

คุณลักษณะของข้าวงอกและสมบัติทางเคมีกายภาพ
ของซूपข้าวงอกบรรจุกระป๋อง

CHARACTERISTICS OF GERMINATED RICE AND PHYSICOCHEMICAL
PROPERTIES OF CANNED GERMINATED RICE SOUP



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AT-M-033-256

คุณลักษณะของข้าวงอกและสมบัติทางเคมีกายภาพ
ของซุปข้าวงอกบรรจุกระป๋อง

CHARACTERISTICS OF GERMINATED RICE AND PHYSICOCHEMICAL
PROPERTIES OF CANNED GERMINATED RICE SOUP



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AT-M-053-256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CHARACTERISTICS OF GERMINATED RICE AND PHYSICOCHEMICAL
PROPERTIES OF CANNED GERMINATED RICE SOUP**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF MASTER OF FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHCHNOLOGY LADKRABANG**

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2016-AT-M-053-256



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

คุณลักษณะของข้าวงอกและสมบัติทางเคมีกายภาพของซุปข้าวงอกบรรจุกระป๋อง
CHARACTERISTICS OF GERMINATED RICE AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES
OF CANNED GERMINATED RICE SOUP

ชื่อนักศึกษา

นางสาวสุชทิพย์ สุขใส

รหัสประจำตัว

54680314

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

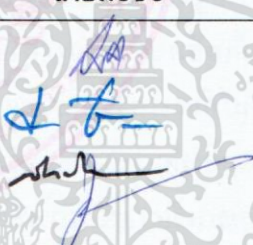
สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร. โสรยา เกิดพิบูลย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. โสรยา เกิดพิบูลย์	
รศ.ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม	
ดร. สิทธิพงษ์ นลินานนท์	
รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 13 กรกฎาคม 2559 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะกรรมการเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 25 เดือน 07 พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คุณลักษณะของข้าววงอกและสมบัติทางเคมีกายภาพ ของซูปข้าววงอกบรรจุกระป๋อง
นักศึกษา	นางสาวสุขทิพย์ สุขใส
รหัสประจำตัว	54680314
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง (B) และข้าวฮาง (H) ที่ผลิตจากข้าวดอกมะลิ 105 (J) (*Oryza sativa* L.) และข้าวเหนียว กข 6 (S) (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) ที่ผ่านการงอก 4 ระดับ ได้แก่ ไม่งอก (0) งอกระดับน้อย (1) งอกระดับปานกลาง (2) และงอกระดับมาก (3) รวมทั้งหมด 16 ตัวอย่าง เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการจากข้าววงอกทั้ง 4 ชนิด เพื่อใช้สำหรับการแปรรูปเป็นซูปข้าววงอกและตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีและผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ พบว่า สภาวะการงอกไม่ส่งผลต่อปริมาณเถ้าและไขมันของข้าววงอกแต่ละชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ส่งผลต่อความชื้น โปรตีน เส้นใย รวมทั้งวิตามิน B1 สารแกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิด (GABA) ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวแต่ละชนิดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีการวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดโดยวิธี DPPH radical scavenging assay, DPPH และ Ferric reducing antioxidative potential, FRAP โดยข้าวแต่ละชนิดเมื่อผ่านการงอกที่ระดับต่าง ๆ พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลโดยข้าวดอกมะลิฮางงอกมาก (JH3) ข้าวดอกมะลิลีงอกน้อย (JB1) ข้าวเหนียวฮางงอกน้อย (SH1) และข้าวเหนียวกล้องที่ไม่งอก (SB0) มีองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูง เมื่อเทียบกับข้าววงอกในกลุ่มเดียวกัน แต่แตกต่างที่ระยะเวลาการงอก จึงเป็นวัตถุดิบที่ถูกเลือกในการนำไปผลิตซูปข้าววงอกต่อไป จากนั้นการศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำในระดับ 1:8 1:10 และ 1:12 (w/w) ตามลำดับที่ใช้ในการผลิตซูป ผลการทดลองพบว่า ชนิดและอัตราส่วนของแป้งข้าว ต่อน้ำส่งผลต่อค่าความสว่าง สีแดง สีเหลือง และความหนืดของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ซูปที่ผลิตจากข้าววงอก JB1 และ JH3 เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำส่งผลให้ค่าสี และความหนืดลดลง ในกรณีของซูปที่ผลิตจากข้าววงอก JB1 มีความหนืดน้อยกว่าซูปที่ผลิตจากข้าววงอก JH1 ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องเป็นข้าวที่ขัดสีน้อย มีส่วนของเปลือกข้าวติดอยู่ เมื่อนำมาผลิตเป็นซูป จึงทำให้ข้าวกล้องงอกมีความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่น้อยกว่าข้าวฮางอก อย่างไรก็ตามซูปข้าวงอกที่ผลิตจากข้าวเหนียวฮาง (SH) และข้าวเหนียวกลิ้ง (SB) ที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ ในขอบเขตของการวิจัยนี้ พบว่าซูปข้าวงอกที่ผลิตจากข้าวเหนียวมีความหนืดของซูปมากจนไม่สามารถวัดค่าความหนืดของซูปข้าวเหนียวงอกได้อีกทั้งมีลักษณะของซูปมีการจับตัวเป็นก้อนของแป้งข้าวงอกคล้ายแป้งเปียก จึงไม่สามารถคนให้เป็นเนื้อเดียวกัน ในการนำซูปข้าวงอกไปบรรจุกระป๋องและฆ่าเชื้อในระดับสเตอริไลเซชันจึงใช้ตัวอย่างข้าวฮางดอกมะลิ (JH) และข้าวกลิ้งดอกมะลิ (JB) ที่อัตราส่วนแป้งต่อน้ำ 1:8 1:10 และ 1:12 โดยหลังจากให้ความร้อนในระดับสเตอริไลเซชันส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับซูปข้าวงอก และมีสีเหลืองที่เข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีก่อนการฆ่าเชื้อและพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อมีองค์ประกอบทางเคมีที่ลดลงในทุกตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Characteristics of germinated rice and physicochemical properties of canned germinated rice soup
Student	Ms. Suktip Suksai
Student ID	54680314
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Thesis advisor	Assist. Prof. Dr. Soraya Kerdpiboon

Abstract

The purposes of this research were to investigate chemical composition of brown rice (B) and Hang rice (H) made from jasmine rice 105 (J) (*Oryza sativa* L.) and sticky rice tapioca RD6 (S) (*Oryza sativa* var. glutinosa) germinated for 4 levels consisting of non germination (0), less germination (1), medium germination (2) and high germination (3). There were 16 samples used in this research. The same group of rice with different germination levels was compared chemical composition and antioxidant to achieve high chemical composition and antioxidant activities in each type of germinated rice. Then germinated rice was produce germinated rice soup and determined physicochemical properties. It was found that germination period did not affect ash and lipid contents of each type of germinated rice soup with significantly different ($p \geq 0.05$). However, moisture content, protein, fiber, vitamin B1, gamma amino butyric acid (GABA), antioxidant activities determined using DPPH scavenging activity (DPPH) and ferric reducing antioxidative potential (FRAP) methods were not significantly different ($p \geq 0.05$) with germination period. Germination levels also affected each chemical composition of germinated rice. It was found that jasmine Hang rice with high germination (JH3), jasmine brown rice with less germination (JB1), sticky Hang rice with less germination (SH1) and sticky brown rice with non germination (SB0) had high chemical composition and antioxidant activities compared with other germinated rice with were desiable. The rice starch to water ratios of 1: 8, 1:10 and 1:12 (w / w), respectively, were applied to produce germinated rice soup. It was revealed that types of rice and flour and water ratios affected lightness, redness, yellowness and viscosity of products with a significantly different ($p < 0.05$). Soup produced from germinated rice of JB1 and JH3 was found to have less color and viscosity. Moreover, soup produced from germinated rice of JB1 had lower viscosity than that of JH1. This is because brown rice had characteristics differ from Hang rice, which were pregelatinized rice. Hang rice soup had higher viscous than that of brown rice. However

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

germinated rice soup produced from SH and SB prepared using rice to water ratios in the range of this research were found that soup was highly viscous. In addition, the soup was agglomerated. The step for canning process was used as JH3 and JB1 with 1:8 , 1:10 , and 1:12 moisture ratios to produce canned germinated rice soup. It was found that sterilization affected product with increased of viscosity and decreased of lightness compared with before sterilization. In addition, sterilized products had lower chemical composition compared with products before sterilization.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของท่านอาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ดร. โสธยา เกิดพิบูลย์ ที่ช่วยแก้ไขปัญหาในการดำเนินงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และรวมถึงการให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขงานในหลายๆด้านที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประพันธ์ ปันศิริโรตม ดร.สิทธิพงษ์ นลินานนท์ และรศ.เขवालักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการและกรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่คอยดูแล อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและสารเคมี รวมถึงพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ ข้าพเจ้ารู้สึกซึ่งใจเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณบิดา มารดาของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุน รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษาและผู้สนใจอ่านทั่วไป และหากมีข้อความใดหรือเนื้อหาตอนหนึ่งตอนใดผิดพลาดไปเนื่องจากการพิมพ์หรือด้วยเหตุใดก็ตาม ผู้จัดทำยินดีรับการติชมจากผู้อ่านด้วยใจจริง

สุขทิพย์ สุขใส

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ข้าว	4
2.2 ข้าวกล้อง	16
2.3 ข้าวฮาง	16
2.4 กระบวนการผลิตข้าวฮาง	19
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตข้าวกล้องฮาง	21
2.6 คุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและ ประโยชน์ต่อสุขภาพของข้าวกล้องฮาง	23
2.7 สมบัติของสาร Gamma-Aminobutyric Acid (GABA)	24
2.8 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)	25
2.9 ชูป	27
2.10 การสเตอริไลซ์ (Sterilization)	28
2.11 การไหล และความหนืด	34
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	38
3.1 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และสารเคมี	38
3.2 สถานที่ดำเนินงาน	42
3.3 ระยะเวลาดำเนินงาน	43
3.4 วิธีการดำเนินงาน	43
3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	46
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	47
4.1 ผลการของชนิดสายพันธุ์ และกระบวนการงอกที่มีต่อองค์ประกอบเคมี ของข้าวงอก	47
4.2 การคัดเลือกข้าวงอกสำหรับการผลิตซูบข้าวงอก	54
4.3 สมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของซูบข้าวงอก	55
4.4 สมบัติเชิงกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ของซูบข้าวงอกบรรจุกระป๋อง	62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	69
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก	83
ประวัติผู้เขียน	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	11
2.2	18
2.3	19
3.1	39
3.2	39
3.3	40
4.1	48
4.2	49
4.3	51
4.4	53
4.5	59
4.6	61
4.7	62
4.8	63
4.9	65
4.10	66
4.11	67

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	4
2.2 การแตกกิ่งก้าน 3 แบบของอะไมโลเพกติน	6
2.3 โครงสร้างทางเคมีของ (a) อะไมโลส และ (b) อะมิโลเพกติน	7
2.4 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม	12
2.5 ระยะเวลาในการเกิดเจลลาติในเซชันของเม็ดแป้ง	13
2.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน	14
2.7 ข้าวฮาง	17
2.8 การนึ่งข้าวเปลือก	18
2.9 การตากข้าวให้แห้ง	18
2.10 โครงสร้างทางเคมีของกาบา	24
3.1 ข้าวฮางที่ผ่านการงอกระดับต่าง ๆ	40
4.1 ชูบข้าวงอกจากข้าวงอก 4 ชนิดที่ใช้อัตราส่วนแป้งข้าวงอกต่อน้ำต่างกัน และที่มีลักษณะปรากฏต่าง ๆ กัน	57
ข.1 วิธีการทำชูบข้าวงอกบรรจุกระป๋อง	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อโภชนาการของผู้บริโภคโดย อาหารเพื่อสุขภาพมีการผลิตและจำหน่ายในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งอาหารสำเร็จรูปและอาหารเสริม วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพมีหลากหลาย เช่น ข้าว ธัญพืช ผัก และผลไม้ เป็นต้น ข้าวถูกจัดเป็นอาหารหลักของคนไทยที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ อีกทั้งกระบวนการผลิตข้าวที่ถูกวิธีสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผู้บริโภคได้อีกด้วย ข้าวที่มีกระบวนการขัดสีน้อย ได้แก่ข้าวหอมมะลิและข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง เนื่องจากมีส่วนของจมูกข้าวและรำข้าว ส่งผลให้ขัดสีน้อยดังกล่าวมีสารอาหารต่าง ๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้าใยอาหาร กรดอะมิโนอิสระ (Total free amino acids) อัลฟาโทโคฟีรอล (α -tocopherol) และแกมมาโอไรซานอล (γ -oryzanol) เป็นต้น (กรมอนามัย, 2530 ; ดวงจันทร์, 2547) เพิ่มเติมจากคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียว สำหรับข้าวฮางเป็นข้าวแปรรูปที่ผลิตขึ้นตามกรรมวิธีซึ่งเป็นภูมิปัญญาของชาวไทยอีสาน โดยการนำเอาข้าวเปลือกมาแช่น้ำไว้เพื่อกระตุ้นให้สารอาหารต่าง ๆ จากเปลือกข้าวซึมเข้าไปในเมล็ดข้าวแล้วจึงนำมาึ่ง เพื่อจับเก็บสารอาหารให้คงไว้แล้วนำข้าวเปลือก (ข้อมูลจากกลุ่มแม่บ้านเกษตรชุมชนบ้านโนนกง) มาตากแห้งหรืออบแห้งให้มีความชื้นร้อยละ 8 - 14 หลังจากนั้นนำข้าวมานำเปลือกออกด้วยเครื่องสีข้าวกะเทาะเปลือก ในระหว่างกระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่น้ำดังกล่าวส่งผลให้เกิดการกระตุ้นให้เกิดการงอกของข้าว ทำให้มีปริมาณสารกาบามากขึ้น (Horino et al., 1994) ทั้งนี้ข้าวฮางเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการนี้ และอบแห้งก่อนการขัดสีเป็นข้าวฮาง ข้าวฮางจึงมีลักษณะของข้าว Parboiled rice ซึ่ง Walter และคณะ (2005) พบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการหุงสุกและนำมาสีที่เรียกว่า ข้าว Parboiled rice มีปริมาณแป้งที่ย่อยยากสูงขึ้น ทำให้มีแป้งเหลือจากการย่อยและ คูดซบที่ลำไส้เล็กผ่านสู่ลำไส้ใหญ่มากขึ้นซึ่งจะไปเป็นประโยชน์แก่แบคทีเรียที่ลำไส้ใหญ่

ข้าวกล้องและข้าวฮางสามารถผลิตได้จากข้าวหลากหลายสายพันธุ์ ข้าวกล้องเป็นที่รู้จักของคนโดยทั่วไปในทุกภาคของประเทศไทย สำหรับข้าวฮางเป็นข้าวที่นิยมผลิตในแถบตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจะมีการผลิตจาก ข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6 ซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือดังกล่าว ข้าวแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนของอะไมโลส อะไมโลเพกติน และสารประกอบในเมล็ดข้าวที่แตกต่างกัน อีกทั้งข้าวกล้องและข้าวฮางมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันด้วยเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ข้าวมีสมบัติเชิงกายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน

การงอกข้าว เป็นการนำข้าวมาผ่านกระบวนการงอก เพื่อให้ที่มีปริมาณสารอาหารที่สูงขึ้น (Kayahara และ Tsukahara , 2000) นักวิจัยหลายท่านศึกษาสภาวะที่ใช้ในการงอกข้าวโดยใช้อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวงอก โดยจากผลงานวิจัยของ Oh (2003) พบว่าการงอกข้าว ส่งผลต่อการเพิ่มสารอาหารบางชนิด ได้แก่ กรดอะมิโน และ แกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิด หรือกาบา (GABA , gamma aminobutyric acid) ที่เกิดจากการย่อยสลายกรดกลูตามิก โดยเอนไซม์ซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทประเภทยับยั้ง ช่วยรักษาโรคที่เกี่ยวกับระบบประสาท และช่วยควบคุมความดันโลหิต เป็นต้น (Oh, 2003; Komatsuzaki et al., 2007) นอกจากนี้ Kayahara และ Tsukahara (2000) รายงานว่าข้าวกล้องงอกมีสารกาบาในปริมาณมากกว่าข้าวกล้องถึง 10 เท่า มีใยอาหาร วิตามินอี ไนอะซิน และไลซีน มากกว่า 4 เท่า และวิตามินบี 1 บี 6 และ แมกนีเซียมมากกว่า 3 เท่า นอกจากนี้ Moongngam และ Saetung (2010) ได้ศึกษาหาปริมาณสารที่มีคุณค่าสูงในข้าวกล้องงอก (germinated brown rice) โดยพบว่าข้าวกล้องงอก มีสารอาหารที่คุณค่าสูง อยู่ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกประกอบด้วย กลุ่มวิตามินบีรวม วิตามินบี 1 (thiamin) วิตามินบี 3 (niacin) วิตามินบี 6 (pyridoxine) และ วิตามินอี (tocopherol) กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ คือ แกมมาโอโรซานอล วิตามินอี สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) และแกมมาโอโรซานอล เป็นจุดเด่น ในทางฤทธิ์ของการต้านอนุมูลอิสระสูงมากเมื่อเทียบกับวิตามินอี และสามารถพบได้ในรำข้าว ไม่พบในพืชชนิดอื่น ซึ่งผลิตภัณฑ์ข้าวงอก และกลุ่มสุดท้ายประกอบด้วยมีกรดอะมิโนชนิดที่ เรียกว่า สารกาบา อยู่ในปริมาณสูง

จากเหตุผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ของข้าว รวมทั้งกระบวนการการแปรรูปข้าว ส่งผลต่อสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ รวมทั้งสมบัติทางเคมีกายภาพของ ผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้อง และข้าวฮาง งานวิจัยนี้จึงศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของข้าวกล้อง และข้าวฮางที่เตรียมจากข้าว 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6 รวมทั้งสภาวะที่ใช้ในการงอกต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตซูบข้าวงอก บรรจุกระป๋อง เพื่อสามารถผลิตผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่า และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอกจากข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ

1.2.2 เพื่อตรวจสอบสมบัติทาง เคมีกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอก และผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอก (Brown rice, B) ข้าวฮางงอก (Hang rice, H) ที่ผลิตจากข้าวดอกมะลิ 105 (Jasmine rice, J) และข้าวเหนียว กข 6 (Sticky rice, S) ที่มีระดับของการงอก 4 ระดับที่แตกต่างกัน คือ ข้าวที่ไม่ได้งอก (0) ข้าวงอกน้อย (1) ข้าวงอกปานกลาง (2) และข้าวงอกมาก (3) เพื่อคัดเลือกข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง 4 ชนิด มาผลิตซูปข้าวบรรจุกระป๋อง รวมทั้งการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ซูปข้าวงอก

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบผลของระดับการงอกที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอกจากข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข 6

1.4.2 ทราบถึงคุณค่าทางโภชนาการของซูปข้าวทั้งก่อนและหลังบรรจุกระป๋อง เพื่อสามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซูปข้าวบรรจุกระป๋อง

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าว (rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. มีองค์ประกอบของอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ในปริมาณที่ต่างกัน โดยปกติข้าวเจ้ามีอะไมโลส ร้อยละ 15 - 30 ส่วนข้าวเหนียว ประกอบด้วยอะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ และมีอะไมโลสเพียงประมาณร้อยละ 1 - 2 ข้าวเจ้าสาย พันธุ์ที่ต่างกัน มีปริมาณอะไมโลสต่างกัน ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เช่น ข้าวดอกมะลิ มีอะไมโลส ร้อยละ 16 - 18 มีลักษณะเนื้อข้าวนุ่ม แต่ถ้าเป็นข้าวพันธุ์เสาไห้ พบว่า มีอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 26 เมล็ดข้าวเมื่อหุงสุกจะมีลักษณะแข็งร่วน (อรอนงค์, 2547)

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (อรอนงค์, 2547)

เมล็ดข้าวเป็นผลชนิด Caryopsis มีเยื่อหุ้มเมล็ด (testa) อยู่ติดกับผนังรังไข่ (ovary wall) เมล็ดข้าวประกอบด้วย

แกลบ (hull หรือ husk) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (Lemma) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ชั่วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmae) เปลือกใหญ่จะปกคลุมอยู่ 2 ใน 3 ของเนื้อที่เมล็ดเปลือกเล็กจะยึดแน่นอยู่ภายในส่วนของเปลือกใหญ่ด้วย โครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายตะขอ (hooklike structure) ดังนั้นเปลือกข้าวจึงปิดแน่น



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา : ดวงจกกล (2550)

ข้าวกล้อง (brown rice) เป็นส่วนที่ใช้บริโภคประกอบด้วยคัพภะ (embryo) และส่วนที่เป็นแป้ง (starchy endosperm) ข้าวกล้อง ประกอบด้วย

ก. เยื่อหุ้มข้าวกล้อง (caryopsis coat) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่ เยื่อชั้นนอก (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) และเยื่อคั่น (nucellus)

ข. เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) อยู่ด้านในต่อจากเยื่อคั่น (nucellus) เป็นเนื้อเยื่อชนิดเดียวกับเนื้อเมล็ด (Endosperm) เซลล์ของเยื่อ หุ้มเนื้อเมล็ดประกอบด้วย โปรตีน และไขมัน

ค. ส่วนที่เป็นแป้ง (starchy endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสารจะอยู่ชั้นสุดของเมล็ดประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ และมีโปรตีนอยู่บ้าง

ง. คัพภะ (embryo) เป็นส่วนที่อยู่ติดกับส่วนที่เป็นแป้งทางด้านท้องของเมล็ด (ventral side) คัพภะเป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ดังนั้นจึงประกอบด้วย ต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) และเยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) เป็นต้น

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าว

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำ หรือความชื้น โดยรายละเอียดต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

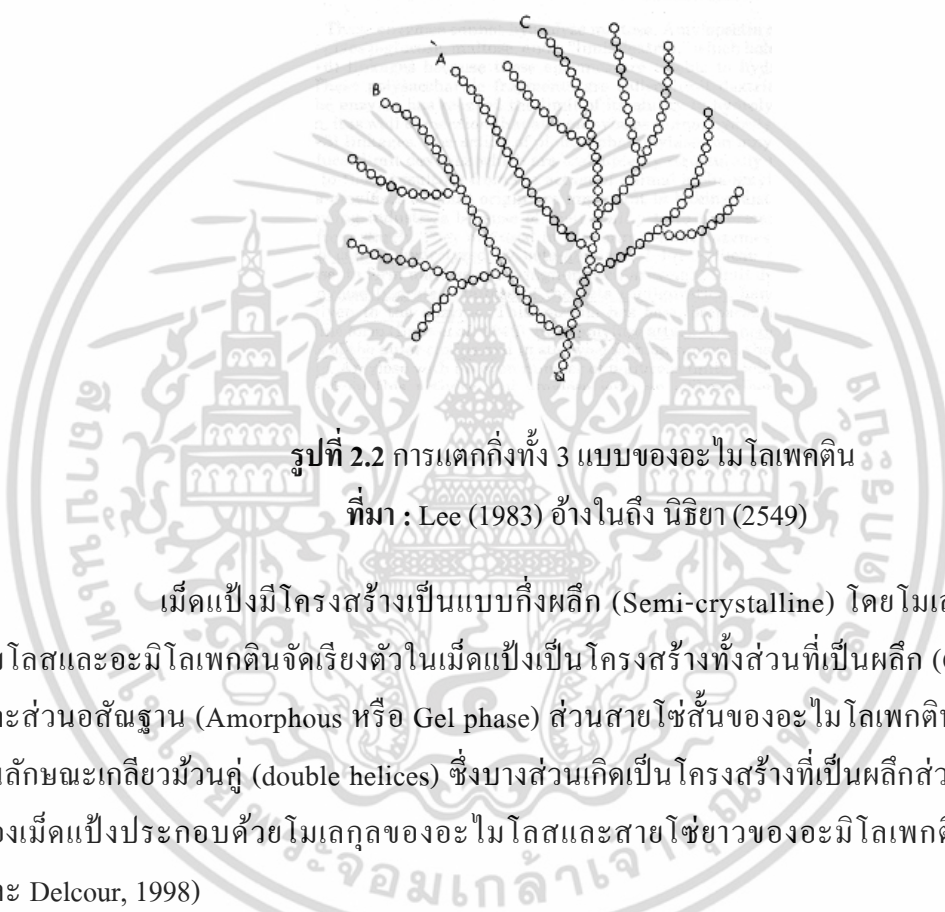
2.1.2.1 คาร์โบไฮเดรต

สตาร์ช เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ที่พบมากที่สุดคในเนื้อเมล็ดของข้าว ประมาณร้อยละ 90 โดยโมเลกุลของสตาร์ชรวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) มีขนาด 3 - 5 ไมครอน รูปร่างลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายเหลี่ยม รวมตัวกันอยู่ภายในแอมิโลพลาส (amyloplast) หรือคลอโรพลาส (chloroplast) ของเซลล์จำนวน 20 - 60 เม็ดสตาร์ชเป็นกลุ่มก้อนกลมหรือยาวรี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มเม็ดสตาร์ชในแอมิโลพลาสนี้ประมาณ 7 - 39 ไมครอน (อรอนงค์, 2547) โครงสร้างทางเคมีของสตาร์ชจะประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวที่มีขนาดใหญ่ โดยส่วนใหญ่สตาร์ชจะประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิดได้แก่ อะไมโลส และอะไมโลเพกติน (แสดงดังภาพที่ 2.2)

อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์สายตรง ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-หนึ่ง,สี่-ไกลโคสิติก (α -1,4-glycosidic linkage) ส่วนอะมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคสสายตรงขนาดสั้นที่มีน้ำตาลกลูโคส ประมาณ 10 - 60 หน่วย (degree of polymerization, DP = 10 - 60) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-หนึ่ง,สี่-ไกลโคสิติก และถูกเชื่อมต่อกันเป็นกิ่งก้านด้วยพันธะแอลฟา-หนึ่ง,หก-ไกลโคสิติก (α -1,6 glycosidic linkage) ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 5 ของปริมาณพันธะไกลโคสิติกทั้งหมด (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

Hizukuri (1986) แสดงแบบจำลองลักษณะ โครงสร้างของอะมิโลเพกติน แสดงดังภาพที่ 2.2 โดยโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกตินประกอบด้วยสายโซ่ (chain) 3 ชนิดคือ สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)

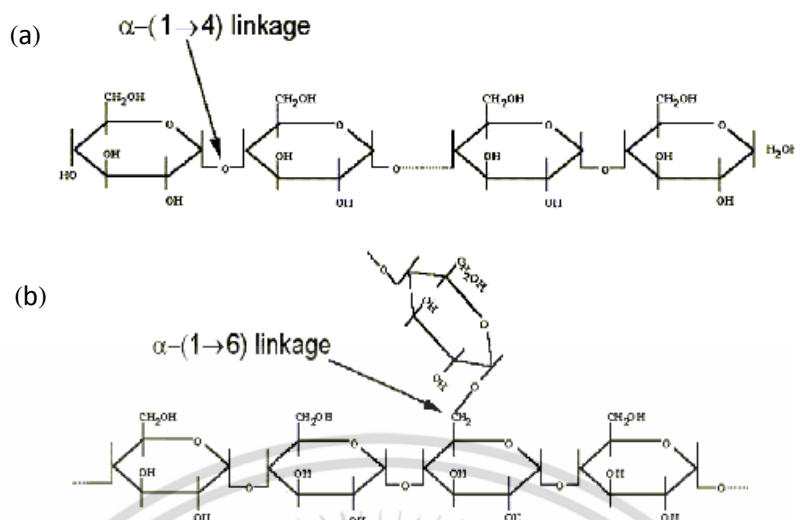
สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่น ๆ อีก 2 สาย หรือมากกว่า สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวง 1 หมู่ โดยโมเลกุลอะมิโลเพกตินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น (Hizukuri, 1986)



รูปที่ 2.2 การแตกกิ่งทั้ง 3 แบบของอะมิโลเพกติน
ที่มา : Lee (1983) อ้างในถึง นิธิยา (2549)

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (Crystallite) และส่วนอสัณฐาน (Amorphous หรือ Gel phase) ส่วนสายโซ่สั้นของอะมิโลเพกตินจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (double helices) ซึ่งบางส่วนเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึกส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลสและสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกติน (Jacobs และ Delcour, 1998)

เม็ดแป้งมีลักษณะ โครงสร้างผลึก 4 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากเกิดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้าเรียงตัวกันหลวม ๆ เกิดผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) และอีกรูปแบบหนึ่งคือแบบที่พบในสตาร์ชที่มีอะมิโลสสูงบางชนิด แต่โดยทั่วไปเป็นสตาร์ชที่เกิดเจลาตินไนซ์ แล้วจับตัวกับไขมัน (Zobel, 1998 อ้างในถึง Shamekhsalem, 2002)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ (a) อะไมโลส และ (b) อะไมโลเพกติน

ที่มา: Ophardt (2003) อ้างในเบญจลักษณ์ (2550)

2.1.2.2 โปรตีน

ในเมล็ดข้าวมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 9.8 ซึ่งถือว่าน้อย แต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานเช่นกัน ปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงต้ม กล่าวคือ การที่ข้าวมีโปรตีนที่สูงส่งผลให้ระยะเวลาหุงต้มข้าวสุกนานขึ้น เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเมล็ด และโปรตีนยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซึมน้ำของเมล็ด ความนุ่มและความเหนียว กล่าวคือ ทำให้เมล็ดดูดซึมน้ำได้น้อยลง ข้าวสุกมีความนุ่มความเหนียวลดลง (ลินดา, 2537) นอกจากนี้ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในชั้นสูงกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ (Marshall และ Wadsworth, 1944) โปรตีนส่วนใหญ่ในเมล็ดข้าวเป็นกลูเตลิน (glutelin) โดยมีมากกว่าร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมดในข้าวเป็นโปรตีนที่ละลายในด่าง การเพิ่มปริมาณโปรตีนส่งผลให้ปริมาณกลูเตลินเพิ่มขึ้น เมื่อวิเคราะห์หาระดอะมิโนระหว่างข้าวเจ้าและข้าวเหนียว พบว่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าลักษณะยีนข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียวมีผลต่อโครงสร้างของโปรตีน (Juliano, 1972) นอกจากนี้ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้น ทำให้ขัดสีออกได้ยากจึงอาจมีระดับการสีต่ำ (มีรำเหลืออยู่มาก) และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำ อย่างไรก็ตาม หากทำการสีข้าวให้มีระดับการสีมากขึ้นแล้ว ข้าวโปรตีนสูงอาจมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ จากการศึกษาผลการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพ พบว่าการใส่ปุ๋ยในโตรเจนซึ่งทำให้โปรตีนในเมล็ดข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สูงขึ้น ข้าวสุกมีสีคล้ำขึ้น ข้าวมีความนุ่มลดลงเมื่อเมล็ดข้าวมีโปรตีน ถึงร้อยละ 10 และหากโปรตีนสูงถึงร้อยละ 12 ความเหนียวของข้าวจะลดลงด้วย (งามชื่น, 2545)

โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และโดยทั่วไปมีปริมาณน้อยกว่าในธัญชาติอื่น โปรตีนที่มีในข้าวนี้เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของเมล็ด โดยมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ดด้านนอกมีโปรตีนมากกว่าในใจกลางเมล็ด ซึ่งโปรตีนข้าวสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มได้โดยอาศัยพื้นฐานของการละลายของโปรตีน แต่ละชนิดในตัวทำละลายต่างกัน ดังนี้

อัลบูมิน โปรตีนชนิดนี้ละลายในน้ำ หรือละลายในน้ำที่มีกรดอยู่เพียงเล็กน้อย และตกตะกอนทันทีเมื่อได้รับความร้อน โปรตีนนี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์

โกลบูลิน ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในน้ำเกลือ (โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.4 โมลาร์)

กลูทีลิน โปรตีนชนิดนี้ไม่ละลายในน้ำ สารละลายเกลือและเอทานอลแต่ละละลายในน้ำซึ่งมีกรดหรือด่าง (กรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์) โปรตีนชนิดนี้เป็นโปรตีนหลักที่พบอยู่เป็นจำนวนมากในข้าว และสามารถแยกออกมาได้โดยการใช้สารละลายต่าง ดังนั้นในกระบวนการผลิตแป้งสตาร์ชข้าวทั่วไป จึงใช้การล้างแป้งฟลาวร์ข้าวด้วยสารละลายต่าง

โพรลามิน โปรตีนชนิดนี้ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 70 - 80 (Matsuo et al., 1997 อ้างในเบญจลักษณ์, 2550)

2.1.2.3 ไขมัน

ข้าวมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 3 คล้ายคลึงธัญพืชชนิดอื่น และมีอยู่ในส่วนด้านนอกของเมล็ดมากกว่าในใจกลางเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าวให้ขาว ทำให้ข้าวสารเจามีไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.3 - 0.5 (Hoseney, 1996) ซึ่งเป็นไขมันที่เกาะเกี่ยว (bound lipid) กับสารอื่นอยู่ประมาณร้อยละ 0.3 - 0.4 ส่วนในข้าวเหนียวมีไขมันที่เกาะเกี่ยวนี้น้อยกว่าร้อยละ 0.03 โดยไขมันมีความสัมพันธ์กับเม็ดสตาร์ช 3 ลักษณะ คือ ไขมันที่อยู่ชิดกันกับโปรตีน ซึ่งอยู่ที่ผิวเม็ดสตาร์ชภายนอกหรืออาจรวมอยู่กับโครงสร้างของแอมิโลเพกตินสายนอก ลักษณะที่สองคือไขมันอยู่ในเม็ดสตาร์ชโดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ช และลักษณะที่สามคือไขมันที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ช แต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช

ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่ คือ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมา คือ ฟอสโฟลิปิด (phospholipids), โกลโคไลปิด (glycolipids), เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ทั้งไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบโมโนแอซิล (monoacyl) (อรอนงค์, 2547)

2.1.2.4 ความชื้น

ความชื้น (moisture) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับคุณภาพเมล็ดข้าวมาก โดยปริมาณความชื้นของข้าว ทั้งข้าวเปลือกและข้าวสาร ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญเพื่อการซื้อขายข้าว ความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าวหรือบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาข้าวให้มีคุณภาพดี โดยพบว่าข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียได้เร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ระดับความชื้นที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าว คือ ร้อยละ 13 จะเก็บรักษาได้ดีภายใน 6 เดือน และถ้าข้าวมีความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 13 จะเก็บได้นานขึ้น นอกจากนี้ความชื้นยังส่งผลต่อคุณภาพการสีข้าวของข้าวเปลือก โดยมีปัจจัยสำคัญคือการเก็บเกี่ยว

ข้าวที่แก่ความชื้นประมาณร้อยละ 22 - 26 การตากแห้งเพื่อลดความชื้นลงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 14 จนถึงเวลาสีข้าวเปลือกเพื่อให้ได้ข้าวที่เต็มเม็ดเต็มรวง และข้าวหักน้อย (Juiano, 1985 อ้างถึงในเบญจลักษณ์, 2550)

ความชื้นในเมล็ดข้าวจะมีผลต่อการที่ข้าวหุงขึ้นหม้อ และความร่วนของข้าวเช่นกัน ข้าวที่มีความชื้นซึ่งส่วนใหญ่เป็นข้าวเก่าจะหุงขึ้นหม้อ และมีความร่วนมากกว่าข้าวที่มีความชื้นสูงหรือข้าวใหม่ ในประเทศไทยผู้บริโภคริโภคข้าวเจ้านิยมบริโภคข้าวเก่าซึ่งหุงขึ้นหม้อดีกว่าและราคาข้าวเก่าจะสูงกว่าข้าวใหม่ นอกจากนี้ความชื้นในข้าวยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาข้าว

ถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงทำให้เชื้อรา และจุลินทรีย์ต่าง ๆ เจริญเติบโตได้ ข้าวจะเสื่อมคุณภาพในระยะเวลานาน ดังนั้นมาตรฐานข้าวของประเทศต่าง ๆ จึงได้กำหนดระดับความชื้นของข้าวไว้ เช่น ประเทศไทยกำหนดความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 สำหรับประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นระดับความชื้นอาจสูงถึงร้อยละ 16 (ลินดา, 2537)

2.1.2.5 วิตามิน โดยเฉพาะวิตามินบี 1 บี 2 และไนอะซิน

พบในส่วนของรำหยาบ รำละเอียด และคัพพะ ซึ่งช่วยในการควบคุมเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ในร่างกาย นอกจากนี้ยังพบวิตามินอีซึ่งช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นหืนด้วย

2.1.2.6 เกลือแร่

เกลือแร่ (mineral) เป็นส่วนประกอบที่พบมากที่สุดในแกลบ รองลงมา คือ รำหยาบ คัพพะ และรำละเอียด แร่ธาตุที่พบมากที่สุดคือ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แมกนีเซียมและแคลเซียม

2.1.3 การจำแนกข้าวตามชนิดและปริมาณของแป้งในเมล็ด

สตาร์ชข้าวมีอะไมโลเพกตินเป็นองค์ประกอบหลัก และมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบรอง อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำ และขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่า ข้าวอะไมโลสต่ำทำให้ข้าวสุกมีลักษณะที่แข็ง ไม่เหนียวมัน แข็ง และข้าวสุกขยายตัวจามปริมาตรได้มากกว่าหรือที่เรียกกันว่า หุงข้าวขึ้นหม้อ ส่วนความนุ่มและความเหนียวของข้าวสุกจะขึ้นกับสัดส่วนอะไมโลเพกตินในสตาร์ช ข้าวเหนียวมักจะมีอะไมโลเพกตินเกือบทั้งหมด ทำให้ดูดน้ำและขยายตัวน้อยกว่าข้าวเจ้า ข้าวสุกที่ได้จะเหนียวและนุ่มกว่า (งามชื่น, 2531)

2.1.3.1 ข้าวเจ้า

ข้าวเจ้ามีเมล็ดใสมากกว่าข้าวเหนียวเนื่องจาก มีการจัดเรียงตัวกันของสตาร์ช และโปรตีนในเมล็ดข้าวที่อัดแน่นไม่เท่ากัน ทำให้เมื่อนำข้าวเจ้าไปหุงต้มจะไม่ค่อยเกาะตัว จะร่วนซุยไม่เหนียวติดกัน แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกติน แต่จะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันตามชนิดของข้าว โดยปริมาณอะไมโลเพกติน ร้อยละ 64 - 92 และมีปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 8 - 36 ของน้ำหนักเมล็ด ในการหุงข้าวเจ้านั้นต้องใช้น้ำในการหุงในปริมาณที่มากกว่าข้าวเหนียว พบว่า ข้าวเจ้าบางพันธุ์เมื่อหุงต้มแล้วจะมีความนุ่มและมีการเกาะตัวใกล้เคียงกับข้าวเหนียว เช่น ข้าวพวงจาปอนิดา แต่คุณลักษณะอื่น ๆ ในการหุงต้มและลักษณะทางเคมียังคงมีลักษณะเป็นข้าวเจ้าอยู่ ความนุ่มของข้าวเจ้าจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสในเมล็ด ปริมาณโปรตีน อายุการเก็บรักษาปริมาณน้ำในการหุงต้ม เป็นต้น ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะอ่อนนุ่มหรือแข็งกระด้างต่างกันไป เรียกว่า มีคุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) ต่างกัน กล่าวคือ ข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสมากจะทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกแข็งมาก (อรอนงค์, 2547)

2.1.3.2 ข้าวเหนียว

ข้าวเหนียวจะมีลักษณะของเนื้อเมล็ดเป็นสีขาวขุ่น เมื่อนำไปหุงต้มจะเหนียวเกาะตัวกันดีมาก แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพกติน และมีอะไมโลสเป็นส่วนน้อยหรืออาจไม่มีเลยในเมล็ดจะประกอบไปด้วยอะไมโลเพกติน ร้อยละ 92 - 100 และอะไมโลสร้อยละ 0 - 8 ของน้ำหนักเมล็ด เมล็ดข้าวเหนียว เมื่อนำไปนึ่งจะมีความนุ่มของแต่ละพันธุ์ไม่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่พันธุ์ที่มีความนุ่มน้อยกว่าจะเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณของอะไมโลสอยู่สูงกว่า นอกจากนี้อาจเป็นเพราะปริมาณ โปรตีนในเมล็ด อายุการเก็บรักษา และสภาพที่เก็บรักษาด้วย (วาสนา, 2523)

ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	1 - 2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำมาก	2 - 9	เหนียวนุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	9 - 20	เหนียวนุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง	20 - 25	นุ่ม ก่อนข้าวเหนียว
ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง	25 - 33	ร่วนแข็ง

ที่มา: Juiano (1985) อ้างอิงถึงเบญจลักษณ์ (2550)

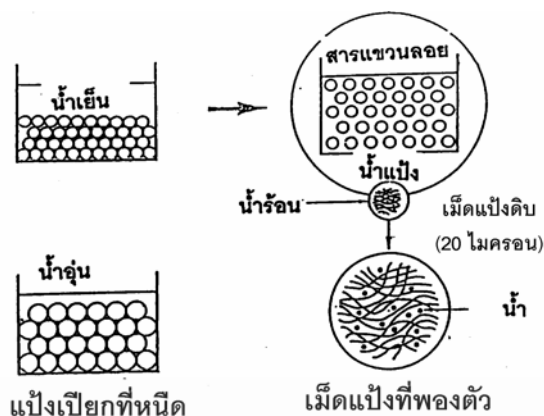
2.1.4 สมบัติเชิงกายภาพบางประการของข้าว

2.1.4.1 การพองตัวและการละลาย

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณร้อยละ 25 - 30 และพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตได้ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วนของ crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ Amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวม ๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมากสามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อน กับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป ส่วน Amorphous จับกับน้ำ ได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน Crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (แสดงดังภาพที่ 2.4) โมเลกุลในส่วน Crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า Micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน Crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารถละลายมากขึ้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

แป้งข้าวเจ้าจะมีกำลังการพองตัวจำกัดถึงแม้จะให้ความร้อนในสารถละลายน้ำแป้งที่อุณหภูมิสูงโดยแป้งข้าวเจ้ามีกำลังการพองตัวประมาณร้อยละ 19 คุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีขนาด 3 - 9 ไมโครเมตรเม็ดแป้งข้าวในรูปของสารถละลายจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นในช่วงอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดจนกระทั่งอุณหภูมิสูง 95 องศาเซลเซียส

เม็ดแป้งจะแตกออกโดยกำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้ง ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม
ที่มา : กล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2546)

2.1.4.2 การเกิดเจลาตินในเซชัน

โมเลกุลของเม็ดแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นยาก ระยะเวลาในการเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้ง (แสดงดังภาพที่ 2.5) เป็นดังนี้

ระยะที่หนึ่ง ในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวเล็กน้อย ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ Birefringence ได้

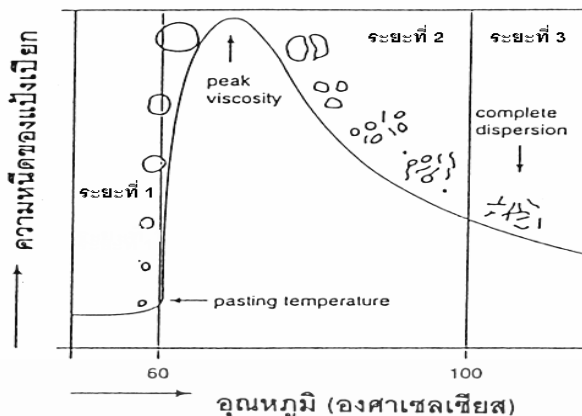
ระยะที่สอง เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความข้นหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเจลาตินในซ์ เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดความหนืด มักเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของแป้ง

ระยะที่สาม เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีกรูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของเม็ดแป้งเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล

ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่น ไม่สม่ำเสมอทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน เม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ จึง มีลักษณะ

การเกิดเจลที่ต่างกันออกไป (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



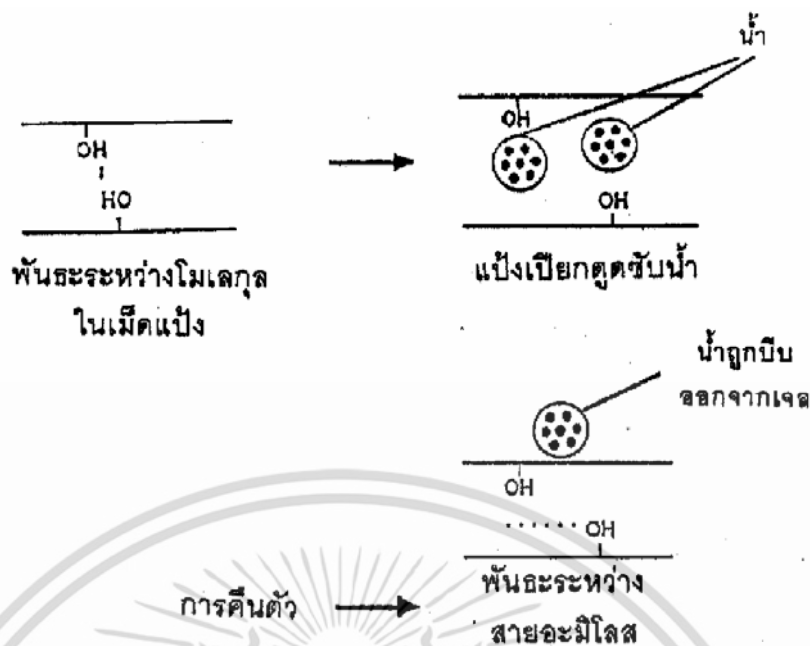
ภาพที่ 2.5 ระยะเวลาในการเกิดเจลลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง

ที่มา : กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2546)

เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานข้าวในลักษณะข้าวสุกทั้งเม็ด และในเม็ดข้าว มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 85 (อรอนงค์, 2547) โดยโมเลกุลของสตาร์ชที่ประกอบด้วย หมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมีคุณสมบัติชอบน้ำ เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้งพันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวทำให้เกิดเจลลาติไนซ์ ซึ่งแตกต่างกันไปในสตาร์ชแต่ละชนิด โดยที่สตาร์ชข้าวเจ้าจะมีอุณหภูมิเริ่มการเจลลาติไนซ์ที่ 68 - 78 องศาเซลเซียส การเกิดเจลลาติไนเซชันของสตาร์ชจะเกิดในระหว่างการหุงข้าว ถ้าสตาร์ชยังไม่เกิดการเจลลาติไนเซชันจะทำให้เนื้อสัมผัสข้าวแข็งไม่เหมาะต่อการบริโภค และอุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเกิดเจลลาติไนเซชันมีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงเพื่อไม่ให้ข้าวสุกแข็งเกินไป

2.1.4.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบในเม็ดข้าวจะอยู่ในรูปของสตาร์ช เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนเซชันแล้วลดอุณหภูมิให้เย็นลง เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการคูดน้ำเข้ามาอีก เมื่อลดอุณหภูมิต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างที่แน่นมากขึ้น เรียกว่า การคืนตัวหรือรีโทรเกรเดชัน (แสดงดังภาพที่ 2.6) คุณภาพของ ข้าวหุงสุกมีผลจากคุณสมบัติของสตาร์ชในข้าว ซึ่งสังเกตได้จาก การทิ้งข้าวหุงสุกให้เย็นตัวลงข้าวจะแข็งขึ้นซึ่งเป็นผลจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชในข้าว (อรอนงค์, 2550)



ภาพที่ 2.6 การเกิดรีดอกซ์
ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2546)

การเกิดรีดอกซ์หรือการเคลื่อนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง อุณหภูมิ ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อนและความเย็น ระยะเวลาการเก็บรักษาความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพคติน และสารประกอบอื่น ๆ โดยเฉพาะไขมัน และความเข้มข้นของส่วนผสมอื่น ๆ เช่น สารลดแรงตึงผิว และเกลือ เป็นต้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546 และ Whistler และ Bemiller, 1999)

ปริมาณและขนาดของอะมิโลส จะมีความสำคัญมากต่อการเคลื่อนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดการเคลื่อนตัวได้เร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพคตินสูง ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Fan และ Marks, 1998) แป้งข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง ซึ่งมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์สูง จะเกิดการเคลื่อนตัวได้มาก ให้ลักษณะของขนมปังที่มีเนื้อในแห้ง ส่วนแป้งข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ จะมีคุณสมบัติตรงกันข้าม ซึ่งมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์ต่ำ และเกิดการเคลื่อนตัวได้น้อย ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ได้จะอ่อนนุ่ม สำหรับขนาดโมเลกุลของอะมิโลส พบว่า ถ้าแป้งมีขนาดของโมเลกุลอะมิโลสใหญ่หรือเล็กเกินไปทำให้การเคลื่อนตัวได้ช้าลง อะมิโลสที่มีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมที่ Degree of polymerization เท่ากับ 100 - 200 จะเกิดการเคลื่อนตัวได้เร็วและให้เจลที่เหนียวมาก ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีการเคลื่อนตัวแตกต่างกัน แป้งที่มีอะมิโลเพคตินสูงจะมีผลต่อการเคลื่อนตัวน้อยมาก (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของอะมิโลเพคตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขามากทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้ยาก (Whistler และ Bemiller, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำในการเกิดเจลลาตินไนซ์จะมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน และการเกิดผลึก ซึ่งจะเกิดขึ้นในเจลมีปริมาณแป้งอยู่ระหว่างร้อยละ 10 ถึง 80 และจะเกิดผลึกได้สูงในเจลที่ประกอบด้วยแป้งร้อยละ 50 - 55 การเกิดรีโทรเกรเดชันจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำระหว่างการเก็บรักษาแต่ไม่ขึ้นกับปริมาณน้ำระหว่างการเกิดเจลลาตินไนซ์ การเกิดเจลลาตินไนซ์ของเจลแป้งทำให้แป้งมีลักษณะเป็น Amorphous อย่างสมบูรณ์ และน้ำจะกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Eliasson, 1996)

2.1.4.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก

การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (elongation) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวออกรอบด้านโดยเฉพาะด้านยาว โดยทั่วไปผู้บริโภคนิยมพันธุ์ข้าวที่ยืดตัวได้มากกว่าพันธุ์ข้าวที่ยืดตัวได้น้อย (ข้าวที่ยืดตัวได้มากและไม่เหนียวติดกันจัดเป็นข้าวที่หุงขึ้นหม้อ) นอกจากนี้การที่เมล็ดขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งไม่อัดแน่น และช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น (ลินดา, 2537)

2.1.4.5 อุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) อุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชเริ่มพองในน้ำร้อน และเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็น โปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหุงต้ม ถ้าข้าวมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะหุงสุกช้ากว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (งามชื่น, 2531) แม้ระยะเวลาหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุกก็ตาม แต่ความกว้างและความหนาของเมล็ดข้าวก็มีผลต่อเวลาหุงต้มด้วย ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากันแต่มีเมล็ดหนากกว่าจะใช้เวลาหุงต้มนานกว่า เม็ดข้าวก็มีผลต่อเวลาหุงต้มด้วย เพราะคุณน้ำ ได้มากทำให้ข้าวสุกมีลักษณะแฉะ ดังนั้นข้าวเหนียวหรือข้าวอะไมโลสต่ำควรมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำจึงจะมีคุณภาพดี สำหรับข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลางหรือสูงจะไม่เกิดปัญหาดังกล่าว (เครือวัลย์, 2534)

2.1.4.6 ความคงตัวของแป้งสุก

ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) แม้ว่าปริมาณอะไมโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน แต่ในข้าวบางพันธุ์แม้จะมีอะไมโลสใกล้เคียงกัน ข้าวสุกก็ยังมีคุณภาพแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสุกเมื่อเย็นแล้วมีความแข็งหรือความคงตัวแตกต่างกัน ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อนจะนุ่มกว่าข้าวพันธุ์ที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง (งามชื่น, 2531)

2.2 ข้าวกล้อง

ข้าวกล้อง (*Oryzasativa* Linn. , brown rice) เป็นข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออก ทั้งนี้กระบวนการกะเทาะเปลือกอาจทำให้เชื้อราบางส่วนหลุดออกไป (มอกช. 4001 - 2551) และยังคงมีสารอาหารที่มีประโยชน์แก่ร่างกาย ซึ่งนอกจากคาร์โบไฮเดรตแล้วยังมีวิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ฟอสฟอรัส ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กระดูกและฟัน (Shoichi, 2004)

2.2.1 ข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอก (germinated brown rice) คือ ข้าวที่ผ่านการแช่สารละลายภายใต้สภาวะได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ส่งผลให้เชื้อหุ้มชั้นนอกอ่อนตัวลง เมื่อน้ำมีการผ่านเข้าไปภายใน เม็ด ข้าวกล้องจะมีรากงอกมาได้ (Ohstubo et al., 2005) โดยในระหว่างที่ข้าวกล้องกำลังงอกนั้นมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และสารอาหารที่มีอยู่ภายในเมล็ดข้าว โดยน้ำแทรกเข้าไปในเมล็ดข้าวและกระตุ้นเอนไซม์ในเมล็ดข้าว เมื่อข้าวเริ่มงอกจะมีการใช้อาหารตามกระบวนการทางชีวเคมี โดยกระตุ้นเมตาบอลิซึมของแป้งและน้ำตาล ส่งผลให้คาร์โบไฮเดรตมีขนาดเล็กลง ข้าวกล้องงอกมีคุณค่าสูงกว่าข้าวกล้องธรรมดา และกำลังเป็นที่นิยมอย่างสูงในกลุ่มคนที่นิยมบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ มีรายงานการวิจัยว่าในระหว่างกระบวนการงอก ข้าวมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดข้าว ได้แก่การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และมีการสะสมสารอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะสารกาบา ที่มีฤทธิ์ในการลดอาการความจำเสื่อม ช่วยรักษาโรคเกี่ยวกับประสาท และควบคุมความดันโลหิต (Palmiano และ Juliano, 1972; Oh, 2003; Komatsuzaki et al., 2007)

2.3 ข้าวฮาง

2.3.1 ที่มาของข้าวฮาง

ข้าวฮาง หรือข้าวดอกทอง ถูกผลิตขึ้นที่หมู่บ้านนาบ่อ อำเภวารินชำราบ จังหวัดสุรินทร์ ประเทศไทย เนื่องจากเกษตรกรมีข้าวไม่พอที่จะบริโภค เกษตรกรจึงเริ่มจากการเก็บเกี่ยวข้าวที่มีระยะการสุกของรวงข้าว (ข้าวที่ยังไม่แก่เต็มที่) ร้อยละ 85 โดยที่กระบวนการการขัดทำให้มีความร่วน และการแตกของเมล็ดข้าว ข้าวในขั้นนี้ไม่ใช่ข้าวกล้อง ซึ่งเกษตรกรได้นำมานึ่งและอบแห้งหลังจากการขัดเปลือกบางส่วนออก ข้าวที่ได้มีสีเหลืองทองและมีกลิ่นดอก โดยที่เกษตรกร เรียกว่า ข้าวฮาง หรือข้าวหอมทอง (“หอม” หมายความว่า กลิ่นหอม และ “ทอง” หมายถึง ทอง หรือ สีทองในภาษาไทย) แสดงดังภาพที่ 2.7 ข้าวฮางเป็นข้าวที่มีชื่อเสียงในจังหวัดสุรินทร์ และจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เช่น จังหวัดขอนแก่น จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดกาฬสินธุ์ เมื่อนำข้าวฮางมาหุงข้าวฮางจะมีกลิ่นที่หอมและมีความนุ่ม ปัจจุบันข้าวฮางได้ถูกนำมาใช้เป็นอาหารหลักเพื่อใช้ในการหุงข้าวโดยผสมกับข้าวขาวก่อนการปรุงอาหาร (Kerdpiorn และ Puttongsiri, 2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 ข้าวฮาง

ที่มา : Kerdpiborn และ Puttongsiri (2015)

2.3.2 การผลิตข้าวฮาง

Kerdpiborn และ Puttongsiri (2015) ได้ให้ข้อมูลของข้าวฮางว่าเป็นข้าวที่สามารถผลิตได้จากข้าวหลายพันธุ์ โดยปกติจะใช้ข้าวดอกมะลิ (*Oryza sativa* L., ข้าวดอกมะลิ 105 หรือ *Oryza sativa*, KDML 105) และข้าวเหนียว (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) ถูกนำมาใช้ในการผลิตเป็นข้าวฮาง ข้าวฮางเป็นผลิตภัณฑ์ที่เก็บเกี่ยวข้าวด้วยระยะสุก ร้อยละ 80 - 85 แล้วนำข้าวมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 คืน และนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (แสดงดังภาพที่ 2.8) หลังจากนั้นนำข้าวมาตากแดดก่อนที่จะนำไปอบแห้ง (แสดงดังภาพที่ 2.8 และ 2.9) แล้วนำข้าวฮางมาขัดสีบางส่วนก่อนที่จะบรรจุ การผลิตข้าวฮางงอก คือ การนำเมล็ดข้าวแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปนึ่งในกระบวนการทำข้าวฮางมีการนึ่งและการอบแห้ง ซึ่งโมเลกุลของแป้งในข้าวระหว่างการให้ความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจนได้แก่กระจายออกทำให้ดูดซึมน้ำมากขึ้น แป้งจึงมีความความหนืดมากขึ้น ความชุ่มน้อย และเกิดการเจลาติไนเซชัน ในกระบวนการนี้โมเลกุลของแป้งในเมล็ดข้าวได้รับความร้อน ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนมีการคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดขึ้น โมเลกุลของ แป้งเกิดเจลาติไนเซชัน จากนั้นมีการทำให้แป้งที่สุกหรือเกิดเจลาติไนซ์แล้วมาอบแห้งโดยเครื่องอบแห้ง ส่งผลให้แป้งในข้าวมีลักษณะของแป้งพรีเจลาติไนซ์ ส่งผลให้ข้าวฮางมีสมบัติเชิงกายภาพ และเคมีแตกต่างจากแป้งจากข้าวขาวปกติ ผลจากอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิด stress ขึ้นภายในเมล็ดข้าว ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของเม็ดก่อนข้างมาก ซึ่งมีผลต่อค่าความแข็งและรูปทรงของเมล็ดข้าวภายหลังการหุงต้มการแตกร้าวของเมล็ดข้าว (Srisang et al., 2011) และทำให้ข้าวฮางมีสมบัติเชิงกายภาพและเคมีแตกต่างจากแป้งจากข้าวขาวปกติ



ภาพที่ 2.8 การนึ่งข้าวเปลือก



ภาพที่ 2.9 การตากข้าวให้แห้ง

ที่มา : Kerdpi boon และ Puttongsiri (2015)

2.3.3 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวฮาง

ข้าวฮางเป็นหนึ่งในประเภทของข้าวกล้อง ซึ่งข้าวฮางถูกขัดแกลบบางส่วน คุณค่าทางโภชนาการของข้าวฮางมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามินบี วิตามินอี และแร่ธาตุบางชนิดพบในข้าวจมูกข้าวและรำข้าวเช่นเดียวกับข้าวกล้อง นอกจากนี้ข้าวฮางยังประกอบด้วย กาบ (gamma-aminobutyric acid, GABA) ที่เกิดจากการสลายตัวของกรดกลูตามิก สารกาบา เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพโดย ตัวอย่างเช่น นำไปใช้เป็นสารยับยั้งสารสื่อประสาทของโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาทระบบและการควบคุมของความดันโลหิต (Komatsuzaki et al., 2005 และ Oh, 2003) ข้าวฮางมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในปริมาณมาก แต่ยังมีวิตามินแร่ธาตุสารอาหารอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบด้วย เช่น GABA ข้าวฮางประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันร้อยละ 74.97 5.60 และ 2.86 ตามลำดับ (แสดงดังตารางที่ 2.2) ข้าวฮางมีปริมาณกาบในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของการปลูกข้าว จากตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวฮาง

คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวฮาง
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	74.97 ± 0.46
ความชื้น (ร้อยละ)	12.46 ± 0.18
โปรตีน (ร้อยละ)	5.60 ± 0.64
ไขมัน (ร้อยละ)	2.86 ± 0.60
กาบ (mg/100g)	2.77 ± 0.21
วิตามินบี 1 (mg/100g)	0.39 ± 0.00

ที่มา : Kerdpi boon และ Puttongsiri (2015) อ้างอิงถึง Srijesdaruk (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 2.3 พบว่า ข้าวฮางมีปริมาณสารกาบาสูงกว่าข้าวกล้องที่ผลิตในทุกสถานประกอบการ แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการงอก ส่งผลให้ในข้าวฮางงอกมีปริมาณสารกาบาน้อยกว่าข้าวกล้องงอก

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสารกาบา (Gamma-aminobutyric acid, GABA) ของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก ข้าวฮาง และข้าวฮางงอกจากสถานประกอบการการผลิต 5 สถานที่

