจ้า ดังนั้นข้าวจึงเป็นสิ่งที่ถือได้ว่ามีพระคุณต่อชีวิตประจำวันของเรา โดยเฉพาะคนอีสานนั้นจะเห็นว่ามีประเพณีที่สำคัญเกี่ยวกับการบูชาข้าว ไม่ว่าจะเป็น ประเพณีกวนข้าวทิพย์ซึ่งจะทำในช่วงออกพรรษา ประเพณีบุญข้าวจี การสวดข้าว ประเพณีบุญผะเหวด ซึ่งประเพณีเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กับข้าว การทำข้าวโป่งในสมัยก่อนจะมีสูตรและกรรมวิธีอย่างโบราณ คนอีสานจะเอารากตดหมูตดหมาหรือกระพังโหม มาทำความสะอาดนำมาหั่นหรือทุบให้แตกแช่น้ำ แล้วกรองเอาเฉพาะน้ำมาสลัดกับครกไปพลางตำไปพลาง เพื่อให้ไม่ติดครก ข้าวเหนียวจับตัวกันดี แป้งละเอียด เหนียว นุ่ม และยืดดีเวลาทำเป็นแผ่น (รณรงค์ รัตนรักษ์, 2547) ซึ่งถือเป็นเคล็ดลับของชาวอีสานก็ว่าได้ชาวบ้านนิยมทำข้าวโป่งในฤดูหนาว หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วเสร็จ เพราะเวลาบึ่งข้าวโป่งจะอยู่หน้ากองไฟตลอดเวลา ซึ่งจะช่วยให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย อีกทั้งยังเป็นการพักผ่อนหย่อนใจอีกอย่างหนึ่ง ที่ได้ทำขนมไว้ทานในครอบครัวและแบ่งปันญาติมิตรจะเห็นได้ว่า การทำข้าวโป่งนั้นเรียบง่าย ไม่ต้องลงทุนมาก ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงวิถีชีวิตที่เรียบง่ายของชาวอีสานมาตั้งแต่โบราณกาลที่พอใจในสภาพความเป็นอยู่และวัฒนธรรมในการกินที่สืบทอดต่อกันมาจวบจนปัจจุบันในปัจจุบัน (กระทรวงวัฒนธรรม, 2559)

2.4.1 กรรมวิธีการผลิตข้าวเกรียบว่าว

1) รากเครื่องตดหมา (รากกระพังโหม) เมื่อนำมาผสมข้าวเกรียบว่าว (ข้าวโป่ง) ต้องเลือกรากที่มีขนาดใหญ่ อวบ ทั้งนี้เพื่อจะได้เนื้อนุ่ม มีรสหวาน เมื่อได้รากเครื่องตดหมามาแล้ว จะต้องนำมาชูดเอาเปลือกสีดำออก นำไปล้างให้สะอาดแห้งเป็นชิ้นเล็กๆ นำมาโขลกหรือตำให้ละเอียดแล้วผสมกับน้ำข้าวข้าวหรือน้ำแช่ข้าว (น้ำหมาข้าวในภาษาอีสาน) ถ้าใช้เฉพาะน้ำจากรากของเครื่องตดหมานั้นจะมีปริมาณน้อยเกินไป เพราะฉะนั้นจะต้องใช้น้ำข้าวข้าว ซึ่งในน้ำข้าวข้าวจะมีน้ำมัน วิตามิน และน้ำตาลละลายอยู่ หลังจากข้าวหรือคั้นรากเครื่องตดหมาจนจืดแล้วกรองเอากากออกเหลือไว้เฉพาะน้ำ

2) ข้าวเหนียว ใช้ข้าวเหนียวขาวหรือข้าวเหนียวดำ (ข้าวกำ) ถ้าต้องการที่จะให้แผ่นข้าวโป่งออกมาเป็นสีอื่น สามารถใช้สีผสมอาหารผสมเข้าไปในขณะที่แช่ข้าวก่อนไปนึ่งหรืออาจละลายในน้ำรากเครื่องตดหมาก็ได้ ขั้นตอนนำข้าวเหนียวที่เตรียมแช่ไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง (เวลาแช่ให้ใส่เกลือด้วย 100 กรัม) ไปนึ่งให้สุก แล้วนำไปตำทันที ถ้าปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นข้าวจะแห้งและแข็งทำให้หั่นละเอียดยาก ซึ่งการตำนี้จะใช้น้ำรากเครื่องตดหมาเป็นตัวช่วยผสม เพื่อไม่ให้ติดครกและไม่ให้ข้าวหดรตัวเวลาทำแผ่น ถ้าใส่น้ำรากเครื่องตดหมาน้อยเกินไปจะทำแผ่นลำบากหรือทำแผ่นไม่ได้เลย เพราะข้าวเกรียบว่าว (ข้าวโป่ง) ที่ออกมาจะหดรตัว แต่ถ้าใส่น้ำรากเครื่องตดหมามากเกินไปจะทำให้เหลวและทำแผ่นไม่ได้ หากต้องการใส่ใบเตย งา น้ำตาล ให้ผสมลงไปในขณะที่ตำจะได้ผสมกลมกลืนกันได้สี รส กลิ่น ที่น่ารับประทาน ลักษณะของข้าวเกรียบว่าว (ข้าวโป่ง) ที่ใช้การได้จะสังเกตได้จากเวลาจับดูจะไม่สากมือ เวลานั้นออกมาจากครกมาทำเป็นก้อนกลมๆ ขนาดกำมือแล้วยัดออกดูข้าวจะไม่หดรกลับ

3) วิธีทำแผ่น นำก้อนข้าวที่ปั้นเป็นก้อนกลมๆ มาวางบนแผ่นพลาสติก แล้วนำแผ่นพลาสติกอีกแผ่น (ทาน้ำมันที่ผสมไข่แดงสุก) มาวางปิดทับด้านบนเพื่อไม่ให้ติดกัน อุปกรณ์ที่นำมาทำให้เป็นแผ่น ใช้อุปกรณ์ที่เป็นแผ่นราบ เช่น แผ่นไม้กระดาน เขียง ตั่งรองนึ่ง หรือก้นจาน กดทับเพื่อให้เป็นแผ่นบางๆ ในสมัยก่อนการทำแผ่นใช้ใบตองกล้วยรองและใช้มือแตะคลึงช่วยในการทำแผ่นไม่ใช้เครื่องช่วยทุ่นแรงเหมือนปัจจุบัน ปัจจุบันนิยมใช้แผ่นพลาสติกและไม่นิยมใช้มือแตะคลึงเพราะใช้เวลา นาน เมื่อทำเป็นแผ่นแล้วก็นำไปวางบนเสื่อที่เตรียมไว้ ซึ่งในกรณีที่ใช้แผ่นพลาสติกจะต้องลอกเอาแผ่นด้านบนออกเสียก่อนแล้วนำไปวางบนเสื่อที่เตรียมไว้ ซึ่งการวางเป็นแถวเพื่อความเรียบร้อยและสะดวกในการกลับข้าวเกรียบว่าว (ข้าวโป่ง) เมื่อเริ่มแห้ง

ในการทำแผ่นต้องทำด้วยความรวดเร็วทำในขณะที่กำลังอุ่นๆ อยู่ เพราะจะทำให้ข้าวเกรียบว่าว (ข้าวโป่ง) ที่ตำแล้วแห้งจนทำแผ่นลำบากหรือถ้าแห้งมากๆ ก็ยิ่งทำแผ่นไม่ได้เลย เพราะฉะนั้นในการทำแผ่นต้องช่วยกันทำหลายๆ คน เมื่อทำเสร็จก็นำไปผึ่งแดดในที่โล่งแจ้งซึ่งอาจเป็นที่มืดแดดก็ได้ (แต่แผ่นจะกรอบแตกง่าย) ปล่อยให้แห้งพอแผ่นหมาดแล้วสามารถกลับข้างได้ให้กลับเอาด้านบนลงล่าง ถ้าปล่อยให้แห้งนานอาจทำให้แผ่นข้าวเกรียบว่าว (ข้าวโป่ง) ติดกับเสื่อแกะออกยาก หรืออาจจะมีเสี้ยนหรือชิ้นส่วนของเสื่อติดออกมาด้วย (รณรงค์ รัตนรักษ์, 2547)

2.4.2 การเก็บรักษาข้าวเกรียบวาว (ข้าวโป่ง)

ข้าวเกรียบวาว (ข้าวโป่ง) ที่แห้งสนิทแล้วควรเก็บในภาชนะที่กันความชื้นเข้าออกได้ ปลอดภัยจากกลิ่นรบกวนใดๆ โดยเฉพาะกลิ่นแปลกปลอมและกันเชื้อราเจริญได้ เช่น อาจเก็บใน ถุงพลาสติกปิดมิดชิดและบรรจุในภาชนะที่มีฝาปิดอีกชั้น จะเก็บได้นานเป็นเดือน เมื่อรับประทานจึง นำมาทอดหรือย่าง

สำหรับการเก็บข้าวเกรียบวาว (ข้าวโป่ง) หลังทอดหรือย่างแล้ว หากทอดควรทำให้ สะเด็ดน้ำมันมากที่สุดและทิ้งไว้ให้เย็น จึงนำมาบรรจุในภาชนะที่กันความชื้น กันอากาศถ่ายเทและ ปลอดภัย เช่น ถุงพลาสติกหนาๆ ที่มีการซึมผ่านของอากาศได้น้อยมากแล้วทำการปิดให้สนิท (ศิริธร ศิริอมรพรรณ, 2547)

2.5 สารประกอบฟีนอลิก

รวินิภา ศรีมูล และศิริจันทร์ ตาใจ (2557) กล่าวว่าสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) เป็นสารที่พบได้ในพืช มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย หนึ่งหมู่หรือมากกว่านั้น ละลายน้ำได้ มักพบอยู่ทั่วไปพร้อมกับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของ สารประกอบไกลโคไซด์ (Glycosides) ในธรรมชาติพบสารประกอบฟีนอลิกได้หลายชนิด ที่พบมาก สุดจะเป็นกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และโพลีฟีนอลิก เช่น ลิกนิน (Lignin) และ แทนนิน (Tannin) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในอาหารและเครื่องดื่มที่มาจากพืชผักและผลไม้จะแตกต่างกัน ออกไปตามชนิดของพืช วิธีการปลูก ระดับความสูง กระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา (ปรียพันธ์ บัวสด, 2549) การใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปมีส่วนทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง (พงศธร ล้อสุวรรณ et al., 2551) สารประกอบฟีนอลิกประเภทโพลีฟีนอลมีประโยชน์หลายประการ เช่น มีส่วนช่วยป้องกันมะเร็ง ป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือดสมอง เนื่องจากช่วยลดโคเลสเตอรอล ชนิดแอลดีแอลและไตรกลีเซอไรด์ และช่วยเพิ่มระดับโคเลสเตอรอลชนิดเอชดีแอล ลดความดันโลหิต และระดับน้ำตาลในเลือด (จารณีย์ พณิชยกุล et al., 2007)

2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ

รวินิภา ศรีมูล และศิริจันทร์ ตาใจ (2557) กล่าวว่า อนุมูลอิสระ (Free radicals) คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (Unpaired electron) ทำให้โมเลกุลมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูง อนุมูลอิสระจะเข้าไปแย่งจับอิเล็กตรอนจากสารอื่นเพื่อให้ตัวมันเสถียรขึ้น โมเลกุลที่ สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนมาจะกลายเป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่และเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป (Halliwell, 1991) แสดงสัญลักษณ์ของอนุมูลอิสระได้เป็น R^* มีได้ทั้งอนุมูลอิสระประจุบวก เช่น อนุมูล pyridivyl (NAD^{+*}) และอนุมูลอิสระประจุลบ เช่น Superoxide (O_2^*) หรือเป็นกลาง เช่น

อนุมูล Peroxyl (ROO*) ปฏิกริยาของอนุมูลอิสระแบ่งออกเป็นสามขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการสร้างอนุมูลอิสระ (Initiation step) ขั้นตอนเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระตัวอื่น (Propagation step) และขั้นสิ้นสุดปฏิกริยา (Termination) ซึ่งจะได้อนุมูลอิสระที่เสถียร (Hudson, 1990)

สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) คือสารที่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกริยาออกซิเดชันหรือสามารถกำจัดอนุมูลอิสระออกจากร่างกาย แบ่งตามกลไกของการยับยั้งออกซิเดชันได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ สารกลุ่มป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidant) สารกลุ่มทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น (Scavenging antioxidant) และสารกลุ่มทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง (Chain breaking antioxidant) ตัวอย่างของสารต้านออกซิเดชัน ได้แก่ วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก ซึ่งสามารถละลายน้ำได้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เข้าทำปฏิกริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อนุมูลไฮดรอกซิล และอนุมูลเพอออกซิล วิตามินอี ซึ่งเป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมันทำงานร่วมกับสารต้านออกซิเดชันอื่นๆ เช่น วิตามินซีและซีลีเนียม มี 2 กลุ่มใหญ่ได้แก่โทโคฟีรอล และโทโคโทนิอล ช่วยในการป้องกันสารพิษที่มีที่มาจากโลหะ เช่น ตะกั่ว มีหน้าที่ให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลเพอออกซิล สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มอื่นๆ เช่น แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่พบทั่วไปในธรรมชาติพบมากในผักและผลไม้สดที่สำคัญได้แก่ เบต้า-แคโรทีน (β -carotene) และไลโคปีน (Lycopene) เป็นต้น (ปิยะศิริ สุนทรนนท์, 2551)

สารต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญในการปกป้องร่างกายชะลอความชรา ช่วยป้องกันโรคเสื่อมต่างๆ ตั้งแต่โรคข้อ โรคหัวใจ โรคอัมพาต และโรคมะเร็ง สารต้านอนุมูลอิสระยังช่วยรักษาอาการของโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง เช่น ช่วยบรรเทาอาการแพ้ากาศ ช่วยในการป้องกันโรคข้อรูมาตอยด์ เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่พบในผักพื้นบ้านได้แก่ เบต้าแคโรทีน และวิตามินซี เบต้าแคโรทีนเป็นวิตามินเอที่พบเฉพาะในพืช เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจึงป้องกันมะเร็งได้ดี เป็นสารที่สามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันในขณะที่เดียวกันเบต้าแคโรทีนจะทำให้เซลล์ร่างกายแข็งแรงขึ้นเป็นการชะลอความชราและป้องกันการกลายเป็นเซลล์มะเร็ง จากงานวิจัยพบว่าเบต้าแคโรทีนจะทำให้เซลล์ปอด หลอดลม ผิวหนัง หลอดอาหาร กระดูก ภาวะอาหาร ลำไส้ใหญ่ ไต สมอง แข็งแรงขึ้น เบต้าแคโรทีนช่วยรักษาผิวพรรณลดริ้วรอยของผิวหนัง ริ้วรอยของผิวเหี่ยวย่น ช่วยให้มีมองเห็นได้ดีขึ้นในที่สลัว ผักใบเขียวจัด จะมีเบต้าแคโรทีนมากกว่า เช่น ใบยอ ใบย่านาง ใบชะพลู ใบตำลึง ใบบัวบก ใบแมงลัก ใบเหมียง ผักกูด ผักชีลาว ผักแพ้ว ผักแว่น ยอดแค ใบขี้เหล็ก ใบกะเพรา ผักเหล่านี้จะมีเบต้าแคโรทีนมากกว่าแครอท ซึ่งถือกันว่าเป็นแหล่งเบต้าแคโรทีนหลายเท่าตัววิตามินซีพบในผักสดและผลไม้สดทุกชนิด เป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มความแข็งแรงและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเม็ดเลือดขาว ช่วยบรรเทาอาการของภูมิแพ้ ช่วยระบายท้อง ช่วยป้องกันการแข็งตัวและการอุดตันของเส้นเลือด จึงป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจและอัมพาต ช่วยสมานแผล ช่วยรักษาอาการหวัด คลายเครียด วิตามินซีมีมากในความสดซึ่งสดเท่าไรยังมีวิตามินซีมากเท่านั้น ผักที่เก็บจากต้นใหม่ๆ ให้วิตามินซี

มากกว่าเก็บมาไว้ข้ามคืน จากรายงานวิจัยพบว่าวิตามินซีจะน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อเก็บผักหรือผลไม้จากต้นนาน (ชนิดา หันสวาสดี et al., 2549)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Saenphet et al. (2014) ศึกษาฤทธิ์ป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากราก *Paederia pilifera* Hook.f. (Rubiaceae) มีการทดสอบกับแผลที่เกิดจากเอทานอลในกระเพาะอาหารที่เกิดขึ้นในหนู ผลของสารสกัดจากพืชและ Omeprazole ต่อแผลในกระเพาะอาหาร มีการประเมินเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและ Lipid peroxidation นอกจากนี้ยังมีการทดสอบคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของพืชในหลอดทดลอง ผลการทดลองพบว่าสารสกัดจากรากของ *P. pilifera* มีปริมาณฟีนอลทั้งหมดและกรดแอสคอบิกในปริมาณสูง และมีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูง การรักษาด้วยสารสกัดจาก *P. pilifera* ในปริมาณทั้งหมด (250, 500, 750 mg/kg BW) และ Omeprazole แสดงการลดของการเกิดแผลในกระเพาะอาหารอย่างมีนัยสำคัญ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งแผลในกระเพาะอาหารของหนูด้วยสารสกัดก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารสกัด การรักษาด้วยสารสกัดจาก *P. pilifera* และ Omeprazole ทำให้ Lipid peroxidation ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบการเพิ่มขึ้นในกิจกรรมของ Catalase (CAT) และ Superoxide dismutase (SOD) เอนไซม์และกลูตาไธโอน (GSH) Cyto-protective และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่พบในการศึกษาครั้งนี้อาจเป็นเพราะสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในสารสกัด

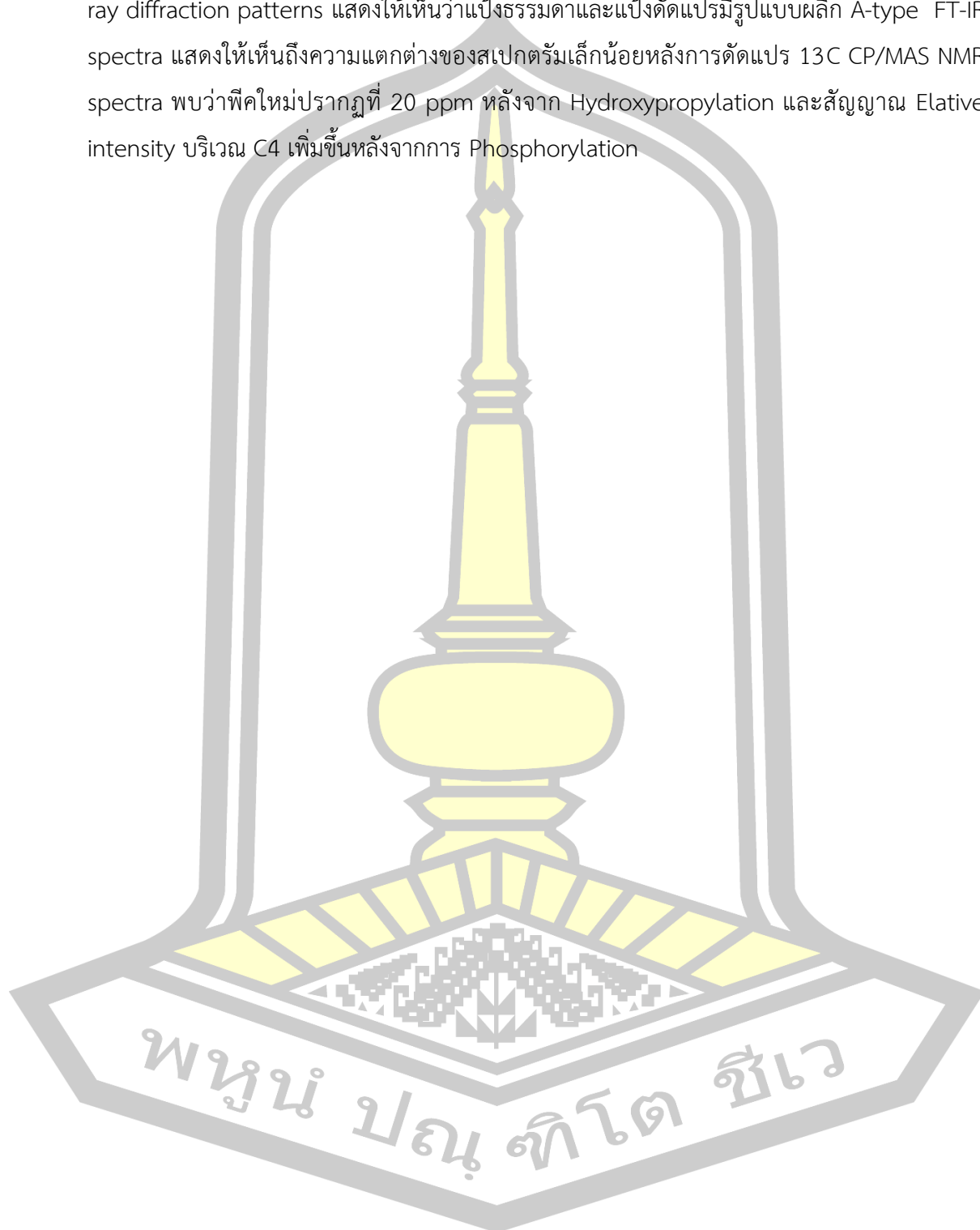
Jiamjariyatam et al. (2015) ศึกษาผลกระทบของปริมาณอะมิโลส (AC) ที่ความเข้มข้น 0.12-19.00% w/w ความชื้นฐานแห้ง อัตราการระบายความร้อน (1, 3, 5 และ 9°C/นาท) และเวลา (24, 48 และ 72 ชั่วโมง) ต่อโครงสร้างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของสตาร์ชข้าวที่ใช้ผลิตถัณฑ์ข้าวพอง นอกจากนี้ยังศึกษาผลของชนิดผลึกและ Relative crystallinity (RC) คุณสมบัติทางความร้อน และทางกายภาพของเจลสตาร์ช ในส่วนของผลึกพบว่าเจลสตาร์ชประกอบด้วย 0.12% ของผลึก AC Polymorphisms (ผลึกชนิด B และ V) และคุณสมบัติทางความร้อนในสตาร์ชพวกที่มี AC ร้อยละ >4.00 พบว่าปริมาณ RC, Retrogradation enthalpy (ΔH_r) และความแข็งของเจลเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ AC และ Aging time เพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการระบายความร้อนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ RC แต่ทำให้ ΔH_r และความแข็งของเจลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า AC และ Aging time ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความแข็ง ความสามารถในการทำให้แตกหัก (Fracturability) ความกรอบ และความหนาแน่นสูงขึ้น แต่อัตราส่วนการขยายตัวและความมันที่ลดลงของผลึกถัณฑ์ข้าวพอง ความแข็ง ความสามารถในการทำให้แตกหัก (Fracturability) ความกรอบ และความหนาแน่นของผลึกถัณฑ์ข้าวพองมีความสัมพันธ์ที่ดีกับ RC ของเจลสตาร์ช

Colussi et al. (2015) ศึกษาผลของความเข้มข้นของอะซิติกแอนไฮไดรต์ในสารละลายในน้ำต่อระดับอะซิทิเลชัน ในคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติความร้อน คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน และลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความไวของเอนไซม์ต่อแป้งข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์กลุ่มอะเซทิลถึง 2.5 กรัม/100 กรัม แป้งข้าวเจ้าถูกอะซิทิเลท โดยใช้ ด้วยสารละลาย Acetic anhydride ความเข้มข้นต่างๆ (5 g/100g, 10 g/100g และ 20 g/100g แป้งความชื้นฐานแห้ง) อะซิทิเลชันทำให้ Viscosity, breakdown, Final viscosity และ Retrogradation มีค่าเพิ่มขึ้น และลดความแข็งของเจลตลอดจน Adhesiveness และ Gumminess แต่ไม่ได้ส่งผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความไวต่อการย่อยสลายของแป้งโดยอะไมเลส แป้งอะซิทิเลทที่ใช้สาร Acetic anhydride 10 และ 20 g/100g มีการพองตัวและความสามารถในการละลายต่ำกว่าแป้งปกติ

X. Chen et al. (2017) ศึกษาผลของกระบวนการอบแห้งแป้งที่แตกต่างกัน 5 แบบ คือ การทำให้แห้งโดยการตากลม การอบแห้งด้วยสาร Sulphur fumigation การอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ต่อคุณสมบัติของแป้ง และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ จากผลการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (POM) X-ray diffraction (XRD) และเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ตัวอย่างของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ พบว่ามีเม็ดแป้งเจลาติไนซ์ การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ปริมาณของกลูโคสที่ได้หลังจากการย่อย และปริมาณของกลูโคสที่ได้หลังจากการย่อยมากขึ้น เมื่อเทียบกับแป้งที่ผ่านกรรมวิธีกับวิธีการอบแห้งแบบอื่นๆ ส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพและระดับการรีดิวซ์ของมันเทศแห้งมีค่าต่ำกว่าของมันเทศสด เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างที่แห้ง 5 แบบ โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยสาร Sulphur fumigation มีค่าองค์ประกอบหลักที่ครบถ้วนที่สุด จากผลการศึกษา การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีที่ดีกว่าสำหรับการอบแห้งมันเทศ

Yang et al. (2016) ศึกษาการเตรียมแป้งจาก Hydroxypropylated, Phosphorylated และ Hydroxypropyl-phosphorylated และศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและโครงสร้างของแป้งเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โมเลกุลหรือระดับของการทดแทนแป้งที่ตัดแปรได้เพิ่มขึ้น SEM micro-graph พบว่าเม็ดแป้งของฟอสเฟอริไฟเลตต์มีความสมบูรณ์แบบ ในขณะที่มีรอยแตกบางส่วนปรากฏขึ้นบนพื้นผิวของเม็ดแป้งที่ทำจาก Hydroxypropylated และ Hydroxypropyl-phosphorylated การวิเคราะห์ด้วย RVA พบว่าคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการตัดแปรทางเคมี นอกจากนี้การปรับสภาพทางเคมียังช่วยเพิ่มความสามารถในการแช่เยือกแข็ง-หลอมละลาย (Freeze-thaw stability) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแป้งที่ผ่านการทำ Hydroxypropyl-phosphorylated DSC analyses แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจ

ลาตินในเซชันและเอนทาลปีลดลงเมื่อมีปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ที่มีการดัดแปร X-ray diffraction patterns แสดงให้เห็นว่าแป้งธรรมชาติและแป้งดัดแปรที่มีรูปแบบผลึก A-type FT-IR spectra แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสเปกตรัมเล็กน้อยหลังการดัดแปร ^{13}C CP/MAS NMR spectra พบว่าพีคใหม่ปรากฏที่ 20 ppm หลังจาก Hydroxypropylation และสัญญาณ Elative intensity บริเวณ C4 เพิ่มขึ้นหลังจากการ Phosphorylation



