การทดแทนข้าวน้ำตาลข้าวข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกในขนมจีนแป้งหมัก

SUBSITUTION OF BROWN RICE AND GERMINATED BROWN RICE TO POLISHED RICE IN FERMENTED RICE NOODLE (*Kanom Jeen*)

ปั้นทนัท วชิรสิริ

PANTANAT WACHIRASIRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรมการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL-2011-AL-M-05[illegible]-109

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกในขนมจีนแป้งหมัก

SUBSITUTION OF BROWN RICE AND GERMINATED BROWN RICE TO POLISHED RICE IN FERMENTED RICE NOODLE (*Kanom Jeen*)

ปัณฑณัท วชิรศิริ

PANTANAT WACHIRASIRI

สขหมู่.....
เลขทะเบียน 116791
วัน,เดือน,ปี 15 มี.ย. 2554

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดและการบริการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL-2011-AI-M-055-109

SUBSITUTION OF BROWN RICE AND GERMINATED BROWN RICE TO POLISHED RICE IN FERMENTED RICE NOODLE (*Kanom Jeen*)

PANTANAT WACHIRASIRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN FOOD CATERING TECHNOLOGY
FACULTY OF AGROINDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
KMITL-2011-AI-M-055-109

COPYRIGHT 2011

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกในขนมจีนแป้งหมัก
นักศึกษา	ปัณฑณัท วชิรศิริ
รหัสประจำตัว	49068616
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการจัดและบริการอาหาร
พ.ศ.	2554
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์

บทคัดย่อ

จากการศึกษาการทดแทนข้าวขาวด้วยข้าวกล้องในการผลิตขนมจีนแป้งหมักในปริมาณ 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นขนมจีนที่ได้ โดยนำเส้นขนมจีนไปวัดค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อปริมาณข้าวกล้องเพิ่มขึ้น เส้นขนมจีนจะมีสีเข้มขึ้น ค่าความสว่าง (L) ลดลง ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงของเส้นขนมจีนลดลง และเส้นขนมจีนมีเนื้อสัมผัสนิ่มขึ้น พบว่าสามารถใช้ข้าวกล้องทดแทนข้าวขัดขาวได้ในปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดลองใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนข้าวขัดขาวในปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน พบว่าเส้นขนมจีนที่ได้มีสีเข้มขึ้น มีปริมาณเถ้า เส้นใยอาหาร โปรตีน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าขนมจีนปกติ แต่มีปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า ไม่พบกรดแกมม่าอะมิโนบิวทิริก เส้นขนมจีนได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสน้อยกว่าขนมจีนจากข้าวขาว ขนมจีนนี้สามารถเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องได้นาน 22 ชั่วโมง

Thesis Title	Substitution of Germinated Brown Rice to White Rice in Fermented Rice Noodle (*Kanom Jeen*) Production
Student	Miss Pantanat Wachirasiri
Student ID.	49068616
Degree	Master of Science
Programme	2011
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Kittiphong Huangrak

ASTRACT

From studying on substitution of brown rice to white rice in fermented rice noodle (*Kanom Jeen*) production at the amount of 25, 50, 75, and 100% (by weight), physical properties of the noodles were investigated by measuring color value and texture. It was found that increasing the amount of brown rice, the noodle was darker, brightness (L value) was decreased while the redness (a) and yellowness (b) were increased. The maximum tensile strength of the noodle was decreased and its texture was softer. The result showed that 50% of white rice could be substituted. After substitution of 50% white rice with germinated brown rice, it was found that the color of the noodles were darker, ash, fiber, protein, and phenolic compounds content were higher than regular noodles, however fat and carbohydrate content were lower. Gamma amino butyric acid was not found. The substituted noodle got less score from the panel in sensory evaluation test than the noodle from white rice. This noodle could be kept for 22 hours at room temperature.

กิจกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะและแก้ไขปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พอใจ ถามากร รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ และ ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ ในความกรุณาที่ท่านได้เป็นกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำชี้แนะเพื่อเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาให้ดำเนินไปได้ด้วยดี จนสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณพี่เจ้าหน้าที่ทุกสายงานในคณะอุตสาหกรรมเกษตรที่คอยให้ความช่วยเหลือและแนะนำในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าศึกษาและทำงานวิจัย จนทำให้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจและอยู่เคียงข้างข้าพเจ้าเสมอมาตลอดจนสนับสนุนในด้านต่าง ๆ จนทำให้ข้าพเจ้าสำเร็จวิทยานิพนธ์เล่มนี้ และขอบคุณญาติพี่น้องและเพื่อนที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ บิดา มาดา ซึ่งเป็นที่รักยิ่ง ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ปัณฑณัท วชิรศิริ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญภาพ..... VIII

บทที่ 1 บทนำ.....

1.1 ความสำคัญและที่มา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว..... 3

2.2 สมบัติของแป้งและสตาร์ช..... 6

2.3 ข้าวกล้อง (brown rice)..... 8

2.4 ข้าวกล้องงอก (germinated brown rice)..... 8

2.5 สารประกอบฟีนลิก..... 11

2.6 สารประกอบแกมมาโอรีซานอล (Gamma Oryzanol)..... 15

2.7 ขนมจีน..... 16

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง..... 20

3.1 วัตถุดิบ..... 20

3.2 อุปกรณ์..... 20

3.3 สถานที่ดำเนินการทดลอง..... 20

3.4 วิธีทดลอง..... 20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 27

4.1 ศึกษาปริมาณการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องที่เหมาะสมในการ ผลิตเส้นขนมจีนแป้งหมัก 27

4.2. การศึกษาองค์ประกอบและคุณภาพของขนมจีนที่ใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนข้าวขัดขาวบางส่วนเปรียบเทียบกับขนมจีปกติ 29

4.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมจีนที่ใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนข้าวขัดขาวบางส่วน 33

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 35

ข้อเสนอแนะ 36

บรรณานุกรม 37

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ 41

การวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง TA-XT2 Texture Analyser 42

การวิเคราะห์ค่าสี L a b 42

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี 43

ความชื้น (AOAC. 2000) 44

ปริมาณไขมัน (AOAC. 2000) 44

ปริมาณโปรตีนโดยวิธี kjeldahl (AOAC. 2000) 45

การวิเคราะห์ใยอาหาร (AOAC. 2000) 47

การตรวจหาปริมาณสารฟีลิดทั้งหมด (total phenolic compound) 47

ภาคผนวก ค การวิเคราห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ 49

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 50

ปริมาณยีสต์และรา 50

ภาคผนวก ง การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส 52

ภาคผนวก จ ภาพตัวอย่างจากการทดลอง..... 54

ประวัติผู้เขียน..... 56

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งชนิดต่างๆ..... 7

2.2 ประโยชน์ของสารอาหารที่มีในข้าวกล้องงอกต่อร่างกาย..... 10

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ การวิเคราะห์ค่าสี และค่าแรงดึงสูงสุดของเส้นขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอกที่ระดับต่างๆ..... 27

4.2 คะแนนเฉลี่ยของผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของเส้นขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอกที่ระดับต่าง ๆ..... 28

4.3 ลักษณะทางกายภาพด้านค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) และค่าค่าแรงดึงสูงสุดของขนมจีนข้าวขัดขาวและขนมจีนทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก..... 29

4.4 องค์ประกอบของทางเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขนมจีนข้าวขัดขาวและขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์..... 30

4.5 คะแนนเฉลี่ยของผลกวรทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของขนมจีนข้าวขัดขาวและขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์..... 32