สถานที่ผลิต	กาบา (มิลลิกรัม/100กรัม)			
	ข้าวกล้อง	ข้าวฮาง	ข้าวกล้องงอก	ข้าวฮางงอก
ต.หนองลาดอ.วาริชภูมิ				
จ.สกลนคร	0.53±0.02			1.55±0.16
ต.จำปา อ.วาริชภูมิ				
จ.สกลนคร	0.29±0.5	1.06±0.35		1.33±0.09
อ.เวียงใหญ่ จ.ขอนแก่น	0.20±0.1	0.62±0.02		2.16±0.05
อ.เขื่อนอุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น	0.13±0.00	0.66±0.11		1.14±0.08
อ.เมือง จ.ขอนแก่น	0.24±0.01	2.08±0.19	2.08±0.19	1.82±0.08

ที่มา: Kerdpi boon และ Puttongsiri (2015) อ้างอิงถึง Srijesdaruk (2009)

2.4 กระบวนการผลิตข้าวฮางงอก

ขั้นตอนในการผลิตข้าวกล้องงอก ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การแช่ข้าวและการงอกของเมล็ดข้าว (Manna et al., 1995) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.4.1 การแช่ข้าว

การแช่ข้าวมีจุดประสงค์เพื่อให้ น้ำถูกดูดซึมสู่เมล็ดและกระจายตัวเข้าไปในส่วนต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในเนื้อเมล็ด และทำให้เกิดการงอกของเมล็ด โดยอัตราเร็วของการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่น้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่แช่ ขนาดของเมล็ด ชนิดและสายพันธุ์ของข้าว และลักษณะของส่วนประกอบในเนื้อเมล็ด เมื่อใช้น้ำอุณหภูมิสูงในการแช่เมล็ดจะทำให้เกิดการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดอย่างรวดเร็ว ทำให้การกระจายตัวของความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ด โดยเฉพาะในส่วนเนื้อเมล็ด และคัพภะไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในการผลิตเอนไซม์ การเจริญของรากและลำต้นมีประสิทธิภาพต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากใช้อุณหภูมิต่ำเกินไป การดูดน้ำของเมล็ดจะเป็นไปอย่างช้า ๆ จึงเป็นการเพิ่มโอกาสในการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลานานเพื่อให้ น้ำการกระจายเข้าไปในส่วนต่าง ๆ อย่างทั่วถึง ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายของเมล็ดและทำให้ประสิทธิภาพการงอกของเมล็ดต่ำลงเช่นกัน

2.4.2 การงอกของเมล็ดข้าว

การงอกของเมล็ดเป็นกระบวนการที่สำคัญของพืช เพื่อให้พืชดำรงเผ่าพันธุ์ตามธรรมชาติเพื่อการเพาะปลูกของมนุษย์ และเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดพืช การที่เมล็ดจะงอกออกมาจะต้องมีสิ่งต่าง ๆ (นันทิยา, 2542) ดังนี้

ก. เมล็ดต้องมีชีวิต คือ เอ็มบริโอ (ต้นอ่อน) มีชีวิตอยู่และพร้อมที่จะงอก

ข. เมล็ดต้องได้รับสภาพแวดล้อมภายนอกที่เหมาะสม เช่น มีความชื้นพอเพียงมีอุณหภูมิพอเหมาะ มีออกซิเจนและเมล็ดบางชนิดต้องการแสงในการงอกด้วย

ค. เมล็ดต้องมีสภาพภายในเมล็ดเหมาะสม คือ สภาพการพักตัวครั้งแรก (primary dormancy) ภายในเมล็ดต้องหมดไปแล้ว กระบวนการภายในเมล็ดที่จะทำให้สภาพการพักตัวครั้งแรกหมดไปเรียกรวมว่า after-ripening และเป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยาของสภาพแวดล้อมกับสภาพการพักตัวครั้งแรก

Bewley (1997) และนันทิยา (2542) ได้กล่าวว่าการงอกของเมล็ดข้าว แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

ก. ระยะเริ่มทำงาน (ระยะที่ 1) การดูดน้ำเข้าในเมล็ด (imbibition of water) การดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรกและต่อมาจะคงที่ ทำให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งน้ำจะช่วยให้เปลือกเมล็ดอ่อนลงและทำให้โปรโตพลาสซึมในเซลล์ได้รับน้ำ เมล็ดจึงบวมขึ้นและเปลือกเมล็ดอาจแตก

ข. ระยะการย่อยอาหารและลำเลียงอาหาร (ระยะที่ 2) การสังเคราะห์เอนไซม์ (synthesis of enzymes) เมื่อน้ำถูกดูดซึมเข้าสู่เมล็ด ทำให้เกิดการกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ โดยทั่วไปในเมล็ดข้าวมีเอนไซม์เบต้าอะไมเลสสะสมอยู่แล้วเอนไซม์ชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาพร้อมกับการพัฒนาของเมล็ดจนกลายเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ ดังนั้นในขั้นตอนการงอกของเมล็ดจึงเป็นการผลิตเอนไซม์เบต้าอะไมเลสเป็นหลักการสร้างเอนไซม์เบต้าอะไมเลสเกิดขึ้นในส่วนคัพภะโดยการกระตุ้นของฮอร์โมนจิบเบอเรลลินที่ถูกสร้างในขณะเกิดการงอก นอกจากนั้นเอนไซม์เบต้าอะไมเลสและกรดจิบเบอเรลลินยังเป็นตัวกระตุ้นให้เชื้อหุ้มเนื้อเมล็ดผลิตเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ

ค. ระยะการเติบโตของต้นกล้า (ระยะที่ 3) การยืดของเซลล์และการงอกของราก (cell elongation and emergence of the radicle) สิ่งที่ยังบอกว่าการงอกของเมล็ด คือ การเกิดจุดขาว (white chit) ของรากเทียม (root sheet) ซึ่งเกิดจากเซลล์ขยายขนาดใหญ่ขึ้นมากกว่าเกิดจากการแบ่งตัว การงอกของรากอาจเกิดขึ้นภายใน 2 - 3 ชั่วโมงหรือ 2 - 3 วัน ภายหลังจากการงอกได้เริ่มขึ้นและแสดงว่าระยะที่ 1 ได้สิ้นสุดลงหลังจาก คัพภะและเชื้อหุ้มเนื้อเมล็ดมีการผลิตเอนไซม์ต่าง ๆ ขึ้นมา เอนไซม์เหล่านี้มีกิจกรรมในการสลายสารอาหารต่างๆที่สะสมในส่วนเนื้อเมล็ด โดยสารอาหารที่สะสมอยู่ในรูปไขมัน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตถูกย่อยให้เป็นสารโมเลกุล ไม่ซับซ้อน ดังนี้

ไขมันและน้ำมันจะถูกย่อยเป็นกรดไขมันและน้ำตาล โปรตีนจะถูกย่อยเป็นสารประกอบที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนเป็นหลัก (กรดอะมิโน) ซึ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตของต้นกล้า และแป้งจะถูกย่อยเป็นน้ำตาลรีดิคซ์ เช่น กลูโคส มอลโตส ฟรุคโตส เป็นต้น หลังจากผ่านการย่อยแล้วสารอาหารเหล่านั้นจะเคลื่อนย้ายไปที่จุดเจริญส่วนต่างๆของเอ็มบริโอ ซึ่งเซลล์ ทั้งระบบจะถูกกระตุ้นให้ทำงาน ระบบการสังเคราะห์โปรตีนทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์ใหม่และสังเคราะห์สารใหม่ที่เป็นโครงสร้าง การดูดน้ำและการหายใจในระยะนี้เกิดขึ้นในอัตราที่คงที่

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารที่สะสมในระหว่างกระบวนการงอกของข้าว เกิดจากปัจจัยหลัก ๆ 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยด้านวัตถุดิบและปัจจัยด้านกระบวนการผลิต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 ปัจจัยด้านวัตถุดิบ มี 4 ปัจจัย ได้แก่

2.5.1.1 พันธุ์ข้าว

ชนิดของพันธุ์ข้าวส่งผลต่อปริมาณของกรดอะมิโนที่มีอยู่ในข้าวกล้องงอก โดยข้าวกล้องงอก ที่เพาะมาจากข้าวสายพันธุ์ที่แตกต่างกันจะให้ปริมาณสารกาบาที่แตกต่างกัน โดยพบว่าข้าวสายพันธุ์ที่มีจมูกข้าวขนาดใหญ่มีปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารกาบามากกว่าข้าวสายพันธุ์ที่มีจมูกข้าวขนาดเล็ก (Horino et al., 1994) และนอกจากสารกาบาแล้ว กรดอะมิโนตัวอื่น ๆ ซึ่ง ได้แก่ กรดแอสพาทิก กลูตาเมต อะลานีน ก็มีปริมาณที่แตกต่างกันด้วยเมื่อเป็นข้าวกล้องงอกที่เพาะมาจากสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน (Ito and Ishikawa, 2004)

2.5.1.2 ขนาดของจมูกข้าวหรือคัพภะ

ขนาดของจมูกข้าวมีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหาร เมื่อนำข้าวมาเพาะในไหงอกด้วยการแช่น้ำ ซึ่งพบว่าเมล็ดข้าวมีจมูกข้าวขนาดใหญ่กว่าจะมีสารอาหารต่าง ๆ เพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวที่มีจมูกข้าวปกติเมื่อแช่ในน้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณของสารอาหารต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่ข้าวกล้อง ได้แก่ สารกาบา ไลซีน แมกนีเซียม วิตามินบี1 วิตามินอี และแคลเซียม (Zhang et al., 2005)

2.5.1.3 ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวหลังการเก็บเกี่ยว

จากการศึกษาของ Horino และคณะ (1994) พบว่าปริมาณสารกาบา ของจมูกข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บรักษานาน มีค่าน้อยกว่าข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บสั้นกว่าเมื่อนำมาเพาะในไหงอกโดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาการเก็บที่ยาวจะมีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส และเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน ดังนั้น จมูกข้าวที่เก็บไว้นานสามารถผลิตสารกาบาได้น้อยลง

2.5.1.4 ระดับการสีของเมล็ดข้าว

การขัดสีในระดับที่แตกต่างกันจะส่งผลให้เมล็ดข้าวมีองค์ประกอบของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันและทำให้มีปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกัน โดยเมื่อเพิ่มระดับการสีให้สูงขึ้น จะส่งผลทำให้ปริมาณสารกาบาที่ได้ลดลง (Horino et al., 1994)

2.5.2 ปัจจัยด้านกระบวนการผลิต

2.5.2.1 อุณหภูมิในการแช่ข้าว

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี ซึ่งมีผลต่อการงอกและเจริญเติบโตของพืช อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดพืช แต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามพันธุ์ซึ่งอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่ต่างกัน ส่งผลทำให้ปริมาณสารกาบาและสารอาหารอื่นๆ ของข้าวกล้องงอกมีค่าแตกต่างกันด้วย (Ito และ Ishikawa, 2004)

2.5.2.2 ระยะเวลาในการงอกของข้าว

ระยะเวลาในการงอกที่ต่างกัน มีผลทำให้ปริมาณสารกาบาและสารกาบาในข้าวกล้องงอกแตกต่างกัน ซึ่งจากการวิจัยของ Ohtsubu และคณะ (2005) พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการงอกให้นานขึ้นมีผลให้ปริมาณสารกาบาที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น นอกจากระยะเวลาในการงอกจะมีผลต่อปริมาณสารกาบาแล้ว ยังมีผลต่อปริมาณของกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ ด้วย โดยพบว่าปริมาณของอะลานีน ไทโรซีน ฮิสทีดีน สารกาบา ไลซีนและไอโซลิวซีน เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่กลูตามิตและกรดแอสพาทิกลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น (Watanabe et al., 2004)

2.5.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง

Horino และคณะ (1994) นำจมูกข้าวพันธุ์ Koshihikari แช่ในสารละลายที่มีความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน โดยแช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 1 และ 4 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารกาบาเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดเมื่อแช่ที่ค่าความเป็นกรดด่าง เท่ากับ 5.5 และจะมีปริมาณต่ำที่สุดเมื่อแช่ที่ค่าความเป็นกรดด่าง เท่ากับ 8

2.6 คุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวงอก

2.6.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวงอก

ข้าวที่ผ่านการเพาะในหีงอกมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น (Tsukahara, 2004; Komatsuzaki et al., 2007, Moongngarm and Saetung, 2010) นอกจากนี้กระบวนการงอกยังทำให้ชั้นนอกของข้าวมีความนุ่มขึ้น ทำให้ง่ายต่อการหุงและรับประทานได้ง่ายเหมือนข้าวขัดขาว (Tsukahara, 2004) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kanyahara และ Tsukahara (2000) ซึ่งรายงานว่าในระหว่างกระบวนการงอกองค์ประกอบในข้าวกล้องจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากโดยสารหลักที่เพิ่มขึ้นในข้าวงอก คือ GABA, fiber, inositol, ferulic acid, phytic acid, magnesium, potassium, γ -Oryzanol และ zinc โดยพบว่าข้าวกล้องงอกมี สารกาบา วิตามินอี วิตามิน บี3 ไลซีน วิตามิน บี1 และวิตามิน บี6 มากกว่าข้าวขัดขาว 10 เท่า 4 เท่า 4 เท่า 4 เท่า 3 เท่า และ 3 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ Komatsuzaki และคณะ(2007) วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอิสระของข้าวกล้องงอกพันธุ์ Haiminori โดยเปรียบเทียบวิธีการเพาะระหว่างเพาะด้วยการแช่และไม่แช่น้ำ (แช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชม.) พบว่าการเพาะด้วยการแช่น้ำส่งผลให้กรดอะมิโนหลาย ๆ ชนิดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะสารกาบา

2.6.1 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวงอก

สารต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นในช่วงอายุของข้าวที่ต่างกันมีรูปแบบการสะสมสารทุติยภูมิที่ต่างกัน เช่น สาร oryzadione ที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียเช่นเดียวกับสาร oryzalic acid B (Kono et al., 2004) สารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ γ -oryzanol (Julino et al., 2005), feruloyl arabinoxylans, สารที่มีฤทธิ์ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Miura et al., 2006) และสารที่คุณสมบัติช่วยคลายความวิตกกังวล (antianxiety) เช่น GABA (Komatsuzaki et al., 2005) เป็นต้น

Goffman และ Berman (2004) พบว่า กลุ่มข้าวที่มีรำข้าวสีน้ำตาลอ่อนจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำกว่ากลุ่มข้าวที่มีรำข้าวสีเข้ม นอกจากนี้ Zhou และคณะ (2004) รายงานว่าในข้าวสายพันธุ์เดียวกันปริมาณกรดฟีนอลิก ที่พบในข้าวกล้องจะสูงกว่าในข้าวขาว โดยพบกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) ในปริมาณสูงสุด รองลงมา คือ กรดคูมาริก (coumaric acid) และกรดแกลลิก (gallic acid) ตามลำดับ

2.7 สมบัติของ สาร Gamma-Amino Butyric Acid (GABA) (วรรณช, 2552)

Gamma Aminobutyric acid เรียกว่า กาบา เป็นกรดอะมิโนที่ไม่ใช่โปรตีน กล่าวคือ โมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่อะมิโน (NH_2) และหมู่คาร์บอกซิล (COOH) อย่างละ 1 หมู่ ต่อคาร์บอนอะตอม โดยมี สูตรโมเลกุลคือ $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$ มวลโมเลกุลเท่ากับ 103.12 ในโครงสร้างประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม กาบาจะมีหมู่อะมิโน ตรงตำแหน่งแอลฟาคาร์บอน (α -carbon) โครงสร้างเป็นเส้นตรงและ อยู่โดยไม่เกาะกับโมเลกุลอื่น



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของกาบา

ที่มา : Akahane และคณะ (1989)

สาร Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) เป็นสารสื่อสัญญาณประสาทที่สำคัญในระบบประสาทส่วนกลางที่สำคัญ (Kim et al., 2004) ช่วยลดภาวะเสี่ยงในโรคความจำเสื่อม อาการวิตกกังวลหรือโรคเครียด (Abdou et al., 2006) ป้องกันความดันโลหิตสูง และยับยั้งการแพร่ของเซลล์มะเร็ง (Moody et al., 1994; Hayakawa et al., 2004; Oh & Oh, 2004) ช่วยเร่งกระบวนการเผาผลาญพลังงานในสมอง ช่วยลดภาวะเสี่ยงในโรคความจำเสื่อม ป้องกันภาวะความดันต่ำป้องกันอาการปวดหัวหรือภาวะซึมเศร้าซึ่งเป็นผลจากเส้นเลือดแดงในสมองหนา เกิดการแข็งตัวและไม่ยืดหยุ่นซึ่งเกิดจากคอเลสเตอรอลไปเกาะที่ผนังเส้นเลือด กระตุ้นการทำงานของไต และช่วยป้องกันภาวะการผิดปกติของผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนคือ หงุดหงิดง่าย (Kayahara และ Tsukahara, 2000)

ปริมาณสาร GABA ในเมล็ดข้าวแตกต่างกันตามพันธุ์กรรมทั้งในกลุ่ม Japonica (Saikusa et al., 1994) และ Indica (พัชรี, 2549; Jamoey et al., 2010) โดยพันธุ์ข้าวที่มีขนาดคัพกะใหญ่ (Saikusa et al., 1994; Ling-Long et al., 2005) และเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดสูง (Shoichi, 2004) มักมีปริมาณสาร GABA สูง Kishimani (1988) พบว่าสาร GABA ในข้าวส่วนใหญ่สะสมในเนื้อเยื่อที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เช่น บริเวณปลายยอดและปลายราก จึงพบว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณสาร GABA มากกว่า ข้าวกล้อง (พัชรี, 2549; Saikusa et al., 1994; Maeda et al., 2007) โดยเฉพาะช่วงที่เมล็ดงอกจนมีความยาวราก 0.5 - 2.0 มิลลิเมตร (Morita et al., 2007) สำหรับการงอกของเมล็ดขึ้นอยู่กับขนาดเมล็ด (Roy et al., 1996; Willenborg et al., 2005)

Kayahara และ Tsukahara (2000) รายงานว่าข้าวกล้องงอกมี GABA มากกว่าข้าวขัดสี ถึง 10 เท่า มีใยอาหาร วิตามินอี (สารต้านอนุมูลอิสระ) ไนอะซิน และ ไลซีน มากกว่า 4 เท่า และมีวิตามินบี 1

ปี 6 และ แมกนีเซียมมากกว่า 3 เท่า ไลซีนช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ผ่านการแก้ไข ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือ สารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของอนุมูลอิสระได้ (Halliwell, 2009) สารเหล่านี้มี กลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้าง อนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะ เพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ (Sies, 1992) สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารประกอบที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์ (Chattopadhyay et al, 2010) โดยทั่วไป สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลาย ชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) สารประกอบไนโตรเจน (nitrogen compounds) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) (Velioğlu et al., 1998) บทบาทสำคัญของสารต้าน อนุมูลอิสระ คือ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆของมนุษย์ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร ปัจจุบัน องค์การที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหาร และยา ได้พยายามพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ เช่น สาหร่ายทะเล แบคทีเรีย เชื้อราและพืชชั้นสูง (Chattopadhyay et al., 2010) อย่างไรก็ตาม ในภาวะปกติ ร่างกายของเรา จะมีการป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระอยู่แล้วซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเกิดจากร่างกายสร้าง เอนไซม์ต้านอนุมูล อิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่ สมดุล และส่วนที่สองคือ กลุ่มของสารต้านอนุมูล อิสระที่มาจากวิตามินเอ ซี อี หรือ เบต้าแคโรทีน (β - carotenoid) รวมทั้งสารประกอบ โพลีฟีนอล ซึ่งเป็นพฤษเคมีที่สามารถพบได้ในพืชผักและผลไม้ เพื่อเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระ ได้ดียิ่งขึ้น (Shapoval and Gromovaia, 2003) ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย เช่น เอนไซม์คะตะเลส (catalase), กลูตาไธโอนเพอรอกซิดเอส (glutathione peroxidase) และซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) หรือ สารประกอบ/โปรตีนบางอย่าง เช่น อัลบูมิน (albumin) บิลิรูบิน (bilirubin) เซอรูโลพลาสมิน (ceruloplasmin) กลูตาไธโอน (glutathione) ทรานสเฟอริน (transferrin) ยูบิควินอล (ubiquinol) และยูเรต (urate) เป็นต้น สารเหล่านี้มีหน้าที่คอยควบคุมอนุมูลอิสระต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับ พอเหมาะ แต่ถ้าเมื่อใดที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นใน ปริมาณมากเกินไปที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมด จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า oxidative stress ขึ้น ภายใต้อันตรายดังกล่าวอนุมูลอิสระจะทำอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย ซึ่งถ้าสะสมมาก ๆ อาจนำไปสู่ความผิดปกติหรือพยาธิสภาพหลายอย่าง

แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผัก เครื่องเทศ องุ่น และสมุนไพรร ได้รับ ความสนใจ และศึกษากันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจาก ธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดได้แก่

2.8.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์

สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) มีสารประกอบฟีนอลิกสังเคราะห์ 5 ชนิด ได้แก่ propyl gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylated hydroxyanisole, BHT (butylated hydroxytoluene) และ tertiary butylhydroquinone เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ใน อุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดของการใช้ เนื่องจากปัญหา ด้านความปลอดภัยในการบริโภค (Yang et al., 2000; Pokorny et al., 2001)

2.8.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ

สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (natural antioxidants) สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ พบได้ทั้งในจุลินทรีย์ สัตว์ และพืช ซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (non-nutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น แซนโทน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชัน (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้น หรือก่อให้เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูล $H\cdot$ แก่อนุมูลอิสระ เหล่านี้ นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ใน โมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล $OH\cdot$ ในปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชัน คือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับ กับโลหะ ดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) (Sanchez-Moreno et al., 2000) สารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งพบในพืชพรรณธรรมชาติ นานาชนิด สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการ (in vitro) และในสิ่งมีชีวิต

2.8.3 สารต้านอนุมูลอิสระกับการป้องกันโรค

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารต้านอนุมูลอิสระได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอนุมูลอิสระส่งผลเสียต่อร่างกายและเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดโรคหลายชนิดในมนุษย์ เช่น โรคมะเร็ง ความดันโลหิตสูง เบาหวาน รูมาตอยด์ (Cornish และ Garbary, 2010) การศึกษาข้อมูลทางเภสัชวิทยาของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีสารออกฤทธิ์หลายชนิดที่มีส่วนส่งเสริมสุขภาพและป้องกันการเกิดโรคในมนุษย์ ซึ่งตัวอย่างการศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพของสาร

2.8.4 การสกัดและการตรวจสอบฤทธิ์ของสารในอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิก สารกลุ่มนี้มีหลากหลายชนิด ตัวอย่างเช่น tocopherol, tocotrienol, γ -oryzanol, oryzanols (Lai et al., 2007), caffeic acid, syring acid, rutin, (-)-epicatechin, (+)-catechin, gallic acid, vanilic acid, *p*-coumaric acid, feruric acid และ quercetin (Que et al., 2007) รวมทั้งสารจำพวกฟลาโวนอยด์ (Vichitphan et al., 2007; Ramamoorthy และ Bono, 2007) โดยทั่วไปการสกัดสารประกอบฟีนอลิกมักใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งมีความแตกต่างกันตามแต่ลักษณะและองค์ประกอบของสารตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้สำหรับสกัดสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ น้ำ เมธานอล เอทานอล (Alluri et al., 2009) เอธิลอะซิเตต (Ramamoorthy และ Bono, 2007; Lai et al., 2009) และตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ เช่น เฮกเซน (C_6H_{14}), อะซีโตน (C_3H_6O), คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$), ไบโตรเลียมอีเทอร์ หรือ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า สารต้านอนุมูลอิสระ มักประกอบด้วยสารหลายชนิดที่ทำงานเสริมกัน จึงจะมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน ปัจจุบันพบว่า พืชผักและผลไม้ที่มีสี เช่น สีแดง ดำ หรือ ม่วง จะมีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูง (Zang et al., 2006) วิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีความจำเพาะต่อสารแตกต่างกัน โดยปกติแล้วการตรวจสอบมักจะสรุปผลจากหลายวิธีร่วมกัน เพื่อให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องยิ่งขึ้น วิธีที่ใช้ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่นิยม ได้แก่ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Que et al., 2006), Ferric reducing /antioxidant power (FRAP) (Alia et al., 2003; Ramamoorthy และ Bono, 2007), Trolox equivalents antioxidant capacity (TEAC), lipid peroxidation reducing power และ metal chelating ability (Lai et al., 2007) ส่วนเครื่องมือที่นิยมใช้ในการตรวจหาชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้รับความนิยม คือ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Vichitphan et al., 2007 ; Lai et al., 2007)

2.9 ชุป

เป็นอาหารประเภทของเหลวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีกระบวนการขั้นตอนการปรุงแต่งที่ไม่ยากวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการปรุงชุปเป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่มีอยู่ภายในครอบครัว แต่บางคนอาจจะมักคิดว่าถ้าจะรับประทานชุปจะต้องไปรับประทานร้านอาหาร หรือบางคนอาจจะบอกว่าชุปเป็นอาหารของชาวต่างชาติกินยาก มีความเลี่ยน จึงทำให้คนไทยไม่ชอบรับประทานชุป ชุปชั้นมีลักษณะข้น ถ้าชั้นก็จะข้น ไปด้วยแป้งและชั้นด้วยนม หากต้องการเพิ่มสารอาหารให้มากขึ้นก็สามารถเติมเนื้อสัตว์หรือผักลงไปด้วยได้ เช่น ชุปข้าวโพดผสมเห็ด ชุปข้าว เป็นต้น ชุปชั้นควรจะมิลักษณะที่ข้นกำลังดี (วิภาวัน, 2006)

2.10 การสเตอริไลซ์ (นิธิยา, 2544)

การสเตอริไลซ์ (sterilization) เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่อาหารที่อุณหภูมิ และเวลาที่นานเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ เป็นผลให้อาหารที่ผ่านการสเตอริไลซ์ในภาชนะบรรจุเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพทางโภชนาการและประสาทสัมผัส ทางด้านอาหาร การพัฒนาเทคโนโลยีของการแปรรูปอาหารในปัจจุบันจึงมีเป้าหมายหลักเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดต่อคุณภาพด้านโภชนาการและประสาทสัมผัสโดยลดเวลาการให้ความร้อนแก่อาหารก่อนบรรจุ (วิธีปลอดเชื้อหรือเรียกว่า aseptic processing) หรืออาหารในภาชนะบรรจุ

2.10.1 การสเตอริไลซ์อาหารในภาชนะบรรจุ

การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่แบคทีเรียสามารถเจริญได้เพียงเล็กน้อย ผลในการฆ่าเซลล์แบคทีเรีย ขณะที่สปอร์ของแบคทีเรียสามารถอยู่รอดได้แม้อุณหภูมิสูงกว่ามาก เนื่องจากสปอร์ของแบคทีเรียมีความทนทานต่อความร้อนมากกว่าเซลล์ปกติ จุดมุ่งหมายของกระบวนการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์จึงเป็นสปอร์ของแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่

จุดมุ่งหมายหลักของการสเตอริไลซ์ คือการทำให้อาหารปราศจากเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และเชื้อจุลินทรีย์หรือสปอร์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียซึ่งสามารถที่จะเจริญในอาหารภายใต้สภาวะอุณหภูมิในการเก็บรักษาตามปกติ อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนต้องเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่เน่าเสีย คือมีจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเหลือรอดอยู่บ้างในอาหาร โดยพวกที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคตายหมดแต่สภาวะแวดล้อมทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญขึ้นมาได้ จึงเรียกกระบวนการให้ความร้อนตามหลักการนี้ว่า การฆ่าเชื้อเชิงการค้า (commercial sterilization)

2.10.2 การทนความร้อนของจุลินทรีย์

อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ ($\text{pH} > 4.5$) หากมีเชื้อ *Clostridium botulinum* ปนเปื้อนจะเป็นอันตรายมากที่สุด เพราะเป็นเชื้อที่ทนต่อความร้อน มีการสร้างสปอร์ และทำให้เกิดโรคได้นอกจากนี้ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดีในภาชนะปิดสนิทที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน และจะปล่อยสารพิษออกมา (exotoxin) ด้วย ดังนั้นต้องทำลายให้หมดโดยการทำสเตอริไลเซชัน สำหรับอาหารที่มีความเป็นกรดสูง คือ กรด - เบส อยู่ในช่วง 4.5 ถึง 3.7 การทำสเตอริไลเซชันจะพิจารณาจากจุลินทรีย์ชนิดอื่น เช่น ยีสต์ หรือฟังไจ หรือเอนไซม์ที่ทนความร้อนเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิหรือระยะเวลาที่ใช้ในการทำสเตอริไลเซชัน

2.10.3 อัตราการแทรกซึมของความร้อน

ความร้อนจะถ่ายเทจากไอน้ำหรือ Pressurized water ไปยังภาชนะ และต่อไปยังอาหารที่อยู่ภายใน จะต้องมีส่วนประสิทธิการถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) ที่ผิวสูงมาก และไม่ได้เป็นปัจจัยที่จำกัด (limiting factor) ในการถ่ายเทความร้อน แต่ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแทรกซึมของความร้อนเข้าไปในอาหารได้แก่

2.10.4 องค์ประกอบและคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร

ของเหลวหรืออาหารบางชนิด เช่นเมล็ดถั่วลันเตาในน้ำเกลือจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพามากกว่าในอาหารแข็งซึ่งเกิดการถ่ายเทความร้อน สำหรับอาหารที่รับความร้อนจากการนำความร้อนเป็นหลัก องค์ประกอบและธรรมชาติของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะปริมาณกรด - เบส มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ต้องการในกระบวนการผลิต ปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่

ความเป็นกรด - เบส (pH) ในกระป๋องเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อชนิดของจุลินทรีย์ที่จะเจริญได้และปริมาณความร้อนที่ต้องการในการฆ่าเชื้อ อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (กรด - เบส สูงกว่า 4.5) จะต้องการความร้อนมากกว่าอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (กรด - เบส ต่ำกว่า 4.5)

a_w (water activity) เป็นค่าที่แสดงปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ หรือเพียงพอ ที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ อาหารกระป๋องส่วนใหญ่มีค่า $a_w > 0.98$ ดังนั้นจุลินทรีย์และสปอร์จึงสามารถเจริญได้ดี ถ้า $a_w < 0.95$ เชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Staphylococcus aureus* จะถูกยับยั้ง ดังนั้นจะทำให้ความร้อนที่ต้องการในการฆ่าเชือน้อยลง

น้ำหนักบรรจุ (fill weight) ถ้ามักเกินไปจะทำให้อัตราการแทรกผ่านความร้อนลดลง ขนาดชิ้นอาหาร หรือเรียกว่า Cut และการเรียงตัวของอาหารในกระป๋อง ชิ้นอาหารขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการฆ่าเชือนานกว่าชิ้นเล็ก อย่างไรก็ตามต้องระมัดระวังว่าอาหารที่มีขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะตกลงมาอัดแน่นที่ก้นกระป๋องหรืออาหารที่เรียงตัวตามแนวนอนหรือแนวตั้งจะมีการเคลื่อนที่ของของเหลวยากต่างกัน