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของรากกระพังโหมสายพันธุ์ *P. linearis* Hook. f. ทั้งแบบสดและที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน และผลของรากกระพังโหมอบแห้งชนิดนี้ต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบของน้ำเมื่อแป้งมีความเข้มข้นต่ำและสูง และเมื่อแป้งผ่านการดัดแปรสภาพ โดยใช้น้ำรากกระพังโหมสายพันธุ์ *P. linearis* Hook. f. โดยดำเนินการวิจัยตามลำดับดังต่อไปนี้

1. การตั้งสมมติฐาน
2. แผนการวิจัย
3. เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
4. วิธีการทดลอง

การศึกษานี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

- 4.1 การทดลองที่ 1: การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม และการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพแป้งข้าวเหนียว กข6
 - 4.2 การทดลองที่ 2: การศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบของน้ำเมื่อแป้งมีความเข้มข้นต่ำ และสูง
 - 4.3 การทดลองที่ 3: การศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพ
5. การเก็บรวบรวมข้อมูล
 6. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การตั้งสมมติฐาน

จากการตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่านับเนื่องมาแต่โบราณเพราะน้ำคั้นจากรากกระพังโหมช่วยเพิ่มความหวานให้แก่ขนม ทำให้แป้งขนมมีความละเอียด นุ่มหยุ่นไม่คืนตัว และทำให้ขนมเกิดการพองตัว อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อแป้งยังมีอยู่อย่างจำกัด และงานวิจัยที่มีอยู่จำกัดนี้ส่วนใหญ่เน้นไปยังสรรพคุณทางยาและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเกือบทั้งหมด แม้ว่าความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นชี้ชัดว่ากระพังโหมมีสรรพคุณในการทำให้แป้งข้าวเหนียวมีความละเอียดนุ่มหยุ่นไม่คืนตัว และทำให้ขนมเกิดการพองตัว ดังนั้นงานวิจัยจึงมีสมมติฐานคือ รากกระพังโหมมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6

3.2 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นงานเชิงการทดลอง (Experimental research design) แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1: การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม และการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การทดลองที่ 2: การศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบแป้งข้าวที่มีความเข้มข้นต่ำและสูง วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยปัจจัยที่ศึกษาคือความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหม 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ

การทดลองที่ 3: การศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยปัจจัยที่ศึกษาคือน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ

3.2 การศึกษาและรวบรวมเครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 วัตถุดิบ

1) รากกระพังโหม สายพันธุ์ *P. linearis* Hook. f. จากตำบลโพนแพง อำเภออากาศอำนวย จังหวัดสกลนคร เก็บเกี่ยวในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560

2) ข้าวเหนียว กข6 จากตำบลโพนแพง อำเภออากาศอำนวย จังหวัดสกลนคร เก็บเกี่ยวในฤดูนาปี 2559/2560

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์

- 1) เครื่อง Hotplate Magnetic stirrers (IKA, C-MAG HS7, Germany)
- 2) เครื่องเหวี่ยงแยก Centrifuge (Hettich รุ่น MIKRO 220 R)
- 3) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Thailand)
- 4) เครื่องวัดความชื้น Moisture analyzer (AND MX-50, Japan)
- 5) เครื่องวัดสี Chroma meter (รุ่น CR-400 Minolta, Osaka, Japan)

- 6) เครื่องบดผสม Mixer Grinder (Panasonic รุ่น MX-AC400, Japan)
- 7) กระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4 (Whatman, United Kingdom)
- 8) เครื่อง Rapid Visco Analyze (RVA-4 SA, Newport Scientific, Sydney, Australia)
- 9) เครื่อง Spectrophotometer (HACH รุ่น DR 2700, United Kingdom)
- 10) เตาเผาความร้อนสูง Muffle furnace (Carbolite CWF 1100, United Kingdom)
- 11) เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (Soxhlet aparatus)
- 12) เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง Hammer mill (Perten LM 12, Sweden)
- 13) เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA.XTplus, United Kingdom)
- 14) อ่างควบคุมอุณหภูมิ Water bath (Memmert schutzart DIN 40050 TP 20, Germany)
- 15) เครื่อง Shakers incubators Model LSI-1005R (Lab Tech, Korea)
- 16) เครื่อง Vortex mixer (VTX-3000L, Japan)
- 17) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- 18) เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (Agilent Technology, HPLC-RID Series 1100)
- 19) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 20) เครื่อง X-ray diffractometer (PANalytical, X'Pert PRO)
- 21) เครื่อง Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy (Spectrum One FT-IR Spectrometer, Perkin Elmer)
- 22) เตาอบไมโครเวฟ TOSHIBA (รุ่น ER-G23SC (W) 23 ลิตร, Thailand)
- 23) ตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh
- 24) เครื่องครัวต่างๆ
- 25) เครื่องแก้วต่างๆ

3.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 1) Ethanol (Merck , Darmstadt, Germany)
- 2) Sulfuric acid (Rcilabscan, Thailand)
- 3) Sodium hydroxide (Univar, Australia)
- 4) Hydrochloric acid (QRëC, New Zealand)

- 5) Potassium sulfate (Univar, Australia)
- 6) Copper sulfate (Analar, England)
- 7) Boric acid (Rankem, India)
- 8) Petroleum ether (Rcilabscan, Thailand)
- 9) Iodine (Univar, Australia)
- 10) Potassium iodide (Univar, Australia)
- 11) Acetonitrile (Merck , Darmstadt, Germany)
- 12) Sodium carbonate (Univar, Australia)
- 13) 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazylredical (DPPH) (Sigma-Aldrich Fine Chemicals (St. Louis, MO))
- 14) 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) (Sigma-Aldrich Fine Chemicals (St. Louis, MO))
- 15) 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (Sigma-Aldrich Fine Chemicals (St. Louis, MO))
- 16) Gallic acid (Sigma-Aldrich Fine Chemicals (St. Louis, MO))
- 17) Ascorbic acid (Unilab, New Zealand)
- 18) Potassium tartrate (Univar, Australia)
- 19) Acetic acid (QRëC, New Zealand)
- 20) Ferrous sulfate (Fluka, Germany)
- 21) Sodium acetate (BHD, England)
- 22) Potassium hydroxide (Univar, Australia)
- 23) Phenol (QRëC, New Zealand)
- 24) Ferric chloride (Loba Chemie, India)
- 25) Ammonium molybdate (Univar, Australia)
- 26) Sodium arsenate (Unilab, New Zealand)
- 27) Amylose from potato (Sigma-Aldrich Fine Chemicals (St. Louis, MO))
- 28) Distilled water

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างกระพังโหม และแป้งข้าวเหนียว

3.3.1.1 การเตรียมกระพังโหม

1) รากกระพังโหมสด

ทำความสะดวก
(1) นำรากกระพังโหมมาขูดเอาผิวด้านนอกออกให้หมดเหลือเป็นรากสีขาวแล้วล้าง

(2) หั่นเป็นชิ้นยาว 1 เซนติเมตร

(3) เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C

(4) ก่อนนำไปวิเคราะห์ ต้องบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดผสม (Mixer Grinder)

2) รากกระพังโหมอบแห้ง

ทำความสะดวก
(1) นำรากกระพังโหมมาขูดเอาผิวด้านนอกออกให้หมดเหลือเป็นรากสีขาวแล้วล้าง

(2) หั่นเป็นชิ้นยาว 1 เซนติเมตร อบแห้งในเตาอบลมร้อนที่ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมงจนกระทั่งมีความชื้นที่ $\leq 10\%$

(3) นำมาบดเป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบดผสม (Mixer Grinder)

(4) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh

(5) บรรจุผงรากกระพังโหมในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท

(6) เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

3.3.1.2 การเตรียมแป้งข้าวเหนียว กข6

1) นำข้าวเหนียว กข6 มาบดโดยใช้เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer mill)

2) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh

3) บรรจุแป้งในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท

4) เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

3.3.1.3 การเตรียมน้ำรากกระพังโหม

1) ชั่งน้ำหนักรากกระพังโหม 10 กรัม และน้ำปราศจากไอออน 90 กรัม

2) นำรากกระพังโหมปั่นผสมกับน้ำปราศจากไอออน แล้วกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก 1 ชั่วโมง

3) ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4000 rpm 10 นาที

- 4) กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4
- 5) ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 10%)
- 6) นำมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10%

3.3.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม และการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6

3.3.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม

1) คุณสมบัติทางเคมีของรากกระพังโหม

- (1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-1
- (2) ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-2
- (3) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-3
- (4) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-4
- (5) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-5
- (6) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี Somogyi-Nelson (Somogyi, 1952) ตามภาคผนวก ก-7
- (7) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Phenol sulfuric acid (Dubois et al., 1956) ตามภาคผนวก ก-8
- (8) ปริมาณฟรักโทส กลูโคส ซูโครส มอลโทส และแลคโตส ในตัวอย่างรากกระพังโหม โดยวิธี High Performance Liquid Chromatography; HPLC (Agilent Technology, HPLC-RID Series 1100) โดยใช้ Zorbax Carbohydrate Analysis Column ขนาด 4.6 × 150 มิลลิเมตร 5 ไมโครเมตร
- (9) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic contents) ตัดแปลงจากวิธีของ (Kubola & Siriamornpun, 2011) ตามภาคผนวก ก-9

2) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม

- (1) เมื่อตรวจวัดโดยใช้วิธี DPPH radical scavenging activity ตัดแปลงจากวิธีของ (Kubola & Siriamornpun, 2008) ตามภาคผนวก ก-10.1
- (2) เมื่อตรวจวัดโดยใช้วิธี ABTS radical scavenging activity ตัดแปลงจากวิธีของ (Wootton-Beard et al., 2011) ตามภาคผนวก ก-10.2
- (3) เมื่อตรวจวัดความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric Reducing Ability Power, FRAP) ตัดแปลงจากวิธีของ (Kubola & Siriamornpun, 2008) ตามภาคผนวก ก-10.3

3.3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6

- (1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-1
- (2) ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-2
- (3) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-3
- (4) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-4
- (5) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) ตามภาคผนวก ก-5
- (6) ปริมาณอะมิโลส (Juliano, 1971) ตามภาคผนวก ก-6

3.3.3 การศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ และสูง

3.3.3.1 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ

ศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อมีการเติมน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% คุณสมบัติที่ศึกษาได้แก่

- 1) การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties) ดัดแปลงจากวิธีของ (Cheng et al., 2005) ตามภาคผนวก ข-1 โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA-4 SA, Newport Scientific, Sydney, Australia) อุณหภูมิที่ใช้อุณหภูมิในช่วง 50–95°C และใช้เวลาในการทดสอบ 13 นาที คุณสมบัติความหนืดรายงานค่าดังนี้ อุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัว (Pasting temperature) ความหนืดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวสูงสุด (Peak viscosity) ความหนืดเมื่อแป้งเย็นตัว (Final viscosity) ความหนืด เมื่อแป้งยุบตัว (Breakdown) ความหนืดเมื่อแป้งคืนตัว (Setback) และความหนืดเมื่อแป้งคงตัว (Trough) รายงานผลเป็น Rapid Visco Unit (RVU)

- 2) ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเปียก (Hormdok & Noomhorm, 2007) ตามภาคผนวก ข-2 โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA.XTplus, United Kingdom) เตรียมแป้งเปียกโดยใช้แป้งเปียกที่ได้จากการหาการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties) แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้หัววัด P/20 ระยะระหว่างหัววัดกับฐาน 80 มิลลิเมตร ระยะทางที่หัววัดกดตัวแป้งเปียก 10 มิลลิเมตร ความเร็วก่อนวัด ชะงัด และความเร็วจนหัววัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยค่าที่ได้จากการทดลอง คือความแน่นเนื้อ (Firmness) และความเหนียว (Stickiness)

- 3) ค่าสี (L^* a^* b^* Chroma และ Hue angle) ของแป้งเปียก เตรียมแป้งเปียกโดยใช้แป้งเปียกที่ได้จากการหาการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties) แล้ว

เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้เครื่องวัดสี (Color meter) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR400 สุ่มวัดบนตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง ตัวอย่าง 3 ซ้ำ โดยรายงานเป็นค่า L a* b* Chroma และ Hue angle (h°) ดังนี้

L* คือ ค่าความสว่าง (lightness) 0 หมายถึงค่าความมืด ไปจนถึง 100 หมายถึงค่าความสว่าง

a* คือ + a หมายถึงสีแดง - a หมายถึงสีเขียว

b* คือ + b หมายถึงสีเหลือง - b หมายถึงสีน้ำเงิน

Chroma คือ ค่าความบริสุทธิ์หรือความอิ่มตัวของสี 0 หมายถึงไม่มีสี ไปจนถึง 100 หมายถึงค่าของสีที่เข้มที่สุด

Hue angle (h°) คือ ค่าโหนดสี 90 องศาหมายถึงสีเหลือง, 180 องศาหมายถึงสีเขียว และ 270 องศาหมายถึงสีฟ้าอมเขียว

3.3.3.2 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวสูง

ศึกษาผลของรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ความเข้มข้น 50% ซึ่งแปรรูปออกมาในลักษณะของข้าวเกรียบ เมื่อใช้น้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% เติรมixerข้าวเกรียบที่แป้งข้าวความเข้มข้นสูง ดัดแปลงจากวิธีของ (Jiamjariyatam et al., 2015) ดังนี้

1) ชั่งแป้งข้าวเหนียว 50 กรัม เติมน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ปริมาตร 40 กรัม และนวดผสมให้เข้ากันจนขึ้นรูปเป็นโด

2) นำไปนึ่งในลังถึงจนสุกเป็นเวลา 20 นาที

3) หลังจากนึ่งจนสุกแล้วให้นำโดขณะที่ยังร้อนอยู่ค่อยๆ นวดและระหว่างการนวดค่อยๆ เติมน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ลงไปในปริมาณ 10 กรัม ผสมจนเข้ากันดี

4) คลึงให้เป็นก้อนหนักประมาณ 5 กรัม แล้วกดทับให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยรองด้วยแผ่นพลาสติกที่ทาด้วยน้ำมันพืชบางๆ เพื่อไม่ให้แป้งติด แล้วนำไปวางไว้บนถาดที่มีแผ่นพลาสติกรองไว้

5) นำไปอบให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (Hot air oven) อบที่ $45 \pm 1^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งมีความชื้นที่ร้อยละ 15 ได้เป็นแผ่นข้าวเกรียบก่อนการทอด

6) แผ่นข้าวเกรียบที่แห้งแล้วอบด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 15 วินาที แล้วกลับด้านและอบต่ออีก 15 วินาที

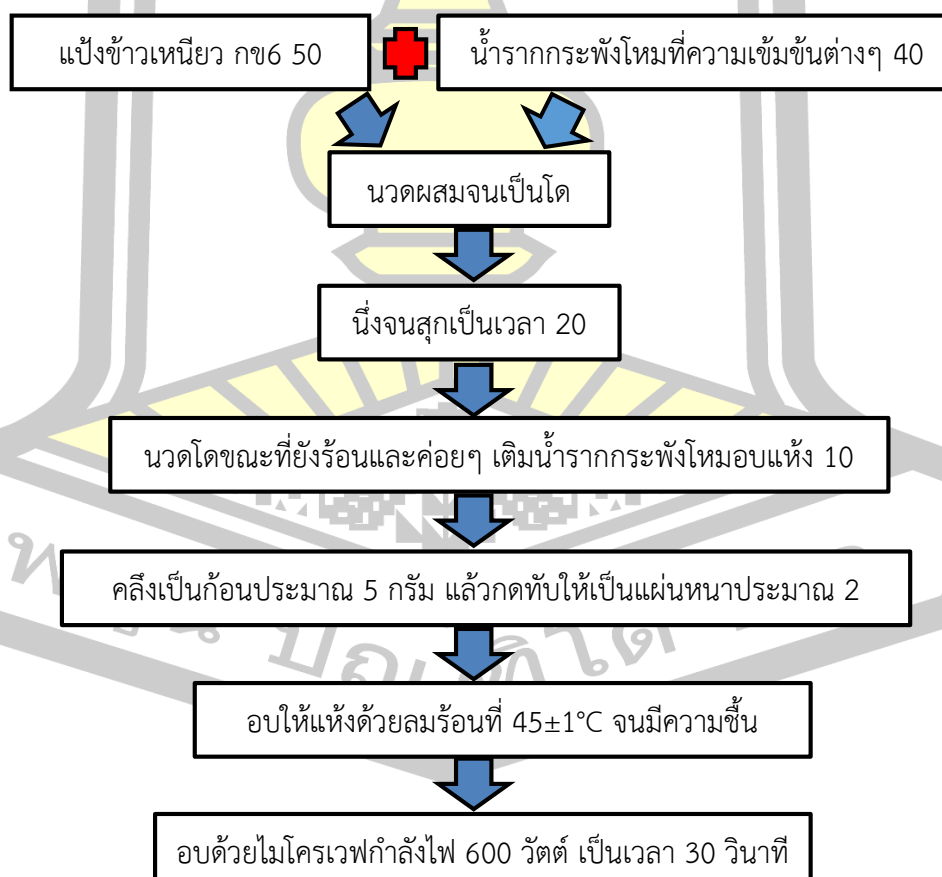
ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเกรียบดิบ และข้าวเกรียบหลังอบด้วยไมโครเวฟดังนี้

1) ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) โดยการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (Keeratipibul et al., 2008) ตามภาคผนวก ข-4

2) ปริมาตรการพองตัว (%) (% Volume expansion) โดยการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (Keeratipibul et al., 2008) ตามภาคผนวก ข-5

3) ค่าสี (L^* a^* b^* Chroma และ Hue angle) ของข้าวเกรียบโดยใช้เครื่องวัดสี (Color meter) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR400 สุ่มวัดบนตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง ตัวอย่าง 3 ซ้ำ โดยรายงานเป็นค่า L^* a^* b^* Chroma และ Hue angle (h°) ดังที่กล่าวไว้ข้อ 3.3.3.1

4) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture properties) ดัดแปลงจากวิธีของ (Jiamjariyatam et al., 2015) ตามภาคผนวก ข-3 โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA.XTplus, United Kingdom) ใช้หัววัด (spherical probe; P/20) และฐานวางตัวอย่าง (HDP/90) ความเร็วของหัววัดขณะทดสอบ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที และให้หัวกดตัวอย่างลงเป็นระยะทาง 10 มิลลิเมตร โดยค่าที่ได้จากการทดลอง คือความแข็ง (Hardness)

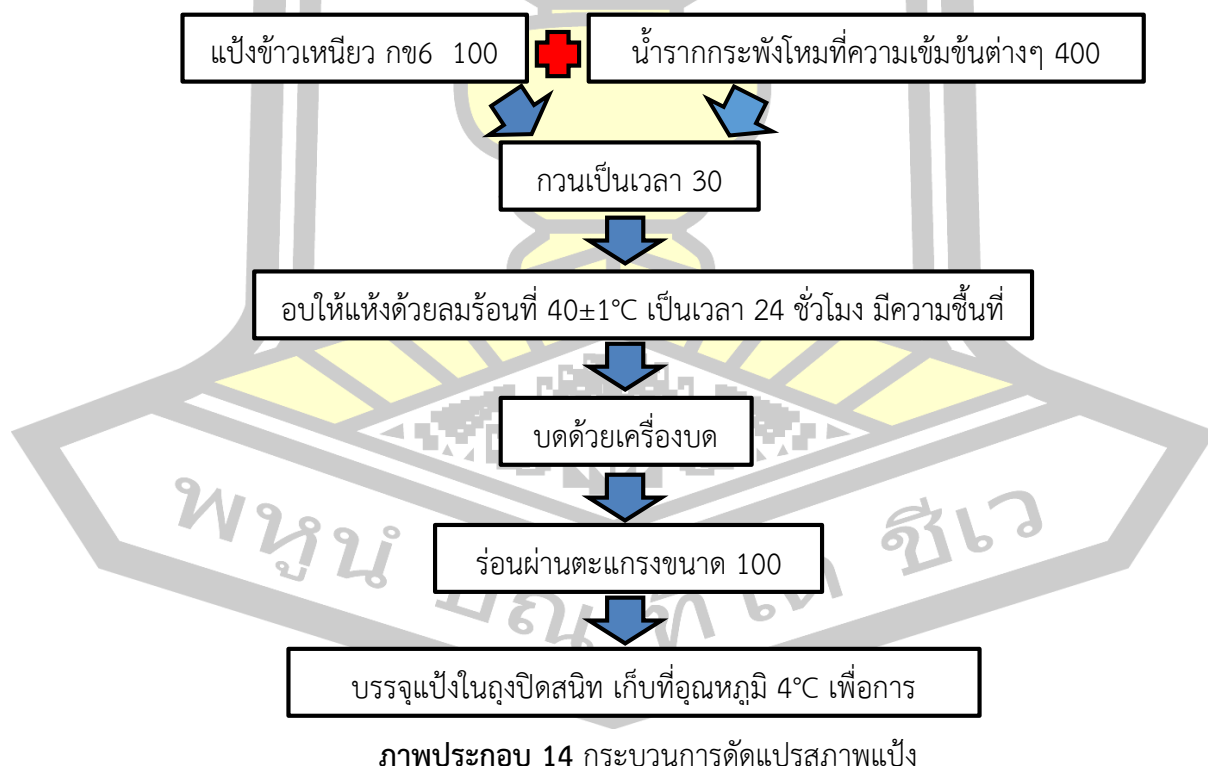


ภาพประกอบ 13 กระบวนการทำข้าวเกรียบ

3.3.4 การศึกษาผลของน้ำรากลกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ โดยวิธีการ Annealing

ศึกษาผลของน้ำรากลกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ เมื่อมีการเติมน้ำรากลกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% โดยวิธีเตรียมแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ ดัดแปลงจากวิธีของ (Ji & Yu, 2018) ดังนี้

- 1) นำน้ำรากลกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ปริมาตร 400 ml ผสมกับแป้งข้าวเหนียว กข6 100 กรัม
- 2) กวนด้วยเครื่อง Magnetic stirrers เป็นเวลา 30 นาที
- 3) เทน้ำแป้งลงในถาด แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 4) นำแป้งมาบดโดยใช้เครื่องบดผสม (Mixer Grinder)
- 5) ร่อนแป้งผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh
- 6) บรรจุแป้งในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท
- 7) เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป



ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties) ดัดแปลงจากวิธีของ (Cheng et al., 2005)ตามภาคผนวก ข-1 โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA-4 SA, Newport Scientific, Sydney, Australia) อุณหภูมิที่ใช้อุณหภูมิในช่วง 50–95°C และใช้เวลาในการทดสอบ 13 นาที คุณสมบัติความหนืดรายงานค่าดังนี้ อุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัว (Pasting temperature) ความหนืดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวสูงสุด (Peak viscosity) ความหนืดเมื่อแป้งเย็นตัว (Final viscosity) ความหนืดเมื่อแป้งยุบตัว (Breakdown) ความหนืดเมื่อแป้งคืนตัว (Setback) และความหนืดเมื่อแป้งคงตัว (Trough) รายงานผลเป็น Rapid Visco Unit (RVU)

2) ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเปียก (Hormdok & Noomhorm, 2007) ตามภาคผนวก ข-2 โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA.XTplus, United Kingdom) เตรียมแป้งเปียกโดยใช้แป้งเปียกที่ได้จากการหาการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties) แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้หัววัด P/20 ระยะระหว่างหัววัดกับฐาน 80 มิลลิเมตร ระยะทางที่หัววัดกดตัวแป้งเปียก 10 มิลลิเมตร ความเร็วกอนวัด ชณะวัดและความเร็วหลังวัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยค่าที่ได้จากการทดลอง คือความแน่นเนื้อ (Firmness) และความเหนียว (Stickiness)

3) ค่าสี (L^* a^* b^* Chroma และ Hue angle) ของแป้งดิบ และแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำ (น้ำรากลกระพังโหม 0%) และแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากลกระพังโหมความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ในกรณีของแป้งเปียกเตรียมโดยใช้แป้งเปียกที่ได้จากการหาการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties) แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้เครื่องวัดสี (Color meter) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR400 สุ่มวัดบนตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง ตัวอย่าง 3 ซ้ำ โดยรายงานเป็นค่า L^* a^* b^* Chroma และ Hue angle ดังที่กล่าวไว้ข้อ 3.3.3.1

4) ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางผลึกของเม็ดแป้งด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) โดยใช้เครื่อง Powder X-ray diffractometer (PANalytical, X'Pert PRO) โดยตรวจวัดรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction pattern) ที่มุม 2θ ในช่วง 5–50° ความเร็วในการตรวจวัดคือ 2.4°/min ตัวอย่างที่ศึกษามี 3 ตัวอย่างคือ แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำ (น้ำรากลกระพังโหม 0%) และแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากลกระพังโหมความเข้มข้นร้อยละ 10

5) ตรวจสอบโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้ง โดยใช้เครื่อง Fourier Transform infrared (FT-IR) Spectroscopy (Spectrum One FT-IR Spectrometer, Perkin

Elmer) เตรียมตัวอย่างโดยการผสมแบ่งกับ KBr ในอัตราส่วน 1:100 โดยมีค่า resolution เท่ากับ 4 cm^{-1} วัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ ตัวอย่างที่ศึกษามี 3 ตัวอย่างคือ แบ่งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพ แบ่งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพด้วยน้ำ (น้ำรากกระพังโหม 0%) และแบ่งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 10%

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

วิเคราะห์คุณสมบัติแบ่งข้าวเหนียว กข6 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของรากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน วิเคราะห์ผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแบ่งข้าวเหนียว กข6 ในระบบของน้ำเมื่อแบ่งข้าวมีความเข้มข้นต่ำและสูง (ข้าวเกรียบ) โดยศึกษาตัวกลางที่แบ่งกระจายตัวอยู่คือน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% และวิเคราะห์ผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแบ่งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ เมื่อตัดแปรด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% โดยเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณจากเครื่องมือวิเคราะห์ ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