4.6 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง..... 33

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	3
2.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดเฟอร์รูลิก	13
2.3 โครงสร้างทางเคมีของกรดคูมาลิค	13
2.4 โครงสร้างทางเคมีของกรดแกลลิก	14
2.5 โครงสร้างทางเคมีของแกมมาโอรีซานอล	15
2.6 ขั้นตอนการผลิตขนมจีน	18
3.1 การเตรียมตัวอย่างและสภาวะการทำข้าวกล้องงอก	21
3.2 การทำขนมจีนแป้งหมัก	23
ข1 เครื่องสกัดไขมัน รุ่น Buchi 810, USA	45
ข2 เครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร	47
จ1 ภาพขนมจีนจากการทดลองขนมจีนจากข้าวกล้อง	54

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

"ขนมจีน" เป็นอาหารที่คนไทยทั่วทุกภาคนิยมรับประทานกันมาเป็นเวลานาน โดยบริโภคแทนข้าวได้ในแทบทุกมื้ออาหาร ด้วยวิธีการผลิตที่แตกต่างกันทำให้สามารถแบ่งขนมจีนออกเป็น 2 ชนิด คือ ขนมจีนแป้งสดและขนมจีนแป้งหมัก โดยขนมจีนแป้งหมักจะมีกลิ่นหมักตามความนิยมของผู้บริโภค (Naivikul, 1988) ในปัจจุบันมีการผลิตเพื่อบริโภคในทุกภาคของประเทศ ตั้งแต่ระดับครัวเรือนไปจนถึงอุตสาหกรรม

มีงานวิจัยระบุว่า ข้าวกล้องงอกมีกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (gamma-aminobutyric acid (GABA) มากกว่าในข้าวขัดขาว มีเส้นใยอาหาร (dietary fiber) วิตามินอี และไนอาซินมากกว่าในข้าวขัดขาวประมาณ 4 เท่า และวิตามินบี แมกนีเซียม เพิ่มขึ้นจากที่พบในข้าวขัดขาว 3 เท่า สารอาหารดังกล่าวให้ผลที่ดีในเชิงของการรักษาสุขภาพ ซึ่งงานวิจัยนั้นยังระบุว่า การรับประทานข้าวกล้องงอกอย่างต่อเนื่อง ช่วยเร่งเมตตาบอลิซึมของสมอง ป้องกันอาการปวดศีรษะ ป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ รักษาระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันโรคหัวใจ ช่วยลดความดันโลหิต รวมทั้งป้องกันโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's) (Tian *et al.*, 2004) ในประเทศญี่ปุ่นข้าวกล้องงอกถูกนำมาใช้ในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ

เนื่องจากขนมจีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากข้าวเจ้าและมีกลิ่นหมักที่เป็นกลิ่นเฉพาะตัว จึงมีการศึกษาการผลิตขนมจีนจากข้าวกล้องงอกเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่นิยมบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพและยังทำให้ผู้ที่ไม่นิยมรับประทานได้ลองมารับประทานผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกเพื่อสุขภาพที่ดีของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนข้าวกล้องงอกขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาอัตราส่วนการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอกเพื่อผลิตขนมจีนแป้งหมักโดยใช้ข้าวข้าวพันธุ์ กข 23 (อะมิโลส 27.04 เปอร์เซ็นต์) ศึกษาคุณภาพของขนมจีนจากข้าวกล้องงอกเปรียบเทียบกับขนมจีนจากข้าวขัดขาว จากนั้นศึกษาการเสื่อมเสียและอายุการเก็บรักษาเส้นขนมจีนจากข้าวกล้องงอกเปรียบเทียบกับขนมจีนจากข้าวขัดขาว

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้จะผลิตขนมจีนแป้งหมักโดยทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก ข้าวที่ใช้ในงานวิจัยเป็นข้าวพันธุ์ กข 23 โดยนำข้าวเปลือกมาแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งสีให้เป็นข้าวกล้อง อีกส่วนสีจนได้ข้าวขัดขาว ใช้ข้าวกล้องทดแทนข้าวขัดขาว 5 ระดับคือ 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) หาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อนำอัตราส่วนนี้มาใช้ทดแทนในการผลิตขนมจีนแป้งหมักจากข้าวกล้องงอก เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของขนมจีนข้าวขัดขาวและขนมจีนจากข้าวกล้องงอก จากนั้นศึกษาการเสื่อมเสียและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนจากข้าวกล้องงอกเปรียบเทียบกับขนมจีนจากข้าวขัดขาว