ความข้นหนืด (viscosity / consistency) จะมีผลต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนและระดับของการผสม (agitation) ที่ช่องว่างเหนืออาหาร (headspace) การใส่แป้งมากเกินไปหรือใช้แป้งผิดประเภทอาจทำให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนลดลงเกิดปัญหาการให้ความร้อนไม่เพียงพอ (underprocessing) ได้

วัตถุดิบเสีย และสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และสปอร์ เช่น เกลือไนเตรท ไนไตรท์ ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก ไส้กรอก

อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวที่บรรจุ การบรรจุของแข็งมากเกินไปจะทำให้ อัตราการถ่ายเทความร้อนช้าลง

การเตรียมวัตถุดิบ เช่น มีการลวก หรือแช่ในน้ำหรือสารละลายก่อนหรือไม่

ช่องว่างเหนืออาหารในกระป๋อง (head space) และ อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารก่อนเข้า เครื่องฆ่าเชื้อ

2.10.5 การถ่ายเทความร้อน แบ่งตามประเภทอาหาร

อัตราเร็วที่ปริมาณความร้อนแทรกผ่านไปยังจุดที่ร้อนช้าที่สุด (slowest heating หรือ cold point , CT) ของอาหารกระป๋องขึ้นกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหารนั้น ๆ การถ่ายโอนความร้อนอาหารจะซับซ้อน และมีผลต่อระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์ที่จะ แบ่งประเภทอาหารตามลักษณะการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

2.10.5.1 อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการนำ

อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (conductive heating packs) ความร้อนจะถูกถ่ายเทในทุกทิศทางผ่านผนังกระป๋อง แล้วผ่านโมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ จุดร้อนช้าที่สุด จะอยู่ที่กึ่งกลางกระป๋อง (geometric center) การถ่ายเทความร้อนแบบนี้จะช้ากว่าแบบการพาความร้อน

2.10.5.2 อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการพา

อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการพา (convective heating packs) ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยที่โมเลกุลของอาหารเคลื่อนที่ไปด้วย เช่น อาหารเหลวที่มีความเข้มข้นหนืดต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารขนาดเล็กในน้ำเกลือ เมื่อได้รับความร้อนส่วนที่เป็นของเหลวจะได้รับ ความร้อนก่อนทำให้ความหนาแน่นน้อยลงจึงเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ในขณะที่อุณหภูมิต่ำและความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนที่ลงล่าง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอาหารภายในกระป๋องจุดร้อนช้าที่สุดจะอยู่ที่ปริมาณ $\frac{3}{4}$ นิ้ว จากด้านล่างสำหรับกระป๋องขนาดเล็ก ถ้าเป็นกระป๋องขนาดใหญ่ เช่น กระป๋องเบอร์ 10 จุดร้อนช้าที่สุดจะอยู่ที่ปริมาณหนึ่งนิ้วครึ่งจากด้านล่างของกระป๋อง ถ้าอาหารนั้นมีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาบังคับ (forced convection) ซึ่งจะมีแรงภายนอกมาบังคับให้โมเลกุลของอาหารเคลื่อนที่ เกิดการผสมกันภายในกระป๋อง ทำให้การถ่ายโอนความร้อนเป็นไปได้เร็วขึ้น เช่น การฆ่าเชื้ออาหารในเครื่องฆ่าเชื้อแบบมีการหมุนในกรณีนี้มักไม่พบจุดที่ร้อนช้าที่สุดหรือก็อยู่ที่จุดกึ่งกลางของกระป๋อง

2.10.5.3 อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบผสม

อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบผสม (complex heating packs) เช่น อาหารที่มีส่วนผสมของสารให้ความหนืด ซึ่งในช่วงแรกจะเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบการพา และเมื่อให้ความร้อนต่อไปอาหารจะข้นหนืดมากขึ้นและการถ่ายโอนความร้อนจะเปลี่ยนเป็นแบบการนำ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารขนาดใหญ่ ๆ ในของเหลว ซึ่งส่วนของเหลวจะร้อนเร็วกว่าส่วนที่เป็นชิ้นอาหารจุดที่ความร้อนเข้าไปถึงช้าที่สุดจะอยู่ระหว่างจุดที่ความร้อนเข้าไปถึงช้าที่สุดของอาหารที่มีการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำและแบบพา

2.10.6 ผลของการสเตอริไลเซชันต่ออาหาร

การสเตอริไลเซชันมีจุดประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ยาวนานขึ้น และพยายามให้มีคุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพการบริโภคเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ความแตกต่างของเวลาและอุณหภูมิ จะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลทำให้เหลือคุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสมากที่สุด ผลของการสเตอริไลเซชันต่ออาหาร ได้แก่

2.10.6.1 สี การเปลี่ยนสีของอาหารบรรจุกระป๋อง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ร่วมกันในระหว่างการแปรรูป ซึ่งจะมีผลต่อสีตามธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหาร ในผักและผลไม้ที่มีคลอโรฟิลล์จะถูกเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟดิน (pheophytin) ส่วนแคโรทีนอยด์ถูกเปลี่ยนไอโซเมอร์ 5,6-อีพอกไซด์ (epoxide) และสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) จะสลายตัวเป็นสารสีน้ำตาล

2.10.6.2 กลิ่นและรสชาติ ในผักและผลไม้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับการสลายตัว การรวมตัวและเปลี่ยนเป็นสารระเหย (volatilisation) ของแอลดีไฮด์ คีโตน น้ำตาล แลคโตน กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์

2.10.6.3 ลักษณะเนื้อและความหนืด ผักและผลไม้จะนุ่มลงเมื่อเกิดการย่อยสลายของเพคตินหรือเจลาตินในเซชันของสตาร์ช และเฮมิเซลลูโลสจะละลายได้บ้างเล็กน้อย รวมทั้งเซลล์สูญเสียความเต่งด้วย

2.10.6.4 คุณค่าทางโภชนาการ การบรรจุอาหารใส่กระป๋องแล้วทำการสเตอริไลเซชันทำให้เกิดการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรต และไขมัน แต่คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง โปรตีนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติในกระป๋อง และมีการสูญเสียกรดอะมิโนประมาณร้อยละ 10 - 20 เนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อน ในผักและผลไม้จะสูญเสียวิตามินที่ละลายได้ในน้ำมากที่สุด โดยเฉพาะวิตามินซี

2.10.7 การผลิตอาหารกระป๋อง (มัทนา, 2538)

การทำอาหารกระป๋อง (canning) เป็นวิธีการถนอมอาหารแบบสเตอริไลซ์วิธีหนึ่ง ที่อาศัยความร้อน ที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม มาเชื่อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการฆ่าเชื้ออาหาร ได้แก่ ความเป็นกรด - เบสของอาหาร คุณภาพของวัตถุดิบ เป็นต้น

2.10.7.1 กรรมวิธีในการผลิตอาหารกระป๋อง

การผลิตอาหารกระป๋องประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) การเตรียมวัตถุดิบ

ขั้นตอนนี้จะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้เริ่มจากการทำความสะอาดวัตถุดิบเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งแปลกปลอมออกไป แล้วทำการคัดขนาดและความแก่อ่อนเพื่อความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์ จากนั้นจึงทำการตัดแต่งแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกตัดแต่งส่วนที่บริโภคได้ให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ

2) การลวกด้วยน้ำร้อน

การลวกด้วยน้ำร้อน (blanching) มีหลายวิธีทั้งการจุ่มวัตถุดิบลงในน้ำเดือด หรือการนึ่งด้วยไอน้ำ การลวกด้วยน้ำร้อนมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- ก. ทำลายเอนไซม์ในวัตถุดิบ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่น
- ข. กำจัดรสฝืน ผาด ขม และเมือกออกจากวัตถุดิบ รวมทั้งกำจัดอากาศจากผิวหนังของวัตถุดิบ

ก. ให้วัตถุดิบหดตัวและนุ่ม สะดวกในการบรรจุ

ง. ลดปริมาณจุลินทรีย์

3) การบรรจุ

การบรรจุ (filling) การบรรจุเป็นขั้นตอนการนำวัตถุดิบที่ได้เตรียมไว้ เรียบร้อยแล้วบรรจุลงในภาชนะบรรจุอาจเป็นขวดแก้วหรือกระป๋องโลหะ โดยบรรจุส่วนที่เป็นของแข็งลงไปก่อนแล้วจึงบรรจุส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำเกลือ น้ำเชื่อมลงไป

4) การไล่อากาศ

การไล่อากาศ (exhausting) เป็นขั้นตอนการไล่อากาศในภาชนะบรรจุ ออกไปให้มากที่สุดเพื่อวัตถุประสงค์ คือ

- ก. ลดแรงดันภายในภาชนะบรรจุอาหาร ป้องกันตะเข็บของภาชนะบรรจุ แตกในระหว่างการฆ่าเชื้อ เพราะถ้ามีอากาศจะทำให้เกิดแรงดันสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. รักษาคุณภาพอาหาร เพราะหากไม่มีออกซิเจนในกระป๋องจะทำให้คุณภาพอาหารไม่เปลี่ยนแปลง และช่วยป้องกันการบวมของกระป๋องเมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง

ค. ช่วยให้เกิดอาหารกระป๋องได้นานขึ้น การทำให้เป็นสุญญากาศทำได้โดยบรรจุส่วนที่เป็นของเหลวในขณะร้อนแล้วปิดผนึกทันทีหรือใช้เครื่องไล่อากาศ (exhauster) โดยพ่นไอน้ำลงเหนืออาหารแล้วปิดผนึกทันทีก่อนทำให้เย็น เมื่อกระป๋องเย็นลงไอน้ำจะรวมตัวเป็นหยดน้ำเกิดเป็นสุญญากาศขึ้น หรืออาจจะทำการปิดผนึกฝาภาชนะในสภาพที่เป็นสุญญากาศ

5) การปิดผนึก

การปิดผนึก (seaming) สำหรับกระป๋องโลหะจะมีการยึดกันระหว่างฝาและขอบกระป๋องหลังการผนึกเป็นแบบตะเข็บคู่ (double seam) ถ้าเป็นขวดแก้วจะใช้ฝาเหล็กเคลือบดีบุกแบบหมุนเกลียวหรือตะเข็บงอ ขั้นตอนการปิดผนึกต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันการรั่วของภาชนะบรรจุ

6) การฆ่าเชื้อ

การฆ่าเชื้อ (process) การฆ่าเชื้อ หมายถึงการใช้ความร้อนทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารซึ่งบรรจุอยู่ ภายในภาชนะปิดสนิท ปริมาณความร้อนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของอาหาร นอกจากนี้ยังขึ้นกับชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ในอาหาร รูปร่างและขนาดของภาชนะบรรจุ การฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องจะต้องใช้ปริมาณความร้อนที่เพียงพอต่อการทำลายสปอร์ของ *C. botulinum* ซึ่งเป็นเชื้อที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมากในการผลิตอาหารกระป๋อง โดยเฉพาะอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ เนื่องจาก *C. botulinum* เป็นแบคทีเรียที่ทนความร้อนสูง เจริญได้ในอุณหภูมิปกติ (mesophile) และไม่ต้องการอากาศ (anaerobe) ในการเจริญและสร้างสารพิษ

ดังนั้นในการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องจึงถือเอาอุณหภูมิและเวลาที่ทำลายสปอร์ของ *C. botulinum* เป็นหลัก ถ้าอาหารปลอดจากสปอร์และพิษของเชื้อมันก็จะปลอดภัยจากเชื้อชนิดอื่นด้วย

7) การทำให้เย็น

การทำให้เย็น (cooling) มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการสูญเสียคุณภาพของอาหารเนื่องจากความร้อนส่วนเกินโดยการลดอุณหภูมิของอาหารหลังการฆ่าเชื้อแล้ว ลงอย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็น จนอุณหภูมิลดลงถึงระดับหนึ่งซึ่งยังมีความร้อนเหลืออยู่พอที่จะทำให้ผิวนอกของกระป๋องแห้งสนิทปราศจากหยดน้ำที่เกาะอยู่บนกระป๋องเพื่อป้องกันการเกิดสนิมบนกระป๋องขณะเก็บรักษา

2.11 วิทยาศาสตร์การไหล และความหนืด (นิรมล, 2555)

วิทยาศาสตร์การไหลเป็นศาสตร์ที่ใช้อธิบายการไหลของของเหลวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแข็ง ความหนืดเป็นแรงต้านทานภายในของของเหลว เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวต้านทานต่อการไหล เมื่อค่าความหนืดสูงขึ้นจะทำให้มีแรงต้านทานการไหลเพิ่มขึ้นด้วย โดยความหนืดเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการไหลอย่างหนึ่งของสารเป็นคุณลักษณะทางกายภาพเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไปของสาร

การวัดค่าความหนืดมี 2 ลักษณะ คือ

2.11.1 Dynamic viscosity เป็นการวัดความหนืดโดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer

$$\text{Viscosity} = \text{Shear stress}/\text{Shear rate}$$

$$\text{Unit} = \text{Centipoises (cP)}$$

2.11.2 Kinetic viscosity เป็นการวัดความหนืดโดยใช้ Viscosity tube

2.11.1 พฤติกรรมการไหลของของไหล มีดังนี้ คือ

2.11.1.1 ของไหลแบบนิวโตเนียน

ของไหลแบบนิวโตเนียน (newtonian fluid) ค่าความหนืดที่ได้จะมีค่าคงที่อย่างมีนัยสำคัญในสมการของ ค่า n ของของไหลนิวโตเนียนมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ

2.11.1.2 ของไหลแบบอนนิวโตเนียน

ของไหลแบบอนนิวโตเนียน (non-newtonian fluid) ภายในของไหลมีขนาดอนุภาคที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆ ซึ่งทำให้ในระหว่างช่วงการไหลเกิดลักษณะไม่ราบรื่นในการไหลแบบอนนิวโตเนียนมีปัจจัยหลาย ๆ อย่างที่มีผลต่อ shear rate ของไหลอนนิวโตเนียนสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่

1) พวกที่ไม่ขึ้นกับเวลา

พวกที่ไม่ขึ้นกับเวลา (time independent non-newtonian fluids) ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้จะขึ้นอยู่กับ shear stress กับ shear rate แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับความเค้นเฉือน (shear stress) แต่อย่างใด นั่นคือความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา ตัวอย่างของไหลอนนิวโตเนียนประเภทนี้ ได้แก่

ของไหลซูโดพลาสติก (pseudoplastic fluids) ลักษณะของการไหลประเภทนี้คือ ค่าความหนืดมีค่าลดลงเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น

ของไหลไดลาแทนต์ (dilatant fluids) ลักษณะของการไหลประเภทนี้คือ ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไหลพลาสติก (plastic fluids) และของไหลบิงแฮม (bingham fluid) ของไหลประเภทนี้ที่ค่าแรงเฉือนมีค่าต่างๆจะไม่มีกรเคลื่อนที่แต่อย่างใด จนกระทั่งค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นถึงค่า τ_0 ซึ่งเรียกจุดที่แรงเฉือนมีผลทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่นี้ว่า yield value หรือในบางตารางเรียกว่า yield stress ในของไหลบิงแฮม (bingham fluid) เมื่อออกแรงเฉือนจนถึงจุด yield stress หลังจากนั้นของไหลจะพฤติกรรมเหมือนของไหลนิวโตเนียน

2) ของไหลแบบนอนนิวโตเนียนเมื่อมีการพิจารณาระยะเวลา

ของไหลแบบนอนนิวโตเนียนเมื่อมีการพิจารณาระยะเวลา (non-newtonian time dependent) ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับค่า shear stress และ shear rate แล้วยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับแรงเฉือนเฉือนได้รับ ตัวอย่างของไหลประเภทนี้ได้แก่

พฤติกรรมทิกโซโทรปิก (thixotropic) ของไหลประเภทนี้ค่าความหนืดจะลดลงตามระยะเวลา เมื่อแรงเฉือนเฉือนในอัตราคงที่

พฤติกรรมรีโอเพกซี (rheopexy) ของไหลประเภทนี้ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา เมื่อแรงเฉือนเฉือนในอัตราคงที่

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัฒนา และคณะ (2550) รายงานว่า การผลิตข้าวกล้องงอก โดยควบคุมความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิของน้ำ และระยะเวลาในการแช่ข้าว สามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องงอกโดยใช้ข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่แช่น้ำที่มีความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลาแช่ 24 ชั่วโมง ทำให้ได้ข้าวกล้องงอกที่มีคุณภาพทางอาหารสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ใช้สภาวะต่าง ๆ โดยมีปริมาณสารกาบา กรดไฟติกและวิตามินบี 1 เท่ากับ 16.50 501.06 และ 0.526 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของข้าวกล้องงอก ตามลำดับ และมีปริมาณอะไมโลสลดลงเมื่อเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอก

ศุภนุช และคณะ (2551) รายงานว่า การผลิตข้าวกล้องงอกโดยใช้อุณหภูมิในการแช่ข้าว (30 และ 40 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการแช่ข้าว (1 3 และ 6 ชั่วโมง) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่มีผลทำให้ปริมาณ เส้นใยหยาบเพิ่มขึ้น และคาร์โบไฮเดรตลดลง ซึ่งเกิดจากกระบวนการหมัก โดยมีค่า pH ลดลง และมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก เมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แป้งที่ได้เกิดการสุกที่อุณหภูมิต่ำลงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการแช่ และสามารถ เกิดรีโอเทรเดชันลดลง ซึ่งกระบวนการแช่สามารถใช้ในการคัดแปรสมบัติให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ จากแป้งข้าวกล้องงอกได้

Horino และคณะ (1994) นำข้าวพันธุ์ Hokkai ซึ่งเป็นข้าวที่มีจมูกข้าวขนาดใหญ่และจมูกข้าวขนาดปกติ และพันธุ์ Koshihikari และ Takanari ไปแช่ในน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา พบว่า ข้าวพันธุ์ Hokkai มีปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวพันธุ์ที่มีจมูกข้าวขนาดปกติ นอกจากขนาดของจมูกข้าวขนาดใหญ่แล้ว ส่วนประกอบอื่น ๆ ของเมล็ดข้าวก็ให้ปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารเมื่อนำเมล็ดข้าวนั้นมาเพาะให้งอก จากการวิจัยของ Horino และคณะ (1994) พบว่าเมื่อนำส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวมาแช่ในน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดแตกต่างกัน

Komatsuzuki และคณะ (2007) ศึกษาผลของการแช่น้ำและวิธีการบ่มข้าวกล้องงอกในกล่องปิดสนิทที่มีต่อปริมาณสารกาบา โดยใช้ข้าวญี่ปุ่นสายพันธุ์ต่าง ๆ แช่น้ำที่ 35 องศาเซลเซียส นาน 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง และบ่มในกล่องพลาสติกเป็นเวลา 23.5, 23, 22, 21, 20 และ 19 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า การแช่ข้าวในสถานะที่ขาดออกซิเจนส่งผลให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA สูงกว่าการแช่น้ำในสถานะที่มีออกซิเจนปกติ

Charoenthaikit และคณะ (2009) ศึกษาผลของระยะเวลาการแช่ข้าวกล้องงอกต่อสมบัติเชิงเคมีและกายภาพของข้าวกล้องงอก พบว่าการแช่ข้าวนานขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารกาบา และกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้ความหนืดของแป้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อุไรวรรณ และสุรัตน์ (2551) มีการนำข้าวกล้องมาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 6 และ 12 ชั่วโมง แล้วนำมาบ่มให้เป็นข้าวกล้องงอกเป็นเวลา 0, 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง ทำการวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้อง โดยใช้วิธี DPPH และพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อข้าวกล้องงอก คือ อุณหภูมิ และเวลาบ่มเป็นข้าวกล้องงอก แช่น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวที่แช่น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผลของการบ่มข้าวกล้องพบว่า ข้าวกล้องงอกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อบ่มข้าวกล้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมงขึ้นไป

Ong และ Blanshard (1995) ศึกษาผลของโครงสร้างอะไมโลเพกตินที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวจำนวน 11 สายพันธุ์ที่เพาะปลูกในประเทศไนจีเรีย โดยใช้ข้าวที่มีสัดส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเพกตินที่ต่างกัน ผลการทดลองพบว่าข้าวที่มีส่วนประกอบของอะไมโลเพกตินที่มีสายยาวเมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่ง จะมีลักษณะที่นุ่มและเหนียว นอกจากนี้พบว่าข้าวที่มีอะไมโลเพกตินที่มีสายยาวจะมีองค์ประกอบอื่นๆของข้าว เช่น โปรตีนและไขมัน มากีคเกาะทำให้ข้าวมีลักษณะที่แน่นมากขึ้น และมีความนุ่มต่ำลง เมื่อเทียบกับข้าวที่มีโครงสร้างอะไมโลเพกตินที่มีสายสั้นกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุพกนิษฐ์ และวาสนา (2553) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินบี 1 และแกมมาอะมิโน บิวทริกแอซิดในการผลิตข้าวอกหนึ่งขาวดอกมะลิ 105 ระดับโรงงานต้นแบบ ในการผลิตข้าวอกขาวดอกมะลิ 105 โดยนำผลิตภัณฑ์ข้าวสารมอลต์และข้าวสารกาบาที่เพาะทิ้งเปลือกและกะเทาะเปลือกมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ข้าว : น้ำเท่ากับ 1:1.5 และหุงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าตามปกติ พบว่าความร้อนจากการแปรรูปและหุงต้มไม่มีผลในการลดปริมาณวิตามินบี 1 และกาบาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

Lai (2001) รายงานว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาตินไนซ์ ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งโดยเริ่มที่บริเวณสัณฐานก่อน น้ำจะเข้าสู่ภายในเมล็ดแป้งได้มากขึ้น และเมื่อให้ความร้อนต่อไปเป็นระยะเวลาสั้นขึ้นหรือระดับอุณหภูมิที่ใช้เพิ่มขึ้น จะมีผลให้เกิดการหลอมละลาย บริเวณผลึกภายในเมล็ดแป้งเพิ่มขึ้น เมล็ดแป้งจึงดูดซับน้ำได้มากขึ้นด้วยเหตุนี้แป้งพรีเจลาตินไนซ์จึงสามารถดูดซับน้ำและละลายได้ดีกว่าแป้งดิบจากเมล็ดขนุน ซึ่งพบว่าแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินไนซ์มีดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำสูงกว่าตัวอย่างควบคุม

วิทยา และพิเชต (2542) ศึกษาการผลิตซูปข้าวโพดสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการแปรรูปซูปข้าวโพดสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม โดยผลิตซูปข้าวโพดสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในกระป๋องขนาด 307×133 ฆ่าเชื้อในรีทอร์ตที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ $F_0 = 5$ นาที และศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของซูปข้าวโพดสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องด้วยการยอมรับของผู้บริโภค โดยทำการทดสอบด้วยวิธีการทางประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อเก็บนาน 3 สัปดาห์

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัตถุประสงค์

ข้าวกล้อง (B) และข้าวฮางอก (H) ผลิตจากข้าวดอกมะลิ 105(J) (*Oryza sativa* L.) และข้าวเหนียว กข 6 (S) (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) เก็บเกี่ยวและผ่านกระบวนการงอกโดยกลุ่มแม่บ้านเกษตรชุมชนบ้านโนนกง ตำบลเชียงสือ อำเภอโพพนาแก้ว จังหวัดสกลนคร

กระบวนการผลิตข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกของกลุ่มแม่บ้านเกษตรชุมชนบ้านโนนกง มีวิธีการผลิตข้าวฮางอก ดังต่อไปนี้

- 1) การแช่ข้าวเปลือกในน้ำเพื่อแยกเมล็ดข้าวเปลือกที่ลีบออกและเป็นการล้างทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่ติดมากับข้าวเปลือก
- 2) การแช่ข้าวเปลือกในน้ำสะอาดต่อไปอีกระยะหนึ่ง ใช้เวลาประมาณ 40 ถึง 48 ชั่วโมงจนข้าวเปลือกดูดซับน้ำเพียงพอ มีการเปลี่ยนน้ำออกทุก ๆ 6 ชั่วโมงเพื่อป้องกันข้าวบูดจากเชื้อยีสต์ราในธรรมชาติ
- 3) การบ่มข้าวในหึ่งอก โดยปล่อยน้ำออกทิ้งให้หมด แล้วปล่อยให้ข้าวฮางอกในภาชนะเดิมอาจใช้ถังพลาสติกขนาดใหญ่ หรือ โอ่งดินก็ได้
- 4) การนึ่งข้าวเปลือกให้สุก นำข้าวเปลือกที่งอกได้ขนาดดีแล้วไปนึ่งให้สุกด้วยซึ่งนึ่งข้าว
- 5) การตากข้าวให้แห้ง ตากข้าวให้แห้งด้วยความร้อนจากแสงแดดใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 2 วัน
- 6) การกะเทาะเปลือกข้าวให้หลุดออกจนได้ข้าวกล้อง โดยใช้เครื่องกะเทาะข้าวที่เป็นลูกกลิ้งยางขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า
- 7) การคัดแยกสิ่งสกปรก สิ่งปนเปื้อน ทำการคัดแยกด้วยแรงงานคน เสร็จนำไปตากแดดอีกครั้งเพื่อให้ข้าวแห้งสนิทพร้อมที่จะนำไปบรรจุต่อไป

สำหรับการผลิตข้าวกล้องงอกจะแตกต่างจากข้าวฮางอก ตรงที่มีการนำข้าวเปลือกไปกะเทาะเอาเปลือก (แกลบ) ออกเสียก่อน แต่ต้องระวังไม่ให้จมูกข้าวหลุดเพราะจะเป็นบริเวณที่ข้าวจะงอกขึ้นมา เสร็จแล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการเช่นเดียวกัน คือ การแช่น้ำ การบ่มในหึ่งอก การนึ่ง และการตากแดดให้แห้ง

กระบวนการทำให้ข้าวงอก 4 ระดับ สภาพการงอกของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอก แสดงดังรายละเอียดตามตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ระดับการงอกของข้าวฮางงอก ข้าวเหนียว กข 6 และ ข้าวเจ้าดอกมะลิ 105

ระดับการงอก	เวลาการแช่ข้าว (ช.ม.)	เวลาการบ่มข้าว (ช.ม.)	ร้อยละการงอก	
งอกน้อย	48	18	กข6	81
			มะลิ105	72
งอกปานกลาง	48	20	กข6	84
			มะลิ105	77
งอกมาก	48	22	กข6	85
			มะลิ105	89

มีการเปลี่ยนน้ำในระหว่างการแช่ข้าวทุก ๆ 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 ระดับการงอกของข้าวกล้องงอก ข้าวเหนียว กข 6 และ ข้าวเจ้าดอกมะลิ 105

ระดับการงอก	เวลาการแช่ข้าว (ช.ม.)	เวลาการบ่มข้าว (ช.ม.)	ร้อยละการงอก	
งอกน้อย	24	39	กข 6	89
			มะลิ105	82
งอกปกติ	24	39	กข 6	68
			มะลิ105	70
งอกมาก	24	44	กข 6	86
			มะลิ105	73

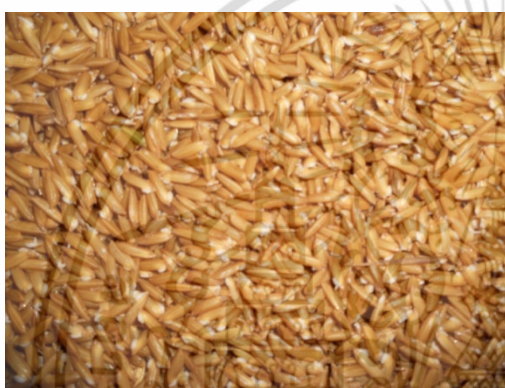
มีการเปลี่ยนน้ำในระหว่างการแช่ข้าวทุก ๆ 3 ชั่วโมง

เนื่องจากการงอกของข้าวขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวด้วย จึงได้มีการสุ่มตัวอย่าง ข้าวที่งอกแล้วมาหาอัตราส่วนร้อยละของการงอกของข้าว

ตารางที่ 3.3 ระดับการงอกของข้าวชนิดต่าง ๆ (ร้อยละ)

Sample	Non germinate (0)	Germinate (1)	Germinate (2)	Germinate (3)
JH	0	72	77	89
SH	0	81	84	85
JB	0	82	70	73
SB	0	89	68	86

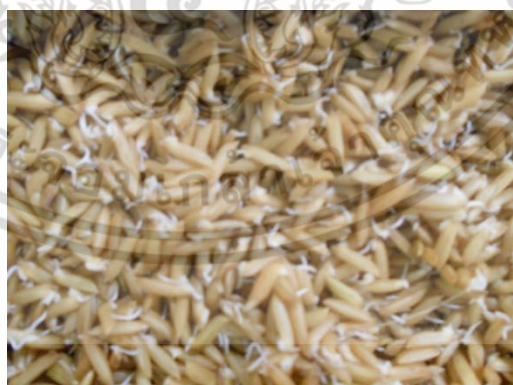
หมายเหตุ: สัญลักษณ์ J และ S หมายถึงข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึงข้างฮางและข้างกล้อง ตามลำดับ ตัวเลข 0 1 2 3 หมายถึง ไม่งอก งอกน้อย งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ



ข้าวฮางงอกระดับน้อย
มีรากงอก ประมาณ 0.5 มิลลิเมตร



ข้าวฮางงอกระดับปกติ (งอกปานกลาง)
มีรากงอก ประมาณ 1 มิลลิเมตร



ข้าวฮางงอกระดับมาก
มีรากงอก ประมาณ 2 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.1 ข้าวฮางที่ผ่านการงอกระดับต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการกระบวนการงอกข้าวแล้วนำมาบรรจุนั้นต้องควบคุมให้ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบมีค่าประมาณร้อยละ 8 - 10 (Wet basis) บรรจุในถุงลามิเนตโพลีเอทิลีน (LLDPE) ในสถานะสูญญากาศ ฤๅละ 500 กรัม เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจนกว่าจะนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์