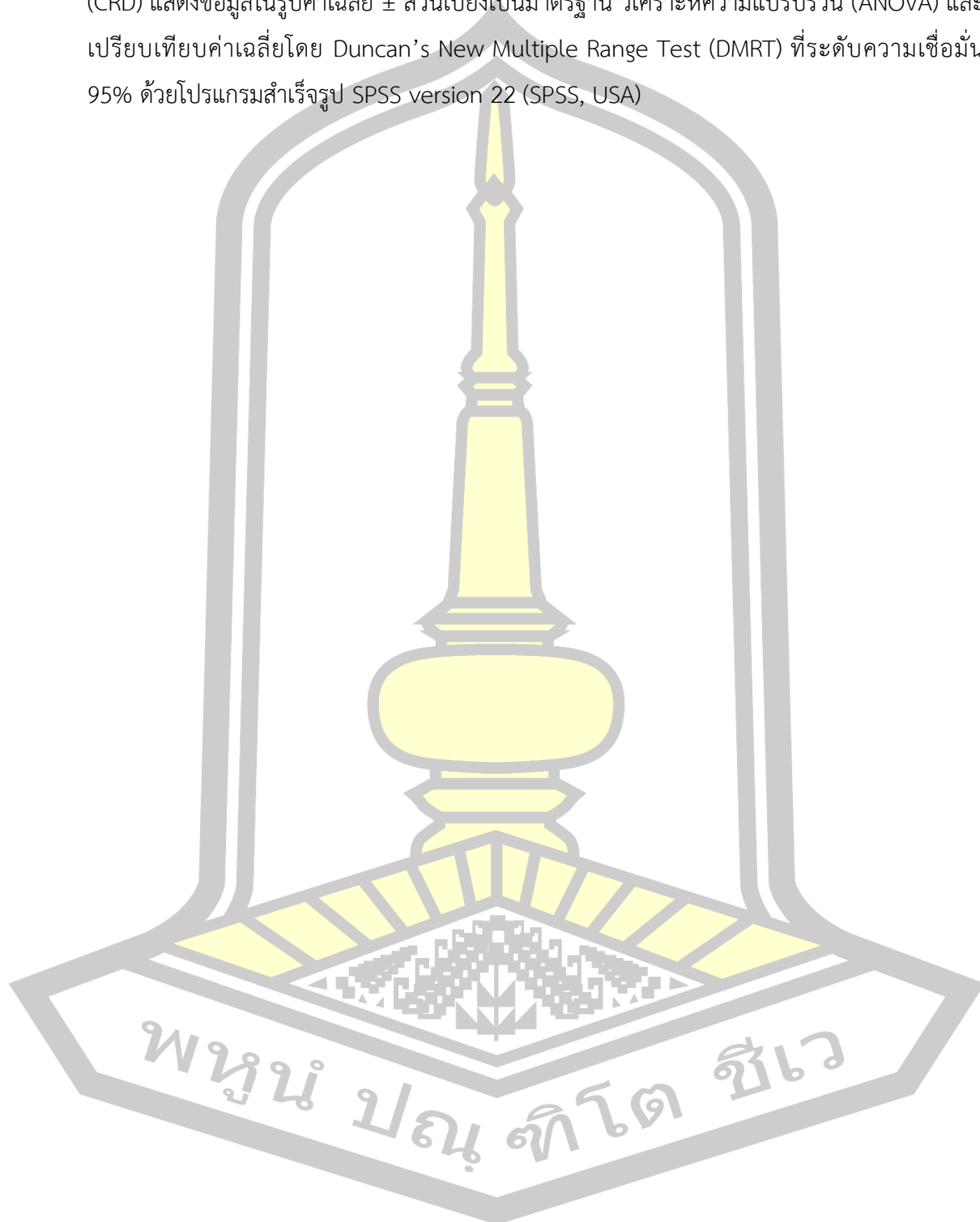
3.5.2 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม และการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพแบ่งข้าวเหนียว กข6 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD)) แสดงข้อมูลในรูปแบบค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแบ่งข้าวเหนียว กข6 ในระบบของน้ำเมื่อแบ่งข้าวมีความเข้มข้นต่ำและสูง (ข้าวเกรียบ) โดยศึกษาตัวกลางที่แบ่งกระจายตัวอยู่คือน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แสดงข้อมูลในรูปแบบค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 22 (SPSS, USA)

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแบ่งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ เมื่อตัดแปรด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0,

0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 22 (SPSS, USA)



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

4.1 การคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของรากกระพังโหม และแป้งข้าวเหนียว กข6

4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม

รากกระพังโหมเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และเมื่อทำให้เป็นผงแล้วมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 รากกระพังโหมอบแห้งและผงรากกระพังโหม

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของรากกระพังโหมสดและรากกระพังโหมอบแห้งด้วยลมร้อนแสดงดังตารางที่ 3 พบว่ารากกระพังโหมสดมีความชื้นสูงถึง 70.07% หลังผ่านการทำแห้งรากกระพังโหมมีความชื้นลดลงเหลือ 6.48% รากกระพังโหมสดและรากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนมีไขมันต่ำมาก (0.07 และ 0.48% ตามลำดับ) แต่พบเถ้าในปริมาณที่สูงคือ 3.22 และ 8.08% สำหรับรากกระพังโหมสดและรากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนตามลำดับ ปริมาณเถ้านี้บ่งชี้ว่ารากกระพังโหมมีสารประกอบอินทรีย์ในปริมาณสูง รากกระพังโหมสดและรากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนมีน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 34.81 และ 58.45 mg/g ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยน้ำหนักแห้ง พบว่ารากกระพังโหมสดมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (116.23 mg/g dry weight) สูงกว่ารากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน สอดคล้องกับการทดลองของ Wiriya et al. (2009) ที่รายงานว่าการอบแห้งส่งผลให้น้ำตาลรีดิวซ์ในพริกมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนหรือสารประกอบที่มีหมู่อะมิโน (Amino group) เช่นเดียวกับ Barba et al. (2014) ที่รายงานว่าน้ำตาลรีดิวซ์ในกล้วยลดลงหลังการอบแห้งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของน้ำตาลรีดิวซ์ และได้

ศึกษาถึงชนิดของน้ำตาลในรากกระพังโหมด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่ารากกระพังโหมอบแห้งมีปริมาณฟรักโทส กลูโคส ซูโครส มอลโทส และแลคโตส เป็นองค์ประกอบ และเมื่อตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำรากกระพังโหม ที่ความเข้มข้น 10% พบว่ามี pH เท่ากับ 5.27

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางเคมีและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม

องค์ประกอบทางเคมี/ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ	ปริมาณ	
	สด	อบแห้ง
Moisture content (%)	70.05 ± 2.44	6.48 ± 0.29
Fat (%)	0.07 ± 0.02	0.48 ± 0.08
Ash (%)	3.22 ± 0.41	8.08 ± 0.07
Protein (%)	2.00 ± 0.29	6.00 ± 0.29
Carbohydrate (%)	24.66 ± 2.82	78.97 ± 0.05
Reducing sugar (mg/g)	34.81 ± 0.68	58.45 ± 0.47
Total sugar (mg/g)		69.39 ± 2.22
Fructose (g/100g)		1.79
Glucose (g/100g)		2.22
Sucrose (g/100g)		2.92
Maltose (g/100g)		0.77
Lactose (LoD)*		0.03
Total phenolic content (mg GAE/g)	0.58 ± 0.03	0.59 ± 0.01
DPPH radical scavenging activity (mg VCEAC**/100g)	18.09 ± 1.53	48.05 ± 1.25
ABTS radical scavenging activity (mg VCEAC /100g)	13.57 ± 0.89	68.78 ± 2.11
Ferric Reducing Ability Power assay ($\mu\text{molFeSO}_4/100\text{g}$)	161.67 ± 14.14	345.67 ± 23.18

* Limit of Detection; LoD คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถวัดความแตกต่างจากค่า blank

** VCEAC = Vitamin C equivalent antioxidant capacity.

เนื่องจากทั้งรากกระพังโหมสดและรากกระพังโหมอบแห้งมีสารฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ (0.58 และ 0.59 mg GAE/g ตามลำดับ) จึงตรวจวัดฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH, ABTS และ FRAP assay พบว่ามีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ DPPH เมื่อเทียบกับวิตามินซีเป็น 18.09 และ 48.05 mg VCEAC/100g fresh weight ตามลำดับ ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ ABTS ของรากกระพังโหมสดและรากกระพังโหมอบแห้งเมื่อเทียบกับวิตามินซี มีค่าเป็น 13.57 และ 68.78 mg VCEAC /100g fresh weight ตามลำดับ และมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่ตรวจวัดโดย FRAP assay เป็น 161.67 และ 345.67 $\mu\text{molFeSO}_4/100\text{g fresh weight}$ ตามลำดับ Saenphet et al. (2014) รายงานว่าสารสกัดจากรากของ *P. pilifera* Hook.f. (Rubiaceae) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 58 ± 0.01 mg GAE/g extract และพบกรดแอสคอบิกในปริมาณสูง มีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ DPPH และ ABTS ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 17.02 mg/ml และ 57.57 mg/ml ตามลำดับ งานวิจัยนี้อบแห้งรากกระพังโหมที่อุณหภูมิต่ำคือ 60°C เนื่องจากต้องการลดการสูญเสียสารฟีนอลิกที่อาจถูกทำลายโดยความร้อน (Thermal degradation) อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองพบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพียง 0.59 mg GAE/g fresh weight ปริมาณที่ต่ำนี้อาจมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิในการอบแห้งยังสูงเกินไป ดังเช่นงานวิจัยของ Wiriya et al. (2009) ที่ชี้ว่าการอบแห้งพริกที่ 60°C ยังคงมีการสูญเสียฟีนอลิก (312.20 mg/100 g dried chili) ที่อาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเหนี่ยวนำโดยออกซิเจนและแสง เมื่อเปรียบเทียบกับพริกสดที่มีฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 468.29 mg/100 g ของพริกแห้ง

4.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6

ผลการศึกษารองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 มีปริมาณความชื้น ไขมัน เถ้า โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และอะมิโลสเป็น 14.08, 0.41, 0.33, 8.10, 77.08 และ 8.04% (db) ตามลำดับ โดยทั่วไปข้าวเหนียว กข6 มีอะมิโลสอยู่ในช่วง 4-6% (Noomhorm et al., 1997; Varavinit et al., 2003) ข้าวเหนียว กข6 จัดอยู่ในกลุ่มข้าวพันธุ์ที่มีอะมิโลสเป็นองค์ประกอบต่ำ (Low amylose rice) Jiranuntakul et al. (2011) รายงานว่าข้าวเหนียว กข6 มีอะมิโลส 1.64% (db) อะมิโลสของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในงานวิจัยนี้มีค่าสูงอาจเนื่องมาจากงานวิจัยนี้วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสด้วยวิธีการเกิดสีกับไอโอดีน ดังนั้นอะมิโลเพคตินที่มีขนาดสายโซ่บางส่วนยาวสามารถจับกับไอโอดีนได้เช่นเดียวกับอะมิโลสจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของวิธีการวัดได้ (Noosuk et al., 2003) อย่างไรก็ตามปริมาณอะมิโลสแป้งข้าวเหนียว กข6 ในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ อริญา ลาภโคกสูง (2555) ที่พบว่าข้าวเหนียว กข6 มีปริมาณอะมิโลสอยู่ 8.77% มีปริมาณความชื้น 10.35% โปรตีน 0.46% ไขมัน 0.20% และเถ้า 0.44% ข้าวเหนียว กข6 ที่ปลูกในพื้นที่แตกต่างกันมีแนวโน้มที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน

โดยข้าวเหนียว กข6 ที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายมีอะมิโลส 4.91% ไขมัน 0.36% เถ้า 0.45% ความชื้น 8.86% และโปรตีน 6.79% (เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์ และสวรัักษ์ จันทรเทพธิมากุล, 2559) ข้าวเหนียว กข6 ที่ปลูกในจังหวัดขอนแก่นมีอะมิโลส 2.11% (db) และโปรตีน 7.23% (db) ส่วนข้าวเหนียว กข6 ที่ปลูกในจังหวัดหนองคายมีอะมิโลส 2.04% (db) และโปรตีน 7.14% (db) องค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันอาจเกิดจากการกลายพันธุ์จากสายพันธุ์ของข้าวเหนียว กข6 เดิม และสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน (Keeratipibul et al., 2008)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางเคมีของของแป้งข้าวเหนียว กข6

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
ความชื้น (%)	14.08 ± 0.37
ไขมัน (%)	0.41 ± 0.02
เถ้า (%)	0.33 ± 0.00
โปรตีน (%)	8.10 ± 0.99
คาร์โบไฮเดรต (%)	77.08 ± 1.30
อะมิโลส (%)	8.04 ± 0.08

4.2 การศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ และสูง

4.2.1 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ

น้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% มีผลต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนของแป้งข้าวเหนียว กข6 ความเข้มข้น 10% ดังแสดงในตารางที่ 5 ข้าวเหนียว กข6 ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีโนเซชันในระดับต่ำ (Juliano et al., 1987; Kongseree, 1979; Perez et al., 1979) สอดคล้องกับ Keeratipibul et al. (2008) ที่รายงานไว้ว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีโนเซชันเฉลี่ยของข้าวเหนียว กข6 ที่ปลูกในจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดหนองคายอยู่ในช่วง 61–64°C และ เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์ และสวรัักษ์ จันทรเทพธิมากุล (2559) ที่พบว่า Pasting temperature (อุณหภูมิในการเริ่มเกิดความหนืด) ของข้าวเหนียว กข6 มีค่าเท่ากับ 71.78°C ผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า Pasting temperature ของแป้งข้าวเหนียว กข6 มีค่าเป็น 69.35°C และยังพบอีกว่าน้ำรากกระพังโหมมีผลต่อคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนของแป้งข้าวเหนียว กข6 ($p \leq 0.05$) โดย Pasting temperature ของแป้งข้าวเหนียว กข6 เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนตัวกลางจากน้ำไปเป็นน้ำราก

กระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% โดยมีค่าเป็น 70.72, 71.02, 71.83, 71.85, 73.95°C ตามลำดับ Pasting temperature ของแป้งข้าวเหนียว กข6 เพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำรากลกระพังโหมเพิ่มขึ้น และเพิ่มสูงที่สุดเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นเป็น 10% ($p \leq 0.05$) นั่นคือน้ำรากลกระพังโหมชะลอการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 ได้ นักวิจัยหลายคณะพบว่าน้ำตาลซูโครสเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินเซชันของแป้ง แต่ยังไม่มียางานถึงกลไกที่แท้จริง อย่างไรก็ตามคาดว่ากลไกที่น้ำตาลสามารถเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินเซชันของแป้งอาจมีอยู่ 3 กลไก ดังนี้ (1) การแย่งน้ำระหว่างน้ำตาลและแป้ง (2) น้ำตาลช่วยยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง และ (3) น้ำตาลแทรกตัวเข้าไปในเม็ดแป้งและเกิดปฏิสัมพันธ์กับส่วนอสัณฐานในเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งมีความคงตัวสูงขึ้น (Mamat & Hill, 2018)

Peak viscosity, Breakdown และ Final viscosity ของแป้งข้าวเหนียว กข6 มีค่าลดลงเมื่อตัวกลางของระบบเปลี่ยนจากน้ำเป็นน้ำรากลกระพังโหม ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณา Breakdown ซึ่งบ่งบอกถึงความแข็งแรงหรือความทนทานต่อแรงกระทำของเม็ดแป้ง พบว่าน้ำรากลกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ทำให้แป้งข้าวเหนียว กข6 มีค่า Breakdown เป็น 109.89, 50.42, 30.33, 13.92 และ 8.11 RVU ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเมื่อแป้งอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ (173.00 RVU) ผลการทดลองนี้ชี้ว่าน้ำจากรากลกระพังโหมช่วยให้เม็ดแป้งมีความทนทานต่อแรงกระทำมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากน้ำรากลกระพังโหมมีปริมาณน้ำตาลและสารอินทรีย์เช่น แร่ธาตุต่างๆ สูง น้ำตาลที่ความเข้มข้นสูงกว่า 20% ส่งผลให้การพองตัวของเม็ดแป้งลดลง ทำให้ความหนืดของระบบต่ำลง ความแข็งแรงของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น (Ahmad & Willaims, 1996) ในกรณีของแร่ธาตุต่างๆ นั้น Kelly et al. (1995) รายงานไว้ว่าแร่ธาตุเช่น โซเดียมคลอไรด์มีผลให้ความหนืดและการพองตัวของแป้งมันฝรั่งลดลง ความแข็งแรงและความทนทานต่อแรงกระทำของเม็ดแป้งในระบบที่มีน้ำรากลกระพังโหมทำให้เม็ดแป้งแตกน้อยลง ดังนั้นอะมิโลสและอะมิโลเพคตินที่อยู่ภายในเม็ดแป้งจึงไม่สามารถไหลออกมาสู่ของเหลวภายนอกเม็ดแป้งได้ จึงส่งผลให้ Peak viscosity และ Final viscosity ของระบบต่ำลง นอกจากนี้ปริมาณอะมิโลสในของเหลวภายนอกเม็ดแป้งที่มีน้อยจึงเป็นสาเหตุให้เกิดเจลของระบบต่ำและทำให้ค่า Setback ของระบบลดลง

ผลการศึกษาค่าสีของแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ความเข้มข้น 10% ในตัวกลางที่แตกต่างกันคือ น้ำ และน้ำรากลกระพังโหมอบแห้งด้วยลมร้อนความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ดังแสดงในตารางที่ 6 และภาพประกอบ 16 โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ของสีดังนี้ L^* (ค่าความสว่าง), a^* (+a หมายถึงสีแดง -a หมายถึงสีเขียว), b^* (+b หมายถึงสีเหลือง -b หมายถึงสีน้ำเงิน), Chroma (ค่าความบริสุทธิ์หรือความอิ่มตัวของสี) และ Hue angle (ค่าโทนสี 90 องศาหมายถึงสีเหลือง 180 องศาหมายถึงสีเขียว และ 270 องศาหมายถึงสีฟ้าอมเขียว) ผลการทดลองพบว่าน้ำรากล

กระทิงโหมมีแนวโน้มทำให้สีของแป้งเปียกเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับแป้งเปียกในตัวกลางที่เป็นน้ำ ($p \leq 0.05$) โดยทำให้ค่า L^* ลดลง และทำให้ a^* มีค่าติดลบน้อยลงในขณะที่ค่า b^* เพิ่มขึ้นจาก -0.31 ในกรณีของแป้งเปียกที่ใช้น้ำโดยไม่มีรากกระทิงโหมไปเป็น 2.15 ในแป้งเปียกที่ใช้น้ำรากกระทิงโหมความเข้มข้น 10% นั่นคือน้ำรากกระทิงโหมมีผลให้แป้งเปียกคล้ำขึ้น มีความเป็นสีเขียวลดลง (a^* เพิ่มขึ้น) และมีความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (b^* เพิ่มขึ้น) แป้งเปียกที่ใช้น้ำโดยไม่มีรากกระทิงโหมมีค่า Hue angle เป็น 184.02 นั่นคือมีเฉดสีเป็นเขียว ค่า Hue angle ของแป้งเปียกลดลง (166.97) เมื่อใช้น้ำรากกระทิงโหมความเข้มข้น 0.625% และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำรากกระทิงโหมพบว่าค่า Hue angle ของแป้งเปียกลดลงและลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำรากกระทิงโหม แป้งเปียกที่ใช้น้ำรากกระทิงโหมความเข้มข้น 10% มีค่า Hue angle (100.44) ต่ำกว่าแป้งเปียกตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งน้ำรากกระทิงโหมมีผลให้สีของแป้งเปียกเปลี่ยนจากเฉดสีเป็นเขียวไปเป็นเฉดสีเหลือง ส่วนค่า Chroma ของแป้งเปียกที่ใช้น้ำโดยไม่มีรากกระทิงโหมมีค่าเป็น 4.45 และลดลงเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระทิงโหมเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าน้ำรากกระทิงโหมลดความเข้มในเฉดสีของแป้งเปียก

ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ความเข้มข้น 10% ในตัวกลางที่แตกต่างกันคือน้ำ และน้ำรากกระทิงโหมอบแห้งด้วยลมร้อนความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ดังภาพประกอบ 17 พบว่ามีความแน่นเนื้อ (Firmness) เป็น 26.08, 18.16, 12.31, 11.10, 10.31 และ 10.43 g ตามลำดับ ทั้งนี้ น้ำรากกระทิงโหมทำให้ความแน่นเนื้อของแป้งข้าวเหนียว กข6 มีค่าต่ำกว่าเมื่ออยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สาเหตุอาจเนื่องมาจากรากกระทิงโหมทำให้เม็ดแป้งแข็งแรงและความทนทานต่อแรงกระทำ การแตกตัวของเม็ดแป้งทำให้ปริมาณอะมิโลสในของเหลวภายนอกเม็ดแป้งมีค่าต่ำ แป้งเปียกจึงเกิดเจลได้น้อยลง และทำให้ความแน่นเนื้อแป้งข้าวเหนียว กข6 ลดต่ำลงตามไปด้วย นอกจากนี้แล้วความแน่นเนื้อของแป้งเปียกที่ลดลงอาจเกิดจากปริมาณน้ำตาลในน้ำรากกระทิงโหมโดยตรง มีรายงานว่า การเติมน้ำตาลซูโครสลงในแป้งทำให้ความแน่นเนื้อของแป้งเปียกมีค่าลดลง อันเป็นผลมาจากโมเลกุลขนาดใหญ่และซับซ้อนของซูโครสมีแนวโน้มในการกระจายตัวเข้าไประหว่างมวลของสตาร์ชและโปรตีนและเข้าไปขัดขวางการเกิดเจลของแป้งเปียก (Huang et al., 2007) นอกจากนี้แล้วยังพบว่าน้ำรากกระทิงโหมมีผลต่อความเหนียว (Stickiness) ของแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ด้วยเช่นกัน โดยพบว่าความเหนียวของแป้งเปียกลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระทิงโหมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 5 ผลของน้ำรากระพังใหม่ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวความเข้มข้น 10%

คุณสมบัติ	ความเข้มข้นของน้ำรากระพังใหม่					
	0%**	0.625%**	1.25%**	2.5%**	5%	10%
Pasting temperature (°C)	69.35 ± 0.05 ^{c*}	70.72 ± 0.94 ^{bc}	71.02 ± 0.75 ^b	71.83 ± 0.83 ^b	71.85 ± 0.83 ^b	73.95 ± 0.95 ^a
Peak time (min)	3.67 ± 0.00 ^{ab}	3.73 ± 0.07 ^a	3.67 ± 0.07 ^{ab}	3.58 ± 0.08 ^b	3.40 ± 0.07 ^c	3.35 ± 0.04 ^c
Peak viscosity (RVU)	368.08 ± 2.65 ^a	257.33 ± 6.07 ^b	128.05 ± 2.14 ^c	75.95 ± 1.29 ^d	48.05 ± 1.25 ^e	40.33 ± 0.75 ^f
Trough (RVU)	195.08 ± 1.16 ^a	147.44 ± 4.43 ^b	77.64 ± 1.27 ^c	45.61 ± 0.27 ^d	34.22 ± 0.54 ^e	32.22 ± 0.56 ^e
Breakdown (RVU)	173.00 ± 3.18 ^a	109.89 ± 7.97 ^b	50.42 ± 0.87 ^c	30.33 ± 1.04 ^d	13.92 ± 1.23 ^e	8.11 ± 0.43 ^e
Final viscosity (RVU)	247.36 ± 1.25 ^a	181.11 ± 3.42 ^b	95.95 ± 1.12 ^c	54.61 ± 0.31 ^d	37.25 ± 0.38 ^e	33.69 ± 0.32 ^f
Setback (RVU)	52.28 ± 1.83 ^a	33.67 ± 1.09 ^b	18.31 ± 0.27 ^c	9.00 ± 0.22 ^d	3.03 ± 0.40 ^e	1.47 ± 0.24 ^e

* a-f ...อักษรที่แสดงความแตกต่างภายในแถว แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

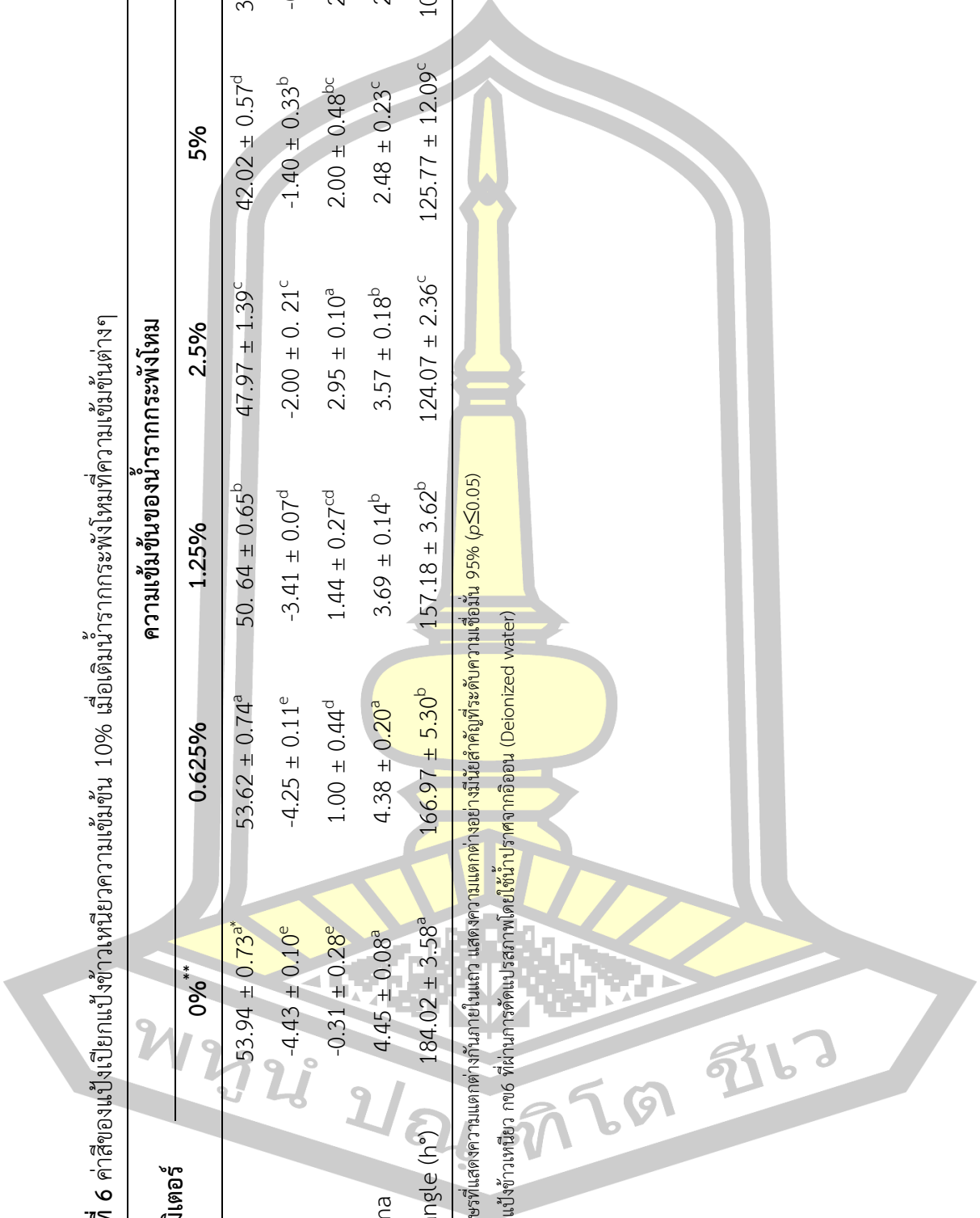
** 0% = แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรรูปโดยใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