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

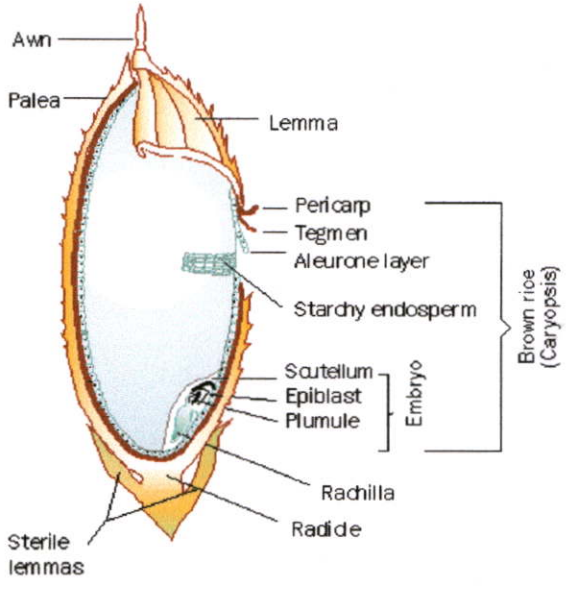
ทราบปริมาณการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอกที่เหมาะสมในการผลิตขนมจีนแป้งหมัก ทราบคุณภาพและองค์ประกอบของขนมจีนจากข้าวกล้องงอก และทราบอัตราการเน่าเสียและอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนจากข้าวกล้องงอกเปรียบเทียบกับขนมจีนจากข้าวขัดขาว

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเรื่องข้าว

ข้าวเป็นธัญพืช ซึ่งได้มาจากเมล็ดของพืชพวกหญ้าวงศ์ แกรมมินีอี (Gramineae) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน เป็นพืชล้มลุก มีใบเลี้ยงชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ทำให้เกิดความหลากหลายของข้าวชนิดต่าง ๆ ที่แพร่กระจายทั่วไปในโลกอย่างน้อย 23 ชนิด ซึ่งมีเพียง 2 ชนิดที่ปลูกเพื่อการบริโภค คือ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) ประชากรกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักโดยเฉพาะชาวเอเชียบริโภคข้าวมากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

ข้าว เป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียก เมล็ดข้าว (rice fruit หรือ rice seed) ซึ่งทางพฤกษศาสตร์จะหมายถึง ผล (fruit) ที่มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (single fruit) เกิดจากรังไข่อันเดียวในแต่ละดอกย่อยที่เกิดรวมกันอยู่เป็นดอกช่อ เมล็ดข้าวประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ด เรียกว่า แกลบ และส่วนเนื้อผล หรือ ผลแท้ หรือ ข้าวกล้อง (brown rice) โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: Juliano (1972)

แกลบ (hull) ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ เปลือกเล็ก ขน หาง ขั้วเมล็ดและกลีบรองเมล็ดซึ่งเชื่อมต่อกันกับก้าน เปลือกใหญ่เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านนอกมีขนาดใหญ่อาจมีหางหรือไม่มีก็ได้ ลักษณะของ