- | | | |
|---|-------------------|--------------------|
| 1) เครื่องบดแบบหยาบ (Hammer mill) | | ประเทศอินโดนีเซีย |
| 2) เครื่องบดแบบเข็ม (Pin mill) | รุ่น ZM 1000 | ประเทศเยอรมัน |
| 3) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) | รุ่น FED 53 | ประเทศสหรัฐอเมริกา |
| 4) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง | รุ่น ML204 | ประเทศสวีเดน |
| 5) เครื่องฆ่าเชื้อแบบแนวนอน
(Water spray retort) | | ประเทศไทย |
| 6) เครื่องไล่อากาศ (Exhauster) | | ประเทศไทย |
| 7) กระจบองขนาด 307 × 111
(กระจบองเคลือบดีบุก) | | ประเทศไทย |
| 8) เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter) | รุ่น Minolta R300 | ประเทศญี่ปุ่น |
| 9) เครื่องวัดค่าความหนืด
(Brookfield viscometer Model) | รุ่น LV DV-III U | ประเทศสหรัฐอเมริกา |
| 10) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) | รุ่น WNB 7-4 | ประเทศเยอรมัน |
| 11) เตาเผา (Muffle furnace) | รุ่น LT40 | ประเทศเยอรมัน |
| 12) เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน | รุ่น S306AK | ประเทศอังกฤษ |
| 13) เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน
(Kjeldahl apparatus) | | ประเทศอังกฤษ |
| 14) ชุดสกัดซอกซ์เล็ต (Soxhlet apparatus)
พร้อมทิมเบิล (Thimble) และบีก
เกอร์ไขมัน | | |
| 15) อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน | | |
| 16) ถ้วยอลูมิเนียม (Aluminum can) | | |
| 17) ที่คีบ (Tong) | | |
| 18) โถสำหรับดูดความชื้น (Desiccator) | | |
| 19) หลอดย่อยโปรตีน (Distillation Flask) | | |
| 20) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) | | |
| 21) ถ้วยกระเบื้อง (Crucible) | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 22) กระจกป้องกันความชื้น (Moisture can)
- 23) อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ
- 24) อุปกรณ์เครื่องครัว
- 25) เตาแก๊ส

3.1.3 สารเคมี

- 1) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)
- 2) กรดบอริก (Boric Acid, H_3BO_4)
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
- 4) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl)
- 5) คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
- 6) โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate, K_2SO_4)
- 7) สารละลาย DPPH (1,1 - Diphenyl - 2 - picrylhydrazyl)
- 8) โซเดียมอะซิเตทไตรไฮเดรต (Sodium acetate trihydrate, $CH_3COONa \cdot 3H_2O$)
- 9) สารละลาย TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine)
- 10) สารละลายไอออน (III) คลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต ($FeCl_2 \cdot 6H_2O$)
- 11) เอทานอล 95 (Ethanol 95)
- 12) กรดแกลเซียมอะซิติก (Glacial acetic acid)
- 13) อะซิเตท บัฟเฟอร์ (acetate buffer)
- 14) ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)
- 15) เฮกเซน (Hexane)
- 16) แอซีโตน (Acetone)
- 17) ซีลิต (Celite)
- 18) รีเอเจนต์ FRAP (FRAP reagent)
- 19) ออกทานอล (Octanol)

3.2 สถานที่ดำเนินงาน

3.2.1 ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.2 ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร คณะโรงเรียนการเรือน

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต วิทยาเขตสุพรรณบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ระยะเวลาดำเนินงาน

เดือนมิถุนายน 2555 - มิถุนายน 2559

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 การวิเคราะห์ผลของชนิด สายพันธุ์ข้าว และกระบวนการงอกที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวงอก

นำวัตถุดิบข้าวที่ผลิตจากข้าว 2 ชนิด (ข้าวกล้อง, B และข้าวฮาง, H) 2 สายพันธุ์ (ข้าวดอกมะลิ, J และข้าวเหนียว กข 6) ที่มีระยะการงอกที่ต่างกัน 4 ระดับ (0 : ไม่งอก , 1 : งอกน้อย , 2 : งอกปานกลาง , 3 : งอกมาก ตามลำดับ) มาตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่มีระยะการงอกที่เหมาะสม เพื่อนำไปแปรรูปเป็นซูปข้าวงอกต่อไป องค์ประกอบทางเคมีที่ตรวจวิเคราะห์ประกอบด้วย

- 1) ปริมาณความชื้น (moisture) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)
แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก
- 2) ปริมาณ โปรตีน (crude protein) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)
แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก
- 3) ปริมาณ ไขมัน (crude fat) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)
แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก
- 4) ปริมาณใยอาหาร (crude fiber) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)
แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก
- 5) ปริมาณเถ้า (ash) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000) แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก
- 6) ปริมาณสาร GABA คัดแปลงจากวิธีของ Komatsuzaki et al. (2007)
แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก
- 7) ปริมาณวิตามิน B1 โดยใช้ Fluorometric (rapid) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)
แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก
- 8) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scavenging activity)
คัดแปลงจากวิธีของ Murakami และคณะ (2004) แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก
- 9) ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (ferric reducing antioxidative potential, FRAP)
คัดแปลงจากวิธีของ Benzie และ Strain (1999) แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การผลิตซูปข้าวอก

3.4.2.1 การเตรียมแป้งข้าวอก

นำข้าวกล้องอก และข้าวฮางอกที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.4.1 จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวดอกมะลิฮาง (JH) ข้าวดอกมะลิลีง (JB) ข้าวเหนียวฮาง (SH) และข้าวเหนียวกลีง (SB) มาผ่านการบดโดยใช้เครื่อง Hammer mill และใช้เครื่อง Pin mill โดยบดข้าวอกให้มีขนาด 100 ไมโครเมตร หลังจากนั้นนำมาบรรจุในสถานะสุญญากาศ ถุงละ 500 กรัม เก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้ ควรเก็บไม่เกิน 3 เดือน

3.4.2.2 การผลิตซูปข้าวอก

ผสมแป้งข้าวและน้ำ ในอัตราส่วนของแป้ง และน้ำ 3 อัตราส่วน คือ 1:8 1:10 และ 1:12 คัดแปลงมาจาก โสรยา และคณะ (2015) นำมาต้มโดยให้ความร้อนใน Water bath 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที คนซูปหลังจากให้ความร้อนนาทีที่ 3 และ 10 หลังจากนั้น คนทุก ๆ 10 นาที จนครบ 60 นาที ทำให้เย็นลงจนตัวอย่างซูปข้าวอกมีอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ใน water bath นาน 30 นาที (แสดงดังภาพภาคผนวก ข.1) คัดแปลงจาก Hellands และคณะ (2002) และสุทธิพิชญ์ และคณะ (2555)

3.4.2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของซูปข้าวอกโดยการตรวจสอบสมบัติเชิงกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวอก ดังนี้

1) การวัดสี

วัดค่าสีด้วยเครื่อง Chroma meter (minolta model CR-300, Japan) การวัดสีของ ซูปข้าวกล้องและซูปข้าวฮาง วัดสีได้ค่าสีในระบบ Hunter Lab จะให้ค่าสี L^* เป็นค่าความสว่าง ค่าสี a^* เป็นค่าสีแดงและสีเขียว และค่าสี b^* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน คัดแปลงจาก Sigge และคณะ (2001) ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ ด้วยการทำการทดลอง 2 ซ้ำ แสดงรายละเอียด ดังภาคผนวก ก

2) การวัดความหนืด

วัดค่าความหนืดของซูปข้าวโดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer (model LVDV-III Ultra Rheometer U.S.A) โดยใช้หัวเข็ม (Spindle) LV 2 ความเร็วรอบ (Speed) 100 rpm คัดแปลงจาก นิสานารถ และคณะ (2553) ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ ด้วยการทำการทดลอง 2 ซ้ำ แสดงรายละเอียด ดังภาคผนวก ก

3) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวงอก ดังนี้

ก. ปริมาณความชื้น (moisture) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

ข. ปริมาณโปรตีน (crude protein) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

ค. ปริมาณไขมัน (crude fat) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

ง. ปริมาณใยอาหาร (crude fiber) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

จ. ปริมาณเถ้า (ash) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

3.4.2.4 การผลิตซูปข้าวงอกบรรจุกระป๋อง

นำซูปข้าวงอกมาบรรจุในกระป๋องขนาด 307×111 แต่ละกระป๋องบรรจุซูปข้าวงอกในปริมาณ 180 กรัม ซึ่งในการบรรจุได้เหลือช่องว่างเหนืออาหาร อยู่ที่ $1/4 - 3/8$ นิ้วหลังจากบรรจุซูปข้าวงอกในกระป๋องเรียบร้อยแล้วนำมาใส่อากาศในเครื่องไล่อากาศ ให้อุณหภูมิของซูปข้าวงอกต้องไม่ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องปิดฝา และตรวจสอบสภาพของตะเข็บกระป๋องให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ จากนั้นนำมาเข้าเครื่องฆ่าเชื้อ (retort) ที่สภาวะอุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที หรือที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 3 นาที (แสดงดังภาพภาคผนวก ข.1) เมื่อครบกำหนดเวลาในการให้ความร้อนแล้ว ทำให้อาหารกระป๋องเย็นลงอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารได้รับความร้อนนานเกินไป การลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ทนร้อนและเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงเพราะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งทำได้โดยการใช้น้ำหรือลมเป่าจนกระป๋องมีอุณหภูมิ 40 - 45 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้น้ำที่เกาะข้างกระป๋องแห้ง จะได้ไม่เกิดสนิมที่กระป๋อง คัดแปลงจาก อรพรรณ (2554)

3.4.2.5 การวิเคราะห์คุณภาพของซูปข้าวงอกบรรจุกระป๋องโดยการตรวจสอบสมบัติเชิงกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวงอก ตามรายละเอียดตามภาคผนวก ข ดังนี้

1) การวัดสี

วัดค่าสีด้วยเครื่อง Chroma meter (minolta model CR-300, Japan) การวัดสีของ ซูปข้าวกล้องและซูปข้าวฮาง วัดสีได้ค่าสีในระบบ Hunter Lab จะให้ค่าสี L^* เป็นค่าความสว่าง ค่าสี a^* เป็นค่าสีแดงและสีเขียว และค่าสี b^* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน คัดแปลงจาก Sigge และคณะ (2001) ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ ด้วยการทำการทดลอง 2 ซ้ำ แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การวัดความหนืด

วัดค่าความหนืดของซูปข้าวโดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer (model LV DV-III Ultra Rheometer U.S.A) โดยใช้หัวเข็ม (Spindle) LV 2 ความเร็วรอบ (Speed) 100 rpm ดัดแปลงจากนิสานารถ และคณะ (2553) ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ ด้วยการทำการทดลอง 2 ซ้ำ แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

3) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าววงอก ดังนี้

ก. ปริมาณความชื้น (Moisture) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

ข. ปริมาณโปรตีน (Crude Protein) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

ค. ปริมาณไขมัน (Crude Fat) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

ง. ปริมาณใยอาหาร (Crude Fiber) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

จ. ปริมาณเถ้า (Ash) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ค่าสี ค่าความหนืด ของข้าววงอกและซูปข้าววงอก ใช้การจัดการทดลองแบบ คู่อย่างสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของสถิติโดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของชนิดและสายพันธุ์ต่อกระบวนการงอกที่ส่งผลต่อองค์ประกอบเคมีของข้าวงอก

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวงอก

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวฮาง (H) และข้าวกล้อง (B) ผลิตจากข้าวดอกมะลิ 105 (J) และ ข้าวเหนียว กข 6 (S) มีกระบวนการทำให้งอก 4 ระดับ (0 : ไม่งอก , 1 : งอกน้อย , 2 : งอกปานกลาง , 3 : งอกมาก) โดยมีข้าวทั้งหมด 16 ชนิด ซึ่งพบว่า โปรตีน ไขมัน และเถ้าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ของข้าวแต่ละชนิด แต่ความชื้น เยื่อใย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของข้าวแต่ละชนิด แต่ข้าวดอกมะลิฮางนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ของ ความชื้น และเยื่อใย (แสดงดังตารางที่ 4.1)

ซึ่งองค์ประกอบทางเคมี มีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากชนิดของข้าว ระยะเวลาในการแช่ข้าว ระยะเวลาในการบ่ม ที่แตกต่างกันจึงส่งผลต่อองค์ประกอบภายในของข้าวแต่ละชนิด แต่ละระยะของการงอกที่แตกต่างกัน ซึ่งในการบ่มข้าว การงอกเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพของเมล็ดข้าวให้เพิ่มมากขึ้น (Tsukahara, 2004; Komatsuzaki et al., 2007 ; Moongngarm และ Saetung, 2010; Shoichi, 2004) เนื่องจากกระบวนการงอกช่วยกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดข้าว (Veluppillali et al., 2009) เกิดจากน้ำไปกระตุ้นการทำงานของ hydrolytic enzyme ทำให้เกิดการย่อยสลายไขมันและ โปรตีนที่บริเวณชั้นรำข้าวทำให้ปริมาณไขมัน และ โปรตีนเพิ่มขึ้นนั้น ไม่ตรงกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้ อาจเป็นเพราะในขั้นตอนการงอกข้าวนั้นไม่มีการควบคุมระยะเวลาในการงอกที่เพียงพอจึงทำให้ผลการทดลอง มีความคลาดเคลื่อน และ Ohtsubo และคณะ (2005) พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการงอกให้นานขึ้นมีผลให้ ปริมาณของกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ ค่อย โดยพบว่าปริมาณของอะลานีน ไทโรซีน ฮีสทิดีน สารกาบา ไลซีนและ ไอโซลิวซีน เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่กลูตามาตและกรดแอสพาทิกลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น (Watanabe et al., 2004) วันชัย (2538) ได้กล่าวถึงในส่วนของไขมันว่า ในข้าวส่วนการย่อยสลายไขมันนั้นจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ไลเปส (lipase) ได้กรดไขมันและ กลีเซอรอลที่มีปริมาณของไขมันที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของข้าวและระยะเวลาในการงอก ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณเยื่อใยอาจเนื่องมาจากส่วนของ polysaccharide และ mucilage เกิดการขยายตัวจากโมเลกุลของน้ำที่ซึมเข้าไป และเกิดการย่อยของเอนไซม์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณเยื่อใย โดยเยื่อใยแต่ละชนิดของข้าวมีความแตกต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบของข้าวแต่ละชนิด ระยะเวลาในการงอกที่แตกต่างกันทำให้เยื่อใยมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ความชื้นหลังการแช่มีความสำคัญในการกระตุ้นให้เอนไซม์ที่มีอยู่ภายในเมล็ด เพื่อให้เกิดการงอกขึ้น ซึ่งความชื้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันเนื่องจากข้าวที่เก็บไว้อาจมีการเก็บที่ไม่ดีจึงทำให้ข้าวมีความชื้นที่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารของข้าวฮางอกกับข้าวกล้องงอก (แสดงดังตารางที่ 4.1) พบว่าปริมาณ โปรตีน ใย และคาร์โบไฮเดรตในข้าวฮางอกกับข้าวกล้องงอกมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ก็สอดคล้องกับงานวิจัยหลาย ๆ ฉบับที่รายงานว่า การงอกช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับเมล็ดข้าว (Jung et al., 2005; Ohtsubo et al., 2005; Ling-Long ., 2005; Moongngarm และ Sactung, 2010)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวฮางอก

Sample	Mc (%)	Protein (%)	Ash (%)	Crude Fiber (%)	Lipid (%)
JH0	12.56 ^a ± 0.20	3.00 ^a ± 0.10	1.26 ^a ± 0.06	0.57 ^d ± 0.18	8.58 ^a ± 0.60
JH1	10.06 ^c ± 0.10	3.01 ^a ± 0.00	1.32 ^a ± 0.03	0.71 ^c ± 0.09	8.53 ^a ± 0.10
JH2	10.61 ^b ± 0.20	2.99 ^a ± 0.00	1.44 ^a ± 0.04	0.96 ^b ± 0.04	7.69 ^a ± 1.20
JH3	10.72 ^b ± 0.30	3.02^a ± 0.00	1.45 ^a ± 0.05	1.29^a ± 0.06	6.54 ^a ± 0.30
sig	p<0.05	p≥0.05	p≥0.05	p<0.05	p≥0.05
JB0	12.03 ^a ± 0.20	3.01^a ± 0.10	1.22 ^a ± 0.04	1.65^a ± 0.17	7.56 ^a ± 0.30
JB1	10.78 ^b ± 0.10	2.96 ^a ± 0.01	1.24 ^a ± 0.03	1.64^a ± 0.17	7.81 ^a ± 0.20
JB2	10.35 ^b ± 0.10	3.00 ^a ± 0.00	1.32 ^a ± 0.05	1.03 ^b ± 0.17	9.32 ^a ± 0.40
JB3	10.81 ^b ± 0.40	3.01^a ± 0.10	1.36 ^a ± 0.04	1.01 ^b ± 0.18	8.27 ^a ± 0.20
sig	p<0.05	p≥0.05	p≥0.05	p<0.05	p≥0.05
SH0	13.51 ^a ± 0.70	2.90 ^b ± 0.00	1.29 ^a ± 0.03	2.06^a ± 0.26	8.23 ^a ± 0.50
SH1	10.56 ^b ± 0.60	2.94 ^b ± 0.00	1.26 ^a ± 0.01	1.76 ^a ± 0.09	8.08 ^a ± 0.00
SH2	10.24 ^b ± 0.20	3.02^a ± 0.00	1.23 ^a ± 0.00	1.31 ^a ± 0.01	8.66 ^a ± 0.60
SH3	13.12 ^c ± 0.20	2.94 ^b ± 0.10	1.20 ^a ± 0.02	1.26 ^a ± 0.19	8.89 ^a ± 0.50
sig	p<0.05	p<0.05	p≥0.05	p≥0.05	p≥0.05
SB0	13.70 ^a ± 0.20	3.06 ^a ± 0.00	1.31 ^a ± 0.01	1.70^a ± 0.13	8.03 ^a ± 0.71
SB1	10.27 ^c ± 0.20	3.08 ^a ± 0.10	1.32 ^a ± 0.02	1.38 ^c ± 0.05	9.05 ^a ± 0.38
SB2	10.46 ^c ± 0.30	3.08 ^a ± 0.00	1.26 ^a ± 0.02	1.33 ^b ± 0.09	9.77 ^a ± 0.20
SB3	12.12 ^{bcc} ± 0.10	3.10^a ± 0.00	1.25 ^a ± 0.02	1.49 ^b ± 0.01	8.62 ^a ± 0.58
sig	p<0.05	p≥0.05	p≥0.05	p<0.05	p≥0.05

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J และ S หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวฮางอกและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ได้งอก งอกน้อย งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ

- a, b, c, ... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และไม่มีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≥0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ปริมาณกาบา (GABA)

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกาบาของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอก ที่ผ่านการแช่ การบ่มข้าวที่สภาวะต่างกัน พบว่าปริมาณกาบาของข้าวฮางงอกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งข้าวดอกมะลิฮางงอก (JH) อยู่ระหว่าง 2.77 - 6.28 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ข้าวดอกมะลิลีงอก (JB) อยู่ระหว่าง 0.68 - 20.28 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ข้าวเหนียวฮางงอก (SH) อยู่ระหว่าง 2.48 - 5.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และข้าวเหนียวกลีงอก (SB) อยู่ระหว่าง 0.68 - 20.28 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ข้าวเหนียวฮางงอกอยู่ระหว่าง 0.96 - 25.83 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (แสดงดังตารางที่ 4.2) ปริมาณกาบามีความแตกต่างกัน เนื่องด้วยกระบวนการผลิต สถานที่ปลูก ที่ต่างกัน และสภาวะของการแช่ และบ่มข้าวส่งผลต่อปริมาณกาบาที่พบในข้าว (วรรณช, 2552) และมีปริมาณกาบาเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกาบา (Saikura et al., 1994; Varayanond et al., 2005; Komatsuzaki et al., 2007; Chung et al., 2009) เป็นผลเนื่องจากในระหว่างกระบวนการงอก เอนไซม์ต่าง ๆ ถูกกระตุ้นให้ทำงานจึงเกิดการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง โดยโปรตีนจะถูกย่อยสลายเป็นเปปไทด์ และกรดอะมิโน กาบาเป็นกรดอะมิโนตัวหนึ่งที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อนำข้าวมาเพาะในหีงอกโดยการแช่น้ำ (Komatsuzaki et al., 2005) และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่ให้นานขึ้นทำให้ กาบามีปริมาณเพิ่มมากขึ้น (Komatsuzaki et al., 2007) โดยปริมาณกาบาของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ และการเพิ่มเวลาที่แช่ที่นานขึ้น พบว่ากาบาก็ยังคงมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มในอัตราเร็วที่น้อยกว่าช่วงแรกของการแช่เมล็ดข้าว (Varayanond et al., 2005)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกาบา (GABA)

Sample	GABA (mg/100g)
JH0	2.77 ^d ± 1.26
JH1	4.60 ^c ± 0.21
JH2	6.18 ^b ± 0.70
JH3	6.28^a ± 0.76
sig	p<0.05
JB0	0.68 ^d ± 6.08
JB1	4.67 ^c ± 3.78
JB2	19.19 ^b ± 4.61
JB3	20.28^a ± 5.24
sig	p<0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกาบา (GABA) (ต่อ)

Sample	GABA (mg/100g)
SH0	2.48 ^d ± 0.93
SH1	5.50^a ± 0.81
SH2	3.41 ^c ± 0.39
SH3	4.97 ^b ± 0.51
sig	p<0.05
SB0	0.96 ^c ± 8.23
SB1	8.24 ^b ± 4.02
SB2	25.83^a ± 6.13
SB3	25.80^a ± 6.11
sig	p<0.05

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J และ S หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวฮางและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ไ้ดงออก งอกน้อย งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ

- a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≥0.05)

4.1.3 ปริมาณวิตามินบี 1

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินบี 1 ของ ข้าวกล้องและข้าวฮางที่ผ่านการแช่ การบ่มข้าวที่สภาวะต่างกัน พบว่าปริมาณวิตามินบี 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ซึ่งข้าวดอกมะลิฮางงอก (JH) อยู่ระหว่าง 0.32 - 0.39 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ข้าวดอกมะลิล้างงอก (JB) อยู่ระหว่าง 0.44 - 0.51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ข้าวเหนียวฮางงอก (SH) อยู่ระหว่าง 0.35 - 0.39 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และข้าวเหนียวกล้องงอก (SB) อยู่ระหว่าง 0.38 - 0.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (แสดงดังตารางที่ 4.3) ซึ่งปริมาณของวิตามินบี 1 ลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มมากขึ้นซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Watchararparpaiboon และคณะ, 2010 ที่ได้รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 เกิดจากระหว่างการงอกเกิดกระบวนการออกซิเดชันได้พลังงานออกมาในรูป ATP และเกิดการสังเคราะห์สาร pyrimidine และ thiazole และสารสองตัวนี้ถูกเอนไซม์ thiamine phosphate synthetase ย่อยสลายเป็น thiamine phosphate และเกิดปฏิกิริยาการเติมหมู่ฟอสเฟตได้เป็น thiamine pyrophosphate ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินบี 1 ปริมาณวิตามินบี 1 จึงเพิ่มขึ้น แต่การในการทดลองนี้มีปริมาณวิตามินบี 1 ลดลง เนื่องจากข้าวในระยะเวลาในการงอกไม่เหมาะสมจึงอาจทำให้วิตามินบี 1 สูญเสียไประหว่างกระบวนการงอกที่ระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่ง Kayahara และคณะ (2000) รายงานว่าการเพิ่มของวิตามินบี 1 ในข้าวกล้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มงอก (pre-germinated brown rice) สูงขึ้น เป็น 3 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาว (polished white rice) แต่ในการทดลองนี้ข้าวกล้องงอกมีวิตามินบี1 ที่มากกว่าข้าวฮางงอก โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินต่าง ๆ นั้นเป็นผลมาจากชนิดของธัญพืช สายพันธุ์คุณภาพของเมล็ด เวลาการแช่ และสภาวะการงอก

ตารางที่ 4.3 ปริมาณวิตามินบี 1

Sample	V.B1 (mg/100g)
JH0	$0.39^a \pm 0.02$
JH1	$0.32^c \pm 0.02$
JH2	$0.39^a \pm 0.02$
JH3	$0.35^b \pm 0.02$
sig	$p < 0.05$
JB0	$0.50^a \pm 0.01$
JB1	$0.51^a \pm 0.01$
JB2	$0.45^b \pm 0.01$
JB3	$0.44^b \pm 0.01$
sig	$p < 0.05$
SH0	$0.39^a \pm 0.02$
SH1	$0.36^b \pm 0.00$
SH2	$0.35^b \pm 0.00$
SH3	$0.35^b \pm 0.00$
sig	$p < 0.05$
SB0	$0.50^a \pm 0.03$
SB1	$0.47^b \pm 0.02$
SB2	$0.40^c \pm 0.02$
SB3	$0.38^c \pm 0.03$
sig	$p < 0.05$

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J และ S หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวฮางและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ได้งอก งอกน้อย งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ
- a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 สมบัติการต้านออกซิเดชัน

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอก ด้วย 2 วิธี คือ 1) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธีการ DPPH (DPPH scavenging activity) 2) ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ด้วยวิธีการ FRAP (ferric reducing antioxidative potential) ของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอกที่ผ่านการแช่ การบ่มข้าวที่สภาวะต่างกัน พบว่าสมบัติการต้านออกซิเดชัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ยกเว้นข้าวฮางมะลิที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งข้าวดอกมะลิฮางงอก (JH) ปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) อยู่ระหว่าง 21.70 - 30.32 $\mu\text{g}/\text{TE}$ และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) อยู่ระหว่าง 11.48 - 14.78 $\mu\text{g}/\text{TE}$ ข้าวดอกมะลิลีงอก (JB) ปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) อยู่ระหว่าง 25.28 - 27.99 $\mu\text{g}/\text{TE}$ และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก อยู่ระหว่าง (FRAP) 7.95 - 16.93 $\mu\text{g}/\text{TE}$ ข้าวเหนียวฮางงอก (SH) ปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) อยู่ระหว่าง 16.91 - 23.09 $\mu\text{g}/\text{TE}$ และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก อยู่ระหว่าง (FRAP) 8.59 - 10.55 $\mu\text{g}/\text{TE}$ และข้าวเหนียวกล้องงอก (SB) ปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) อยู่ระหว่าง 12.45 - 23.09 $\mu\text{g}/\text{TE}$ และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) อยู่ระหว่าง 7.46 - 11.13 $\mu\text{g}/\text{TE}$ (แสดงดังตารางที่ 4.4) ซึ่งปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) เพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มมากขึ้นสมบัติการต้านออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันซึ่งสอดคล้องกับเมธาวิ และสุภารัตน์ (2552) ที่รายงานว่าข้าวกล้องและข้าวกล้องมันปูที่ผ่านการงอกมีสมบัติการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะ และข้าวกล้องงอกมีปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) มากกว่าข้าวฮางงอก โดยการศึกษาของ Ohtsubo et. al. (2005) พบว่า กระบวนการงอกมีผลทำให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณกาบา และสารฟีนอลิกซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันชนิดหนึ่ง

ตารางที่ 4.4 สมบัติการต้านออกซิเดชัน

Sample	DPPH ($\mu\text{g}/\text{TE}$)	FRAP ($\mu\text{g}/\text{TE}$)
JH0	21.70 ^a \pm 0.01	11.48 ^a \pm 0.02
JH1	25.70 ^a \pm 0.09	14.78^a \pm 0.00
JH2	28.45 ^a \pm 0.14	13.89 ^a \pm 0.4
JH3	30.32^a \pm 0.03	12.19 ^a \pm 0.10
sig	p \geq 0.05	p \geq 0.05
JB0	25.28 ^b \pm 0.00	15.90 ^b \pm 0.01
JB1	27.99^a \pm 0.00	16.93^a \pm 0.00
JB2	21.88 ^c \pm 0.00	9.97 ^c \pm 0.00
JB3	18.64 ^d \pm 0.00	7.95 ^d \pm 0.03
sig	p $<$ 0.05	p $<$ 0.05
SH0	16.91 ^b \pm 0.00	8.59 ^b \pm 0.00
SH1	21.71^a \pm 0.19	10.55^a \pm 0.00
SH2	12.45 ^b \pm 0.00	6.85 ^b \pm 0.00
SH3	23.09^a \pm 0.06	9.85^a \pm 0.00
sig	p $<$ 0.05	p $<$ 0.05
SB0	23.93^a \pm 0.00	11.13^a \pm 0.00
SB1	18.65 ^a \pm 0.00	9.95 ^c \pm 0.36
SB2	17.21 ^a \pm 0.00	8.36^a \pm 0.00
SB3	15.28 ^a \pm 0.00	7.46 ^b \pm 0.00
sig	p \geq 0.05	p $<$ 0.05

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J และ S หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวฮางและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ได้งอก งอกน้อย งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ
- a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p $<$ 0.05) และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p \geq 0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การคัดเลือกข้าวางอกสำหรับการผลิตซูปล้างอก

ข้าวฮาง (H) และข้าวกล้อง (B) ผลิตจากข้าวดอกมะลิ 105 (J) และ ข้าวเหนียว กข 6 (S) ซึ่งมีกระบวนการทำให้งอก 4 ระดับ (0 : ไม่งอก , 1 : งอกน้อย , 2 : งอกปานกลาง , 3 : งอกมาก) โดยมีข้าวทั้งหมด 16 ชนิด ในการวิจัยนี้ต้องการเลือกข้าว 4 ชนิดที่ผ่านกระบวนการงอกเพื่อนำไปผลิตซูปล้างอกและซูปล้างอกบรรจุกระป๋อง ดังนั้นเกณฑ์ในการคัดเลือก คือ คุณค่าปริมาณโปรตีน ใยอาหาร ไขมัน วิตามินบี 1 ปริมาณคาบา ปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ที่มีปริมาณสูงของข้าวแต่ละชนิด ซึ่งผลของการคัดเลือกข้าวได้ข้าว 4 ชนิดที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ดังนี้

4.2.1 การคัดเลือกชนิดที่ 1 จากข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิฮางงอก

ข้าวดอกมะลิฮางงอกมาก (JH3) มีปริมาณใยร้อยละ 1.29 ปริมาณคาบา 6.28 mg/100g ปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) 30.32 $\mu\text{g}/\text{TE}$

4.2.2 การคัดเลือกชนิดที่ 2 จากข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิล้างงอก

ข้าวดอกมะลิล้างงอกน้อย (JB1) มีปริมาณใยร้อยละ 1.64 วิตามินบี 1 0.51 mg/100g ปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) 27.99 $\mu\text{g}/\text{TE}$ และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) 16.93 $\mu\text{g}/\text{TE}$

4.2.3 การคัดเลือกชนิดที่ 3 จากข้าวสายพันธุ์ข้าวเหนียวฮางงอก

ข้าวเหนียวฮางงอกน้อย (SH1) มีปริมาณคาบา 5.05 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) 21.71 $\mu\text{g}/\text{TE}$ และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) 10.55 $\mu\text{g}/\text{TE}$