ตารางที่ 6 ค่าสีของแป้งเปียกแป้งข้าวเหนียวความเข้มข้น 10% เมื่อเติมน้ำรากลกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นของน้ำรากลกระพังโหม					
	0%**	0.625%	1.25%	2.5%	5%	10%
L*	53.94 ± 0.73 ^{a*}	53.62 ± 0.74 ^a	50.64 ± 0.65 ^b	47.97 ± 1.39 ^c	42.02 ± 0.57 ^d	38.60 ± 0.25 ^e
a*	-4.43 ± 0.10 ^e	-4.25 ± 0.11 ^e	-3.41 ± 0.07 ^d	-2.00 ± 0.21 ^c	-1.40 ± 0.33 ^b	-0.39 ± 0.25 ^a
b*	-0.31 ± 0.28 ^e	1.00 ± 0.44 ^d	1.44 ± 0.27 ^{cd}	2.95 ± 0.10 ^a	2.00 ± 0.48 ^{bc}	2.15 ± 0.17 ^b
Chroma	4.45 ± 0.08 ^a	4.38 ± 0.20 ^a	3.69 ± 0.14 ^b	3.57 ± 0.18 ^b	2.48 ± 0.23 ^c	2.19 ± 0.13 ^c
Hue angle (h°)	184.02 ± 3.58 ^a	166.97 ± 5.30 ^b	157.18 ± 3.62 ^b	124.07 ± 2.36 ^c	125.77 ± 12.09 ^c	100.44 ± 7.14 ^d

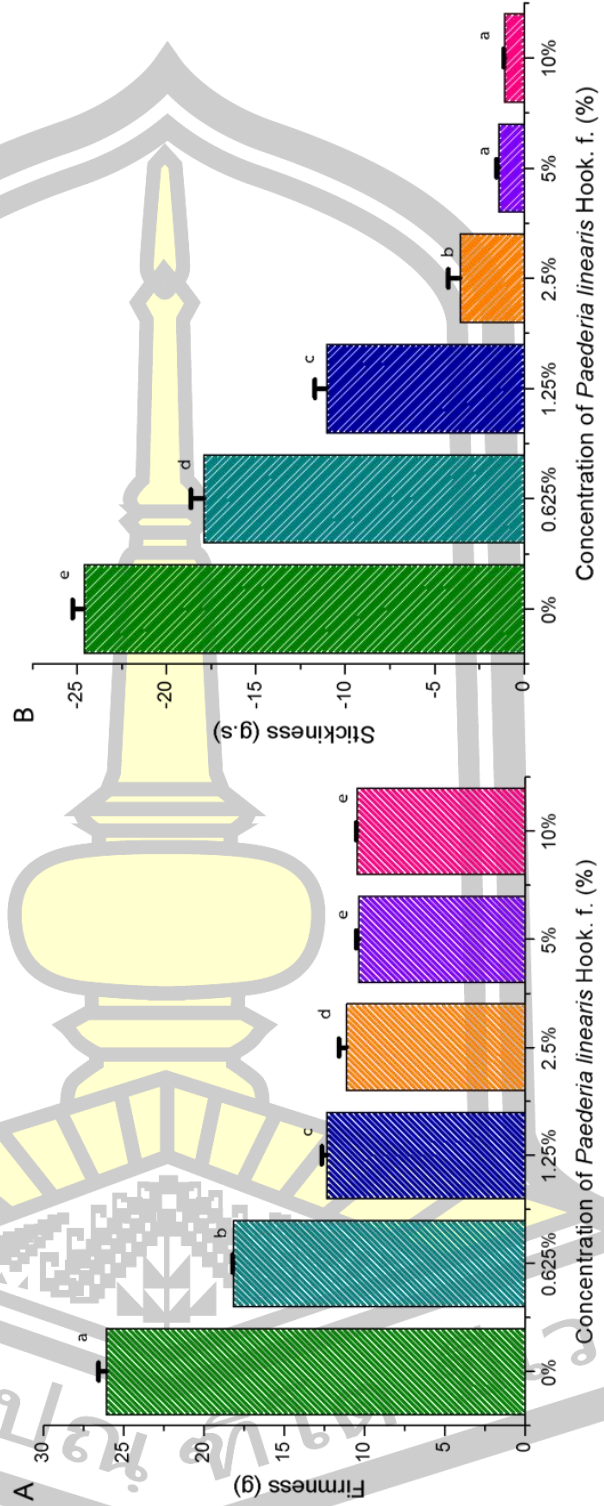
* a-e ...อักษรที่แสดงค่าแตกต่างกันภายในแถว แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

** 0% = แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพโดยใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)





ภาพประกอบ 16 แบ่งเปียกของแบ่งข้าวเหนียว กข6 ความเข้มข้น 10% เมื่อเติมน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพประกอบ 17 ลักษณะเนื้อสัมผัสของแบ่งเปียกแบ่งข้าวเหนียวความเข้มข้น 10% เมื่อเติมน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ (A: Firmness (g),

B: Stickiness (g.s))

4.2.2 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวสูง

ศึกษาผลของรากลระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวความเข้มข้น 50% เมื่อมีการเติมน้ำ และน้ำรากลระพังโหมความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของข้าวเกรียบแผ่นแป้งดิบและข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7 ตามลำดับ

ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) ของข้าวเกรียบดิบที่เติมน้ำมีค่าเป็น 0.090 g/cm^3 ใกล้เคียงกับที่ Jomduang and Mohamed (1994) ซึ่งผลิตข้าวเกรียบว่าวในลักษณะเดียวกัน รายงานไว้ว่ามีค่าเป็น 0.0526 g/cm^3 งานวิจัยนี้พบว่าเมื่อมีการเติมน้ำรากลระพังโหมมีผลให้ความหนาแน่นของข้าวเกรียบแผ่นดิบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) Benjakul and Karnjanapratum (2018) ที่พบว่าการเติมผงไปโอแคลเซียมลงในแครกเกอร์ข้าวสาลิมีผลให้แครกเกอร์ข้าวสาลิมีความหนาแน่นลดลง โดยผงไปโอแคลเซียมไปเติมช่องว่างในแครกเกอร์ทำให้ขนาดเล็กลง ส่วนความหนาแน่นโดยรวมของข้าวเกรียบหลังผ่านการอบด้วยไมโครเวฟเมื่อมีการเติมน้ำรากลระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

Volume expansion ของข้าวเกรียบเมื่อมีการเติมน้ำหลังผ่านการอบด้วยไมโครเวฟในการทดลองนี้มีค่าเป็นร้อยละ 152.36 ในขณะที่ Keeratipibul et al. (2008) ซึ่งผลิตข้าวเกรียบจากข้าวเหนียว กข6 ที่ปลูกในจังหวัดขอนแก่น และรายงานข้าวเกรียบมี Volume expansion (%) อยู่ในช่วง 290.35–308.76 สูงกว่างานทดลองนี้ ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของส่วนผสมที่ต่างกัน ในงานวิจัยนี้พบว่าข้าวเกรียบหลังผ่านการอบด้วยไมโครเวฟที่ได้จากการเติมน้ำรากลระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% มีค่า Volume expansion เป็น 156.02, 157.74, 164.28, 166.67 และ 159.86% ตามลำดับ แม้ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับข้าวเกรียบที่ไม่มีการเติมน้ำรากลระพังโหม แต่ Volume expansion มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำรากลระพังโหม สอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริธร ศิริอมรพรรณ (2547) ที่พบว่าการเติมสารละลายรากลระพังโหมนั้นสามารถช่วยให้ข้าวเกรียบว่าวพองตัวด้านข้างได้เป็นอย่างดี อาทิติ ชัยแสนเท่า และคณิตตา พรหมหากุล (2550) รายงานว่าการเติมสารละลายรากลระพังโหมร่วมกับผงฟูในอัตราส่วน 6.66 : 0.56 ทำให้เค้กขึ้นฟูได้ดีกว่าการใช้ผงฟูเพียงอย่างเดียว

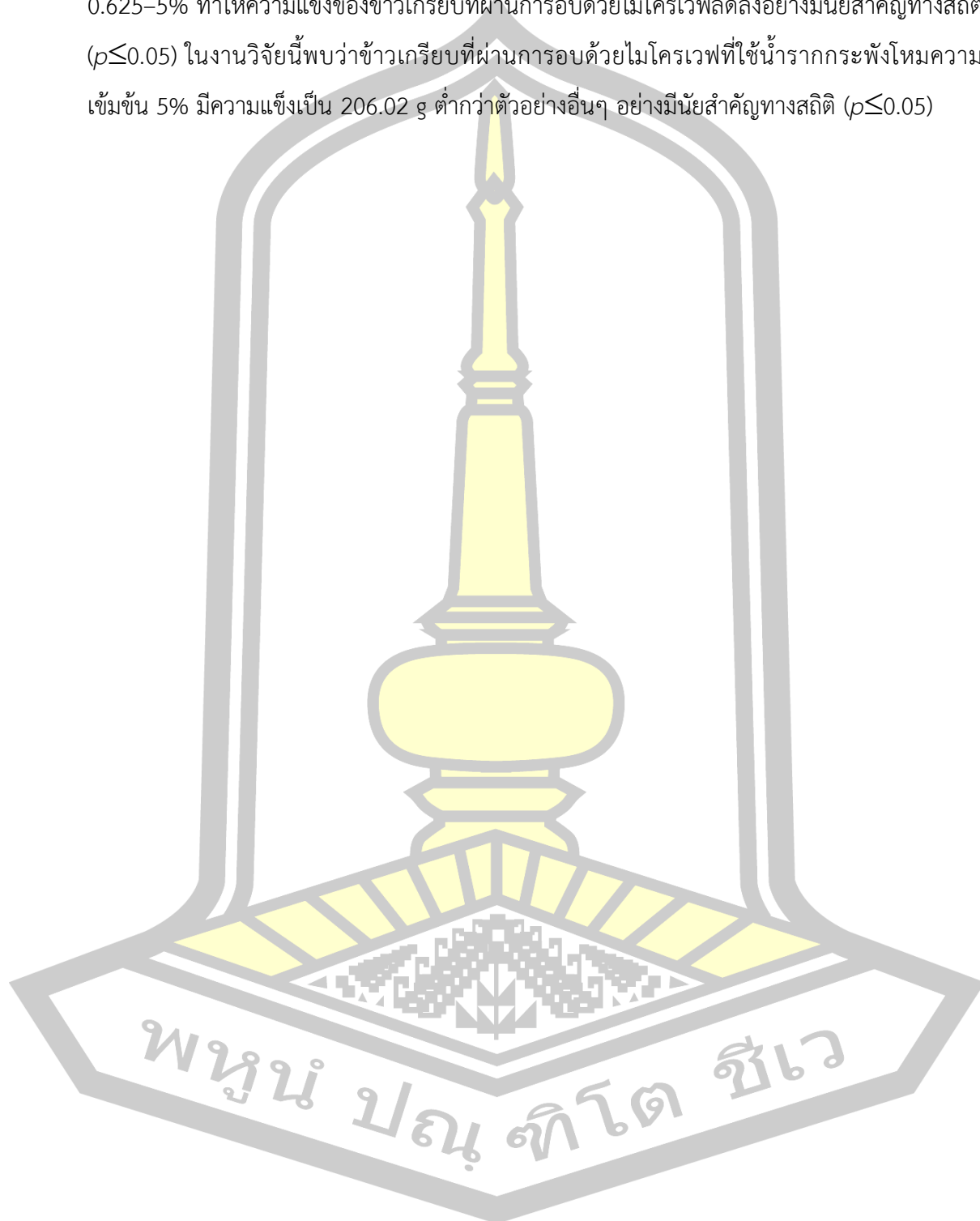
ผลการศึกษาค่าสีของข้าวเกรียบดิบ และข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟที่ใช้น้ำ และน้ำรากลระพังโหมความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ดังแสดงในภาพประกอบ 19 พบว่าน้ำรากลระพังโหมมีผลต่อสีข้าวเกรียบทั้งข้าวเกรียบดิบ และข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ข้าวเกรียบดิบที่ใช้น้ำโดยไม่มีรากลระพังโหมมีค่า L^* เป็น 61.27

และค่า L^* เพิ่มขึ้น (67.81) เมื่อใช้น้ำร่ากกระพังโหมความเข้มข้น 0.625% แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำร่ากกระพังโหม ค่า L^* ของข้าวเกรียบดิบลดลงและลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำร่ากกระพังโหม ข้าวเกรียบดิบที่ใช้น้ำร่ากกระพังโหมความเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่า L^* (52.69) ต่ำกว่าข้าวเกรียบดิบตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า a^* ของข้าวเกรียบดิบที่ใช้น้ำโดยไม่มีร่ากกระพังโหมมีค่าเป็น -4.02 เมื่อใช้น้ำร่ากกระพังโหมในการผลิตมีผลให้ค่า a^* ของข้าวเกรียบดิบเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำร่ากกระพังโหม ข้าวเกรียบดิบที่ใช้น้ำโดยไม่มีร่ากกระพังโหมมีค่า Hue angle เป็น 112.02 และค่า Hue angle ลดลงเมื่อใช้น้ำร่ากกระพังโหมความเข้มข้น 0.625% (98.04) ซึ่งให้เห็นว่าการใช้น้ำร่ากกระพังโหมทำให้สีของข้าวเกรียบดิบเปลี่ยนจากเฉดสีเขียวไปเป็นสีเหลืองมากขึ้น ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำร่ากกระพังโหมทำให้ค่า Hue angle ลดลง ข้าวเกรียบที่ใช้น้ำร่ากกระพังโหมความเข้มข้น 5 และ 10% มีค่า Hue angle (88.93 และ 88.70, ตามลำดับ) ต่ำกว่าข้าวเกรียบดิบตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟที่ใช้น้ำโดยไม่มีร่ากกระพังโหมมีค่า Hue angle เป็น 117.55 นั่นคือมีเฉดสีเป็นสีเหลืองเขียว ค่า Hue angle ของข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟลดลง (105.03) เมื่อใช้น้ำร่ากกระพังโหมความเข้มข้น 0.625% และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำร่ากกระพังโหมพบว่าค่า Hue angle ของข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟลดลงและลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำร่ากกระพังโหม ข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟที่ใช้น้ำร่ากกระพังโหมความเข้มข้น 10% มีค่า Hue angle (79.46) ต่ำกว่าข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งน้ำร่ากกระพังโหมมีผลให้สีของข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟเปลี่ยนจากเฉดสีเขียวไปเป็นเฉดสีเหลือง นอกจากผลของสีน้ำร่ากกระพังโหมเองแล้วการเปลี่ยนแปลงเฉดสีของข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟยังอาจเป็นผลมาจากน้ำตาลรีดิวิซ์ เช่น ฟรักโตส และกลูโคสที่เป็นส่วนประกอบในน้ำร่ากกระพังโหมที่อาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบเอมีนในส่วนผสมอื่นของข้าวเกรียบเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งส่งผลให้ข้าวเกรียบมีสีเข้มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Barba et al. (2014) ที่รายงานว่าหลังการอบแห้งกล้วยในไมโครเวฟน้ำตาลรีดิวิซ์ในกล้วยลดลงเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของน้ำตาลรีดิวิซ์

ผลการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟในตัวอย่างที่แตกต่างกันคือ น้ำ และน้ำร่ากกระพังโหมความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ดังแสดงในภาพประกอบ 18 ข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟที่ใช้น้ำโดยไม่มีร่ากกระพังโหมมีความแข็ง (Hardness) เป็น 1279.44 g สูงกว่าข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟที่ใช้น้ำร่ากกระพังโหม

ความเข้มข้นต่างๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมที่เพิ่มขึ้นในช่วง 0.625–5% ทำให้ความแข็งของข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในงานวิจัยนี้พบว่าข้าวเกรียบที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟที่ใช้ น้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 5% มีความแข็งเป็น 206.02 g ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเกรียบแผ่นดิบ และข้าวเกรียบที่อบด้วยไมโครเวฟเมื่อมีการเติมน้ำรากกระพี้โหมความเข้มข้นต่างๆ

คุณสมบัติ	ความเข้มข้นของน้ำรากกระพี้โหม					
	0% ^{***}	0.625%	1.25%	2.5%	5%	10%
ข้าวเกรียบแผ่นดิบ						
Bulk density (g/cm ³)	0.090 ± 0.01 ^a	0.066 ± 0.00 ^b	0.069 ± 0.00 ^b	0.069 ± 0.00 ^b	0.061 ± 0.00 ^b	0.067 ± 0.00 ^b
Colour						
L*	61.27 ± 1.15 ^{abc}	67.81 ± 5.71 ^a	65.96 ± 7.12 ^{ab}	55.76 ± 0.51 ^{cd}	59.99 ± 2.57 ^{bcd}	52.69 ± 1.75 ^d
a*	-4.02 ± 0.22 ^b	-2.69 ± 0.20 ^b	-3.27 ± 0.69 ^b	-2.62 ± 0.27 ^b	0.69 ± 2.02 ^a	0.30 ± 0.13 ^a
b*	10.89 ± 3.69 ^b	19.64 ± 3.45 ^a	11.80 ± 1.32 ^b	9.86 ± 0.50 ^b	17.58 ± 2.02 ^a	13.22 ± 0.58 ^b
Chroma	11.66 ± 3.27 ^a	19.83 ± 3.39 ^b	12.27 ± 1.29 ^b	10.20 ± 0.48 ^b	17.67 ± 2.06 ^a	13.22 ± 0.58 ^b
Hue angle	112.02 ± 9.24 ^a	98.04 ± 2.12 ^b	105.54 ± 3.55 ^{ab}	104.91 ± 1.71 ^{ab}	88.93 ± 6.43 ^c	88.70 ± 0.59 ^c
ข้าวเกรียบที่อบด้วยไมโครเวฟ						
Bulk density (g/cm ³) ^{ns**}	0.038 ± 0.00	0.038 ± 0.00	0.040 ± 0.00	0.041 ± 0.00	0.039 ± 0.00	0.042 ± 0.00
Volume expansion (%) ^{ns}	152.36 ± 4.14	156.02 ± 6.26	157.74 ± 25.02	164.28 ± 12.37	166.67 ± 16.67	159.86 ± 13.33
Colour						
L*	54.15 ± 2.72 ^{abc}	57.21 ± 1.35 ^a	55.67 ± 3.50 ^{ab}	52.82 ± 1.38 ^{bc}	50.83 ± 1.29 ^c	40.76 ± 0.92 ^d
a*	-4.23 ± 0.18 ^f	-3.51 ± 0.45 ^e	-2.39 ± 0.18 ^d	-1.28 ± 0.26 ^c	-0.54 ± 0.47 ^b	1.70 ± 0.19 ^a
b*	8.33 ± 1.56 ^c	13.55 ± 2.66 ^a	12.73 ± 1.79 ^a	12.07 ± 1.09 ^{ab}	11.76 ± 1.56 ^{ab}	9.15 ± 0.36 ^{bc}
Chroma	9.38 ± 1.44 ^b	14.03 ± 2.48 ^a	12.96 ± 1.74 ^a	12.14 ± 1.05 ^{ab}	11.78 ± 1.54 ^{ab}	9.31 ± 0.32 ^b

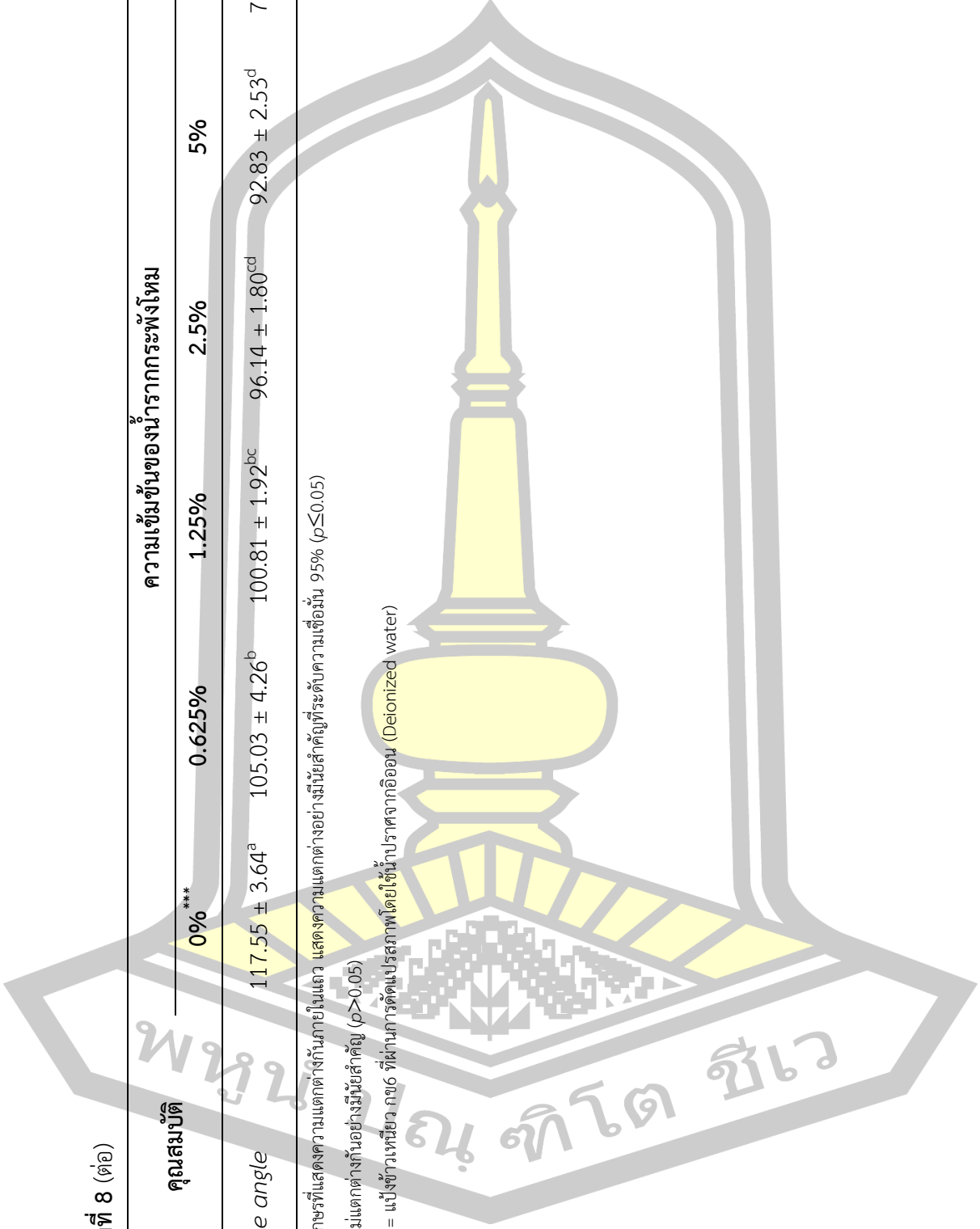
ตารางที่ 8 (ต่อ)

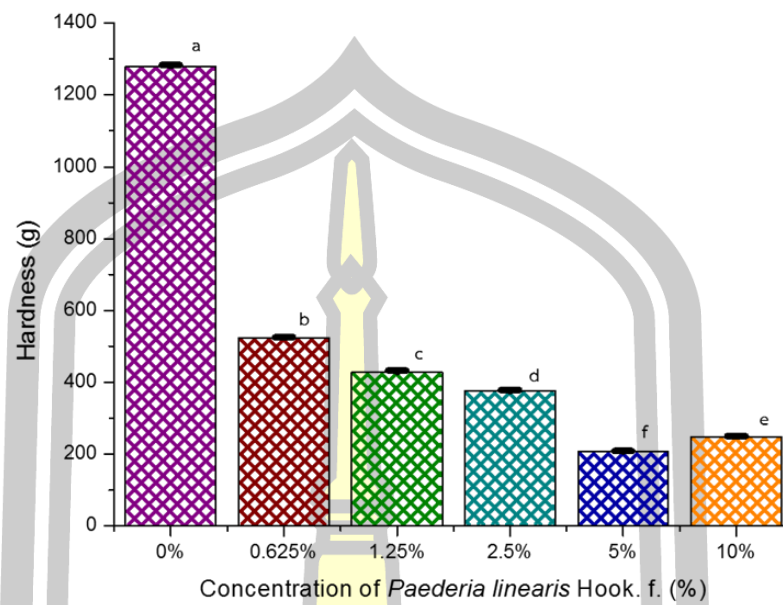
คุณสมบัติ	ความเข้มข้นของน้ำตาลกระพังโทม					
	0% ^{***}	0.625%	1.25%	2.5%	5%	10%
Hue angle	117.55 ± 3.64 ^a	105.03 ± 4.26 ^b	100.81 ± 1.92 ^{bc}	96.14 ± 1.80 ^{cd}	92.83 ± 2.53 ^d	79.46 ± 1.45 ^e

* a-c ...อักษรที่แสดงความแตกต่างกันภายในแถว แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

** ns = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

*** 0% = แบ่งข้าเหี่ยว ภาง6 ที่ผ่านการตัดแปรรูปโดยใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)





ภาพประกอบ 18 ความแข็งของข้าวเกรียบที่อบด้วยไมโครเวฟเมื่อมีการเติมน้ำรากลกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ



ภาพประกอบ 19 ข้าวเกรียบดิบก่อนอบด้วยไมโครเวฟ และข้าวเกรียบหลังอบด้วยไมโครเวฟ

4.3 การศึกษาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ โดยวิธีการ Annealing

ผลิตแป้งข้าวเหนียว กข6 ตัดแปรสภาพเมื่อมีตัวกลางเป็นน้ำ และน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ คือ 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ลักษณะของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพแสดงดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพ (Native) และที่ผ่านการตัดแปรสภาพในน้ำ (0%) และน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5 และ 10%

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพดังกล่าว ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า Pasting temperature ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพและที่ผ่านการตัดแปรสภาพในน้ำ และน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, และ 5% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมเพิ่มขึ้นโดย Pasting temperature ของแป้งดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วง 69.35–70.47°C แต่เมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมเพิ่มขึ้นเป็น 10% แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพมี Pasting temperature (72.32°C) สูงกว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพและที่ผ่านการตัดแปรสภาพในน้ำ และน้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้น 0.625–5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลดังกล่าวชี้ว่าน้ำรากกระพังโหมชะลอการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียว กข6 ซึ่งอาจเกิดจากน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่พบมากในน้ำรากกระพังโหม (ตารางที่ 3) ดังที่ H.-H. Chen et al. (2014) รายงานว่าเมื่อเพิ่มน้ำตาลกลูโคส หรือน้ำตาลซูโครสในแป้งมันฝรั่งมีผลให้ Pasting temperature ของแป้งเพิ่มขึ้นราว 4°C สอดคล้องกับรายงานของ เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์ และสวรัักษ์ จันทรเทพธิมากุล (2559) ที่รายงานว่ากลูโคสและฟรักโทสทำให้เกิด Gelatinization ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ซ้ำลงโดยพบการเพิ่มขึ้นของ Gelatinization temperature และ