เปลือกใหญ่จะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กทั้งสองไว้สองด้านในลักษณะขบอยู่ด้านบนอย่างแน่นสนิท ประมาณ 2/3 ของเปลือกทั้งหมดตามแนวยาวของเมล็ด เปลือกเล็กเป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลังที่มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ประมาณ 1/3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาว ทำให้เปลือกทั้งสองติดสนิทกัน บนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น ขนจะขึ้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่ ขนนี้คือส่วนของเซลล์ผิวนอกที่เจริญกลายเป็นขน เพื่อทำหน้าที่ลดการระเหยน้ำ ป้องกันอันตรายต่อเมล็ดจากสภาวะภายนอกเม็ด และเพื่อการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ หางเป็นส่วนล่างเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งยอดดอก ทำหน้าที่กระจายพันธุ์ ขั้วเมล็ดเป็นก้านสั้นอยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และยังติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก กลีบรองเมล็ดเป็นกลีบเล็ก 2 กลีบ อยู่ตรงข้ามกันใต้สุดของเมล็ด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

ข้าวกล้องหรือเนื้อผล ประกอบด้วย เยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลอยู่ภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ เช่น น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง น้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ เยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้ามา ประกอบด้วย เซลล์ 2 ชั้น รูปยาวเรียงตามขวาง และมีผนังบางกั้น (หนาประมาณ 0.5 ไมครอน) ภายในเซลล์มีไขมันและสารสี เช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผล ทำให้ข้าวกล้องมีสี นิวเซลลัส (nucellus) เป็นเซลล์ชั้นที่ติดอยู่กับเยื่อหุ้มเมล็ด แต่พันธะระหว่างนิวเซลลัสกับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่น จึงแยกจากกันได้ง่าย มีความหนาประมาณ 0.8-2.5 ไมครอน เยื่อชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนานี้จะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าวเช่น เมล็ดข้าวป้อมสั้น จะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น เซลล์แอลิวโรนจะไม่เชื่อมติดกับคัพภะในส่วนของใบเลี้ยงด้านท้องของเมล็ดลงมาถึงจุดเชื่อมระหว่างใบเลี้ยงกับเยื่อรากอ่อน ซึ่งอยู่ข้างในเมล็ด คัพภะ (embryo) จะอยู่ที่โคนเมล็ดของเปลือกใหญ่ ส่วนท้องของเมล็ดมีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน (radicle) ต้นอ่อน (plumule) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhizae) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงอุดมด้วยโปรตีนและไขมันในส่วนต่าง ๆ เนื้อเมล็ด หรือเนื้อข้าว(endosperm) มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนชั้นซับแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ 2 ชั้น อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรนและส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อเมล็ด (starchy endosperm) ในชั้นซับแอลิวโรนจะมีกลุ่มโปรตีนอยู่ภายใน 3 ลักษณะ คือ ลักษณะกลมใหญ่ (ขนาด1-2ไมครอน) กลมเล็ก (0.5-0.75ไมครอน) และเป็นผลึกติดกันขนาด 2-3.5 ไมครอน ในแต่ละส่วนของเมล็ดมีกลุ่มโปรตีนลักษณะกลมใหญ่เท่านั้น แทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช (starch granule) มีขนาด 3-9 ไมครอน ที่มีอยู่มากอัดแน่นรวมเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ช (compound granules) อยู่ภายในเซลล์พาเรนไคมา (parenchyma) ที่มีผนังเซลล์บาง มีรูปร่างรีหรือสี่เหลี่ยมเข้าสู่ใจกลางเมล็ด โดยด้านนอกของเมล็ดจะรีและยาวมากกว่าด้านในของเมล็ด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2537)

2.1.1 การจำแนกประเภทของข้าว

การจำแนกประเภทของข้าวตามลักษณะความเหนียวของข้าวได้เป็น 2 ประเภท

(1) ข้าวเหนียว (glutinous rice)

เมล็ดข้าวจะมีสีขาวขุ่น เมื่อนึ่งแล้วจะได้ข้าวสุกที่จับตัวติดกันเหนียวแน่นและมีลักษณะใส ข้าวเหนียวประกอบด้วยแป้งชนิด อะมิโลเพกทิน (amypectin) เป็นส่วนใหญ่ มีอะมิโลส (amylose) อยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

(2) ข้าวเจ้า (Nonglutinous rice)