4.2.4 การคัดเลือกชนิดที่ 4 จากข้าวสายพันธุ์ข้าวเหนียวกล้องงอก

ข้าวเหนียวกล้องที่ไม่งอก (SB0) มีปริมาณใยร้อยละ 1.70 วิตามินบี 1 0.50 mg/100g ปริมาณความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) 23.93 $\mu\text{g}/\text{TE}$ และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) 11.13 $\mu\text{g}/\text{TE}$

4.3 สมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวงอก

จากการศึกษาการทำซูปข้าวงอกชนิดต่าง ๆ โดยคัดเลือกข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง 4 ชนิด จากข้าวงอก 16 ตัวอย่าง ที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวงอกต่อน้ำ 3 อัตราส่วน คือ 1 : 8 1 : 10 และ 1 : 12 โดยพบว่า

4.3.1 ลักษณะปรากฏของซูปข้าวงอก

4.3.1.1 ซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อย (JB1)

ซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อย (JB1) บนสุด กลาง และล่างสุด คือ อัตราส่วนของ แป้งข้าวต่อน้ำ 1 : 8 1 : 10 และ 1 : 12 ตามลำดับ (ดังแสดงภาพที่ 4.1) ซึ่งพบว่า

ซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อยที่อัตราส่วน 1 : 8 พบว่า ซูปข้าวงอกมีสีเหลืองเข้ม ซูปข้าวงอกมีความข้นหนืดสูง ไม่จับการเป็นก้อนของเม็ดแป้ง มีความเป็นเนื้อเดียวกันของซูป

ซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อยที่อัตราส่วน 1 : 10 พบว่า ซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อย มีสีเหลืองอ่อน และมีความข้นหนืดรองจากซูปข้าวงอกที่อัตราส่วน 1 : 8 โดยที่ซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อยมีความข้นหนืดที่ไม่จับการเป็นก้อนของเม็ดแป้ง มีความเป็นเนื้อเดียวกันของซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อย

ซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อยที่อัตราส่วน 1 : 12 พบว่า ซูปข้าวมีสีขาวและมีความข้นหนืด รองจากซูปข้าวงอกอัตราส่วน 1 : 8 และ 1 : 10 โดยที่ซูปข้าวงอกมีความข้นหนืดที่ไม่จับกันเป็นก้อนของเม็ดแป้ง และมีความเป็นเนื้อเดียวกันของซูปข้าวงอก

4.3.1.2 ซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมาก (JH3)

ซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมาก (JH3) บนสุด กลาง และล่างสุด คือ อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ 1 : 8 1 : 10 และ 1 : 12 ตามลำดับ (ดังแสดงภาพที่ 4.1) ซึ่งพบว่า

ซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมาก ที่อัตราส่วน 1 : 8 พบว่า ซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมาก มีสีเหลืองทอง มีความข้นหนืดมากที่สุดของอัตราส่วน โดยที่ซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมากมีความข้นหนืดสูง มีการจับกันเป็นก้อนของเม็ดแป้งเล็กน้อย มีความเป็นเนื้อเดียวกันของซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมาก

ซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมากที่อัตราส่วน 1 : 10 พบว่า ซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมาก มีสีเหลืองอ่อน และมีความข้นหนืด รองจากซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมากที่อัตราส่วน 1 : 8 โดยที่ซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมากมีความข้นหนืดที่ไม่จับกันเป็นก้อนของเม็ดแป้ง มีความเป็นเนื้อเดียวกันซูปข้าวดอกมะลิฮางอกมาก

ชุปข้าวดอกมะลิสาบงอกมากที่อัตราส่วน 1 : 12 พบว่า ชุปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก มีสีขาวเหลือง และมีความขุ่นหนืด รองจากชุปข้าวดอกมะลิสาบงอกมากที่อัตราส่วน 1 : 8 และ 1 : 10 โดยที่ชุปข้าวดอกมะลิสาบงอกมากมีความขุ่นหนืดที่ไม่จับกันเป็นก้อนของเม็ดแป้ง และมีความเป็นเนื้อเดียวกันชุปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก

4.3.1.3 ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย (SH1)

ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย (SH1) บนสุด กลาง และล่างสุด คือ อัตราส่วนของแป้งข้าว ต่อ น้ำ 1 : 8 1 : 10 และ 1 : 12 ตามลำดับ (ดังแสดงภาพที่ 4.1) ซึ่งพบว่า

ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ที่อัตราส่วน 1 : 8 พบว่า ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย มีสีเหลืองทอง มีความขุ่นหนืดมากที่สุดของอัตราส่วน โดยที่ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อยจับตัวเป็นก้อน คล้ายแป้งเปียก โดยเมื่อคนชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ทำให้ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ติดช้อนตอคน คนมาก

ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ที่อัตราส่วน 1 : 10 พบว่า ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย มีสีเหลืองอ่อน และมีความขุ่นหนืด รองจากชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ที่อัตราส่วน 1 : 8 โดยที่ ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย จับตัวเป็นก้อนคล้ายแป้งเปียก โดยเมื่อคนชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ทำให้ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ติดช้อนตอคนการคน

ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ที่อัตราส่วน 1 : 12 พบว่า ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย มีสีขาวเหลือง และมีความขุ่นหนืด รองจากชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อยที่อัตราส่วน 1 : 8 และ 1 : 10 โดยที่ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ในอัตราส่วนนี้ก็ยังมี การจับตัวเป็นก้อนคล้ายแป้งเปียกอยู่ โดยเมื่อคนชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อยทำให้ชุปข้าวเหนียวสาบงอกน้อย ติดช้อนตอคนการคน

4.3.1.4 ชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอก (SB0)

ชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอก (SB0) บนสุด กลาง และล่างสุด คือ อัตราส่วนของแป้งข้าว ต่อ น้ำ 1 : 8 1 : 10 และ 1 : 12 ตามลำดับ (ดังแสดงภาพที่ 4.1) ซึ่งพบว่า

ชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอก ที่อัตราส่วน 1 : 8 พบว่า ชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอก มีสีเหลืองอ่อน มีความขุ่นหนืดมากที่สุดของอัตราส่วน โดยที่ชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอกจับตัวเป็น ก้อนคล้ายแป้งเปียก โดยเมื่อคนชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอกทำให้ชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอกติด ช้อนตอคนการคน

ชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอก ที่อัตราส่วน 1 : 10 พบว่า พบว่า ชุปข้าวเหนียวกล็อง ที่ไม่งอกมีสีเหลืองอ่อน และมีความขุ่นหนืด รองจากชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอกที่อัตราส่วน 1 : 8 โดยที่ชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอกจับตัวเป็นก้อนคล้ายแป้งเปียกเล็กน้อย โดยเมื่อคนชุปข้าว เหนียวกล็องที่ไม่งอกทำให้ชุปข้าวเหนียวกล็องที่ไม่งอกติดช้อนตอคนการคน

ซูปข้าวเหนียวกลิ้งที่ไม่งอก ที่อัตราส่วน 1 : 12 พบว่า ซูปข้าวเหนียวกลิ้งที่ไม่งอกมีสีขาวเหลือง และมีความข้นหนืด รองจากซูปข้าวเหนียวกลิ้งที่ไม่งอกที่อัตราส่วน 1 : 8 และ 1 : 10 โดยที่ซูปข้าวเหนียวกลิ้งที่ไม่งอกในอัตราส่วนนี้ก็ยังมีการจับตัวเป็นก้อนคล้ายแป้งเปียกอยู่แต่น้อยกว่าทุก Condition โดยเมื่อคนซูปข้าวเหนียวกลิ้งที่ไม่งอกทำให้ซูปข้าวเหนียวกลิ้งที่ไม่งอกติดช้อนตอนการคนอยู่



(1) (2) (3) (4)

ภาพที่ 4.1 ซูปข้าวจากข้าวจาก 4 ชนิดที่ใช้อัตราส่วนแป้งข้าวจากต่อน้ำต่างกัน และที่มีลักษณะปรากฏต่าง ๆ กัน

หมายเหตุ : - (1) ข้าวดอกมะลิกลิ้งงอกน้อย (JB1) (2) ข้าวดอกมะลิขางงอกมาก (JH3)

(3) ข้าวเหนียวขางงอกน้อย (SH1) (4) ข้าวเหนียวกลิ้งที่ไม่งอก (SB0)

- บนสุด กลาง และล่างสุด คือ อัตราส่วนแป้งข้าวจากต่อน้ำ 1 : 8 1 : 10 และ 1 : 12 ตามลำดับ

จากลักษณะปรากฏของซูปข้าวจากทั้ง 4 ชนิด (แสดงดังภาพที่ 4.1) พบว่า แป้งข้าวที่ได้มาจากข้าวเหนียว เมื่อนำมาผลิตซูปข้าวจากแล้วพบว่าความข้นหนืด (viscosity) ของซูปข้าวเหนียวจากมีความข้นหนืดมากเกินไปในอัตราส่วนของแป้งข้าวจากต่อน้ำที่ 1:8 1:10 และ 1:12 เนื่องจากสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน การจัดเรียงตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินภายในเม็ดแป้งข้าวเหนียว ส่วนใหญ่ในเม็ดแป้งข้าวเหนียวเป็นอะไมโลเพกติน (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) ซึ่งเมื่อให้ความร้อนกับน้ำ ทำให้โมเลกุลของแป้งในเม็ดข้าวได้รับความร้อน ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนมีการคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ทำให้น้ำแป้งมีความหนืด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และใซ้ขึ้น โมเลกุลของ แป้งเกิด เจลลาติไนเซชัน (อรอนงค์, 2547) พันธะไฮโดรเจนของแป้งข้าวเหนียว จะคลายตัว ทำให้เกิดเจลาติไนซ์ ซึ่งปริมาณของอะไมโลเพคตินสูงมีความสำคัญมากต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง จะเกิดการคืนตัวได้ช้า ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Fan และ Marks, 1998) ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพคติน มีลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขามากทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้ยาก (Whistler และ Bemiller, 1999) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ซูบข้าวเหนียวงอกมีความชื้นเหน็ดและมีความเหนียวมาก จึงไม่สามารถนำมาผลิตซูบในอัตราส่วนดังกล่าวได้

ดังนั้นจึงเลือกข้าวจากสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิที่มีองค์ประกอบทางเคมีสูง 2 ชนิด มาผลิตซูบข้าวงอกและซูบข้าวงอกบรรจุกระป๋อง คือ ข้าวดอกมะลิฮางงอกงอกมาก (JH3) ข้าวดอกมะลิกล่องงอกน้อย (JB1) มาศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงกายภาพของซูบข้าวงอกและซูบข้าวงอกบรรจุกระป๋อง

4.3.2 ผลของชนิดและอัตราส่วนข้าวงอกต่อหน้าที่มีต่อสีของซูบข้าวงอก

สีเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Maskan, 2001 และ Moreira และคณะ, 2009) จากการทดลองวัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของซูบข้าวงอก พบว่า ชนิดของข้าว และอัตราส่วนของข้าวงอกต่อน้ำมีปฏิสัมพันธ์กันในค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์ซูบข้าวงอก แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันในด้านค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของผลิตภัณฑ์ซูบข้าวงอก (แสดงดังตารางที่ 4.5)

จากการวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ซูบข้าวงอก ได้แก่ ชนิดของข้าว และอัตราส่วนของข้าวงอกต่อน้ำ ที่มีต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ซูบข้าวงอก พบว่า ซูบข้าวดอกมะลิฮางงอกงอกมาก (JH3) และซูบข้าวดอกมะลิกล่องงอกน้อย (JB1) มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) ไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) จากซูบข้าวงอกต่างชนิด และอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำที่ต่างกันซึ่งซูบข้าวดอกมะลิกล่องงอกน้อย (JB1) และซูบข้าวดอกมะลิฮางงอกงอกมาก (JH3) มีค่าความสว่าง (L^*) ของซูบข้าวกล่องหอมมะลิ (JB1) มีค่าความสว่างมากกว่า ซูบข้าวดอกมะลิฮางงอกงอกมาก (JH3) ซึ่งค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 38.07 - 39.73 และ 35.03 - 37.53 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของซูบข้าวมีการติดลบซึ่งหมายถึงเอนเอียงไปทางสีเขียว ซึ่งซูบข้าวกล่องหอมมะลิ (JB1) มีค่าความเป็นสีแดงน้อยกว่าซูบข้าวดอกมะลิฮางงอกงอกมาก (JH3) ซึ่งค่าความเป็นสีแดงอยู่ระหว่าง (-)1.30 - (-)1.07 และ (-)1.60 - (-)1.33 และค่าสีเหลือง (b^*) ของซูบข้าวดอกมะลิกล่องงอกน้อย (JB1) มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่าซูบข้าวดอกมะลิฮางงอกงอกมาก (JH3) มีค่าความเป็นสีเหลืองอยู่ระหว่าง 4.40 - 5.10 และ 3.73 - 2.33 (แสดงดังตารางที่ 4.5) เนื่องจากองค์ประกอบในแป้งข้าวของทั้งสองชนิดที่แตกต่างกัน และกรรมวิธีการทำข้าวทั้งสองชนิดที่แตกต่างกัน คือ ข้าวกล่องงอกน้อยที่เป็นข้าวที่ผ่านการขัดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงครั้งเดียว เพียงเพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าว (มอกช. 4000-2546) ซึ่งมีสีเหลืองอ่อนของแป้งข้าวกล้อง ส่วนข้าวฮางเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่แล้วนำมาหนึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือด ผึ่งลมให้แห้ง ก่อนการไปขัดสี เป็นข้าวสารโดยกระบวนการนี้ ก่อนการขัดสีจึงทำให้ข้าวฮางมีสีเหลืองทอง ซึ่งส่งผลให้สีของเปลือกกระจายตัวลงสู่เมล็ดข้าว

ผลการศึกษ้อัตราส่วนของแป้งข้าวดอกมะลิฮางงอกมาก (JH3) และแป้งข้าวดอกมะลิลีงอกน้อย (JB1) ต่อน้ำ พบว่าอัตราส่วนของแป้งข้าวดอกมะลิฮางงอกมาก (JH3) และแป้งข้าวดอกมะลิลีงอกน้อย (JB1) ต่อน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความความสว่าง (L^*) ความแตกต่างของค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ในการผลิตซูปข้าวฮาง (แสดงดังตารางที่ 4.5) ซึ่งซูปข้าวดอกมะลิลีงอกน้อย (JB1) มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ได้มากกว่าซูปข้าวดอกมะลิฮางงอกมาก (JH3) และเมื่อวัตถุดิบได้รับความร้อนจะทำให้โมเลกุลของน้ำแยกออก และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำในผลิตซูปข้าวฮางส่งผลให้สารสีของแป้งข้าวฮางถูกชะด้วยน้ำเพิ่มมากขึ้น ทำให้สีของแป้งข้าวฮางเพิ่มขึ้น (Islam และคณะ, 2004) และแป้งข้าวฮางในระหว่างการผลิตซูปข้าวฮางจะมีการดูดน้ำเข้าไปในเม็ดแป้งเกิดการบวมพองและปริแตก เมื่อเม็ดข้าวปริแตกออกในส่วนด้านในเม็ดข้าวจะเป็นสีขาวซึ่งส่งผลให้ ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น และค่าสีเหลืองลดลง (นิธิยา, 2549) และค่าความแตกต่างของสีเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ผลของชนิดและอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่มีต่อสีของซูปข้าวดอกมะลิลีงอกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิฮางงอกมาก (JH3)

Condition	L^*	a^*	b^*
Soup JB1 1 : 8	39.73 ± 0.25^a	-1.30 ± 0.26^a	4.40 ± 0.56^a
Soup JB1 1 : 10	38.73 ± 0.15^b	-1.23 ± 0.40^a	4.00 ± 0.61^{bc}
Soup JB1 1 : 12	38.07 ± 0.57^c	-1.07 ± 0.12^a	5.10 ± 0.10^a
Soup JH3 1 : 8	35.23 ± 0.25^d	-1.60 ± 0.82^a	3.73 ± 0.35^{bc}
Soup JH3 1 : 10	37.60 ± 0.35^c	-1.50 ± 0.52^a	3.13 ± 0.47^d
Soup JH3 1 : 12	37.53 ± 0.15^c	-1.33 ± 0.23^a	2.33 ± 1.02^{dc}

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 ; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวฮางและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ได้งอก งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ
- a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

4.3.3 ผลของชนิดและอัตราส่วนข้าวออกต่อน้ำที่มีต่อความหนืดของซูปข้าวออก

จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของซูปข้าวออก พบว่าซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) มีค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อย (JB1) มีความหนืดอยู่ที่ 2,288.00 - 3,621.17 cps. และซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) มีความหนืดอยู่ที่ 4,532.00 - 5,742.43 cps. (แสดงดังตารางที่ 4.6) โดยที่จิรนาถ และนวลพรรณ (2547) ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ซูปเปลือกเสริมสมุนไพรกิ่งสำเร็จรูป โดยค่าความหนืดอยู่ที่ 1,150.00 - 3,000.00 cps. ซึ่งมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับซูปข้าวออกในงานวิจัยนี้ โดยซูปข้าวออกเป็นของไหลประเภทยืดหยุ่นตัว (viscoelastic Fluids) โดยเมื่อสกัดส่วนน้ำที่ใช้ทำ ซูปข้าวออกที่ลดลงส่งผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ตามปริมาณน้ำที่ลดลงด้วยตามลำดับ โดยพบว่าซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) ในอัตราส่วนของแป้งข้าวออกทั้ง 2 ชนิดต่อน้ำ 1:8 มีค่าความหนืดสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวออกที่อัตราส่วนอื่น และซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) มีค่าความหนืดสูงกว่าซูปข้าวดอกมะลิกลี้งอกน้อย (JB1) ซึ่งค่าความหนืดขึ้นกับชนิดข้าวและสัดส่วนของแป้งข้าวออกต่อน้ำที่ใช้ เนื่องจากกระบวนการผลิตข้าวแต่ละชนิดที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้องค์ประกอบในเมล็ดของแป้งในข้าวต่างกันอีกด้วย ซึ่งการผลิตข้าวสาบงอกมีกรรมวิธีก่อนส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนมีการคลายตัวลงเม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวทำให้น้ำแป้งมีความหนืดและใสขึ้น โมเลกุลของแป้งเกิดเจลลาติไนเซชัน (อรอนงค์, 2547) ซึ่งโครงสร้างของข้าวสาบงอกมีอะไมโลสและอะไมโลเพกตินโดนชะออกมาแล้วบางส่วนจึงส่งผลให้แป้งข้าวสาบงอกมาก (JH3) มีการละลายที่ต่ำกว่าแป้งข้าวกลี้งอกน้อย (JB1) และเนื่องจากความร้อนขึ้นจากกระบวนการผลิตทำให้อะไมโลเพกตินจัดเรียงตัวใหม่และมีการจับตัวกันแน่นกว่าเดิม (ชุติมา และคณะ, 2554) ทำให้มีความหนืดที่มากขึ้นกว่าแป้งข้าวกลี้งอก เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนแป้งจะค่อย ๆ ดูดซับน้ำและพองตัวใหญ่ขึ้นส่งผลต่อปริมาตรของเม็ดแป้งที่เพิ่มเข้าไปแทนที่น้ำอิสระ (free water) ทำให้อะไมโลเพกตินที่เหลือน้อยรอบ ๆ เม็ดแป้งลดน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น (Zhang et al., 1997) ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งลดลงและทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มสูงขึ้นเม็ดแป้งพองมากขึ้นจนผนังเซลล์ไม่สามารถทนทานได้ก็จะแตกตัว รวมทั้งการกวนอย่างต่อเนื่องทำให้โครงสร้างภายในแตกออกความหนืดลดลง ต่อมาอุณหภูมิลดลงทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชัน (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546) ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีกเนื่องจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้งโดยเม็ดแป้งยังมีความสัมพันธ์ของตัวไขมันและโปรตีน เนื่องจากโปรตีนจะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโปรตีนและไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง ทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับเม็ดแป้งในเม็ดข้าว (Sarepuang และคณะ, 2008) เกิดโครงสร้างที่แน่นขึ้นส่งผลให้การพองตัวเกิดได้ยากขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลของชนิดและอัตราส่วนข้าวงอกต่อน้ำที่มีต่อความหนืดของซูปข้าวมะลิลีค็องกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิสางอกมาก (JH3)

Condition	Viscosity (rpm)
Soup JB1 1 : 8	3,621.17 ± 76.93 ^d
Soup JB1 1 : 10	3,048.37 ± 95.25 ^c
Soup JB1 1 : 12	2,288.00 ± 30.56 ^f
Soup JH3 1 : 8	5,742.43 ± 72.53 ^a
Soup JH3 1 : 10	5,092.33 ± 130.51 ^b
Soup JH3 1 : 12	4,532.00 ± 75.05 ^c

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 ; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวฮางและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ได้งอก งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ

- a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

4.3.4 ผลของชนิดและอัตราส่วนของข้าวงอกต่อน้ำที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวงอก

ข้าวเป็นแหล่งสำคัญของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นพืช (Sarepuang และคณะ, 2008) จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และองค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวงอก โดยหาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตตามวิธีการของ AOAC (2000) ของซูปข้าวงอกทั้ง 3 อัตราส่วน พบว่าซูปข้าวดอกมะลิลีค็องกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิสางอกมาก (JH3) ความชื้น เถ้า และไขมัน ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งโปรตีนและเยื่อใยมีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (แสดงดังตารางที่ 4.7) และจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีทางคุณค่าทางโภชนาการของซูปข้าวงอกพบว่าในผลิตซูปข้าวงอกที่มีปริมาณสัดส่วนของน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใยลดลง โดยซูปข้าวดอกมะลิลีค็องกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิสางอกมาก (JH3) มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 90.01 - 94.15 และร้อยละ 92.89 - 94.61 ปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 2.22 - 2.25 และร้อยละ 2.22 - 2.28 ไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 0.16 และร้อยละ 0 - 0.21 เยื่อใยร้อยละ 1.08 - 1.26 และร้อยละ 10.23 - 1.33 เถ้าร้อยละ 0.05 - 0.11 และร้อยละ 0.06 - 0.09 ซึ่งชนิดของข้าวก็ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในข้าวงอก โดยข้าวงอกที่เพาะมาจากข้าวสายพันธุ์ที่แตกต่างกันจะให้องค์ประกอบเคมีที่แตกต่างกันไป โดยการที่ใช้อุณหภูมิสูงในการสเตอริไลเซชันทำให้พันธะระหว่างสายโพลีเปปไทด์อ่อนแอทำลายโครงสร้างของโปรตีนทำลายพันธะระหว่างโปรตีนกับน้ำ (นิธิยา, 2549) และในผลิตซูปข้าวงอกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในสารอาหารเช่น ไขมัน โปรตีน

ฟอสฟอรัสแมกนีเซียมและถั่ว โดยน้ำจะชะไขมัน โปรตีน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียมและถั่วออกมา ในระหว่างทำซูปข้าววงอก (Ebuehi และ Oyewole, 2008 และ Daomukda และคณะ, 2011)

ตารางที่ 4.7 ผลของชนิดและอัตราส่วนของข้าววงอกต่อน้ำที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของ ซูปข้าวมะลิกล้องงอกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิสางงอกมาก (JH3)

Condition	Mc (%)	Protein (%)	Ash (%)	Crude Fiber (%)	Lipid (%)
Soup JB1 1 : 8	90.01 ± 0.39 ^f	2.25 ± 0.13 ^a	0.11 ± 0.02 ^a	1.26 ± 0.20 ^a	0.16 ± 0.10 ^b
Soup JB1 1 : 10	92.55 ± 0.03 ^d	2.22 ± 0.08 ^a	0.09 ± 0.02 ^{ab}	1.09 ± 0.09 ^a	0.05 ± 0.00 ^c
Soup JB1 1 : 12	94.15 ± 0.06 ^c	2.19 ± 0.08 ^a	0.05 ± 0.02 ^{ab}	1.08 ± 0.09 ^a	0.00 ± 0.00 ^c
Soup JH3 1 : 8	92.89 ± 0.14 ^c	2.28 ± 0.13 ^a	0.09 ± 0.01 ^b	1.33 ± 0.29 ^a	0.48 ± 0.08 ^a
Soup JH3 1 : 10	92.82 ± 0.14 ^d	2.27 ± 0.13 ^a	0.07 ± 0.01 ^{ab}	1.24 ± 0.10 ^a	0.14 ± 0.16 ^b
Soup JH3 1 : 12	94.61 ± 0.27 ^a	2.22 ± 0.08 ^a	0.06 ± 0.02 ^{ab}	1.23 ± 0.21 ^a	0.20 ± 0.10 ^b

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 ; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวฮางและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ได้งอก งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ

- a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

4.4 สมบัติเชิงกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ของซูปข้าววงอกบรรจุกระป๋อง

4.4.1 ผลของชนิดและอัตราส่วนข้าววงอกต่อน้ำที่มีต่อสีของซูปข้าววงอกบรรจุกระป๋อง

จากการทดลองวัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของซูปข้าววงอกบรรจุกระป๋อง พบว่า ชนิดของข้าว และอัตราส่วนของข้าววงอกต่อน้ำมีปฏิสัมพันธ์กันในด้านความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์ซูปข้าววงอก แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันในด้านความเป็นสีแดง (a^*) ของผลิตภัณฑ์ซูปข้าววงอกบรรจุกระป๋อง (แสดงดังตารางที่ 4.8)

ซูปข้าววงอกบรรจุกระป๋องมีอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำที่ต่างกัน พบว่าในผลิตภัณฑ์ซูปข้าววงอกที่มีปริมาณอัตราส่วนของน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสีลดลง ซึ่งซูปข้าวดอกมะลิกล้องงอกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิสางงอกมาก (JH3) มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 37.47 - 41.80 และ 34.10 - 37.20 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) อยู่ระหว่าง (-)1.26 - (-)1.67 และ (-)1.30 - (-)0.80 ค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ระหว่าง 5.67 - 5.00 และ 4.73 - 6.71 (แสดงดังตารางที่ 4.8)

จากการวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ซูปข้าววงอก ได้แก่ ชนิดของข้าว และอัตราส่วนของข้าววงอกต่อน้ำ ที่มีต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ซูปข้าววงอก พบว่า ซูปข้าวดอกมะลิสางงอกมาก (JH3) และซูปข้าวดอกมะลิกล้องงอกน้อย (JB1) ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ไม่มีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งค่าความเป็นสีแดง (a^*) ติดลบแสดงว่า มีความเอนเอียงไปทางค่าความเป็น
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเขียว ($-a^*$) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ซุปรักษาผักบรอกโคลีป้องกันมีสีค่อนข้างไปทางค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ตามลำดับ และซึ่งซุปรักษาผักดอกมะลิกลีบงอกน้อย (JB1) มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ที่มากกว่าซุปรักษาผักดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่น้อยกว่าซุปรักษาผักดอกมะลิสาบงอกมาก เนื่องจากข้าวกล้องงอกน้อยที่เป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว เพียงเพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าว (มอกข. 4000-2546) ซึ่งมีสีเหลืองอ่อนของแป้งข้าวกล้อง ส่วนข้าวฮางเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่แล้วนำมาซึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือด ซึ่งลมน้ำให้แห้ง ก่อนการนำไปขัดสีเป็นข้าวสาร โดยกระบวนการนี้ ก่อนการขัดสีจึงทำให้ข้าวฮางมีสีเหลืองทอง จึงทำให้ซุปรักษาผักบรอกโคลีป้องกัน มีสีค่อนข้างไปทางสีเหลือง (b^*) และพบว่าเมื่อใช้ความร้อนที่สูงในการฆ่าเชื้อระดับการสเตอริไลซ์ (sterilization) ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หรือที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) เท่ากับ 3 นาที คัดแปลงจาก อรรถวรรณ (2554) นั้นค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลงเนื่องจากแป้งข้าวที่ใช้ในการผลิตซุปรักษาผักบรอกโคลีป้องกัน เมื่อแป้งข้าวงอกดังกล่าวได้รับความร้อนจะทำให้โมเลกุลของน้ำแยกออกจะทำให้โมเลกุลของน้ำแยกออก และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำในผลิตซุปรักษาผักบรอกโคลีให้สารสีของแป้งข้าวงอกถูกชะด้วยน้ำเพิ่มมากขึ้น ทำให้สีของแป้งข้าว สว่างเพิ่มขึ้น (Islam และคณะ, 2004) และแป้งข้าวงอกในระหว่างการผลิตซุปรักษาผักบรอกโคลีจะมีการดูดน้ำเข้าไปในเมล็ดข้าวเกิดการบวมพองและปริแตกเมื่อเมล็ดข้าวปริแตกออกในส่วนด้านในเมล็ดข้าวจะเป็นสีขาวซึ่งส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้นและค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง (นิธิยา, 2549)

ตารางที่ 4.8 ผลของชนิดและอัตราส่วนข้าวงอกต่อน้ำที่มีต่อสีของซุปรักษาผักดอกมะลิกลีบงอกน้อย (JB1) และซุปรักษาผักดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) บรอกโคลีป้องกัน

Condition	L^*	a^*	b^*
Soup JB1 1 : 8	41.80 ± 0.17^c	-1.26 ± 0.29^{abc}	5.67 ± 0.06^a
Soup JB1 1 : 10	38.70 ± 0.17^d	-1.77 ± 0.06^a	5.06 ± 0.06^a
Soup JB1 1 : 12	37.47 ± 0.32^c	-1.67 ± 0.76^a	5.00 ± 0.40^a
Soup JH3 1 : 8	37.20 ± 0.34^c	-1.30 ± 0.17^{abc}	6.71 ± 0.87^b
Soup JH3 1 : 10	35.67 ± 0.23^b	-1.00 ± 0.26^{ab}	4.94 ± 0.55^a
Soup JH3 1 : 12	34.10 ± 0.26^a	-0.80 ± 0.26^c	4.73 ± 0.55^a

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 ; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวฮางและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ได้งอก งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ

- a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.4.2 ผลของชนิดและอัตราส่วนข้าวออกต่อน้ำที่มีต่อค่าความหนืดของซูปข้าวงอกบรรจุกระป๋อง

จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของซูปข้าวงอก พบว่าซูปข้าวดอกมะลิกลี้องกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) มีค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งซูปข้าวดอกมะลิกลี้องกน้อย (JB1) มีความหนืดอยู่ที่ 2,943.33 - 3,835.66 cps. และซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) มีความหนืดอยู่ที่ 4,841.50 - 5,972.38 cps. (แสดงดังตารางที่ 4.9)

ซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) มีค่าความหนืดสูงกว่า และสีเหลืองที่อ่อนกว่า ซูปข้าวดอกมะลิกลี้องกน้อย (JB1) โดยที่ลักษณะของซูปข้าวดอกมะลิกลี้องกน้อย (JB1) มีสีเหลืองอ่อน มีความเป็นเนื้อเดียวกันทั้ง 3 อัตราส่วน และซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) มีสีเหลืองทอง มีความเป็นเนื้อเดียวกันทั้ง 3 อัตราส่วน แต่มีความข้นหนืดสูงและมีการเกาะเป็นก้อนของเม็ดแป้ง คล้ายแป้งเปียก โดยสีของซูปข้าวงอกที่มีสีเหลืองของซูปทั้ง 2 ชนิด ที่ 3 อัตราส่วนนั้น สีเหลืองของอัตราส่วนของซูปข้าวที่มีอัตราส่วนของน้ำน้อยจะมีสีเหลืองเข้มและอ่อนลงเมื่ออัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสัดส่วนของน้ำที่ใช้ทำซูปข้าวงอกที่ลดลงส่งผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ตามปริมาณน้ำที่ลดลงด้วยตามลำดับ โดยพบว่าซูปข้าวดอกมะลิกลี้องกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) ในอัตราส่วนของแป้งข้าวงอกทั้ง 2 ชนิดต่อน้ำ 1 : 8 มีค่าความหนืดสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวงอกที่อัตราส่วนอื่น ซึ่งค่าความหนืดขึ้นกับชนิดข้าวและสัดส่วนของแป้งข้าวงอกต่อน้ำที่ใช้ เนื่องจากกระบวนการผลิตข้าวแต่ละชนิดที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้องค์ประกอบในเม็ดของแป้งในข้าวต่างกันอีกด้วย ค่าความหนืดของซูปข้าวงอกบรรจุกระป๋อง พบว่าหลังสถานะฆ่าเชื้อระดับการสเตอริไลซ์ (sterilization) ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หรือที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) เท่ากับ 3 นาที คัดแปลงจาก อรพรรณ (2554) ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูง และระยะเวลาที่นานจะทำให้น้ำถูกระเหยออกไป (วิไล, 2545) มีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำที่เป็นองค์ประกอบในซูปข้าวงอกบรรจุกระป๋อง จึงมีผลทำให้เกิดความหนืดเพิ่มขึ้น และซูปข้าวดอกมะลิสาบงอกมาก (JH3) มีความหนืดที่มากกว่าซูปข้าวดอกมะลิกลี้องกน้อย (JB1) เนื่องจากการผลิตข้าวสาบงอกมีการให้น้ำมาก่อนส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนมีการคลายตัวลงเม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวทำให้น้ำแป้งมีความหนืดและใสขึ้น โมเลกุลของแป้ง เกิดเจลลาติไนเซชัน (อรอนงค์, 2547) ซึ่งโครงสร้างของข้าวสาบงอกมีอะไมโลสและอะไมโลเพคตินโค่นชะออกมาแล้วบางส่วนจึงส่งผลให้แป้งข้าวสาบงอกมาก (JH3) มีการละลายที่ต่ำกว่าแป้งข้าวกลี้องกน้อย (JB1) และเนื่องจากความร้อนขึ้นจากกระบวนการผลิตทำให้อะไมโลเพคตินจัดเรียงตัวใหม่และมีการจับตัวกันแน่นกว่าเดิม (ชุตินา และคณะ, 2554) ทำให้มีความหนืดที่มากกว่า

ตารางที่ 4.9 ผลของชนิดและอัตราส่วนข้าวออกต่อน้ำที่มีต่อความหนืดของซูปข้าวมะลิล็องงอกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิฮางงอกมาก (JH3) บรรจุกระป๋อง

Condition	Viscosity (rpm)
Soup JB1 1 : 8	3,835.66 ± 168.86 ^d
Soup JB1 1 : 10	3,479.00 ± 52.05 ^c
Soup JB1 1 : 12	2,943.33 ± 45.83 ^f
Soup JH3 1 : 8	5,972.38 ± 28.36 ^a
Soup JH3 1 : 10	5,372.38 ± 18.02 ^b
Soup JH3 1 : 12	4,841.50 ± 54.93 ^c

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 ; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวฮางและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ได้งอก งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ

- a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

4.4.3 ผลของชนิดและอัตราส่วนข้าวออกต่อน้ำที่มีต่อเปลี่ยนแปลงของคุณค่าทางโภชนาการ และองค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวออกบรรจุกระป๋อง

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และองค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวออกบรรจุกระป๋อง โดยหาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตตามวิธีการของ AOAC (2000) ของซูปข้าวออก ทั้ง 3 อัตราส่วน พบว่าซูปข้าวดอกมะลิล็องงอกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิฮางงอกมาก (JH3) พบว่า ความชื้น เถ้า และไขมัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่ง โปรตีนและเยื่อใย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (แสดงดังตารางที่ 4.3) และจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของซูปข้าวออกบรรจุกระป๋องพบว่าในผลิตภัณฑ์ซูปข้าวออกบรรจุกระป๋องที่มีปริมาณสัดส่วนของน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และมีปริมาณ โปรตีน ไขมัน เยื่อใยลดลง โดยซูปข้าวดอกมะลิล็องงอกน้อย (JB1) และซูปข้าวดอกมะลิฮางงอกมาก (JH3) มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 89.67 - 92.20 และร้อยละ 88.63 - 91.98 ปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 2.20 - 2.22 และร้อยละ 2.17 - 2.31 ไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0 และร้อยละ 0 - 0.21 เยื่อใยร้อยละ 1.02 - 1.33 และร้อยละ 1.05 - 1.36 เถ้าร้อยละ 0.11 - 0.13 และร้อยละ 0.10 - 0.14 พบว่าหลังจากการสเตอริไลซ์ (sterilization) ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หรือที่ระดับความร้อน ในการฆ่าเชื้อ (F_0) เท่ากับ 3 นาที คัดแปลงจาก อรวรรณ (2554) หลังจากการหลังจากการสเตอริไลซ์ พบว่า ความชื้นลดลง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูง และระยะเวลาที่นาน จะทำให้น้ำถูกระเหยออกไป (วิไล, 2545) จึงทำให้ความชื้นลดลง ซึ่งส่งผลกับค่าความหนืดที่เพิ่มมากขึ้น ในส่วนของโปรตีน พบว่าหลังการฆ่าเชื้อตามลำดับ ปริมาณในส่วนของโปรตีนมีค่าลดลง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงมีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง (อบเชย ,2544) แต่เถ้าและเยื่อใย พบว่า เถ้าลดลงเมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อข้าวอกเพิ่มมากขึ้นทั้งก่อนการฆ่าเชื้อ และหลังการฆ่าเชื้อ ปริมาณเถ้าที่ตรวจพบนั้นเป็นผลเนื่องจากปริมาณเยื่อใย ซึ่งปริมาณเถ้าสามารถบอกถึงคุณภาพของอาหารได้ เพราะเถ้าเป็นสารประกอบอนินทรีย์ โดยส่วนใหญ่จะเป็นพวกแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งถ้ามีจำนวนของเถ้าเหลือในปริมาณสูง อาจแสดงถึงนัยว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีแร่ธาตุอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งการฆ่าเชื้อโดยวิธีการสเตอริไลเซชันทำให้เกิดการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรต และไขมัน แต่คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง โปรตีนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติในกระป๋อง และมีการสูญเสียกรดอะมิโนประมาณร้อยละ 10 - 20 เนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อน เถ้า ปริมาณเถ้าที่ตรวจพบนั้นเป็นผลเนื่องจากปริมาณเยื่อใย ซึ่งปริมาณเถ้าสามารถบอกถึงคุณภาพของอาหารได้ เพราะเถ้าเป็นสารประกอบอนินทรีย์ โดยส่วนใหญ่จะเป็นพวกแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งถ้ามีจำนวนของเถ้าเหลือในปริมาณสูง อาจแสดงถึงนัยว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีแร่ธาตุอยู่ในปริมาณมาก (อบเชย ,2544)

ตารางที่ 4.10 ผลของชนิดและอัตราส่วนของข้าวอกต่อน้ำที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของ ซุปข้าวมะลิลดลองอกน้อย (JB1) และซุปข้าวดอกมะลิซางอกมาก (JH3) บรรจุกระป๋อง

Condition	Mc (%)	Protein (%)	Ash (%)	Crude Fiber (%)	Lipid (%)
Soup JB1 1 : 8	89.67 ± 0.27 ^c	2.22 ± 0.07 ^a	0.12 ± 0.01 ^a	1.33 ± 0.06 ^{bc}	ns
Soup JB1 1 : 10	90.82 ± 0.42 ^b	2.21 ± 0.15 ^a	0.13 ± 0.03 ^a	1.02 ± 0.02 ^c	ns
Soup JB1 1 : 12	92.20 ± 0.22 ^a	2.20 ± 0.08 ^a	0.11 ± 0.02 ^a	1.14 ± 0.03 ^c	ns
Soup JH3 1 : 8	88.63 ± 0.22 ^d	2.31 ± 0.08 ^a	0.14 ± 0.01 ^a	1.36 ± 0.23 ^a	0.21 ± 0.09
Soup JH3 1 : 10	90.73 ± 0.28 ^b	2.30 ± 0.09 ^a	0.13 ± 0.03 ^a	1.12 ± 0.02 ^{bc}	ns
Soup JH3 1 : 12	91.98 ± 0.37 ^a	2.17 ± 0.08 ^a	0.10 ± 0.02 ^a	1.05 ± 0.05 ^c	ns

หมายเหตุ - สัญลักษณ์ J หมายถึง ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 ; สัญลักษณ์ H และ B หมายถึง ข้าวซางและข้าวกล้อง

- สัญลักษณ์ 0, 1, 2 และ 3 หมายถึง ข้าวที่ไม่ได้งอก งอกปานกลาง และงอกมาก ตามลำดับ


- a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ลักษณะปรากฏของซูบข้าวดอกมะลิต้องงอกน้อย (JB1) และซูบข้าวดอกมะลิต้องงอกน้อย (JH3) และซูบข้าวออกบรรจกระป๋อง

ชนิดอัตราส่วน	ซูบข้าวออก	ซูบข้าวออกบรรจกระป๋อง	ลักษณะปรากฏ
ซูบข้าว JB1 1 : 8			ซูบข้าวออก พบว่า ซูบข้าวมีสีขาวเหลืองอ่อน มีความชื้นนี้สูงที่สุดของอัตราส่วนมีความเป็นเนื้อเดียวกันของซูบข้าวออก ซูบข้าวออกบรรจกระป๋อง พบว่า ซูบข้าวมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น ความชื้นนี้ดัดเพิ่มมากขึ้น กว่าก่อนการฆ่าเชื้อมีความชื้นนี้สูงที่สุดของอัตราส่วนและมีความยืดหยุ่นน้อย มีกลิ่นหอมของข้าวอ่อน ๆ
ซูบข้าว JB1 1 : 10			ซูบข้าวออก พบว่า ซูบข้าวมีสีขาวเหลืองอ่อน และความชื้นนี้ดัดน้อยกว่าอัตราส่วน 1:8 มีความเป็นเนื้อเดียวกันของซูบข้าวออก ซูบข้าวออกบรรจกระป๋อง พบว่า ซูบข้าวมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น ความชื้นนี้ดัดเพิ่มมากขึ้น กว่าก่อนการฆ่าเชื้อมีกลิ่นหอมของข้าวอ่อน ๆ
ซูบข้าว JB1 1 : 12			ซูบข้าวออก พบว่า ซูบข้าวมีสีขาวเหลืองอ่อน และความชื้นนี้ดัดน้อยกว่าอัตราส่วน 1:10 เนื่องจากสัดส่วนของข้าวที่น้อยลง น้ำที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้สีอ่อนลง ซูบข้าวออกบรรจกระป๋อง พบว่า ซูบข้าวมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น ความชื้นนี้ดัดเพิ่มมากขึ้น กว่าก่อนการฆ่าเชื้อ มีความชื้นนี้ดัดมากที่สุดของอัตราส่วนและมีความยืดหยุ่นมาก มีกลิ่นหอมของข้าวอ่อน ๆ

ตารางที่ 4.11 ลักษณะปรากฏของซูบข้าวหอมมะลิต้องออกน้อย (JB1) และซูบข้าวดอกมะลิต้องออกน้อย (JH3) และซูบข้าวอกบรรจุกระป๋อง (ต่อ)

ชนิดอัตราส่วน	ซูบข้าวออก	ซูบข้าวอกบรรจุกระป๋อง	ลักษณะปรากฏ
ซูบข้าว JH3 1 : 8			ซูบข้าวออก พบว่า ซูบข้าวมีสีขาวเหลือง มีความชื้นที่น้อยที่สุดของอัตราส่วนมีความเหนียวเกาะติดกันมาก ซูบข้าวอกบรรจุกระป๋อง พบว่า ซูบข้าวมีสีเหลืองเข้มมากขึ้น ความชื้นเห็นเพิ่มมากขึ้น กว่าก่อนการฆ่าเชื้อ มีความชื้นที่น้อยที่สุดของอัตราส่วน และมีความยืดหยุ่นน้อย มีความเหนียวเกาะติดกันของซูบข้าวมากที่สุด มีกลิ่นหอมของข้าวอ่อน ๆ
ซูบข้าว JH3 1 : 10			ซูบข้าวออก พบว่า ซูบข้าวมีสีขาวเหลือง และความชื้นที่น้อยน้อยกว่าอัตราส่วน 1:8 ความเหนียวเกาะติดกัน ซูบข้าวอกบรรจุกระป๋อง พบว่า ซูบข้าวมีสีเหลืองเข้มมากขึ้น ความชื้นเห็นเพิ่มมากขึ้น กว่าก่อนการฆ่าเชื้อ ความยืดหยุ่นมากกว่า อัตราส่วน 1:8 และมีกลิ่นหอมของข้าวอ่อน ๆ
ซูบข้าว JH3 1 : 12			ซูบข้าวออก พบว่า ซูบข้าวมีสีขาวเหลือง และความชื้นที่น้อยกว่าอัตราส่วน 1:10 เนื่องจากสัดส่วนของข้าวที่น้อยลง น้ำที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้สี และความชื้นที่น้อย ซูบข้าวอกบรรจุกระป๋อง พบว่า ซูบข้าวมีสีเหลืองเข้มมากขึ้น ความชื้นเห็นเพิ่มมากขึ้น กว่าก่อนการฆ่าเชื้อ มีความชื้นที่น้อยที่สุดของ Condition และมีความยืดหยุ่นมาก ความเหนียวเกาะติดกันน้อยมีกลิ่นหอมของข้าวอ่อน ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางอก

5.1.1 โดยคัดเลือกข้าว 4 ชนิด จากข้าวทั้งหมด 16 ชนิด พบว่า

ข้าวจากข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ พบว่า มีข้าว 2 ชนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีสูง คือ ข้าวดอกมะลิฮางอกมาก (JH3) และข้าวดอกมะลิล้างงอกน้อย (JB1)

ข้าวจากข้าวสายพันธุ์ข้าวเหนียว พบว่า มีข้าว 2 ชนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีสูง คือ ข้าวเหนียวฮางอกน้อย (SH1) และ ข้าวเหนียวกล้างที่ไม่งอก (SB0)

5.1.2 สมบัติเชิงทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีและซุบข้าวงอกของซุบข้าวงอกบรรจุกระป๋อง

ในการทำซุบข้าวงอกได้ข้าวที่มีองค์ประกอบทางเคมีสูง 4 ชนิด มาทำซุบข้าวงอก พบว่า ซุบข้าวงอกที่ทำจากข้าวสายพันธุ์ข้าวเหนียวมีความชื้นเหน็ดมากไป ทั้งอัตราส่วนทั้ง 3 อัตราส่วนที่ศึกษา ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาต่อเป็นซุบข้าวงอก ดังนั้นจึงเลือกที่จะศึกษาการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงกายภาพของซุบข้าวงอกของ ซุบข้าวงอกบรรจุกระป๋อง โดยได้ศึกษาซุบข้าวงอก 2 ชนิด คือ ซุบข้าวมะลิล้างงอกน้อย (JB1) และซุบข้าวดอกมะลิฮางอกมาก (JH3) ที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวงอกต่อน้ำ 3 อัตราส่วน คือ 1 : 8 1 : 10 และ 1 : 12 ซึ่งซุบข้าวมะลิล้างงอกน้อย (JB1) และซุบข้าวดอกมะลิฮางอกมาก (JH3) พบว่าในอัตราส่วนที่ 1 : 8 มีองค์ประกอบทางเคมีสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งซุบข้าวดอกมะลิล้างงอกน้อย (JB1) และซุบข้าวดอกมะลิล้างงอกน้อย (บรรจุกระป๋อง) ค่าความเหน็ดของซุบข้าวดอกมะลิฮางอกมาก และบรรจุกระป๋อง (JH3) มีความเหน็ดมากกว่าซุบข้าวดอกมะลิล้างงอกน้อย และบรรจุกระป๋อง (JB1)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ซุบข้าวงอกที่ผลิตจากข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ อัตราส่วนที่เหมาะสมแก่การนำไปทำซุบข้าวงอกและซุบข้าวบรรจุกระป๋อง คือ อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ 1 : 12 เพราะซุบข้าวงอกจากสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิไม่ชื้นเหน็ดเกินไป ไม่มีการจับตัวป็นก้อนของแป้งข้าว เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานไม่เกิดการแยกชั้น

5.2.2 ซุบข้าวงอกที่ผลิตจากข้าวสายพันธุ์ข้าวเหนียว ในอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ ทั้ง 3 อัตราส่วนไม่เหมาะสมแก่การนำไปทำซุบข้าวงอกและซุบข้าวบรรจุกระป๋อง คือ เพราะซุบข้าวงอกจากสายพันธุ์ข้าวเหนียวมีความชื้นเหน็ดเกินไป มีการจับตัวป็นก้อนของแป้งข้าว

5.2.3 ถ้าต้องการพัฒนาชูปข้าววงอกและชูปข้าววงอกที่อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำที่อัตราส่วน 1 : 8 และ 1 : 10 หรือ 1 : 12 ของชูปข้าววงอกจากสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิและข้าวเหนียวนั้น ควรมีการตัดแปลงอัตราส่วนของแป้งข้าวต่อน้ำ และชนิดของแป้งข้าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมอนามัย. 2530. คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขาว. นนทบุรี. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่3 สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 303หน้า.
- เครือวัลย์ อดิทัศวิริยะสุข. 2534. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ และการแปรสภาพเมล็ด. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2531. คุณภาพหุงต้มรับประทานและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง, หน้า 94-101 ในการปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2545. คุณภาพข้าวสวย. หน้า 11-30. ในคุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวดอกมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จิรนาถ บุญคง และนวลพรรณ เชาวน์เครือ. 2547. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซูบเพื่อเสริมสมุนไพรงี้สำเร็จรูป. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42. 488-495.
- ชุติมา ไชยเชาวน์ หทัยรัตน์ ปิ่นแก้ว วารุณี คุปต์กาญจนากุล และอรอนงค์นัยวิกุล. 2554. ผลของการใช้แป้งข้าวคัดแปรในการผลิตเค้กกล้วยหอม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่49, กรุงเทพฯ. 316-323.
- ดวงจงกล สุทธินิยม. 2550. โครงสร้างของเมล็ดข้าว. การพัฒนาเครื่องดีมสุขภาพชนิดผงจากข้าวกล้องหอมมะลิออกสำหรับผู้บริโภคสูงอายุ, มูลนิธิส่งเสริมศิลปาชีพในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ, <http://www.verasu.com/> สืบค้นเมื่อ วันที่ 19 มิถุนายน 2559.
- ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2547. เสริมสุขภาพตามวิถีธรรมชาติด้วยข้าวกล้อง. วารสารอาหาร. 34(2): 102-104.
- นันทิยา วรรณระภูติ. 2542. การขยายพันธุ์พืช. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 447 หน้า.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร, 148 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นิธิยา รัตนพานนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 504 หน้า.
- นิรมล จันทรังค. 2555. เครื่องวัดค่าความหนืด Brookfield และวิธีการใช้งานที่ถูกต้อง. บริษัท ไชแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด. 36 หน้า.
- นิตานารถ กระแสร์ชวล วิษมณี ยืนยงพุทธกาล และพรนภา น้อยพันธ์. 2553. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ ชูพหอยชนิดชั้นคำรับจีน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาประมง. หน้า 466-474.
- เบญจลักษณ์ ศิริบุรณ. 2550. ผลของการ annealing ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่างกันต่อ โครงสร้าง และ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- พัชรี ตั้งตระกูล วารุณี วารุญญานนท์ วิภา สุโรจนะเมธากุล และลัดดา วัฒนศิริธรรม. 2549. การเพิ่มปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริกในคัพกะข้าวเจ้าและข้าวเหนียวโดยการแช่น้ำ. Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS).
- มกอช. 4000-2546. 2546. ข้าวหอมมะลิไทย. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์กรุงเทพฯ.
- มกอช. 4001-2551. 2551. ข้าวหอมไทย. คณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- มัทนา แสงจินดาวงศ์. 2532. จุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ประมง. ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เมธาวี อนุวัชกุล และ สุภารัตน์ เข็มขี้ยืน. 2552. การศึกษาปริมาณ GABA และการพัฒนาโยเกิร์ตเสริม GABA จากข้าวกล้องมันปูออก. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. หน้า 1-11.
- ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล และวาสนา กล้าหาญ. 2553. การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินบี 1 และ แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดในการผลิตข้าวออกนึ่งขาวดอกมะลิ105 ระดับโรงงานต้นแบบ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่48.หน้า155-162.
- ลินดา พงศ์ผาสุก. 2537. การผลิตข้าวเคลือบกลิ่นหอม.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วรรณุช ศรีเจษฎารักษ์. 2552. สารโภชนาการบำบัดของข้าวฮางและข้าวกล้องงอก. โครงการวิจัยกับแผนการวิจัยแบบบูรณาการประจำปี พ.ศ. 2552 เพื่อสอดคล้องกับยุทธศาสตร์เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศ เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีมหาวิทาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

วัฒนา วัชรอาภาไพบูลย์ ฉัญฐา เลาหกุลจิตต์ อรพิน เกิดชูชื่น และ ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. 2550. ผลของฟิเอช อุณหภูมิ และเวลาการแช่ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้อง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 38(6):169-172.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2538. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วาสนา ผลารักยา. 2523. ข้าว. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 141 หน้า.

วิทยา อาสาพรประกิต และพิเชต ชะงัก. 2552. ศึกษาการผลิตซูปข้าวโพดสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง. ปรินญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

วิภาวัน จุลยา. 2006. อาหารแปรรูป. บริษัท ไทยควอลิตี้ฟู้ดส์ จำกัด. กรุงเทพมหานคร. 160 หน้า.

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร 3. กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น จำกัด.

ศุภนุช ใสเป่ง นิรมล อุดมอ่าง และยุทธนา พิมลศิริผล. 2553. ผลของสภาวะในการแช่ข้าวต่อสมบัติทางเคมีในกายภาพของแป้ง ข้าวกล้องหอมมะลิแดงงอก. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 100-107.

สุภทิพย์ สุขใส ชลิดา เนียมนุ้ย อนุกุล วัฒนสุข กนกภรณ์ กระจุกภาพันธ์ และ โสรยา เกิดพิบูลย์. 2555. สมบัติเชิงกายภาพบางประการของซูปที่ผลิตจากข้าวกล้องและข้าวฮาง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(2)(พิเศษ): 237-240.

โสรยา เกิดพิบูลย์ ธงชัย พุฒทองศิริ และ ตักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสมบัติเชิงกายภาพและลักษณะการไหลของ โจ๊กผสมฟักทองกึ่งสำเร็จ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 446. 42(2)(พิเศษ): 445-448.

อบเชย วงศ์ทอง. 2544. หลักการประกอบอาหาร .กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 366 หน้า.

อรรพรรณ ปานศิริ. 2545. การศึกษากระบวนการแปรรูปเครื่องดื่มน้ำนมข้าวกล้องน้ำนมถั่วเหลือง และรำข้าวบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อุไรวรรณ สุวานานนท์ และสุภารัตน์ เจียมยังยืน. 2551. ผลของอุณหภูมิ ระยะเวลาการแช่และการเพาะต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39 (3): 429-432.

A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis of the Official Analytical Chemists. 17th ed The Association of Official Analytical Chemists, Inc.

Abdou, S.M., Hamid, S.E., Rashwan, M., Samir, A., Abd-Elhamid, O., Shahin, M., and Nazih, W. 2006. Computer aided pronunciation learning system using speech recognition technology. In: Proc. ICSLP.

Akahane, K., M. Sekiguchi, T. Une and Osada. Y. 1989. Structure-epileptogenicity relationship of quinolones with special reference to their interaction with γ -aminobutyric acid receptor sites. Antimicrobial Agents and Chemotherapy. 33:1704-1708.

Alia, M., Horcajoa C., Bravoa L., and Goya L. 2003. Effect of grape antioxidant dietary fiber on the total antioxidant capacity and the activity of liver antioxidant enzymes in rats. Nutrition Research 23: 1251-1267.

Alluri V, Krishnaraju, Chirravuri V. Rao, Tayi V.N. Rao, K.N. Reddy and Golakoti Trimurtulu. 2009. In Vitro and In Vivo Anti-oxidant activity of Aphanamixis Polystachya bark. American Journal of Infectious Diseases. 5: 60-67.

Benzie I.F.F, Strain J.J. 1999. Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of the total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. Methods in Enzymology 299:15-27.

Bewly, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. The Plant Cell. 9: 1055-1066.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Charoenthaikit, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Piyachomkwan, K., Tungtrakul, P. and Prinyawawatkal, W. 2009. Germination Conditions Affect Physicochemical Properties of Germinated Brown Rice Flour. *Journal of Food Science*. Volume 74, Issue 9. November/December 2009 pages C658-C665.
- Chattopadhyay N, Ghosh T, Sinha S, Chattopadhyay K, Karmakar P. and Ray B. 2010. Polysaccharides from *Turbinaria conoides*: Structural features and antioxidant capacity. *Food Chemistry*. 118:823-829.
- Chung, H. J., Jang, S. H., Cho, H. Y., and Lim, S. T. 2009. Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (γ -aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. *LWT-Food Science and Technology*, 42(10), 1712-1716.
- Cornish, M. L. and Garbary, D. J. 2010. "Antioxidant from microalgae: potential application in human health and nutrition". *Free Radical Biology and Medicine*. 25: 155-171.
- Daomukda, N. Moongngarm, A. Payakapol, L. and Noisuwan, A. 2011. Effect of cooking methods on physicochemical properties of brown rice. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology. IPCBEE Vol.6 IACSIT Press, Singapore. V1-1 -V1-4.
- Ebuehi, O.A.T. and Oyewole, A.C. 2008. Effect of cooking and soaking on physical characteristics, nutrient composition and sensory evaluation of indigenous and foreign rice varieties in Nigeria. *Nutrition and Food Science*. 38(1): 15-21.
- Eliasson, A.C. 1996. Carbohydrates in food, In Eliasson, A.C. and M. Gudmundsson. *Starch: Physicochemical and Functional Aspects*. Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 431-503.
- Fan, J. and Marks, B.P.. 1998. Retrogradation kinetics of rice flours as influenced by cultivar. *Cereal Chemistry*. 75:153-155.
- Goffman, F. D., Bergman, C. J. 2004. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. *Journal of Science Food Agriculture*. 84: 1235-1240.
- Halliwell, B. 2009. "The wanderings of a free radical". *Free Radical Biology and Medicine* 46: 531-542.

- Hayakawa, M., Nakamura T., Hobara Y., and Williams E. 2004. Observation of sprites over the Sea of Japan and conditions for lightning induced sprites in winter. *Journal of Geophysical Research*. 533 - 535.
- Helland, M.H., Wicklund, T., Narvhus, J.A. 2002. Effect of germination time on alpha-amylase production and viscosity of maize porridge. *Food Research International* .35 : 315 - 321.
- Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectin and its significance. *Carbohydr Research*. 147:342.
- Horino, T., Mori, Y. and Saikusa, T. 1994. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and effect of water soaking on the distribution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42: 1122-1125.
- Hoseney, R. C. and Lineback. 1996. Method of synthesis and characterization. In R. C. Hoseney (ed.). *AACC Short course on "Starch: Structure, Properties, and Food Uses"*. August 27-29, 1996. Bangkok, Thailand.
- Islam, M.R., N. Shimizu and T. Kimura. 2004. Energy requirement in parboiled and its relationship to some important quality indicators. *Journal of Food Engineering*. 63(4):433-439.
- Ito, S. and Ishikawa, Y. 2004. Marketing of value-added rice products in Japan. *FAO International Rice Year Symposium Rome*. Retrieved on June 18, 2016 . from <http://www.hatsuga.com/DOMER/english/en/GBRRB.html>.
- Jacobs, H., and Delcour, J. A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46: 2895-2906.
- Jacobson, M.R. and Bemiller J.N. 1998. Method for determining the rate and extent of accelerated starch retrogradation. *Cereal Chemistry*. 75(1): 22-29.
- Jannoey.P, Niamsup H., Lumyong S., Tajima S., Nomura M. and Chairote G. 2010. γ -Aminobutyric Acid (GABA) Accumulations in Rice During Germination. *Chiang Mai Journal of Science*. 37(1). 124-133.

- Juliano, B.O. 1985. Critical and tests for rice grain qualities.. In Rice: Chemistry and Technology 2nd edition. Edited by B.O. Juliano The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA. pp 443 - 524.
- Juliano, C., Cossu, M., Alamanni, M. C. and Piu, L. 2005. Antioxidant activity of gamma-oryzanol: mechanism of action and its effect on oxidative stability of pharmaceutical oils. International Journal of Pharmaceutics. 299:146-154.
- Juliano, B. O., 1972. Physicochemical properties of starch and protein in relation to grain quality and nutritional value of rice. In IRRI Rice Breeding. IRRI, Los Baños, Philippines. pp 389-405.
- Jung KH, Han MJ, Lee YS, Kim YW, Hwang I, Kim MJ, Kim YK, Nahm BH, and An G. 2005. Rice undeveloped tapetum1 is a major regulator of early tapetum development. Plant Cell 17. 2705-2722.
- Kayahara, H. and Tsukahara, K. 2000. Flavor Health and Nutritional Quality of Pre-germinated Brown Rice. International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii.
- Kim, D.H., Liberati, N.T., Mizuno T., Inoue H., Hisamoto N., Matsumoto K and Ausubel F.M. 2004. Integration of *Caenorhabditis elegans* MAPK pathways mediating immunity and stress resistance by MEK-1 MAPK kinase and VHP-1 MAPK phosphatase. Proceedings of the National Academy of Sciences. U S A. 101:10990-4.
- Kishimani, I. 1988. Accumulation of g-aminobutyric acid due to ammonium in various cultured plant cells. Plant and Cell Physiology 28(8): 1459-1364.
- Komatsuzaki N, Shima J, Kawamoto S, Momose H and Kimura T. 2005. Production of γ aminobutyric acid (GABA) by *Lactobacillus paracasei* isolated from traditional fermented foods. Food Microbiology.22: 497-504.
- Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment of GABA content in germinated brown rice, Journal of Food Engineerig 78: 556-560.