Gelatinization time ในแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ที่เติมน้ำตาลดั่งกล่าวเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ที่ไม่เติมน้ำตาล

Peak viscosity ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพมีค่าเป็น 368.08 RVU สูงกว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพทุกตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพในน้ำมีค่า Peak viscosity เป็น 158.61 RVU ต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ Peak viscosity แล้วยังพบว่า Trough, Breakdown, Final viscosity และ Setback ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพในน้ำ (88.69, 69.91, 103.22, และ 14.53 RVU, ตามลำดับ) มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพ (177.14, 111.81, 220.61, และ 43.47 RVU ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การตัดแปรสภาพแป้งในงานวิจัยนี้เป็นการให้ความร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 40°C Uthumporn et al. (2016) พบการลดลงของ Peak viscosity และ Setback ในแป้งข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนแห้งที่ 50°C และ 60°C และอธิบายว่าอาจเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างภายในเม็ดแป้งและการเกาะเกี่ยวกันเองของโมเลกุลแป้งระหว่างการให้ความร้อน ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทนต่ออุณหภูมิและแรงกระทำได้ดีขึ้น พบลักษณะเช่นเดียวกันนี้ในการตัดแปรสภาพแป้งข้าวฟ่างด้วยความร้อนขึ้น โดย Olayinka et al. (2008) รายงานว่า Pasting temperature ของสตาร์ชของข้าวฟ่างที่ผ่านการตัดแปรด้วยการให้ความร้อนขึ้นมีค่าสูงขึ้นแต่ Peak viscosity และ Setback มีค่าลดลง

แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพโดยใช้น้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0.625-10% มีค่า Peak viscosity, Trough, Breakdown, Final viscosity และ Setback ลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณา Breakdown ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงหรือความทนทานต่อแรงกระทำของเม็ดแป้ง พบว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพโดยใช้น้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% มีค่าเป็น 130.14, 120.64, 90.03, 24.89 และ 9.83 RVU ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพ (111.81 RVU) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองนี้เป็นไปในทางเดียวกับผลการทดลองในตอนต้นที่ 4.2.1 ที่พบว่าน้ำจากรากกระพังโหมช่วยให้เม็ดแป้งมีความทนทานต่อแรงกระทำมากขึ้น

ผลการทดลองในตารางที่ 8 ชี้ว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพในน้ำโดยไม่มีรากกระพังโหมแต่ผ่านเพียงการให้ความร้อนแห้งที่ 40°C มีผลให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพ อย่างไรก็ตามแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพในน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 5 และ 10% มีค่า

Breakdown ต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพในน้ำโดยไม่มีรากกระพังโหมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองดังกล่าวชี้ว่าการใช้น้ำรากกระพังโหมความเข้มข้นสูงช่วยให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากผลของน้ำตาลในรากกระพังโหมที่ช่วยยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง การแตกของเม็ดแป้งต่ำส่งผลให้ Peak viscosity ของระบบลดลง อะมิโลสส่วนใหญ่ยังคงถูกกักเก็บไว้ในเม็ดแป้ง ไม่สามารถกระจายออกมามากเกินไป ลักษณะเช่นนี้จึงส่งผลให้ค่า Setback ของระบบลดลงด้วย

ศึกษาความแน่นเนื้อ (Firmness) และความเหนียว (Stickiness) ของแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ความเข้มข้น 10% ที่ได้จากแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ และแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพโดยใช้น้ำ และน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% ลักษณะแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ตัวอย่างต่างๆ แสดงในภาพประกอบ 22 ความแน่นเนื้อ และความเหนียวของแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพมีค่าเป็น 31.06 g และ -25.46 g.s ตามลำดับ พบว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพในน้ำรากกระพังโหมมีความแน่นเนื้อ และความเหนียวของแป้งเปียกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแน่นเนื้อ และความเหนียวของแป้งเปียกมีแนวโน้มลดต่ำลง Yu et al. (2016) ศึกษาผลของน้ำตาลซูโครสต่อความแน่นเนื้อของแป้งข้าวโพด (corn starch) ผลการทดลองพบว่าความแน่นเนื้อของแป้งข้าวโพดที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ (native corn starch) มีค่าเป็น 34.85 g เมื่อมีการเติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 1 ความแน่นเนื้อลดลงเป็น 22.02 g นอกจากนี้ยังพบผลของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิดต่อความแข็ง (Hardness) ของแป้งเปียก เช่น Huang et al. (2007) รายงานว่าการเติมกลูโคแมนแนนจากบุก (Konjac glucomannan) มีผลต่อความแข็งของแป้งเปียก โดยการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคแมนแนนมีผลให้ความแข็งของแป้งเปียกลดลง ทั้งนี้พบผลนี้เห็นได้ชัดเมื่อความเข้มข้นของกลูโคแมนแนนสูงกว่า 0.3% (w/w) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์ และสวรัักษ์ จันทรเทพธิมากุล (2559) ที่พบว่ากลูโคสและฟรักโทสทำให้เกิด Gelatinization ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ซ้ำลง เนื่องจากเกิดแข่งขันระหว่างน้ำตาลและสตาร์ชเพื่อจับตัวกับโมเลกุลของน้ำจึงทำให้ Pasting temperature ของแป้งเพิ่มขึ้น Peak viscosity, Trough และ Final viscosity ของแป้งลดลง ส่งผลให้ความแน่นเนื้อ และความเหนียวของแป้งเปียกลดลง

แป้งข้าวเหนียว กข6 และแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ และที่ผ่านการดัดแปรสภาพโดยใช้น้ำรากกระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงของสีไป

ในทางเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 9 และภาพประกอบ 20 พบว่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำราก
กระพังโหมส่งผลให้ ค่า L^* และ Hue angle ลดลง ในขณะที่ค่า a^* , b^* และ Chroma มีค่าเพิ่มขึ้น

แป้งข้าวเหนียว กข6 และแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพมี
ค่า L^* เป็น 90.24 และ 59.15 ตามลำดับ ค่า L^* ลดลงตามความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมโดย
แป้งข้าวเหนียว กข6 และแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ผ่านการตัดแปรสภาพโดยใช้น้ำราก
กระพังโหมความเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่า L^* ต่ำที่สุดโดยมีค่าเป็น 76.87 และ 42.42 ตามลำดับ ผล
การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าน้ำรากกระพังโหมทำให้แป้งตัดแปรสภาพมีสีคล้ำเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Hue
angle ที่พบว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 และแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปร
สภาพมีค่าเป็น 91.06 และ 210.46 ตามลำดับ ค่า Hue angle ลดลงตามความเข้มข้นของน้ำราก
กระพังโหมโดยแป้งข้าวเหนียว กข6 และแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ผ่านการตัดแปรสภาพ
โดยใช้น้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 10% มีค่า Hue angle ต่ำที่สุดโดยมีค่าเป็น 78.02 และ 45.33
ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าการใช้น้ำรากกระพังโหมทำให้สีของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปร
สภาพโดยใช้น้ำรากกระพังโหมเปลี่ยนจากเฉดสีเหลืองไปด้านสีส้มมากขึ้น ในขณะที่แป้งเปียกจากแป้ง
ข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพมีสีฟ้าอ่อน และหลังผ่านการตัดแปรสภาพโดยใช้น้ำราก
กระพังโหมแป้งเปียกเปลี่ยนไปมีสีส้มมากกว่าเดิม



ตารางที่ 9 คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากรกระพังโหมความเข้มข้นต่างๆ

คุณสมบัติ	ความเข้มข้นของน้ำรากรกระพังโหม						
	Native	0% ^{***}	0.625%	1.25%	2.5%	5%	10%
Pasting temperature (°C)	69.35 ± 0.05 ^{bc*}	69.13 ± 0.92 ^c	69.93 ± 0.51 ^{bc}	69.38 ± 0.85 ^{bc}	69.67 ± 0.51 ^{bc}	70.47 ± 0.92 ^b	72.32 ± 0.45 ^a
Peak time (min)	3.67 ± 0.00 ^b	3.75 ± 0.04 ^b	3.71 ± 0.03 ^b	3.67 ± 0.06 ^b	3.73 ± 0.00 ^b	4.05 ± 0.04 ^a	4.02 ± 0.37 ^a
Peak viscosity (RVU)	368.08 ± 2.65 ^a	158.61 ± 17.31 ^e	245.25 ± 4.38 ^b	224.70 ± 10.70 ^c	182.58 ± 6.79 ^d	93.78 ± 2.97 ^f	61.30 ± 13.31 ^g
Trough (RVU)	195.08 ± 1.16 ^a	88.69 ± 9.68 ^d	115.11 ± 1.59 ^b	104.05 ± 3.75 ^c	92.56 ± 4.51 ^d	68.89 ± 1.76 ^e	51.47 ± 10.38 ^f
Breakdown (RVU)	173.00 ± 3.18 ^a	69.91 ± 7.79 ^d	130.14 ± 5.89 ^b	120.64 ± 7.00 ^b	90.03 ± 6.04 ^c	24.89 ± 3.20 ^e	9.83 ± 3.34 ^f
Final viscosity (RVU)	247.36 ± 1.25 ^a	103.22 ± 11.21 ^d	136.28 ± 2.04 ^b	122.42 ± 4.75 ^c	109.00 ± 5.85 ^d	80.92 ± 1.16 ^e	59.61 ± 12.51 ^f
Setback (RVU)	52.28 ± 1.83 ^a	14.53 ± 1.55 ^{de}	21.17 ± 0.85 ^b	18.36 ± 1.14 ^c	16.45 ± 1.71 ^{cd}	12.03 ± 0.77 ^e	8.14 ± 2.15 ^f

* a-f ...อักษรที่แสดงความแตกต่างภายในแถว แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p≤0.05)

** Native = แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ

*** 0% = แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพโดยใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)



ภาพประกอบ 21 แป้งเปียกของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากรกระพังโหมที่มีความเข้มข้นต่างๆ

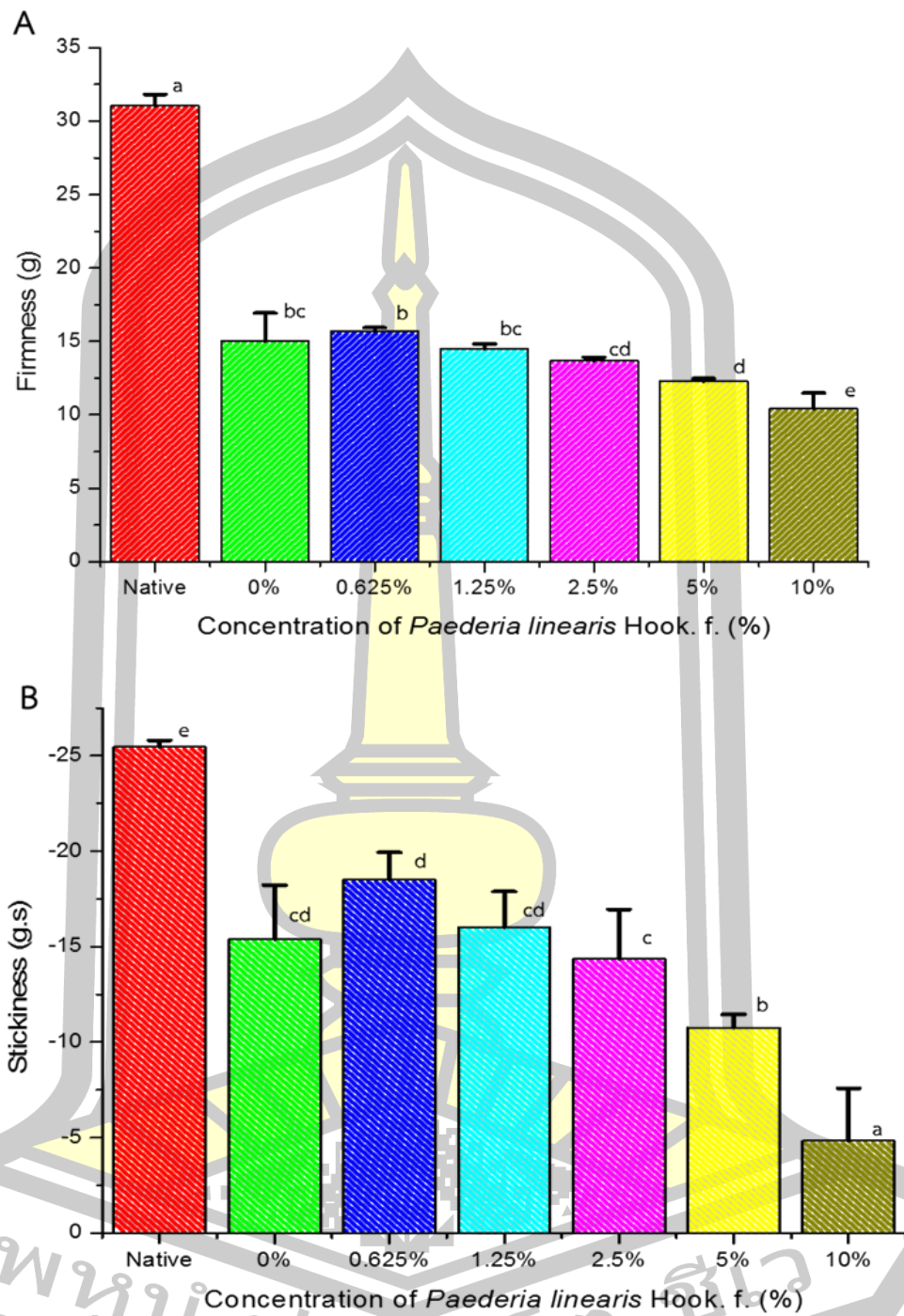
ตารางที่ 10 ค่าสีของแป้งข้าวเหนียว กข6 และแป้งเปียกจากของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากระฟุ้งใหม่ความเข้มข้นต่างๆ

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นของน้ำรากระฟุ้งใหม่						
	Native**	0%***	0.625%	1.25%	2.5%	5%	10%
แป้งข้าว							
L*	90.24 ± 0.047 ^{a*}	89.33 ± 0.06 ^b	88.30 ± 0.29 ^c	87.03 ± 0.05 ^d	84.26 ± 0.12 ^e	81.60 ± 0.12 ^f	76.87 ± 0.23 ^g
a*	-0.10 ± 0.03 ^f	-0.37 ± 0.02 ^g	0.10 ± 0.0 ^e	0.42 ± 0.01 ^d	0.82 ± 0.01 ^c	0.99 ± 0.03 ^b	1.53 ± 0.05 ^a
b*	5.73 ± 0.01 ^d	6.80 ± 0.01 ^b	5.29 ± 0.09 ^f	5.54 ± 0.03 ^e	6.29 ± 0.03 ^c	7.15 ± 0.03 ^a	7.20 ± 0.12 ^a
Chroma	5.73 ± 0.01 ^e	6.83 ± 0.05 ^c	5.29 ± 0.09 ^g	5.55 ± 0.03 ^f	6.35 ± 0.02 ^d	7.21 ± 0.03 ^b	7.36 ± 0.13 ^a
Hue angle	91.06 ± 0.28 ^b	93.12 ± 0.16 ^a	88.96 ± 0.13 ^c	85.63 ± 0.11 ^d	82.60 ± 0.13 ^e	82.12 ± 0.21 ^f	78.02 ± 0.21 ^g
แป้งเปียก							
L*	59.15 ± 0.32 ^{a*}	59.87 ± 0.36 ^a	50.24 ± 1.78 ^b	48.10 ± 0.37 ^c	46.17 ± 1.00 ^d	47.06 ± 0.58 ^{cd}	42.42 ± 0.32 ^e
a*	-1.53 ± 0.02 ^f	-1.59 ± 0.07 ^f	-1.10 ± 0.04 ^e	-0.83 ± 0.03 ^d	-0.44 ± 0.06 ^c	0.25 ± 0.17 ^b	1.51 ± 0.20 ^a
b*	-0.91 ± 0.23 ^c	-0.07 ± 0.58 ^{bc}	-3.41 ± 0.51 ^e	-2.83 ± 0.24 ^{de}	-2.02 ± 0.54 ^d	0.66 ± 0.53 ^b	1.62 ± 0.65 ^a
Chroma	1.78 ± 0.13 ^c	1.62 ± 0.05 ^c	3.59 ± 0.47 ^a	2.94 ± 0.25 ^b	1.99 ± 0.40 ^c	0.86 ± 0.31 ^d	2.22 ± 0.59 ^c
Hue angle	210.46 ± 6.24 ^b	176.60 ± 12.97 ^c	251.13 ± 4.29 ^a	253.62 ± 0.79 ^a	256.88 ± 2.91 ^a	74.28 ± 7.31 ^d	45.33 ± 9.49 ^e

* a-f ...อักษรที่แสดงความแตกต่างกันภายในแถว แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p≤0.05)

** Native = แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ

*** 0% = แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพโดยใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)



ภาพประกอบ 22 ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งเปียกแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปรสภาพด้วยน้ำราก
กระพังโหมที่ความเข้มข้นต่างๆ (A: Firmness, B: Stickiness)

ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางผลึกของเม็ดแป้งหลังผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0 และ 10% เทียบกับแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ (Native) เมื่อตรวจวัดด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) แสดงดังภาพประกอบ 23 และตารางที่ 10 พบว่า X-diffraction pattern ของแป้งทั้ง 3 แบบ ปรากฏพีกคู่ (Double peak) ที่ 17° – 18° และพีกเดี่ยว (Single peak) ที่ 15° และ 23° แสดงถึงลักษณะโครงสร้างแบบ A-type ซึ่งเป็นผลึกแบบเดียวกับที่พบในแป้งธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น สอดคล้องกับรายงานของ Zhu และคณะ (2011) ที่ระบุว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ และข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลางมีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่เหมือนกันคือ พีกเดี่ยว (Single peak) ที่ 2θ 15° และ พีกคู่ (Double peak) ที่ 2θ 17° และ 18° ในงานวิจัยนี้แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ (Native) มีปริมาณผลึก 36.36% ใกล้เคียงกับค่าที่ Jiranuntakul et al. (2011) รายงานไว้ว่าแป้งข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 มีปริมาณผลึกทั้งหมด 35.18% ส่วนแป้งข้าวเหนียว กข6 หลังผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0 และ 10% มีปริมาณผลึกเป็น 36.86 และ 32.66% ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ทั้งนี้แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 10% มีปริมาณของผลึกน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ และแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0% ($p \leq 0.05$) ในกระบวนการดัดแปรสภาพแป้งข้าวเหนียวด้วยน้ำรากกระพังโหมนั้น มีการกวนแป้งผสมกับน้ำรากกระพังโหมแล้วนำไปอบด้วยลมร้อน (40°C) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงเป็นไปได้ว่าแป้งอาจมีการจัดเรียงตัวของผลึกใหม่ และน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบในรากกระพังโหมอาจไปรบกวนการจัดเรียงตัวของผลึก ส่งผลให้ปริมาณผลึกลดลง นอกจากนี้ Jaiboon et al. (2011) รายงานว่าปริมาณผลึกของข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 ลดลง หลังจากผ่านการอบแห้งเนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจทำลายโครงสร้างของผลึก

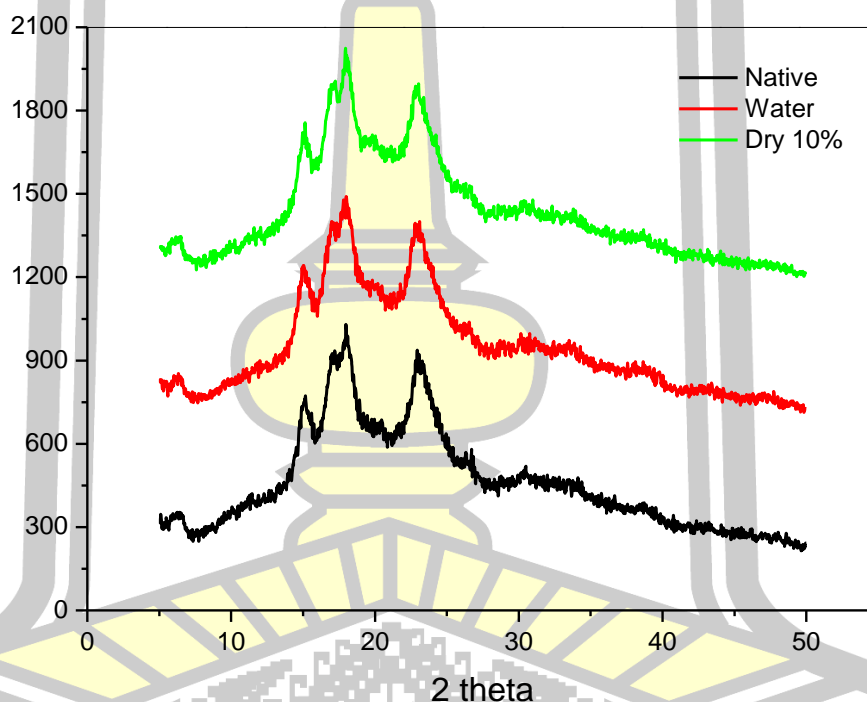
ตารางที่ 11 ร้อยละของโครงสร้างผลึกและรูปแบบผลึกในเม็ดแป้งจากข้าวเหนียว กข6 ชนิดต่างๆ

แป้ง***	ระดับการเกิดผลึก (%)			รูปแบบของ	
	15° ^{ns**}	17-18°	23°	ผลึกรวม	ผลึก
Native	5.73±0.51	14.10±0.37 ^{a*}	16.54±0.43 ^a	36.36±0.63 ^a	A
Water	6.43±0.37	14.43±0.30 ^a	15.99±0.67 ^a	36.86±0.35 ^a	A
10%	5.86±0.37	12.99±0.44 ^b	13.81±0.04 ^b	32.66±0.49 ^b	A

* a-c ...อักษรที่แสดงความแตกต่างกันภายในคอลัมน์ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

** ns ...ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

*** Sample; Native = แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ, Water = แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพโดยใช้น้ำปราศจากออรอนรากกระพังโหมความเข้มข้น ร้อยละ 0, 10% = แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรโดยใช้น้ำรากกระพังโหม 10%



ภาพประกอบ 23 X-ray diffraction (XRD) pattern ของแป้งข้าวเหนียว กข6 หลังผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0% (Water), 10% (Dry 10%) และแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ (Native)

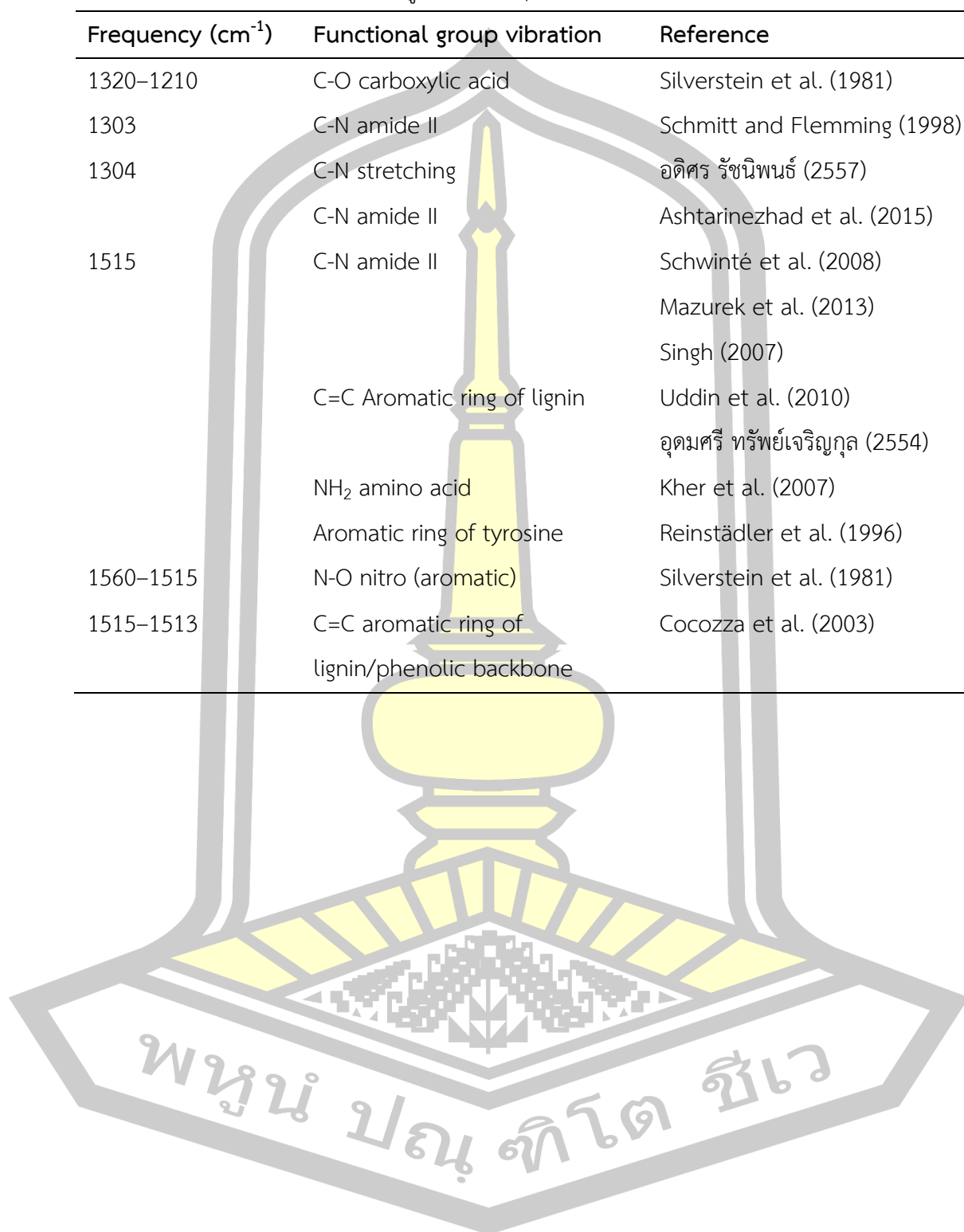
ผลการตรวจสอบโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้งของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ (Native) และแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0 และ 10% เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่อง Fourier Transform infrared (FT-IR)