เมล็ดข้าวจะมีสีขาวใส เมื่อหุงหรือนึ่งสุกแล้ว ข้าวสุกมีสีขาวขุ่นและร่วนกว่าข้าวเหนียว ข้าวเจ้าแต่ละพันธุ์เมื่อหุงสุกแล้ว มีความเหนียวนุ่มแตกต่างกัน ข้าวเจ้ามีแป้งอะมิโลสอยู่ประมาณ 7-33 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือเป็นอะมิโลเพกทิน นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทข้าวในประเทศไทยตามปริมาณอะมิโลสได้ดังนี้

ข้าวเหนียว มีปริมาณอะมิโลส 0-2 เปอร์เซ็นต์

ข้าวเจ้า มีปริมาณอะมิโลส มากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ แบ่งได้เป็นกลุ่มย่อยดังนี้

ปริมาณน้อยมาก	อยู่ในช่วง 2-10 เปอร์เซ็นต์
ปริมาณน้อย	อยู่ในช่วง 10-20 เปอร์เซ็นต์
ปริมาณปานกลาง	อยู่ในช่วง 20-25 เปอร์เซ็นต์
ปริมาณสูงปานกลาง	อยู่ในช่วง 25-27 เปอร์เซ็นต์
ปริมาณสูง	มีมากกว่า 27 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้อาจแบ่งประเภทข้าวจากขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าวตามหลักของ IRRI (Juliano, 1972) โดยถ้าแบ่งตามความยาวของเมล็ดข้าวจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

(1) ข้าวเมล็ดสั้น (short) มีความยาวน้อยกว่า 5.50 มิลลิเมตร

(2) ข้าวเมล็ดปานกลาง (medium) มีความยาว 5.51-6.60 มิลลิเมตร

(3) ข้าวเมล็ดยาว (long) มีความยาว 6.61-7.50 มิลลิเมตร

(4) ข้าวเมล็ดยาวมาก (extra long) มีความยาวมากกว่า 7.50 มิลลิเมตร

2.1.2 กระบวนการสีข้าว

กระบวนการสีข้าว ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ (เครือวัลย์, 2536)

(1) การทำความสะอาด เพื่อกำจัดใบข้าว เมล็ดลีบ กรวด หิน ดิน ทราย เมล็ดวัชพืชและสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากข้าวเปลือก

(2) การกระเทาะ เพื่อแยกเปลือกหุ้มแข็งออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้รับคือ แกลบ เป็นส่วยผสมของส่วนเมล็ด หาง กลีบเลี้ยง และขั้วเมล็ด มีประมาณ 20-24 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก และข้าวกล้องซึ่งมีเยื่อหุ้มชั้นนอนติดอยู่

(3) การขัดขาว เพื่อขัดเยื่อหุ้มเมล็ด และทำให้คัพภะหลุดออกจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้รับคือ รำ เป็นส่วนที่เยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อแอลิวโรน คัพภะ และผิวนอกของข้าวสารมีประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก และข้าวสารมีประมาณ 68-70 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก

(4) การคัดแยก เพื่อแยกข้าวเป็ฯเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ซึ่งแต่ละส่วนจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้างเปลือกก่อนสี