- Kono, Y., Kojima, A., Nagai, R., Watanabe, M., Kawashima, T., Onizawa, T., Teraoka, T., Koshino, H., Uzawa, J., Suzuki, Y. and Sukurai, A. 2004. Antibacterial diterpenes and their fatty acid conjugate from rice leaves. *Phytochemistry*. 65: 1291-1298.
- Kerdpiroon S. and Puttongsiri T. 2015. Characteristics of Hang Rice and its Cooking. *KKU Research Journal*. 20(1) : 26-33.
- Lai P, Li KY, Lu S, Chen HH (2009). Phytochemicals and antioxidant properties of solvent extracts from Japonica rice bran. *Food Chemistry*. 117: 538-544.
- Lai, A. K. et al. 2007. Colour in relation to total antioxidant capacity of beers assessed using the FRAP assay. *Alcohol and Alcoholism. Social Problems*. 42: i55-i57.
- Lai, H. M. 2001. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry*. 72: 455-463.
- Lee, F.A. 1983. *Basic Food Chemistry*, 2nd ed. The AVI Pub.Co.Inc., Westport.
- Ling-Long, L., Ling, J., Shi-Jia, L., Shi-Rong, Z., Wen-Wei, Z., Chun-Ming, W., Liang-Ming, C., Hu-Qu, Z. and Jian-Min, W. 2005. Accumulation of the g-aminobutyric acid in brown rice- a new rice strain W025 with giant-embryo during water soaking. *Acta Agromomy Sinica* 31(10):1265-1270.
- Maeda, Y., Shibahara, T., Wada, Y., Kadota, K., Kanno, T., Uchida, I. and Hatama, S. 2007. An outbreak of teat papillomatosis in cattle caused by bovine papilloma virus (BPV) type 6 and unclassified BPVs. *Veterinary Microbiology*. 121: 24-248.
- Manna, K. M., Naing, K. M. and Pe, H. 1995. Amylase activity of some roots and sprouted cereals and beans. *Food and Nutrition Bulletin*. 16: 1-4.
- Marshall, W. E., and Wadsworth, J. I. 1994. *Rice Science and Technology*. Marcel Dekker: New York.
- Maskan, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 48:169-175.
- Matsuo T, Futsuhara Y, Kikuchi F and Yamaguchi H. 1997. *Science of the Rice Plant*, Vol 3. Nobun-kyo, Tokyo, pp 302-303.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Miura, D., Ito, Y. and Mizukuchi, A. 2006. Hypercholesterolemic action of pre-germinated brown rice in hepatoma-bearing. *Life Science*. 79: 259-264.
- Moody J O, Adeleye S A, Gundidza M G and Wyllie G. 1994. Analysis of the essential oil of *Artemisia afra* Pharmazie. 49:935–936.
- Moongngarm, and Saetung, N. 2010. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brow rice. *Food Chemistry*. 122: 782-788.
- Moreira FA, Aguiar DC, Campos AC, Lisboa SF, Terzian AL, Resstel LB, Guimaraes FS. 2009. Antiaversive effects of cannabinoids: is the periaqueductal gray involved. *Neural Plast* 2009: 625469.
- Morita, N., Maeda, T., Watanabe, M. and Yano, S. 2007. Pre-Germinated Brown Rice Substituted Bread: Dough Characteristics and Bread Structure. *International Journal of Food Properties* 10(4): 779–789.
- Murakami , M. , Yamaguchi , T. , Takamura , H and Matoba , T. 2004. Effect of thermal treatment on radical scavenging activity of single and mixed polyphenolic compounds. *Journal of Food Science*. 69: FCT 7 - FCT 10.
- Oh, C.H. and Oh, S.H. 2004. Effects of Germinated Brown Rice Extracts with Enhanced Levels of GABA on Cancer Cell Proliferation and Apoptosis. *Journal of Medical Food*. 7(1): 19-23.
- Oh, S.H. 2003. Stimulation of gamma-aminobutyric acid synthesis activity in brown rice by a chitosan/glutamic acid germination solution and calcium/calmodulin. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*. 36: 319-325.
- Ohtsubo, K., Suzuki, K,m Yasui, Y. and Kasumi, T. 2005. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown by a twin-screw extruder, *Journal of Food Composition and Analysis* 18: 303-316.
- Ong, M.H. and J.M.V. Blanshard. 1995. Texture determinants in cooked parboiled rice I: Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. *Journal of Cereal Science*. 21:251-260.
- Ophardt, C. 2003. Amylose and amylopectin structure. Retrieved on June 18, 2016 from : <http://www.google.com>.

- Palmiano, E.P. and Juliano, B.O. 1972. Biochemical changes in the rice grain during germination. *Plant Physiology*. 49: 751-756.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. 2001. *Antioxidants in food : practical applications*. CRC Press. New York. pp 380.
- Que, F., L. Mao, C. Zhu, and G. Xie. 2006. Antioxidant properties of Chinese yellow wine, its concentrate and volatiles. *LWT Food Science Technology*. 39:111-117.
- Que, F., Mao, L.C. and Zheng, X.J. 2007. In vitro and vivo antioxidant activities of daylily flowers and the involvement of phenolic compounds. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 16: 196-203.
- Ramamoorthy, P.K. and Bono, A. 2007. Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content of *Morinda Citrifolia* fruit extracts from various extraction processes. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2: 70-80.
- Roy R., Steffens D. L., Gratside B., Jang G. Y and Brumbaugh J. A. 1996. Producing STR locus patterns from bloodstains and other forensic samples using an infrared fluorescent automated DNA sequencer. *Journal of Forensic Sciences*. 41: 418-424.
- Saikusa T., Horino T., and Mori. Y. 1994. Accumulation of γ -aminobutyric acid (Gaba) in the rice germ during water soaking. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 58: 2291-2292.
- Sanchez-Moreno, C., Jimenez-Escoria, A. and Saura-Calixto. J. 2000. Study of low-density lipoprotein oxidizability indexes to measure the antioxidant activity of dietary polyphenols. *Nutrition Research*. 20: 941-953.
- Sareepuang, K., S. Sririamornpun, L. Wiset and N. Meeso. 2008. Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. *Journal of Agricultural Sciences*. 4(4):409-415.
- Shapoval GS and Gromovaia VF. 2003. Mechanism of antioxidant protection of an organism from oxidative stress. *The Ukrainian Biochemical Journal*. 75(2): 5-13.

- Shamekh Salem S. 2002. Effects of lipids, heating and enzymatic treatment on starches. Technical Research Centre of Finland, VTT Publications. 460: 33-40.
- Shoichi, I. 2004. Marketing of Value-Added Rice Production in Japan: Germinated Brown Rice and Rice Bread, In Rice in Global Markets, UN Food in global Market. Italy.
- Sies, H., Stahl, W. and Sundquist, A. 1992. Antioxidant functions of vitamins, vitamin E and C, beta-carotene and other carotenoids". Annals of the New York Academy of sciences. 368: 7-19.
- Srijesdaruk V. 2009. Nutrition compounds of Koa Hang and germinated brown rice. Food Technology, Faculty of Technology, University of Khon Kaen, Khon Kaen Province
- Srisang, N., Varayanond, W., Soponronnarit, S., and Prachayawarakorn, S. 2011. Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice. Journal of Food Engineering. 107(3), 385-392.
- Tsukahara, K. 2004. What is Germinated brown rice (GBR). Retrieved on June 18, 2016 from :<http://hatsuga.com/Domer/English/en/main.html>.
- Varayanond, W., P. Tungtrakul, V. Surojanametakul, L. Wattanasiritham and Luxiang W. 2005. Effects of water soaking on gamma-aminobutyric acid (GABA) in germ if different Thai rice varieties. Kasetsart Journal. 39: 411-415.
- Velioglu, Y.S., Mazza, G. Gao, L. and Oomah, B.D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products". Journal of Agricultural and Food Chemistry. 46: 4113-4117.
- Velupillai, S., Nithyanantharajah, K., and Vasantharuba, S., Balakumar, S. and Arasaratnam, V. 2009. Biochemical Changes Associated with Germinating Rice Grains and Germination Improvement. Rice Science. 16(3): 240-242.
- Vichitphan, S., Vichitphan, K. and Sirikhansaeng, P. 2007. Flavonoid content and antioxidant activity of Krachai-dun (*Kaempferia parviflora*) wine. KMITL Science and Technology. 7: 97-105.
- Walter, M., Silva, L.P. and Dennardine, C.C. 2005. Rice and resistant starch : different content depending on chosen methodology. Journal of Food Composition and Analysis. 18: 279-289.

- Watanabe, M., Tomoko Maeda , Kikuichi Tsukahara , Hiroshi Kayahara and Naofumi Morita. 2004. Application of Pre germinated Brown Rice for Bread making. *Cereal Chemistry*. 81(4): 450-455.
- Watchararparpaiboon, W., Laohakunjit, N. and Kerdchochuen, O. 2010. An improved process for high quality and nutrition of brown rice production. *Food Science and Technology International* .16(2): 147-158.
- Whistler, R.L. and Bemiller. J.N. 1999. *Carbohydrate chemistry for food Scientists*. American Association of Cereal Chemists. pp 240.
- Willenborg CJ, Wildeman JC, Miller AK, Rosnaged BG, Shirtliffe SJ. 2005. Oat Germination Characteristics Differ among Genotypes, Seed Sizes, and Osmotic Potentials. *Crop Science*., 45: 2023-2029.
- Yang, J.H. et al. 2000. Antioxidant and related compounds. *Baosci Biotechnol. Journal of Biochemistry and Cell Biology*. 61: 1646-1649.
- Zhang GW, Ma XQ, Su JY, Zhang K, Kurihara H, Yao XS and Zeng LM.. 2006. Two new bioactive sesquiterpenes from the soft coral *Sinularia* sp. *Journal of Natural Products*. 20: 659-664 .
- Zhang, L., Hu, P., Tang, S., Zhao, H. and Wu, D. 2005. Comparative studies on major Nutritional components of rice with a giant embryo and a normal embryo. *Journal Food Biochemical*. 29: 653-661.
- Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Baanhard. 2004. The distribution of phenolic acids in rice. *Food Chemisty*. 87: 401-406.
- Zobel H.F. 1988. Starch crystal transformation and their industrial importance. *Starch/Starke*. 40: 1-7.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้างหอมมะลิออกและข้าวเหนียวออก

1) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 5.0000 ± 0.05 กรัมที่ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมโดยเปิดฝาเล็กน้อย ซึ่งผ่านการอบ 30 นาทีและทราบน้ำหนักที่แน่นอนอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมงจากนั้นนำภาชนะออกจากตู้อบไฟฟ้าพร้อมปิดฝาอลูมิเนียมทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำอีกครั้ง ครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้นดังนี้

$$\text{วิธีคำนวณ} \quad \text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

2) การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจลดดาห์ล (AOAC, 2000)

วิธีวิเคราะห์ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

2.1 การย่อย (Digestion) พับกระดาษกรองเป็นรูปของจดหมายซึ่งตัวอย่างลงในกระดาษกรองให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 3.0000 ± 0.05 กรัม ใส่ใน Kjeldahl flask เติมตัวเร่ง 10 กรัม เติม Conc. H_2SO_4 25 มิลลิลิตรนำ Kjeldahl flask ไปตั้งบนเตาย่อย เริ่มจากไฟอ่อนๆก่อน รอจนควันจางจึงใช้ไฟแรง จนได้สารละลายใส

2.2 การกลั่น (Distillation) นำตัวอย่างที่ย่อยเสร็จทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำ 50 มิลลิลิตรต่อ Kjeldahl flask เข้าเครื่องกลั่นให้ปลายด้านหนึ่งของ Condenser จุ่มใน Boric acid ร้อยละ 460 มิลลิลิตร เติม NaOH ร้อยละ 40 ลงใน Kjeldahl flask 70 - 100 มิลลิลิตรกลั่นจนได้แอมโมเนียออกมาประมาณ 150 มิลลิลิตร เก็บ flask Boric acid หยด mixed indicator 2-3 หยด ได้สารสีฟ้าใส

2.3 การไทเทรต (Titration) เมื่อกลั่นแล้วนำไปไทเทรตกับ HCl 0.1 normal จนได้สีชมพู จนปริมาตรกรดที่ใช้นำไปคำนวณการคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\text{ร้อยละไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times N \text{ HCl} \times 14}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)} \times 100} \times 100$$

$$\text{ร้อยละโปรตีนในตัวอย่าง} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับ blank

3) การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อบ Crucible ที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นใน Desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอนและนำตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ซึ่งใส่ Crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อน ๆ จนหมดควันแล้วนำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว หลังจากนั้นนำออกมาใส่ใน Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

$$\text{วิธีคำนวณ} \quad \text{ร้อยละเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

4) การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2000)

นำตัวอย่างที่สกัดเอาไขมันออกแล้วมาหาปริมาณเส้นใย โดยนำตัวอย่างใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 โมลาร์ จำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที ตลอดเวลาที่ต้มจะต้องรักษาปริมาตรให้คงที่โดยการเติมน้ำกลั่น ต่อจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 54 หรือ 531 โดยใช้ Suction ล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้งจนหมดกรด แล้วเทกากกลับใส่ในบีกเกอร์ใบเดิม แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 โมลาร์ จำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที รักษาปริมาตรให้คงที่โดยการเติมน้ำกลั่น แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง โดยใช้ Suction ล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนหมดด่างแล้วเทกากกลับใส่ในบีกเกอร์ใบเดิม ล้างกากด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกร้อยละ 1 แล้วล้างตามด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด แล้วนำกากล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 2 ครั้ง 15 - 20 ml นำกากใส่ลงกระดาษกรอง Whatman ชนิดปราศจากเถ้าเบอร์ 41 ซึ่งผ่านการอบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส และชั่งจนทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำกากไปเผาให้เป็นเถ้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนเป็นเถ้าสีขาว ปล่อยให้เย็นใน Desiccator ชั่งหาน้ำหนักเถ้าที่ได้

$$\text{น้ำหนักเส้นใย} = \text{น้ำหนักแห้งของกาก} - \text{น้ำหนักเถ้า}$$

$$\text{ร้อยละปริมาณเส้นใย} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใย} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

5) การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

ชั่งน้ำหนักของบีกเกอร์สกัดไขมัน ซึ่งตัวอย่าง 2.0000 ± 0.05 กรัมใส่ทิมเบิล (thimble) เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ลงในบีกเกอร์สำหรับสกัดไขมัน 150 มิลลิลิตร จากนั้นนำทิมเบิลใส่ลงไปในบีกเกอร์ลงในเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดประมาณ 2 ชั่วโมง 15 นาที แยกเอาบีกเกอร์ออกจากเครื่องสกัดแล้วใช้คีมคีบทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างอาหารออกจากบีกเกอร์นำบีกเกอร์ไประเหยเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออก แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกว่าตัวทำละลายจะระเหยหมด จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\text{ร้อยละไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังสกัด} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

6) คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ NFE (Nitrogen Free Extract) หรือ Non Structural carbohydrate เป็น คาร์โบไฮเดรต ส่วนที่สกัดด้วยวิธีง่าย ๆ และนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วยแป้ง และน้ำตาล แต่อาจมีส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินปนอยู่บ้าง ค่านี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์โดยตรง แต่ได้จากการคำนวณโดยนำค่าร้อยละความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใยหยาบ และเถ้า ที่ได้จากการวิเคราะห์รวมกัน แล้วหักออกจาก 100 จะได้ค่าของ NFE

$$\% \text{ NFE (Nitrogen Free Extract)} = 100 - (\% \text{ ความชื้น} + \% \text{ โปรตีน} + \% \text{ ไขมัน} + \% \text{ เยื่อใย} + \% \text{ เถ้า})$$

7) การวิเคราะห์หาปริมาณสาร GABA ตามวิธีการของ Komatsuzaki และคณะ (2007)

บดเมล็ดข้าวด้วยเครื่องบดให้เป็นแป้ง ซึ่งตัวอย่างแป้งข้าว 3 กรัม ละลายในร้อยละ 80 เอทานอล ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์หนึ่ง ตั้งทิ้งไว้จนเอทานอลระเหยออกหมด จากนั้นเติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้มา 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง borate buffer ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และร้อยละ 6 phenol reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และทำให้เย็นในอ่างน้ำแข็ง จากนั้นเติมน้ำร้อยละ 7.5 NaOCl ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือด 10 นาที ทำให้เย็นทันทีในอ่างน้ำแข็ง 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร โดยมี blank (สารละลายที่เตรียม แต่ไม่มีแป้งข้าว)

กราฟมาตรฐานเตรียมโดยชั่งสารมาตรฐาน GABA 0.050 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ดูดสารละลายมาตรฐานมา 0.05 , 0.10 , 0.15 และ 0.20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง borate buffer ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และร้อยละ 6 phenol reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และทำให้เย็นในอ่างน้ำแข็ง จากนั้นเติมน้ำร้อยละ 7.5 NaOCl ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย

น้ำกลั่น ให้มีปริมาตรรวมเป็น 1.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือด 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เย็นทันทีในอ่างน้ำแข็ง 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตรเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของ GABA กับค่าการดูดกลืนแสง

8) ปริมาณวิตามินบี 1 โดยใช้ Fluorometric (Rapid) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000)

การสกัดไทอะมิน

ชั่งน้ำหนักข้าวบดละเอียดและน้ำหนักที่แน่นอน 10 กรัม หรือ 15 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 15 มิลลิลิตร ต่อ 1 กรัมของน้ำหนักตัวอย่าง) โดยใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 ครั้ง โดยส่วนหนึ่งใช้ล้างด้านข้างขวด แล้วคนให้เข้ากัน และปิดปากขวดด้วยอลูมิเนียมฟอล์ย หลังจากนั้นนำมาสกัดในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 108 - 109 องศาเซลเซียส ความดัน 34.5 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 20 นาที (รวมเวลาในการให้ความร้อนไม่เกิน 35 นาที คือรออุณหภูมิขึ้น 5 - 10 นาที และรออุณหภูมิลงประมาณ 5 นาที) (หมายเหตุ ให้ preheat หม้อนึ่งความดันก่อนใส่ ตัวอย่างที่จะนำมาสกัด) แล้วทำให้เย็นและเจือจางด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร เพื่อให้มีความเข้มข้นของไทอะมินประมาณ 0.2 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 (ashless) และเทสารละลาย ที่กรองได้ 1 ใน 10 ของส่วนแรกของสารละลายที่

การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สารละลายไทอะมินมาตรฐาน (S) และสารละลายตัวอย่าง (I) เตรียมหลอดทดลองขนาด 40 มิลลิลิตร สำหรับสารละลายไทอะมินมาตรฐาน หรือสารละลายตัวอย่าง เติมสารละลายไทอะมินมาตรฐานความเข้มข้น 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร หรือสารละลายตัวอย่าง ใส่หลอดทดลอง หลอดละ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารออกซิไดซิ่งรีเอเจนท์ หลอดละ 3 มิลลิลิตร ทันที แล้วค่อยๆ แก้วหลอดทดลองเบาๆ เพื่อผสมให้เข้ากัน แล้วเติมไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์ หลอดละ 13 มิลลิลิตร ทันทีแล้วปิดฝา เขย่าให้เข้ากันนาน 2 นาที ตั้งทิ้งไว้รอให้สารละลายเกิดการแยกชั้น จากนั้นเปิดสารละลายชั้นบน ซึ่งเป็นไทโอโครมที่ละลายอยู่ในไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์

สารละลายไทอะมินมาตรฐาน (blank) (d) หรือสารละลายตัวอย่าง (blank) (b) เตรียมหลอดทดลองขนาด 40 มิลลิลิตร สำหรับสารละลายไทอะมินมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่าง เติมสารละลายไทอะมินมาตรฐานความเข้มข้น 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร หรือสารละลายตัวอย่าง ใส่หลอดทดลอง หลอดละ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 หลอดละ 3 มิลลิลิตร ทันที แล้วค่อยๆ แก้วหลอดทดลองเบาๆ เพื่อผสมให้เข้ากัน แล้วเติมไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์ หลอดละ 13 มิลลิลิตร ทันทีแล้วปิดฝา เขย่าให้เข้ากันนาน 2 นาที

ตั้งทิ้งไว้ รอให้สารละลายเกิดการแยกชั้น จากนั้นเปิดสารละลายชั้นบนซึ่งเป็นไทโอโครมที่ละลายอยู่ในไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์

การวัดค่าการเรืองแสงของไทโอโครม

ความยาวคลื่น Excitation (Ex) เท่ากับ 365 นาโนเมตร และ Emission (Em) เท่ากับ 435 นาโนเมตร

วิธีคำนวณ

$$\text{ไทอะมินไฮโดรคลอไรด์ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)} = \frac{I-b}{S-d} \times \frac{1 (\text{ไมโครกรัม}) \times 250}{5 (\text{มิลลิลิตร})} \times \frac{100 \text{ กรัม}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)} 1000 \text{ กรัม}}$$

9) การหาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้วิธีอนุมูลอิสระ DPPH คัดแปลงจากวิธีของ

Murakami และคณะ (2004)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH วิเคราะห์โดยใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) ซึ่งมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH เจือจางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย

การเตรียมตัวอย่าง

นำขั้วงอกทั้งหมด 16 ชนิดมาทำการบดให้ละเอียด หลังจากนั้นนำขั้วงอกที่บดละเอียดจำนวน 3 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่เติมเมทานอล 30 มิลลิลิตร นำไปแช่ที่อัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 1 และระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุนและเครื่องดูดสุญญากาศตามลำดับ ชั่งน้ำหนักสารที่สกัดได้ จะได้สารสกัดจากขั้วงอกต่อจากนั้นเปิดสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ 0.12 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองเปิดตัวอย่างสารสกัด และเอธานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยารวมทั้งหมดเป็น 1.2 มิลลิลิตร นั่นคือปริมาตรรวมของตัวอย่างสารสกัด และเอธานอล ความเข้มข้น 40 จะต้องเท่ากับ 1.08 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอธานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์เป็น blank

คำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โคนแทนค่าในสมการดังนี้

$$\{1 - (\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} / \text{ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม})\} \times 100$$

การเตรียมกราฟมาตรฐาน โทรลอกซ์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานสารละลาย DPPH โดยให้ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาตรรวมเป็น 50 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานสารละลายโทรลอกซ์ โดยให้ความเข้มข้นโดยรวมในหลอดทดลองเป็น 5, 10, 15, 20, 25, 30, และ 35 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียมโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งโทรลอกซ์ 0.0125 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้มีปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร โดยปีเปตมา 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12, และ 0.14 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3. ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.2 มิลลิลิตร

4. ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 5.4 มิลลิลิตรเติมสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร

5. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ในที่มีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์

6. เป็น blank เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยไมโครกรัม

10) วิธีวัดชิงพาวเวอร์ โดยวิเคราะห์ Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) ตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก จะใช้วิธีที่รายงานโดย Benzie และ Strain (1996) มีหลักการคือ ความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย TPTZ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 593 นาโนเมตร

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างข้าว 16 ชนิด มาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว 5 กรัม ลงในขวดแก้วสีชา ทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเมทานอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที และนำสารละลายที่ได้มากรองโดยใช้ Whatman เบอร์ 1 จากนั้นระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุนและเครื่องสุญญากาศตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้วเก็บสารสกัดในรูปของสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (2.5 g/mL) ใส่ในขวดสีชาที่มีฝาปิด เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การเตรียมกราฟมาตรฐาน ไทรลอกซ์

ปีเปตสารละลายมาตรฐาน ไทรลอกซ์ใส่หลอดทดลอง โดยให้แต่ละหลอดมีความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียม ไทรลอกซ์ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่ง ไทรลอกซ์ 0.025 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยปีเปตมา 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 และ 0.06 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับปริมาณ ไทรลอกซ์ในหน่วยไมโครกรัม

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่างสารสกัด

ปีเปตตัวอย่างสารสกัด 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย FRAP reagent 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร

การคำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก

คำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่างสารสกัด สมมูล ไทรลอกซ์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน ไทรลอกซ์ ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก จะรายงานในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของ ไทรลอกซ์ต่อกรัม ตัวอย่างสด โดยใช้กราฟมาตรฐาน ไทรลอกซ์

11) การวิเคราะห์ค่าความหนืด ด้วยเครื่อง Viscometer

การใช้เครื่อง

1. ปรับระดับลูกน้ำด้านบนของเครื่องให้อยู่ในวงกลม โดยการปรับที่ขาตั้ง 3 มุมของฐาน
2. เปิดสวิตช์ Power on ด้านหลังเครื่อง 15 นาที
3. รอหน้าจอแสดงผลโชว์ “ REMOVE SPINBLE/PRESS ANY KEY ” เอาเข็ม (Spindle)

ออกจากตัวเครื่อง

4. กดปุ่มใดปุ่มหนึ่งที่หน้าปัด เครื่องจะโชว์ “Autozeroing Viscometer” ซึ่งเครื่องปรับศูนย์อัตโนมัติ รอประมาณ 15 นาทีจนเครื่องโชว์ “ REMOVE SPINBLE/PRESS ANY KEY ” และกดปุ่มใดปุ่มหนึ่งอีกครั้ง

5. ใส่ Guard leg และเข็ม (Spindle) โดยหมุนตามเข็มนาฬิกา จุ่มเข็มลงในสารตัวอย่างจนถึงรอย Mark (ถ้าเข็มเป็น Disc Spindle ให้เอียงเข็มประมาณ 45 องศา จุ่มลงในสารตัวอย่างแล้วใส่เข็มติดกับเครื่อง ระวังอย่าให้มีฟองอากาศอยู่ใต้ Disc Spindle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใส่วัดของเข็มที่ใช้งานโดย
 - 6.1 กดปุ่ม Select Spindle
 - 6.2 กดปุ่มลูกศร ขึ้น - ลง เพื่อเลือกรหัสเข็มที่จะใช้
 - 6.3 กดปุ่ม Select Spindle อีกครั้ง เมื่อได้รหัสของเข็มที่ต้องการ (ภายใน 3 นาที)
7. เลือกความเร็วที่จะใช้งานโดย
 - 7.1 กดปุ่ม Motor On/Off ที่จอแสดงผลจะโชว์ “0.00 RPM”
 - 7.2 กดปุ่มลูกศร ขึ้น - ลง เพื่อเลือกความเร็วรอบที่ต้องการ
 - 7.3 กดปุ่ม Set Speed เมื่อได้ความเร็วรอบที่ต้องการ
8. อ่านค่า และบันทึกผล

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวัดค่าความหนืด

1. เลือกเข็ม (Spindle) ให้เหมาะสม (เข็มเบอร์ 2 เหมาะสมกับการวัดค่าความหนืดของ ชุปข้าวงอกและชุบข้าวงอกบรรจุกระป๋อง)
2. เลือกความเร็ว (Speed) ให้เหมาะสม (ทดสอบปรับเปลี่ยนค่าความเร็วหลาย ๆ ค่า) โดยดูที่เปอร์เซ็นต์เป็นหลัก ให้ค่าที่อ่านได้ใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์มากที่สุด หรือค่าเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ สารตัวอย่างบางอย่าง อาจวัดค่าได้เพียง 40 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (ความเร็ว 100 RPM เหมาะสมกับชุบข้าวงอกและชุบข้าวงอกบรรจุกระป๋อง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

วิธีการทำซูปข้าวอก

ภาพที่ ข.1 วิธีการทำซูปข้าวอกบรรจุกระป๋อง



นำแป้งข้าวหอมมะลิกล้องอก (JB1) แป้งข้าวหอมมะลิฮางอก (JH3) มาทำการผลิตซูปข้าว
ในอัตราส่วน ข้าวอก : น้ำ ในอัตราส่วน 3 อัตราส่วน คือ 1:8 1:10 และ 1:12



ต้มโดยให้ความร้อนใน Water bath 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยการคนหลังจากนาที่
ที่ 3 และ 10 หลังจากนั้นคนทุกๆ 10 นาที จนครบ 60 นาที



นำมาซูปข้าวอกมาบรรจุในกระป๋องขนาด 307 × 211 บรรจุในน้ำหนัก 180 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

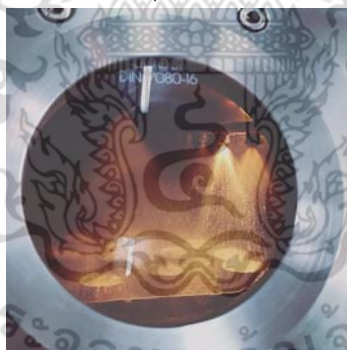


นำกระป๋องที่บรรจุซูปข้าวเรียบร้อยแล้วมาไล่อากาศในเครื่องไล่อากาศ (Exhaust)

โดยอุณหภูมิต้องไม่ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส



นำมาปิดฝาและตรวจสอบสภาพของตะเข็บกระป๋องให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์



นำมาเข้าเครื่องฆ่าเชื้อ (Retort) ที่สภาวะ คือ อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที



หลังจากนั้นนำมาวัดสี ความหนืด และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของซูปข้าวออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุขทิพย์ สุขใส
วัน เดือน ปีเกิด	2 ธันวาคม 2532 ที่จังหวัดนครสวรรค์
ที่อยู่	น. 470 ถนนฝั่งสถานีรถไฟปากน้ำโพ ตำบลปากน้ำโพ อำเภอเมือง จังหวัด นครสวรรค์
ประวัติการศึกษา	2554 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ปรัชญา	เวลาไม่สามารถย้อนกลับมาได้ ดังนั้นทำวันนี้ให้ดีที่สุด
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2553-2554	สุขทิพย์ สุขใส และ ณัฐรุช สิริพิทักษ์. 2554. กระบวนการผลิตและพัฒนา น้ำพริกเครื่องแกงกรุหม่าบรรจุกระป๋อง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.
ปัจจุบัน	- Suksai, S., Kerdpiboon, S., Nonthanum, P. and Watthanasuk, A. 2013. High Nutritious Germinated Brown Rice and Hang rice Produced from Different Rice Cultivars. 13th ASEAN Food Conference, 9-11 September 2013, Singapore. - สุขทิพย์ สุขใส ชลิดา เนียมนุ้ย อนุกุล วัฒนสุข กนกภรณ์ ครุฑทาทันท์ และ โสธยา เกิดพิบูลย์. 2555. สมบัติเชิงกายภาพบางประการของซุปลีที่ ผลิตจากข้าวกล้องและข้าวฮาง. การประชุมวิชาการพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร. 26-27กรกฎาคม 2555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้