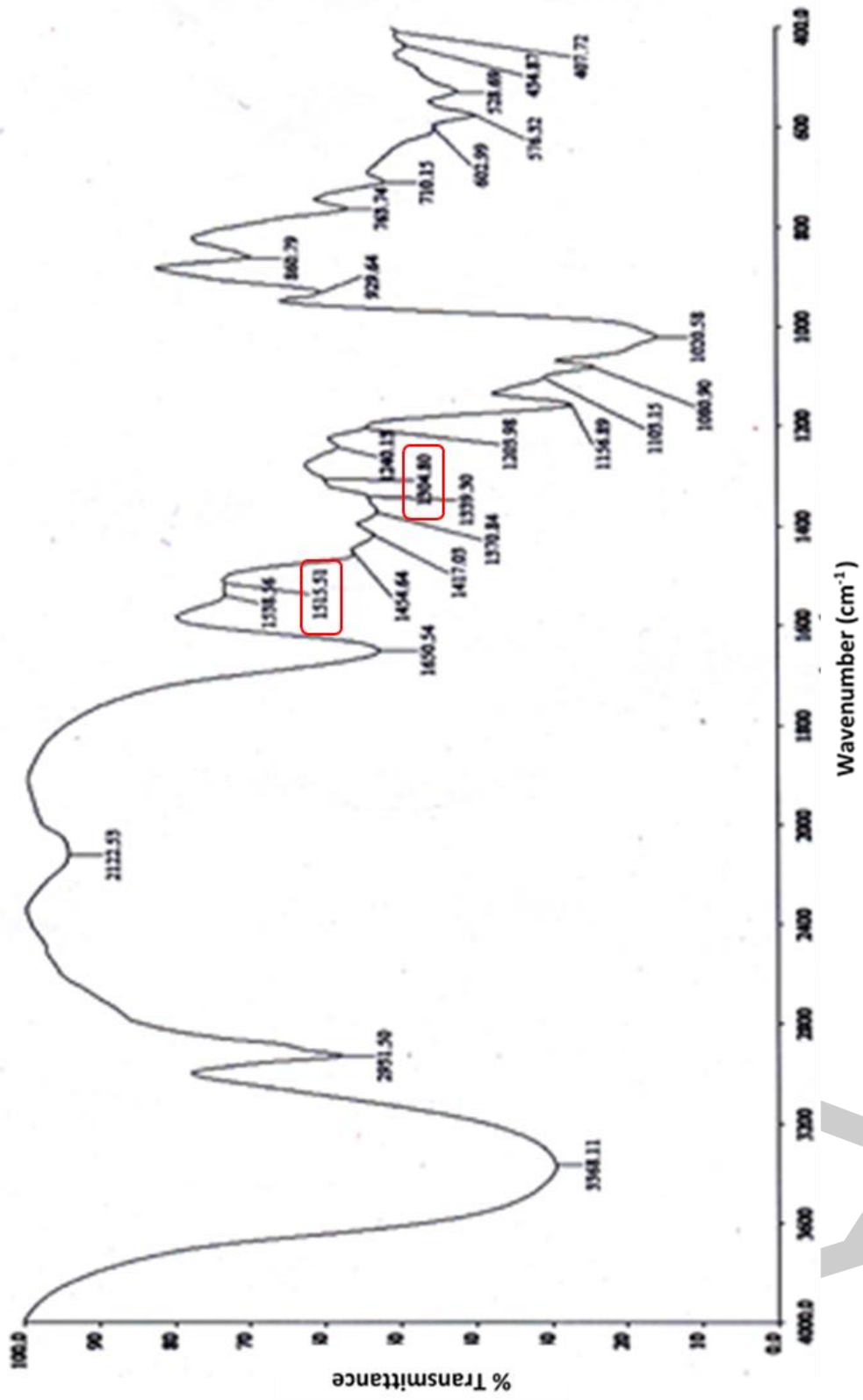
Spectrometer แสดงผลดั่งภาพประกอบ 24, 25 และ 26 ตามลำดับ พบว่ากราฟที่ได้จากการตรวจสอบโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้งของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ (Native) และแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0% ให้พีคที่คล้ายคลึงกัน ในขณะที่แป้งข้าวเหนียว กข6 หลังผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 10% มีความแตกต่างจากแป้ง 2 ชนิดแรกนั้นคือในกรณีของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพ (Native) และแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0% พบพีคที่ 1515 cm^{-1} และ 1516 cm^{-1} ที่บ่งบอกลักษณะของ C=C aromatic หมู่ฟังก์ชันอะโรมาติกซึ่งเป็นองค์ประกอบโครงสร้างทางเคมีของของลิกนินและพีคที่ 1304 cm^{-1} ที่บ่งบอกลักษณะของหมู่ฟังก์ชันเอไมด์ทุติยภูมิ (C-N amide II) (ภาพประกอบ 24 และ 25 และตารางที่ 11) ในขณะที่ผลการตรวจสอบโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้งของแป้งข้าวเหนียว กข6 หลังผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 10% (ภาพประกอบ 26 และตารางที่ 11) ไม่พบการปรากฏของพีคที่ 1515 , 1516 และ 1304 cm^{-1} อย่างไรก็ตามความแตกต่างของพีคทั้ง 3 ที่ปรากฏภายในเม็ดแป้งของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหม 10% กับแป้งอีกสองชนิดยังไม่เด่นชัดนัก

เมื่อพิจารณาผลของน้ำรากกระพังโหมต่อลักษณะโครงสร้างทางผลึกของเม็ดแป้งหลังผ่านการดัดแปรซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค X-ray diffraction และหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้งที่ตรวจวัดด้วยเครื่องเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) อาจกล่าวได้ว่าน้ำรากกระพังโหมไม่ทำให้รูปแบบของผลึกภายในเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลง แต่มีผลต่อปริมาณของผลึกภายในเม็ดแป้ง โดยทำให้ปริมาณของผลึกลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำรากกระพังโหมทำให้ C=C aromatic (พีคที่ 1515 cm^{-1} และ 1516 cm^{-1}) และหมู่ฟังก์ชันเอไมด์ทุติยภูมิ (C-N amide II) (พีคที่ 1304 cm^{-1}) เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจมีผลต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพของแป้งดัดแปรสภาพ เช่นปริมาณของผลึกที่ลดลง อาจทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงลดลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน หรือเกิดเจลลิตในเซชันที่อุณหภูมิต่ำลง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองในตารางที่ 8 กลับพบผลการทดลองที่ตรงข้าม นั่นคือแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการดัดแปรสภาพกลับมี Pasting temperature ต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการดัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 10% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองที่เป็นเช่นนั้นอาจเกิดปริมาณน้ำตาลที่พบสูงมากในน้ำรากกระพังโหม และผลจากน้ำตาลดังกล่าวได้ยับยั้งผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้ง

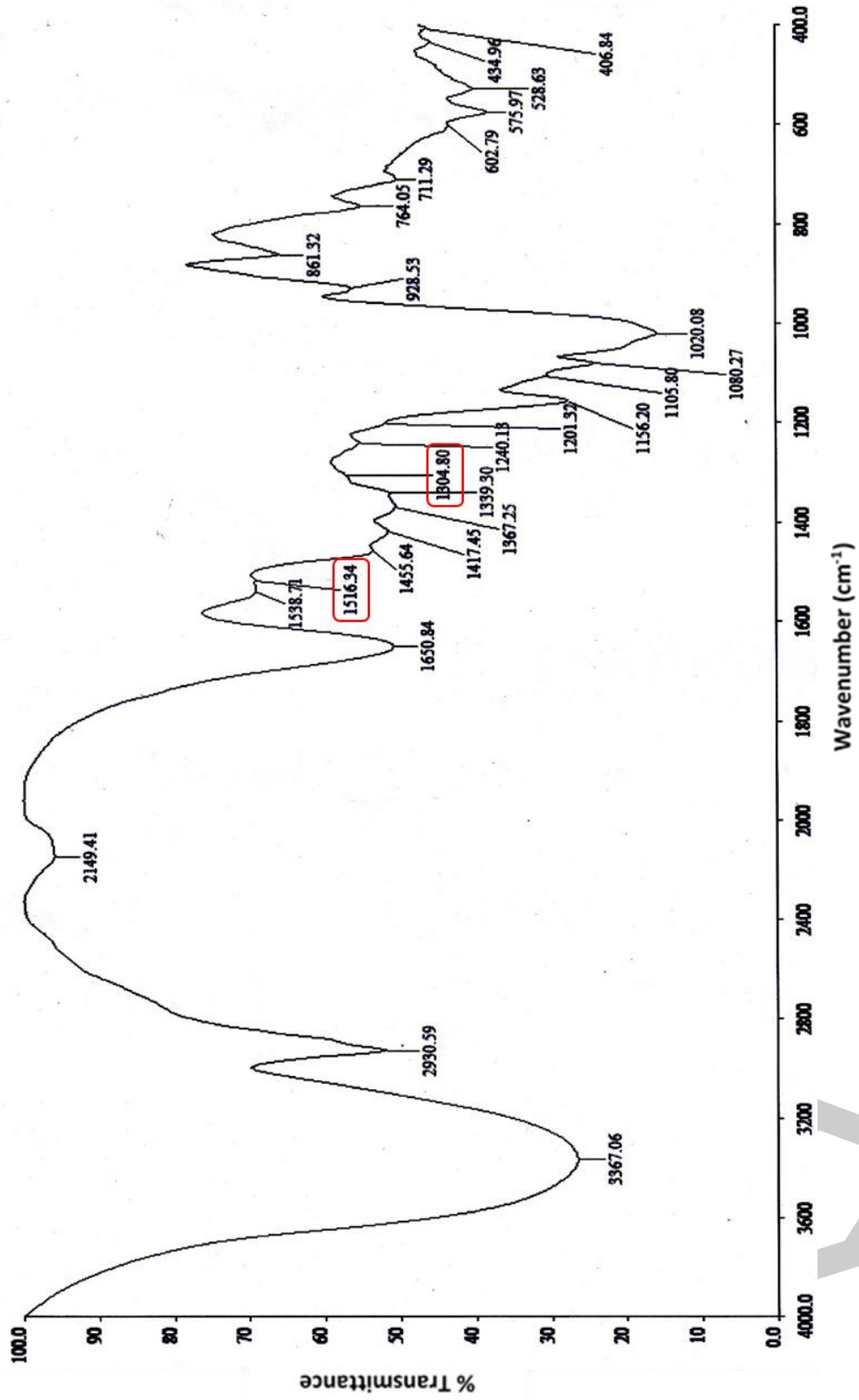
ตารางที่ 12 คลื่นความถี่ที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันต่างๆ

Frequency (cm ⁻¹)	Functional group vibration	Reference
1320–1210	C-O carboxylic acid	Silverstein et al. (1981)
1303	C-N amide II	Schmitt and Flemming (1998)
1304	C-N stretching	อดิศร รัชนิพนธ์ (2557)
	C-N amide II	Ashtarinezhad et al. (2015)
1515	C-N amide II	Schwinté et al. (2008)
		Mazurek et al. (2013)
		Singh (2007)
	C=C Aromatic ring of lignin	Uddin et al. (2010)
		อุดมศรี ทรัพย์เจริญกุล (2554)
	NH ₂ amino acid	Kher et al. (2007)
	Aromatic ring of tyrosine	Reinstädler et al. (1996)
1560–1515	N-O nitro (aromatic)	Silverstein et al. (1981)
1515–1513	C=C aromatic ring of lignin/phenolic backbone	Cocozza et al. (2003)

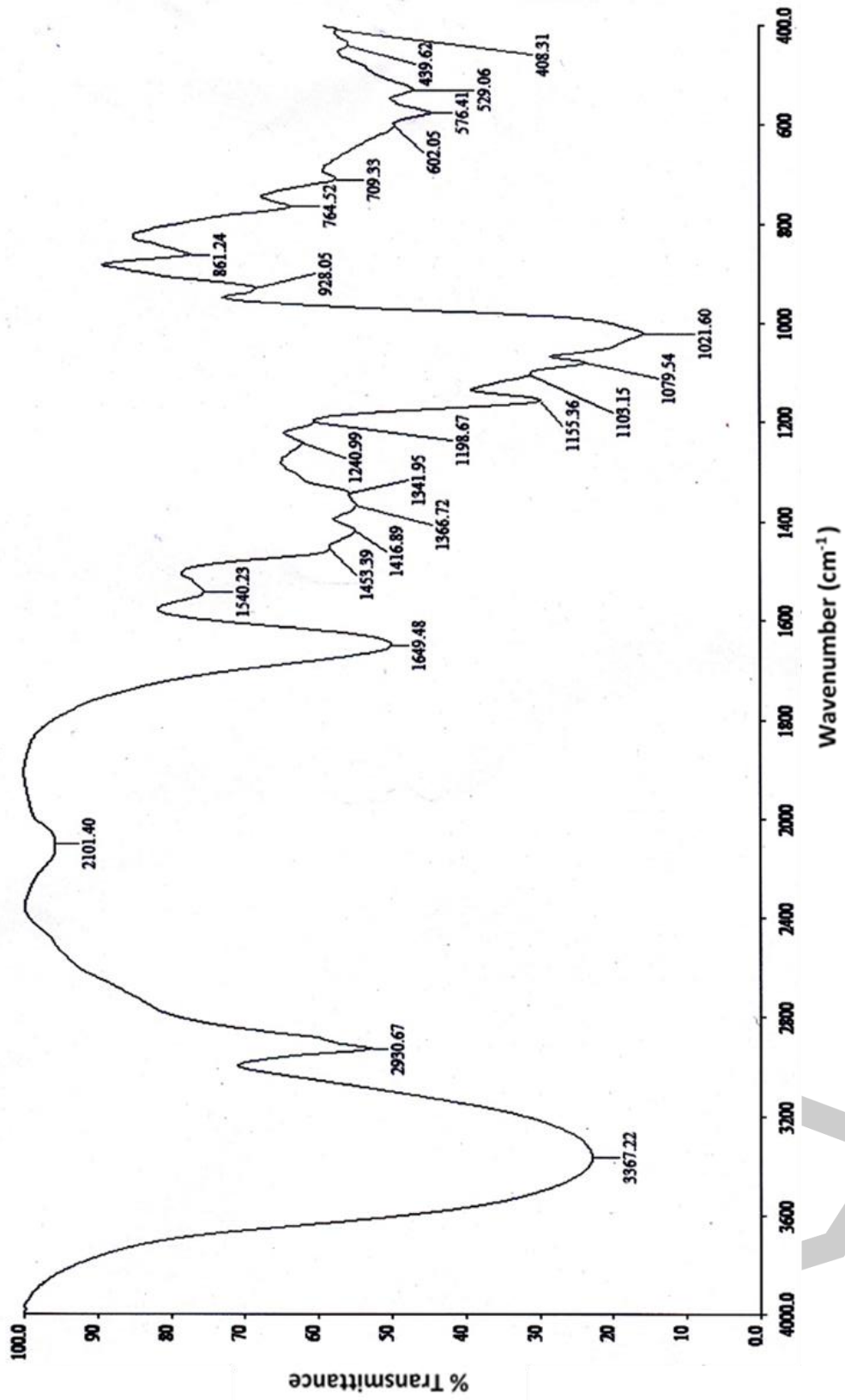




ภาพประกอบ 24 FT-IR spectroscopy ของแป้งข้าวเหนียว กข6 (Native)



ภาพประกอบ 25 FT-IR spectroscopy ของแป้งข้าวเหนียว กข6 หลังผ่านการดัดแปรสภาพด้วยความร้อน 0%



ภาพประกอบ 26 FT-IR spectroscopy ของแป้งข้าวเหนียว กบ6 หลังผ่านการตัดแปรรูปด้วยน้ำการกะพัวใหม่ความเข้มข้น 10%

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของรากกระพังโหมสายพันธุ์ *Paederia linearis* Hook. f. ทั้งแบบสดและที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน และผลของรากกระพังโหมอบแห้งชนิดนี้ต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเหนียว กข6 ในระบบของน้ำเมื่อแป้งข้าวมีความเข้มข้นต่ำและสูง และเมื่อแป้งผ่านการดัดแปลงสภาพ โดยใช้น้ำรากกระพังโหมสายพันธุ์ *Paederia linearis* Hook. f. สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 คุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของรากกระพังโหม และคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข6

รากกระพังโหมสายพันธุ์ *Paederia linearis* Hook. f. ทั้งแบบสดและที่ผ่านการอบแห้งมีปริมาณความชื้นเป็น 70.07 และ 6.48% ตามลำดับ มีปริมาณไขมันต่ำมากคือ 0.07 และ 0.48% สำหรับรากกระพังโหมสดและรากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งตามลำดับ แต่มีเถ้าในปริมาณที่สูงคือ 3.22 และ 8.08% ตามลำดับ รากกระพังโหมสดและรากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งมีน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 34.81 และ 58.45% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลทั้งหมดในรากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งในปริมาณสูงมากคือ 69.39 mg/g น้ำตาลรีดิวซ์ในรากกระพังโหมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกลูโคส (2.22 g/100 g) และฟรักโทส (1.79 g/100 g) น้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 10% มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.27

รากกระพังโหมสดและรากกระพังโหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเป็น 0. 0.58 และ 0.59 mg GAE/g ตามลำดับ เมื่อตรวจวัดฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ DPPH เมื่อเทียบกับวิตามินซี เป็น 18.09 และ 48.05 mg VCEAC/100g fresh weight ตามลำดับ ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ ABTS เมื่อเทียบกับวิตามินซีมีค่าเป็น 13.57 และ 68.78 mg VCEAC /100g fresh weight ตามลำดับ และกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่ตรวจวัดโดย FRAP assay มีค่าเป็น 161.67 และ 345.67 $\mu\text{molFeSO}_4/100\text{g}$ fresh weight ตามลำดับ ในส่วนของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในงานวิจัยนี้มีปริมาณความชื้น ไขมัน เถ้า โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และอะมิโลสเป็น 14.08, 0.41, 0.33, 8.10, 77.08 และ 8.04% (db) ตามลำดับ

5.2 ผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 ในระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ และสูง

5.2.1 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวต่ำ

น้ำรากกระพังโหมที่มีความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% มีผลต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนของแป้งข้าวเหนียว กข6 Pasting temperature ของแป้งข้าวเหนียว กข6 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมที่เพิ่มขึ้น แป้งข้าวเหนียว กข6 มีค่า Pasting temperature สูงสุดเมื่ออยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 10% ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองดังกล่าวชี้ว่าน้ำรากกระพังโหมช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่อยู่ในระบบของน้ำรากกระพังโหมมีค่า Breakdown ต่ำกว่าเมื่ออยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ชี้ว่าน้ำจากรากกระพังโหมช่วยให้เม็ดแป้งมีความทนทานต่อแรงกระทำมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่า Peak viscosity, Final viscosity และ Setback ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ลดลงตามความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมที่เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ความแน่นเนื้อ (Firmness) และความเหนียว (Stickiness) ของแป้งข้าวเหนียว กข6 เมื่ออยู่ในระบบของน้ำรากกระพังโหมมีค่าต่ำกว่าเมื่ออยู่ในน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่าต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมเพิ่มขึ้น

5.2.2 ระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งข้าวสูง

ผลการศึกษาผลของรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวความเข้มข้น 50% และผลิตให้อยู่ในรูปของข้าวเกรียบพบว่า การใช้น้ำรากกระพังโหมมีผลให้ความหนาแน่นของข้าวเกรียบแผ่นดิบลดลง ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการใช้น้ำเพียงอย่างเดียว Volume expansion ของข้าวเกรียบที่ใช้น้ำรากกระพังโหมหลังผ่านการอบด้วยไมโครเวฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่า L^* ของข้าวเกรียบดิบลดลงและลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำรากกระพังโหม ค่า Hue angle ของข้าวเกรียบดิบเป็น 112.02 และมีค่าลดลงเมื่อใช้น้ำรากกระพังโหม ข้าวเกรียบดิบที่ใช้น้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 5 และ 10% มีค่า Hue angle (88.93 และ 88.70, ตามลำดับ) ต่ำกว่าข้าวเกรียบดิบตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ข้าวเกรียบหลังผ่านการอบด้วยไมโครเวฟที่ใช้น้ำมีค่า Hue angle เป็น 117.55 นั่นคือมีเฉดสีเป็นสีเหลืองเขียว เมื่อใช้น้ำรากกระพังโหมพบว่า Hue angle มีค่าลดลง การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบหลังอบด้วยไมโครเวฟพบว่าเมื่อใช้น้ำรากกระพังโหมมีผลให้ความแข็ง (Hardness) ของข้าวเกรียบลดลง และลดลงมากที่สุดเมื่อเติมน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 5% ($p \leq 0.05$)

5.3 ผลของน้ำรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพ

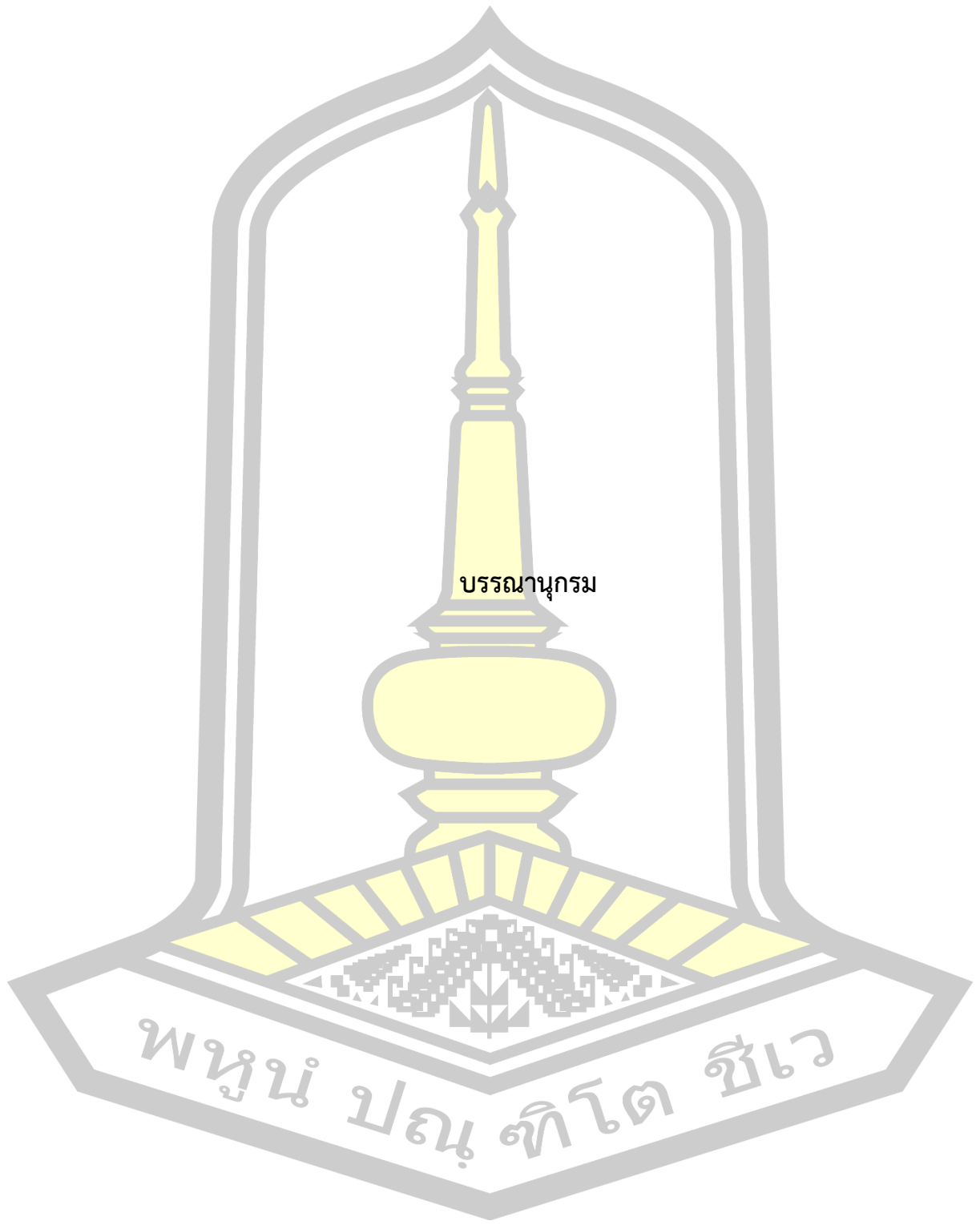
แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมความเข้มข้น 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, และ 10% มีพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพ Pasting temperature ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมเพิ่มขึ้น แป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหม 10% มี Pasting temperature (72.32°C) สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมทำให้ค่า Peak viscosity, Breakdown, Final viscosity และ Setback ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และยังทำให้ความแน่นเนื้อ และความเหนียวของแป้งเปียกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในส่วนของสีนั้นพบว่าแป้งข้าวเหนียว กข6 และแป้งเปียกจากแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ได้จากการตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมมีการเปลี่ยนแปลงของสีตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของน้ำรากกระพังโหม เมื่อความเข้มข้นของน้ำรากกระพังโหมเพิ่มขึ้นค่า L^* และ Hue angle ของแป้งตัดแปรสภาพลดลง ในขณะที่ a^* , b^* และ Chroma มีค่าเพิ่มขึ้น

ผลึกภายในเม็ดแป้งของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมยังคงลักษณะของโครงสร้างแบบ A-type เช่นเดียวกับแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพ แต่มีปริมาณของผลึกต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตรวจสอบโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้งด้วยเครื่อง Fourier Transform infrared (FT-IR) Spectrometer ของแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพ และที่ผ่านการตัดแปรสภาพในตัวอย่างที่เป็นน้ำพบพีดที่ 1515 cm^{-1} และ 1516 cm^{-1} และ พีดที่ 1304 cm^{-1} แต่ไม่พบพีดดังกล่าวในแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ผ่านการตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหม ผลการทดลองดังกล่าวชี้ว่าการตัดแปรสภาพด้วยน้ำรากกระพังโหมส่งผลต่อหมู่ฟังก์ชันภายในเม็ดแป้ง อย่างไรก็ตามพีดทั้งสามที่พบในแป้งข้าวเหนียว กข6 ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสภาพ และที่ผ่านการตัดแปรสภาพในตัวอย่างที่เป็นน้ำเป็นพีดที่มีขนาดเล็กมาก และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งน้อยกว่าปัจจัยอื่นๆ เช่น ปริมาณน้ำตาลที่พบสูงมากในรากกระพังโหม

5.4 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรากกระพังโหมสายพันธุ์ *Paederia linearis* Hook. f. และผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงยังขาดการศึกษาอื่นๆ ที่จะทำให้เกิดความชัดเจนในผลของรากกระพังโหมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6 เพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาถึงชนิดแลปริมาณของ เอนไซม์ แร่ธาตุ และสารประกอบฟีนอลิกต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของรากกระพังโหม และผลกระทบของส่วนประกอบดังกล่าวที่อาจมีต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว กข6





บรรณานุกรม

พหุณํ ปณฺ ทิโต ชีเว

บรรณานุกรม

- กระทรวงวัฒนธรรม. (2559). ข้าวโป่ง:ขนมโบราณพื้นบ้านอีสาน(บ้านหนองขาม). 2 ธันวาคม 2559, from http://www.m-culture.go.th/travel/ewt_news.php?id=706
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีของแป้ง. (พิมพ์ครั้งที่ 3 ed.). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จริยาภรณ์ มากกล้า และภากรนิมิตวดี พร้อมมิตร. (2557). การประยุกต์ใช้มันเลือด (*Dioscorea alata*) เพื่อผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- จารณัย พนิชกุล, วิเชียร ลีลาว์ชรมาศ, เพ็ญพร พงษ์พรรณเจริญ, รัตนันท์ พรรณนารุโณทัย, นฤมร วิมลเกษม, & และวิมลรัตน์ สุกกิกิจกาญจนาน. (2007, 13–16 June). สารพันความรู้เกี่ยวกับอาหารเพื่อสุขภาพและความงาม ตอนที่1 โพลีฟินอล : สารต่อต้านออกซิเดชัน. Paper presented at the The 15th International Processing, Filling and Packaging Event for Asia, BITEC.
- ชนิดา หันสวาสดี, พีระศักดิ์ ฉายประสาธ, & และปทุมทริกา รัตนตรัยวงศ์. (2549). การแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวพองกรอบ. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ชาญ มงคล. (2536). ข้าว. กรุงเทพมหานคร: ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการหน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. (2538). องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปริญนันท์ บัวสด. (2549). การตรวจสอบความสามารถในการเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ของเครื่องดื่มชาโดยวิธีไฮคลิกโวลแทมเมตรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ปิยะศิริ สุนทรนนท์. (2551). สารต้านอนุมูลอิสระในดอกดาหลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตบัณฑิต. สาขาวิชาชีวเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พงศธร ล้อสุวรรณ, จิตศิริ รัชตพันธุ์, & และศศิธร จันทนวางกูร. (2551). สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้. Paper presented at the การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46.

- พัชรินทร์ ก้อนมณี. (2560). ชนิดของคาร์โบไฮเดรต. 30 มกราคม 2560, from <https://sites.google.com/site/nongmoei77/prawati-khxng-chan/kharbohider/khwam-sakhay-khxng-kharbohider/chnid-khxng-kharbohider>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2558a). *Retrogradation*/รีโทรเกรเดชัน. 10 ธันวาคม 2558, from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0591/retrogradation-รีโทรเกรเดชัน>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2558b). *Rice*/ข้าว. 10 ธันวาคม 2558, from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1657/rice-ข้าว>
- รณรงค์ รัตนรักษ์. (2547). ธุรกิจชุมชน ศึกษากรณีกระบวนการผลิตข้าวโป่งเพื่อการค้า ของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร ตำบลพรหมสวรรค์ อำเภอโพธารอง จังหวัดร้อยเอ็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาไทยคดีศึกษา คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- รวินภา ศรีมูล และศิริจันทร์ ตาใจ. (2557). ปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้แปรรูปในจังหวัดจันทบุรี. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 7(1), 24-30.
- ศิริธร ศิริอมรพรรณ. (2547). รายงานการวิจัยชุดโครงการข้าว: การวิจัยและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวอย่าง: ข้าวโป่ง. มหาสารคาม: ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ศิริจนา กันภัย. (2560). เคมีและสมบัติของแป้ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 30 มกราคม 2560, from <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html>
- ศูนย์ศึกษาและพัฒนาวิทยาศาสตร์ชุมชนที่ 15. (2552). การทำขนมจากเครื่องตักหมา (เครื่องระพังโหม). (การศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่น เทคนิคการจัดการผลผลิตจากป่าชุมชน ed.): สำนักจัดการป่าชุมชน กรมป่าไม้.
- สงกรานต์ จิตรากร. (2544). ข้าวกับวิถีชีวิตคนไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.
- เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์ และสวรัช จันทระพธิมากุล. (2559). ผลของกลูโคสและฟรักโทสต่อสมบัติด้านความหนืดของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 47(2(พิเศษ)), 217-220.
- อดิสร รัชนิพนธ์. (2557). การผลิตเยื่อแผ่นนาโนคอมโพสิตเพื่อการปรับปรุงคุณภาพพ่น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2532). เคมีทางัญญาหาร. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2538). เคมีทางัญญาหาร. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2556). ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (พิมพ์ครั้งที่ 3 ed.). กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อริญา ลาภโคกสูง. (2555). ผลของปริมาณอะมิโลสและโครงสร้างอะมิโลเพคตินในสตาร์ชข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการเกิดแป้งทนต่อการย่อยของเอนไซม์ชนิดที่ 3. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อาทิต ชัยแสนเท้า และคณิตตา พรหมหากุล. (2550). การศึกษาผลของรากกระพังโหมที่มีต่อการขึ้นฟูของเค้กเนย. คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร.
- อุดมศรี ทรัพย์เจริญกุล. (2554). การเตรียมเซลลูโลสพอสเฟตที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูงจากขานอ้อยและศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับของวัสดุดังกล่าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Ahmad, F. B., & Willaims, P. A. (1996). Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch. *Biopolymers*, 50, 441-454.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (17th ed.). Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- Ashtarinezhad, A., Panahyab, A., Mohamadzadehasl, B., Vatanpour, H., & Shirazi, F. H. (2015). FTIR microspectroscopy reveals chemical changes in mice fetus following phenobarbital administration. *Iranian journal of pharmaceutical research*, 14, 121.
- Barba, A. A., Damore, M., Rispoli, M., Marra, F., & Lamberti, G. (2014). Microwave Assisted Drying of Banana: Effects on Reducing Sugars and Polyphenols Contents. *Czech J. Food Sci.*, 32(4), 369–375.
- Benjakul, S., & Karnjanapratum, S. (2018). Characteristics and nutritional value of whole wheat cracker fortified with tuna bone bio-calcium powder. *Food Chemistry*, 259, 181-187.

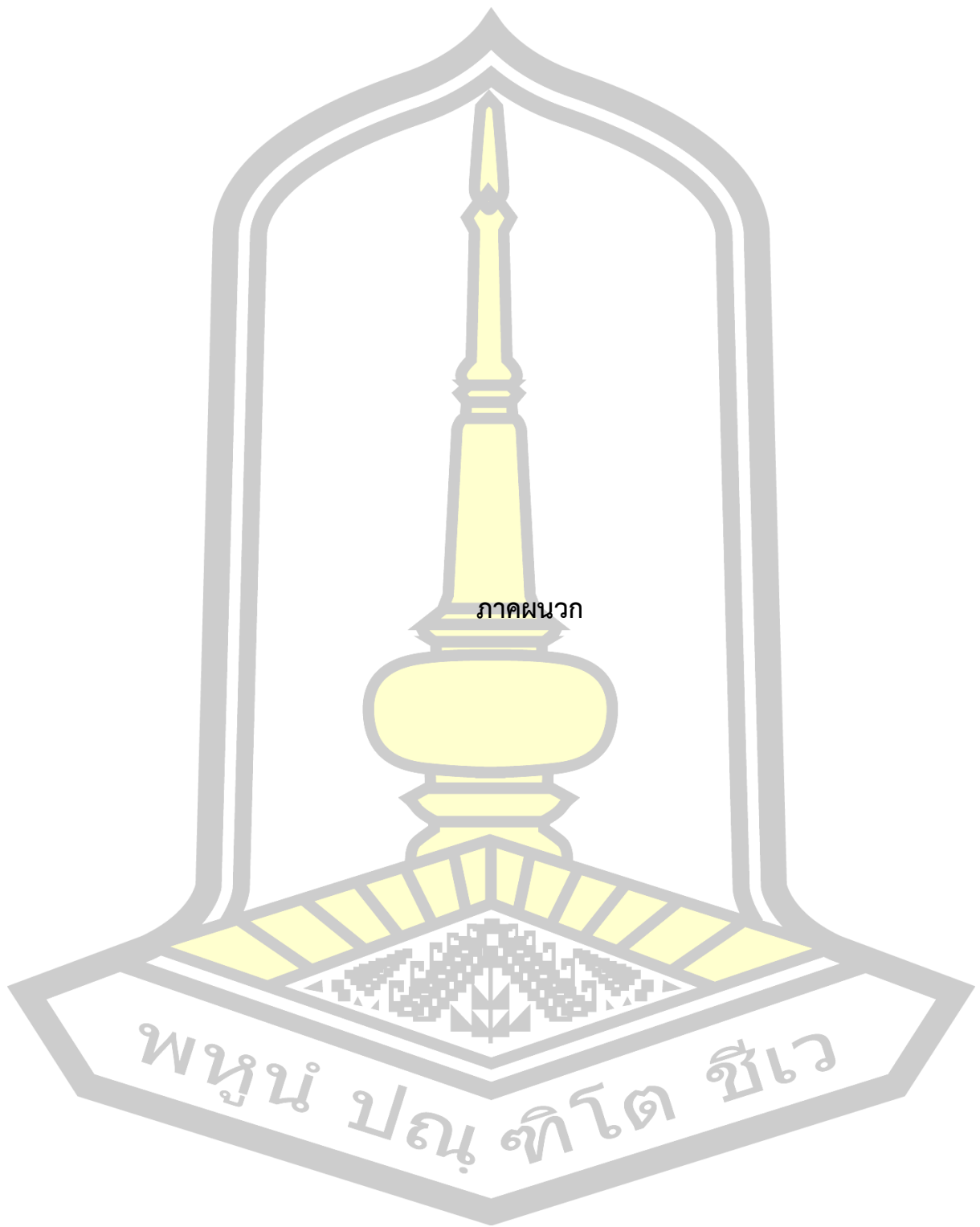
- Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V., & Ball, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23(2), 85-112.
- Champagne, E. T. (1996). Rice starch composition and characteristics. *Cereal Food World*, 41, 833-838.
- Chen, H.-H., Wang, Y.-S., Leng, Y., Zhao, Y., & Zhao, X. (2014). Effect of NaCl and sugar on physicochemical properties of flaxseed polysaccharide-potato starch complexes. *ScienceAsia*, 40(1), 60-68.
- Chen, X., Li, X., Xinhui, M., Huang, H., Wang, T., Qu, Z., . . . Gao, W. (2017). Effects of drying processes on starch-related physicochemical properties, bioactive components and antioxidant properties of yam flour. *Food Chemistry*, 224, 224-232.
- Cheng, F. M., Zhong, L. J., Wang, F., & Zhong, G. P. (2005). Differences in cooking and eating properties between chalky and translucent parts in rice grains. *Food Chemistry*, 90(1-2), 39-46.
- Cocoza, C., D'orazio, V., Miano, T. M., & Shotyk, W. (2003). Characterization of solid and aqueous phases of a peat bog profile using molecular fluorescence spectroscopy, ESR and FT-IR, and comparison with physical properties. *Organic Geochemistry*, 34(1), 49-60.
- Colussi, R., Halal, S. L. M. E., Pinto, V. Z., Bartz, J., Gutkoski, L. C., Zavareze, E. d. R., & Dias, A. R. G. (2015). Acetylation of rice starch in an aqueous medium for use in food. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1076-1082.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry*, 28 (3), 350-356.
- Fruton, J. S., & Simmonds, S. (1953). *General biochemistry*. (2nd ed.). New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Henry, R. J., & Kettlewell, P. S. (1996). *Cereal Grain Quality*. London: Chapman and Hall.
- Hizukuri, S., Takeda, Y., & Yasuda, M. (1981). Multi-branched nature of amylase and the action of debranching enzymes. *Carbohydrate Research*, 94(2), 205-210.

- Horndok, R., & Noomhorm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT-Food Science and Technology*, 40(10), 1723-1731.
- Huang, M., Kennedy, J. F., Li, B., Xu, X., & Xie, B. J. (2007). Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan: A texture profile analysis study. *Carbohydrate Polymers*, 69(3), 411-418.
- Hudson, B. J. F. (1990). *Food Antioxidants*. London and New York: Elsevier Applied Science.
- Jacobs, H., & Delcour, J. A. (1998). Hydrothermal modification of granular starch with retention of the granular structure: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(8), 2895-2905.
- Jaiboon, P., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S., Tungtrakul, P., & Soponronnarit, S. (2011). Effect of high-temperature fluidized-bed drying on cooking, textural and digestive properties of waxy rice. *Journal of Food Engineering*, 105(1), 89-97.
- Ji, Y., & Yu, J. (2018). *In vitro* digestion and physicochemical characteristics of corn starch mixed with amino acid modified by heat-moisture treatment. *Food Hydrocolloids*, 77, 720-725.
- Jiamjariyatam, R., Kongpensook, V., & Pradipasena, P. (2015). Effects of amylose content, cooling rate and aging time on properties and characteristics of rice starch gels and puffed products. *Journal of Cereal Science*, 61, 16-25.
- Jiranuntakul, W., Chureerat, P., Rungsardthong, V., Pancha-arnon, S., & Uttapap, D. (2011). Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. *Journal of Food Engineering*, 104(2), 246-258.
- Jomduang, S., & Mohamed, S. (1994). Protein Fortification of Khao Kriap Waue'. *ASEAN FOOD JOURNAL*, 9, 161-161.
- Juliano, B. O. (1971). A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today*, 16, 334-338.
- Juliano, B. O. (1985). *Criteria and tests for rice grain qualities*. Paper presented at the Rice: Chemistry and Technology 2ed, St. Paul, Minnesota.
- Juliano, B. O. (1995). *Identification of rice Varieties*. Paper presented at the Identification of Food Grain Varieties, St. Paul, Minnesota.

- Juliano, B. O., Villareal, R. M., & Baños, L. (1987). Varietal differences in physicochemical properties of waxy rice starch. *Starch-Stärke*, 39(9), 298-301.
- Kawabata, A., Takase, N., Miyoshi, E., Sawayama, S., Kimura, T., & Kudo, K. (1994). Microscopic Observation and X-ray Diffractometry of Heat/Moisture-Treated Starch Granules. *Starch-Stärke*, 46(12), 463-469.
- Keeratipibul, S., Luangsakul, N., & Lertsatchayarn, T. (2008). The effect of Thai glutinous rice cultivars, grain length and cultivating locations on the quality of rice cracker (arare). *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 1934-1943.
- Kelly, R. J., Van Wagnenberg, M., Latham, J., & Mitchell, J. R. (1995). A rheological comparison between the effects of sodium caseinate on potato and maize starch. *Carbohydr Polym*, 28(4), 347-350.
- Kher, A., Udabage, P., McKinnon, I., McNaughton, D., & Augustin, M. A. (2007). FTIR investigation of spray-dried milk protein concentrate powders. *Vibrational Spectroscopy*, 44(2), 375-381.
- Kongseree, N. (1979). *Quality tests for waxy (glutinous) rice*. Paper presented at the Proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2008). Phenolic contents and antioxidant activities of bitter melon (*Momordica charantia* L.) leaf, stem and fruit fraction extracts *in vitro*. *Food Chemistry*, 110(4), 881-890.
- Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127(3), 1138-1145.
- Leach, H. W. (1995). *Gelatinization of starch*. Paper presented at the Starch Chemistry and Technology, New York.
- Mamat, H., & Hill, S. E. (2018). Structural and functional properties of major ingredients of biscuit. *International Food Research Journal*, 25(2), 462-471.
- Mazurek, S., Mucciolo, A., Humbel, B. M., & Nawrath, C. (2013). Transmission Fourier transform infrared microspectroscopy allows simultaneous assessment of cutin and cell-wall polysaccharides of Arabidopsis petals. *The Plant Journal*, 74(5), 880-891.

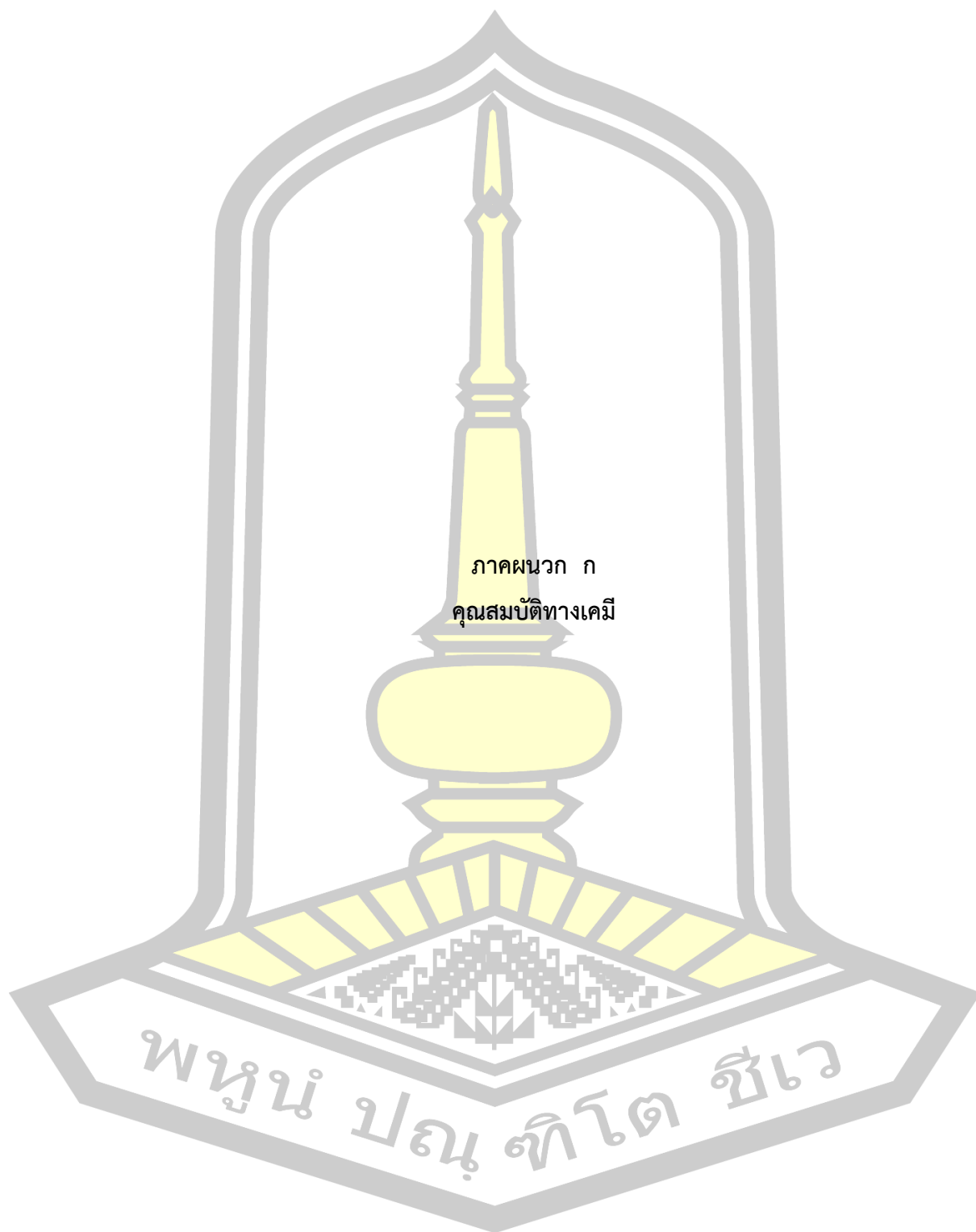
- Newport scientific Pty, L. (1995). *Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer*. Australia.
- Noomhorm, A., Kongseree, N., & Apintanapong, M. (1997). Effect of aging on the quality of glutinous rice crackers. *Cereal chemistry*, 74(1), 12-15.
- Noosuk, P., Hill, S. E., Pradipasena, P., & Mitchell, J. R. (2003). Structure-Viscosity Relationships for Thai Rice Starches. *Starch-Stärke*, 55(8), 337-344.
- Oates, C. G. (1997). Toward an Understanding of Starch Granule Structure and Hydrolysis. *Trends in Food Science and Technology*, 8(11), 375-382.
- Olayinka, O. O., Adebowale, K. O., & Olu-Owolabi, B. I. (2008). Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch. *Food Hydrocolloids*, 22(2), 225-230.
- Perez, C. M., Pascual, C. G., & Juliano, B. O. (1979). Eating quality indicators for waxy rices. *Food Chemistry*, 4(3), 179-184.
- Reinstädler, D., Fabian, H., Backmann, J., & Naumann, D. (1996). Refolding of thermally and urea-denatured ribonuclease A monitored by time-resolved FTIR spectroscopy. *Biochemistry*, 35(49), 15822-15830.
- Saenphet, K., Saenphet, S., & Jirakittirat, K. (2014). Gastroprotective Effects and Antioxidant Activities of *Paederia pilifera* Hook.f. Root Extract. *Chiang Mai J. Sci.*, 41(5.1), 1121-1131.
- Schmitt, J., & Flemming, H.-C. (1998). FTIR-spectroscopy in microbial and material analysis. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 41(1), 1-11.
- Schwinté, P., Foerstendorf, H., Hussain, Z., Gärtner, W., Mroginski, M. A., Hildebrandt, P., & Siebert, F. (2008). FTIR study of the photoinduced processes of plant phytochrome phyA using isotope-labeled bilins and density functional theory calculations. *Biophysical journal*, 95(3), 1256-1267.
- Silverstein, R. M., Bassler, G. C., & Morrill, T. C. (1981). *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. (4th Ed.). New York: John Wiley and Sons.
- Singh, G. (2007). *Chemistry Of Amino-Acids And Proteins*. New Delhi, India: Discovery publishing house.
- Somogyi, M. (1952). Notes on Sugar Determination. *Journal of biological chemistry*, 195, 19-23.

- Swinkels, J. J. M. (1985). *Sources of starch, its chemistry and physics*. Paper presented at the Starch conversion technology, New York.
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151–165.
- Uddin, A. J., Yamamoto, A., Gotoh, Y., Nagura, M., & Iwata, M. (2010). Preparation and physical properties of regenerated cellulose fibres from sugarcane bagasse. *Textile Research Journal*, 80(17), 1846-1858.
- Uthumporn, U., Nadiah, N. I., Koh, W. Y., Zaibunnisa, A. H., & Azwan, L. (2016). Effect of microwave heating on corn flour and rice flour in water suspension. *International Food Research Journal*, 23(6), 2493-2503.
- Varavinit, S., Shobsngob, S., Varayanond, W., Chinachoti, P., & Naivikul, O. (2003). Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice. *Starch-Stärke*, 55(9), 410-415.
- Whiseler, R. L., & Daniel, J. R. (1984). *Molecular structure of starch*. Paper presented at the Starch: Chemistry and Technology 2ed.
- Wiriya, P., Paiboon, T., & Somchart, S. (2009). Effect of drying air temperature and chemical pretreatments on quality of dried chilli. *International Food Research Journal*, 16(3), 441-454.
- Wootton-Beard, P. C., Moran, A., & Ryan, L. (2011). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods. *Food Research International*, 44(1), 217-224.
- Yang, L., Zhou, Y., Wu, Y., Meng, X., Jiang, Y., Zhang, H., & Wang, H. (2016). Preparation and physicochemical properties of three types of modified glutinous rice starches. *Carbohydrate Polymers*, 137, 305–313.
- Yu, K., Wang, Y., Wang, Y., Guo, L., & Du, X. (2016). Effects of annealing and additives on the gelatinization, structure, and textural characteristics of corn starch. *International journal of food properties*, 19(6), 1272-1281.



ภาควิชา

พหุบัณฑิตยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
คุณสมบัติทางเคมี

พหุบัณฑิตยาลัย

ก-1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)
2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นหลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C นาน 5-6 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
6. อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
7. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก-2 ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Crucible)
2. เตาเผา (Muffle furnace)
3. Hot plate
4. โถดูดความชื้น (Desiccator)

5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. เพลี้ยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550°C นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผา เก็บไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
2. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1. จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ (ในแต่ละซ้ำต่างกันไม่เกิน 3 มิลลิกรัม หาค่าเฉลี่ย บันทึกผล (W_1))
3. ชั่งตัวอย่างอย่างละเอียดประมาณ 2 กรัม (S) ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ เเผาบนเตาไฟฟ้า จนหมดควัน
4. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550°C จนกระทั่งได้ถ้าสีเทาอ่อน หรือสีขาวสม่ำเสมอ นำออกจากเตาเผา เก็บในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
5. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 4. (ในแต่ละซ้ำต่างกันไม่เกิน 3 มิลลิกรัม) หาค่าเฉลี่ย บันทึกผล (W_2)
6. คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{S}$$

เมื่อ S คือน้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_1 คือน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ (กรัม)

W_2 คือน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่าง (กรัม)

ก-3 ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์สกัดไขมัน (Soxhlet apparatus)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (Extraction thimble)
3. สำลี
4. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. โถดูดความชื้น (Desiccator)

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการ

1. ใส่ขวดกลมสำหรับการหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้า ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก 3–5 กรัม ท่อให้มิดชิดใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง
3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงใน Soxhlet เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียม อีเทอร์ ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตา
4. ประกอบอุปกรณ์ชุดกลั่นไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทช์ให้ความร้อน
5. ปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
6. เมื่อครบ 6 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจาก Soxhlet ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจาก Soxhlet ลงในขวดก้นกลมจนหมด
7. ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ
8. นำขวดหาไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105°C จนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
9. ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1–3 มิลลิกรัม
10. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก-4 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผาและเครื่องดักจับไอกรด
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน (semi-microdistillation)

3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ปิเปต (แบบกระเปราะ) ขนาด 1 3 5 และ 10 มิลลิลิตร
6. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
7. เศษกระเบื้องเผา
8. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
9. ตู้ดูดควัน

สารเคมี

1. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1:10
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 35%
4. กรดบอริกเข้มข้น 4%
5. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.2 N (HCl)
6. อินดิเคเตอร์เป็นสารผสมระหว่าง เมทิลเรด (Methyl red) 0.2 กรัม กับ เมธีลีนบลู (Methylene blue) 0.1 กรัม ละลายในแอลกอฮอล์เข้มข้น 90% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

วิธีการ

การวิเคราะห์โดยใส่วัสดุควบคุมการเดือด 2-3 ชิ้น (เศษกระเบื้องเผา) ในหลอดเจลดาลท์ (Kjeldahl Flask) และเติม K_2SO_4 ลงไป 3.0 กรัม แล้วชั่งตัวอย่างแบ่งแต่ละประเภทที่บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh ให้ทราบน้ำหนักแน่นอน (0.3-0.4 กรัม) ใส่ในหลอดเจลดาลท์จากนั้นจึงเติมสารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 6 มิลลิลิตร ลงในหลอด เขย่าเบาๆ เพื่อผสมให้เข้ากัน ติดตั้งหลอดเจลดาลท์ลงในช่องของเครื่องย่อยโปรตีน ซึ่งมีเตาไฟฟ้าและฝาครอบหลอดดูดแก๊สพิษ เปิดน้ำเพื่อดูแก๊สพิษ เปิดฝาครอบแล้วเติม CuSO_4 ลงไป 0.13 กรัม ปิดฝาครอบให้สนิท ตั้งหน้าปิดควบคุมความร้อนหมายเลข 3 (อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที ปรับหน้าปิดควบคุมความร้อนไปที่หมายเลข 7-8 (อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส)แล้วทำการย่อยต่ออีก 45-60 นาที จนได้สารละลายใส แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นนำหลอดเจลดาลท์ที่ย่อยแล้ว ใส่ในช่องสำหรับกลั่นของเครื่องกลั่นอัตโนมัติ กดปุ่ม H_2O ให้น้ำไหลลงผสมกับสารที่ถูกย่อยในปริมาณ 3 เท่าของ H_2SO_4 ที่ใช้ย่อย กดปุ่มสารละลาย NaOH เข้มข้น 35% (w/v) ให้ไหลลงผสมกับสารในหลอดเจลดาลท์ในปริมาณต่าง 5 เท่าของ H_2SO_4 ที่ใช้ย่อยกดปุ่มควบคุมเวลาในตำแหน่งที่ 4 นาน 3 นาที ตวงสารละลาย H_3BO_3 อิมตัวประมาณ 10 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตรเติม mix indicator ผสมลงไป 2-4 หยด นำไปวางที่ตำแหน่งรับสิ่งที่กลั่นได้ เมื่อเครื่องพร้อมทำงานจะมีไฟเขียวสว่างที่ตำแหน่ง ready กดปุ่ม start

distillation เมื่อเครื่องกลั่นเสร็จจะมีไฟแดงที่ตำแหน่ง aspirating สว่าง เครื่องดูดของเหลวทิ้ง นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสิ่งที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับสารละลาย HCl เข้มข้น 0.2 โมล จนถึงจุดสมบรูณ์แล้ว บันทึกผล

$$\% \text{ Nitrogen} = \frac{(\text{มล. HCl} - \text{มล. Blank}) \times (\text{Normality ของ HCl} \times 14.007) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (mg)} \times 1000}$$

$$\% \text{ Protein} = \% \text{ Nitrogen} \times \text{conversion factor}$$

เมื่อ conversion factor สำหรับแป้งข้าวคือ 5.95

conversion factor สำหรับอื่นๆ คือ 6.25

ก-5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดโดยนำผลวิเคราะห์ความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใย และเถ้า ที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างมาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

$$\text{คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (\%)} = 100 - (\text{ความชื้น\%} + \text{ไขมัน\%} + \text{โปรตีน\%} + \text{เถ้า\%})$$

ก-6 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส (Juliano, 1971)

การเตรียมสารละลายมาตรฐานอะมิโลส

ชั่งไปเตโตอะมิโลสบริสุทธิ์ 0.040 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ อย่าให้อะมิโลสเกาะผนังขวด เติมน้ำกลั่นให้เต็มสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ 9 มิลลิลิตร ใส่แท่งแม่เหล็กลงไป ในขวดวัดปริมาตรเพื่อกวนบนแท่นให้ความร้อนนาน 10 นาที นำแท่งแม่เหล็กออก และล้างส่วนที่ติดมาให้กลับลงไป ในขวดด้วยน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดี

การเตรียมตัวอย่าง

วิธีการเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่าง แต่เปลี่ยนจากไปเตโตอะมิโลสบริสุทธิ์เป็นแป้งที่ต้องการนำมาทดลองโดยชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1000 กรัม (Dry weight) แทนไปเตโตอะมิโลสบริสุทธิ์

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร ปิเปตกรดอะซีติกเข้มข้น 1 โมลาร์ 1 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายไอโอดีน (เตรียมโดยละลายไอโอดีน 0.2 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ในน้ำ

กลั่น 100 มิลลิลิตร) 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที และทำเช่นเดียวกันอีกแต่ไม่ใส่สารตัวอย่างเพื่อใช้เป็น Blank วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าสารละลาย Blank ให้เท่ากับ 0

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐานอะมิโลส ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร ปิเปตกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรที่มีสารละลายมาตรฐานตามลำดับและปิเปตสารละลายไอโอดีนเข้มข้นร้อยละ 0.2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร และเขย่าให้สารละลายเข้ากันดี วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และเขียนกราฟระหว่างปริมาณอะมิโลส (กรัมต่อแป้งข้าว 100 กรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40) กับค่าการดูดกลืนแสง

ก-7 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Somogyi-Nelson (Somogyi, 1952)

วิธีเตรียมสารเคมี

1. Somogyi Copper Reagent โดยละลายโซเดียมซัลเฟต 288 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว 1 ลิตร เติม โปแตสเซียมคาร์เตรด (Rochelle salt) 24 กรัม โซเดียมคาร์บอเนต 48 กรัม เขย่าให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมน้ำกลั่นที่ต้มแล้วให้ครบปริมาตร 1.6 ลิตร เก็บไว้ที่ อุณหภูมิ 37°C

2. Nelson Reagent โดยละลาย โซเดียมซัลเฟตในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้ว 300 มิลลิลิตร เติม คอปเปอร์ซัลเฟต เขย่าให้ละลายด้วยกัน เติมน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว ให้ครบปริมาตร 400 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 37°C

การเตรียมสารมาตรฐาน

เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 µg/ml

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง
2. เติม Somogyi Copper Reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. นำไปต้มในอ่างน้ำเดือด 10 นาที
4. จากนั้นทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็นจัด
5. เติม Nelson Reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
6. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที
7. ทำหลอดควบคุม (Blank) โดยใช้ น้ำกลั่นและทำการทดลองตามข้อ 1-6

8. นำสารตัวอย่างในแต่ละหลอดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร เมื่อให้ Blank มีค่าการดูดกลืนแสงเป็น 0 และคำนวณโดยเทียบความเข้มข้นกับกราฟสารละลายมาตรฐาน

ก-8 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Phenol sulfuric acid (Dubois et al., 1956)

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายฟีนอล 5% (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยชั่ง Phenol 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

การเตรียมสารมาตรฐาน

เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 µg/ml

วิธีการทดลอง

1. ใส่สารตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank)
2. เติมสารละลายฟีนอล 5% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในสารตัวอย่างและผสมให้เข้ากัน
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในสารผสมในข้อ 2 ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
4. เขย่าแรงๆ ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) (ข้อควรระวัง เมื่อกรดผสมน้ำจะร้อนเดือด) ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
5. นำสารตัวอย่างในแต่ละหลอดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร เมื่อให้ Blank มีค่าการดูดกลืนแสงเป็น 0 และคำนวณโดยเทียบความเข้มข้นกับกราฟสารละลายมาตรฐาน

ก-9 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic contents) ตัดแปลงจากวิธีของ (Kubola & Siriamornpun, 2011)

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างน้ำหนัก 5 กรัม ผสมรวมกับ Ethanol ร้อยละ 80 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชา และนำไปเขย่าใน Shakers incubators ที่ความเร็ว 150 rpm อุณหภูมิ 37°C นาน 3 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยงสารแขวนลอยนั้นเพื่อกำจัดอนุภาคและตะกอนที่ความเร็ว 4000 rpm 10 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำส่วนของเหลวใสเก็บไว้ในขวดแก้วสีชา รอการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

การเตรียมสารเคมี

1) เตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent โดยนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:10 นำไปทดสอบให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร ให้มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0-1.0

2) เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.5% โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7.5 กรัม ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร

3) เตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid) ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 µg/ml

วิธีการทดลอง

ทดสอบตัวอย่างสารสกัด โดยดูดสารสกัดอย่างละ 0.3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายมาตรฐาน Folin-Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองแต่ละหลอด ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต 7.5% (น้ำหนักต่อปริมาตร) 2.25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที (ในกรณีที่ตัวอย่างมีความขุ่นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์

1) ที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร

ก-10 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

10.1 วิเคราะห์ฤทธิ์การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH radical scavenging activity ตัดแปลงจากวิธีของ (Kubola & Siriamornpun, 2011)

การเตรียมตัวอย่าง

1) นำตัวอย่างน้ำหนัก 5 กรัม ผสมรวมกับ Ethanol 80% ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชา และนำไปเขย่าใน Shakers incubators ที่ความเร็ว 150 rpm อุณหภูมิ 37°C นาน 3 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยงสารแขวนลอยนั้นเพื่อกำจัดอนุภาคและตะกอนที่ความเร็ว 4000 rpm 10 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำส่วนของเหลวใสเก็บไว้ในขวดแก้วสีชา รอการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2) เตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ความเข้มข้น 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 µg/ml

การเตรียมสารเคมี

เตรียม 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ความเข้มข้น 0.04 มิลลิโมล โดยการชั่ง DPPH 0.01 g/ml Ethanol (Ethanol 80%) ปรับให้เท่ากับ 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปผสมด้วยเครื่องผสมสาร ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์เก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 4°C

วิธีการทดลอง

ทดสอบตัวอย่างสารสกัด โดยปีเปตสารสกัดอย่างละ 0.1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองอย่างละ 3 หลอด จากนั้นปีเปตสารละลาย DPPH ที่เตรียมไว้ใส่หลอดที่ใส่สารสกัดตัวอย่างไปแล้วหลอดละ 3 มิลลิลิตร เพื่อให้ทำปฏิกิริยากันแล้วทำการเขย่าทิ้งไว้ 30 นาทีจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 517 นาโนเมตร ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงจะใช้สารควบคุมคือ DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง และ Blank คือ Ethanol 80% ที่ค่าการดูดกลืนแสงคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้แต่ละตัวอย่างแล้วนำมาแทนค่าในสูตรหาประสิทธิภาพฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก

10.2 วิเคราะห์ฤทธิ์การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี ABTS radical scavenging activity ตัดแปลงจากวิธีของ (Wootton-Beard et al., 2011)

การเตรียมตัวอย่าง

1) นำตัวอย่างน้ำหนัก 5 กรัม ผสมรวมกับ Ethanol 80% ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชา และนำไปเขย่าใน Shakers incubators ที่ความเร็ว 150 rpm อุณหภูมิ 37°C นาน 3 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยงสารแขวนลอยนั้นเพื่อกำจัดอนุภาคและตะกอนที่ความเร็ว 4000 rpm 10 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำส่วนของเหลวใสเก็บไว้ในขวดแก้วสีชา รอการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2) เตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ความเข้มข้น 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 µg/ml

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย ABTS solution โดยประกอบด้วย 2, 2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) หรือ ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมล ในสารละลาย Potassium persulfate (2.45 มิลลิโมล) อัตราส่วน 1:1 เก็บไว้ในที่มืด 1 คืน เพื่อให้ได้สารละลายสีเข้มที่มี ABTS radical cations อยู่ ก่อนใช้ให้นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น 2:65 ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.70 ± 0.02 ที่ 734 นาโนเมตร

วิธีการทดลอง

ทดสอบตัวอย่างสารสกัด โดยดูดสารสกัดอย่างละ 20 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย ABTS solution 2 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้ 6 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้แต่ละตัวอย่างแล้วนำมาแทนค่าในสูตรหาประสิทธิภาพฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก

10.3 ทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric Reducing Ability Power, FRAP) ดัดแปลงจากวิธีของ (Kubola & Siriamornpun, 2008)

การเตรียมตัวอย่าง

1) นำตัวอย่างน้ำหนัก 5 กรัม ผสมรวมกับ Ethanol 80% ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชา และนำไปเขย่าใน Shakers incubators ที่ความเร็ว 150 rpm อุณหภูมิ 37°C นาน 3 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยงสารแขวนลอยนั้นเพื่อกำจัดอนุภาคและตะกอนที่ความเร็ว 4000 rpm 10 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำส่วนของเหลวใสเก็บไว้ในขวดแก้วสีชา รอการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

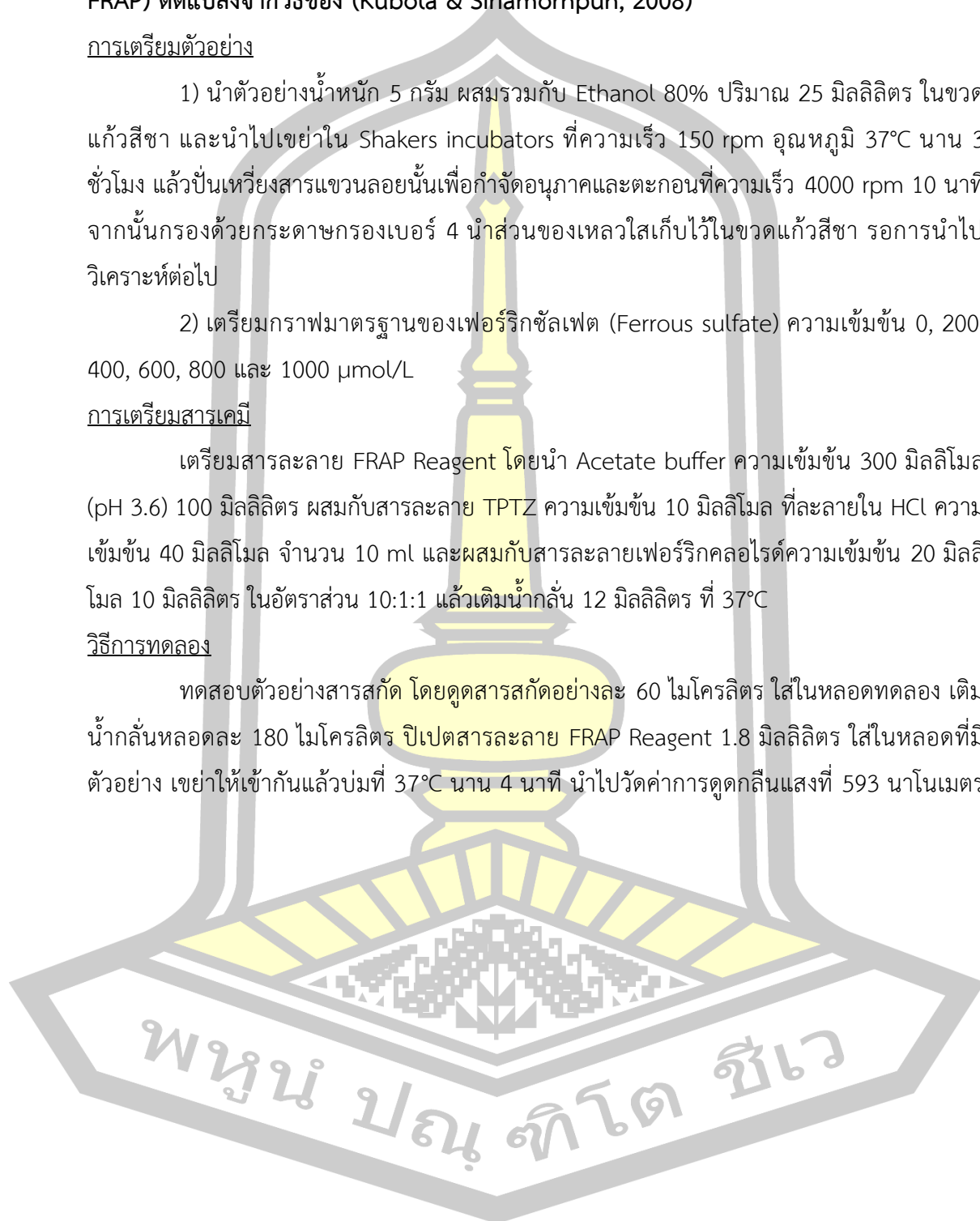
2) เตรียมกราฟมาตรฐานของเฟอร์ริกซัลเฟต (Ferrous sulfate) ความเข้มข้น 0, 200, 400, 600, 800 และ 1000 $\mu\text{mol/L}$

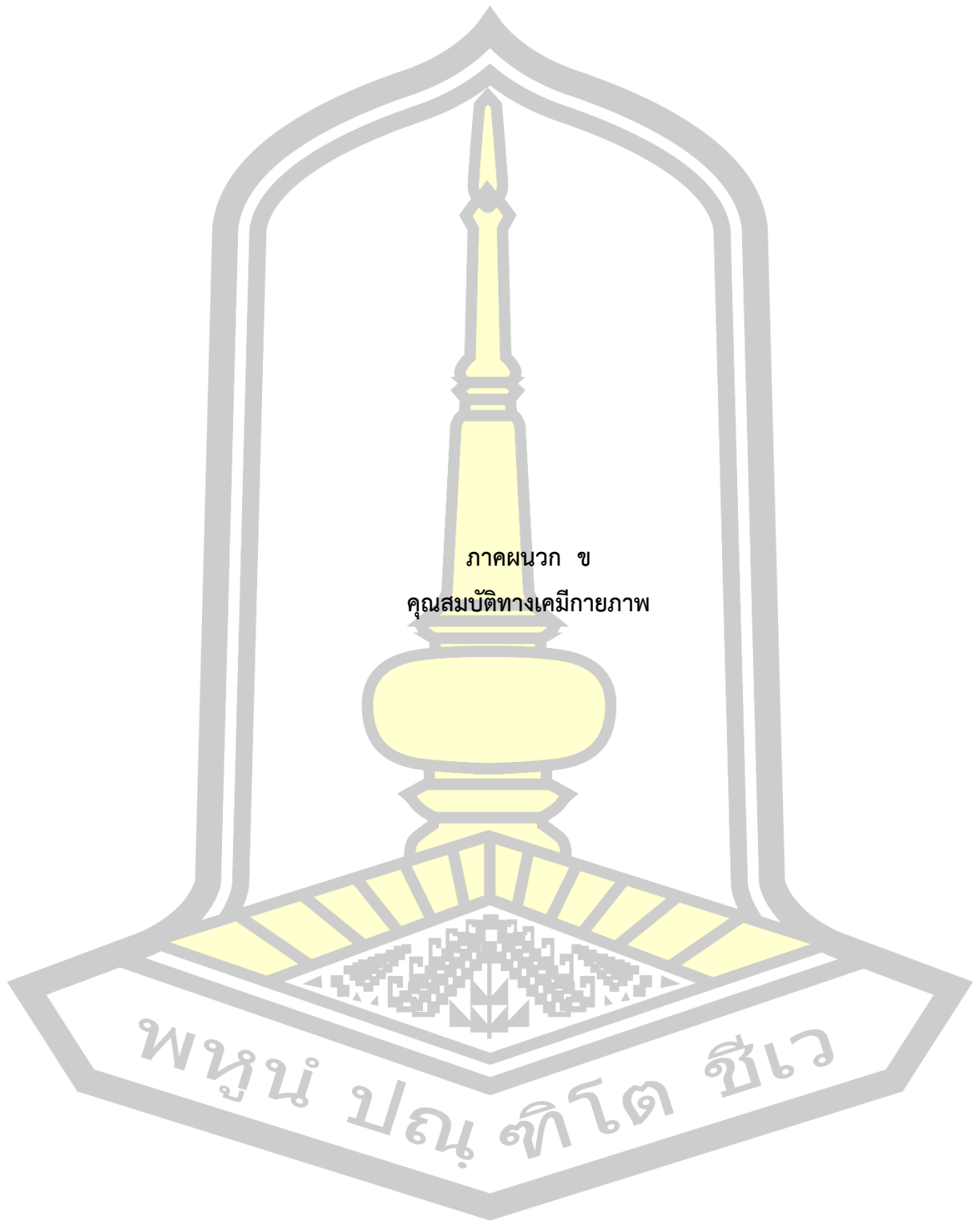
การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย FRAP Reagent โดยนำ Acetate buffer ความเข้มข้น 300 มิลลิโมล (pH 3.6) 100 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล ที่ละลายใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมล จำนวน 10 ml และผสมกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 20 มิลลิโมล 10 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 10:1:1 แล้วเติมน้ำกลั่น 12 มิลลิลิตร ที่ 37°C

วิธีการทดลอง

ทดสอบตัวอย่างสารสกัด โดยดูดสารสกัดอย่างละ 60 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นหลอดละ 180 ไมโครลิตร ปิเปตสารละลาย FRAP Reagent 1.8 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มีตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากันแล้วบ่มที่ 37°C นาน 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร





ภาคผนวก ข
คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

พหุคูณ ปณู ทิโต ชีเว

ข-1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties) ตัดแปลงจากวิธีของ (Cheng และคณะ, 2005)

ซึ่งตัวอย่างที่บดเป็นผงมาจำนวนหนึ่ง โดยจำนวนของตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง และความชื้น ในกรณีที่ตัวอย่างมีความชื้น 14% ให้ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25.00 ± 0.05 มิลลิลิตร ใส่ลงในแคนของเครื่อง RVA ปริมาณของตัวอย่างและน้ำที่ใช้ควรคำนึงถึงค่าความชื้นของตัวอย่างด้วย โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$S = \frac{(28 \times C)}{(100 - M)}$$

$$W = 28 - S$$

เมื่อ S คือ น้ำหนักตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับแบ่งแต่ละชนิด

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายแบ่งที่ต้องการ คิดเป็นน้ำหนักแห้ง (%)

M คือ ปริมาณความชื้นของแบ่ง (%)

W คือ ปริมาณน้ำที่ถูกต้อง (กรัม)

จากนั้นให้ใส่แบ่งลงในแคนที่มีน้ำอยู่ ใส่พาย (Paddle) ลงในแคน หมุนพายไปมาแรง ๆ และดึงขึ้นลง เพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดอยู่ที่พาย นำแคนที่ใส่พายเข้าเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงเพื่อให้ RVA ทำงานโดย Profile ที่เลือกใช้ในการทดสอบคือ STD1 ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง $50-95^{\circ}\text{C}$ และใช้เวลาในการทดสอบ 13 นาที จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลาที่ได้รายงานผลเป็น Rapid Visco Unit (RVU) อ่านและบันทึกค่าต่าง ๆ ดังนี้

Pasting temperature คืออุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ที่ทำให้แป้งพองตัว หรืออุณหภูมิในการเริ่มเกิดความหนืด

Peak viscosity คือความหนืดเมื่อแป้งพองตัวสูงสุด หรือค่าความหนืดสูงสุด

Final viscosity คือความหนืดเมื่อแป้งเย็นตัว หรือค่าความหนืดสุดท้าย

Breakdown คือความหนืดเมื่อแป้งยุบตัว หรือค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดขณะร้อน

Setback คือความหนืดเมื่อแป้งคืนตัว หรือค่าการคืนตัวของแป้ง

Though คือความหนืดเมื่อแป้งคงตัว หรือค่าความหนืดต่ำสุดขณะร้อน

Peak time คือเวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด

ข-2 เนื้อสัมผัสของแป้งเปียก (Horndok & Noomhorm, 2007)

กระบอกที่บรรจุผงแป้งที่ผ่านการวัดคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน นำมาปิดด้วยพาราฟิล์ม แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture analyzer ใช้หัววัด P/20 ระยะห่างระหว่างหัววัดกับฐาน 80 มิลลิเมตร ระยะทางที่หัววัดกดตัวแป้งเปียก 10 มิลลิเมตร ความเร็วก่อนวัด ชะงัก และ ความเร็วหลังวัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยค่าที่ได้จากการทดลอง คือความแน่นเนื้อ (Firmness) และความเหนียว (Stickiness)

ข-3 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture properties) ตัดแปลงจากวิธีของ (Jiamjariyatam et al., 2015)

นำตัวอย่างแต่ละชิ้นหาค่าโดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA.XT plus

วิธีการ

1. เปิดเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสและคอมพิวเตอร์ และเลือกโปรแกรมสำเร็จรูป
2. ทำการ calibrate เครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้ลูกตุ้มหนัก 1,000 กรัม
3. ดัดหัวเข็ม (spherical probe; P/5s) และฐานวางตัวอย่าง (HDP/90) บนเครื่องวัดเนื้อสัมผัสทำการ calibrate หัววัด
4. ทำการวัดโดยให้หัวกดลงบนตัวอย่าง ซึ่งความเร็วของหัววัดขณะทดสอบ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที และให้หัวกดตัวอย่างลงเป็นระยะทาง 10 มิลลิเมตร ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
5. โดยค่าที่ได้จากการทดลอง คือความแข็ง (Hardness)

ข-4 ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) โดยการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (Keeratipibul et al., 2008)

อุปกรณ์

1. กระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า
3. แท่งพลาสติก

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างจำนวนอย่างละ 3 ชิ้น ทั้งแบบที่ก่อนพองตัวและหลังพองตัว แล้วนำไปใส่ในกระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร ใส่เมล็ดงาและเคาะผนังกระบอกตวงด้วยแท่งพลาสติก จนกระทั่งเมล็ดงาแทรกเข้าในช่องว่างระหว่างชิ้นตัวอย่างจนทั่วถึง และแน่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร

2. แยกเอาตัวอย่างออกจากเมล็ดงา แล้วนำเฉพาะส่วนของเมล็ดงาใส่ในกระบอกตวงอันเดิมเคาะให้แน่นเพื่อดูปริมาตรที่ลดลงซึ่งเป็นปริมาตรของตัวอย่าง

3. คำนวณหาอัตราการพองตัวของตัวอย่าง จากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นโดยรวม (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง}}$$

ข-5 ปริมาตรการพองตัว(%) (Volume expansion %) โดยการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (Keeratipibul et al., 2008)

อุปกรณ์

1. กระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร
2. แท่งพลาสติก

วิธีการ

1. นำตัวอย่างจำนวนอย่างละ 3 ชิ้นทั้งแบบที่ก่อนพองตัวและหลังพองตัว แล้วนำไปใส่ในกระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร ใส่เมล็ดงาและเคาะผนังกระบอกตวงด้วยแท่งพลาสติก จนกระทั่งเมล็ดงาแทรกเข้าในช่องว่างระหว่างชิ้นตัวอย่างจนทั่วถึง และแน่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร

2. แยกเอาตัวอย่างออกจากเมล็ดงา แล้วนำเฉพาะส่วนของเมล็ดงาใส่ในกระบอกตวงอันเดิมเคาะให้แน่นเพื่อดูปริมาตรที่ลดลงซึ่งเป็นปริมาตรของตัวอย่าง

3. คำนวณหาอัตราการพองตัวของตัวอย่าง จากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาตรการพองตัว (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรหลังพองตัว}}{\text{ปริมาตรก่อนพองตัว}} \times 100$$

พหุ ประถมศึกษา

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวกรिता สำเภาทอง
วันเกิด	วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2353
สถานที่เกิด	อำเภออากาศอำนวย จังหวัดสกลนคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 110 หมู่ 6 บ้านหินสอ ตำบลปลาบ่า อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย รหัสไปรษณีย์ 42160
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2551 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนธาตุนารายณ์วิทยา อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร พ.ศ. 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพุนพินพิทยาคม อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี พ.ศ. 2558 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2561 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยี การอาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ของนิสิตระดับปริญญาโท คณะ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปี 2561

พูน ปลูก ปลูก ชีวะ