2.2 สมบัติของแป้งและสตาร์ช

2.2.1. การพองตัวและความหนืด เมื่อสารละลายสตาร์ชได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำอย่างเพียงพอและกวนตลอดเวลา จะเกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นให้แก่เม็ดสตาร์ช ทำให้โครงร่างผลึกในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย โมเลกุลน้ำเข้าไปเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลอะมิโลเพกตินและอะมิโลสด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นสาเหตุทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัว การพองตัวของเม็ดสตาร์ชในช่วงแรกสามารถผันกลับได้ถ้าทำให้แห้ง (drying) โมเลกุลสตาร์ชสามารถกลับมาจับกันได้เหมือนลักษณะเดิม เม็ดสตาร์ชที่พองตัวจะเสียดสีกับเม็ดสตาร์ชข้างเคียงทำให้ความหนืดของเพสต์เริ่มเพิ่มขึ้นและเมื่อเม็ดสตาร์ชดูดน้ำเข้าไปเรื่อย ๆ จะเกิดการพองตัวได้มากขึ้น เม็ดสตาร์ชสามารถพองตัวเพิ่มขนาดขึ้นได้หลายตัว จนกระทั่งถึงจุดความหนืดวิกฤต ที่จุดนี้โครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชไม่สามารถผันกลับได้และความหนืดเริ่มเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีโมเลกุลสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ซึมออกมาเป็นผลให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น โมเลกุลอะมิโลสซึมออกมาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหนืด โดยปริมาณอะมิโลสที่ซึมออกมานอกเม็ดสตาร์ชแปรผันตรงกับปริมาตรของเม็ดสตาร์ชที่ขยายตัว เมื่อถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด แรงยึดเกาะระหว่างสายโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชอ่อนแอมาก เกิดความหนืดสูงสุดซึ่งสัมพันธ์กับน้ำหนักและรูปร่างของอะมิโลเพกติน ในที่สุดเม็ดสตาร์ชเกิดการแตก ทำให้ความหนืดลดลง เกิดค่าความหนืดลดลง (breakdown) ขณะเดียวกันโมเลกุลสตาร์ชที่ออกมานอกเม็ดสตาร์ชเกิดเรียงตัวไปในทางเดียวกันเนื่องจากการกวน เป็นผลให้ความหนืดลดลง จากนั้นเมื่ออุณหภูมิในระบบลดลงพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลน้ำและโมเลกุลสตาร์ชมีปริมาณลดลงหรือถูกแทนที่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลสตาร์ชแทน เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติและมีเม็ดสตาร์ชที่พองตัวฝังอยู่ในโครงร่างตาข่าย สายโมเลกุลสตาร์ชสามารถเกิดอัตรกิริยา (interaction) กันอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะโมเลกุลสายตรง (อะมิโลส) เนื่องจากโมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้ดีและสามารถจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างผลึกที่มีความเป็นผลึกมาก ทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น (ศันสนีย์ อุดมระติ, 2548)

2.2.2. การเกิดเจล (gelatinization) เป็นการทำลายโครงสร้างผลึก (molecule order) ภายในเม็ดสตาร์ชโดยการให้ความร้อนแก่เม็ดสตาร์ชในสภาวะที่มีน้ำอย่างเพียงพอ โมเลกุลน้ำสามารถแพร่เข้าไปในส่วนอสัณฐาน (amorphous) ของเม็ดสตาร์ชได้ก่อน ทำให้ได้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลสตาร์ช

ในส่วนอสัณฐานอ่อนแอลง เม็ดสตาร์ชเริ่มเกิดการพองตัว การพองตัวของส่วนอสัณฐานนี้ทำให้โครงสร้างผลึกเกิดความเครียด แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโมเลกุลในโครงสร้างผลึกอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลสตาร์ชถูกทำลาย น้ำจึงสามารถเข้าไปในส่วนโครงร่างผลึกทำให้เม็ดสตาร์ชดูดน้ำได้มากขึ้นพร้อมกับพองตัวขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งโครงผลึกของเม็ดสตาร์ชถูกสลายไป เกิดเป็นการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ พร้อมกับสายโมเลกุลอะมิโลสแพร่ออกมานอกเม็ดสตาร์ช เม็ดสตาร์ชเริ่มเกิดเจลาติไนเซชันที่บริเวณจุดกึ่งกลาง (hilum) ในบริเวณส่วนอสัณฐานเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีพันธะไฮโดรเจนอ่อนแอ ส่วนโครงร่างผลึกเป็นตัวขัดขวางการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดสตาร์ช ปรากฏการณ์ทั้งหมดนี้เรียกว่าเจลาติไนเซชัน (gelatinization) หรือการสุกของเม็ดแป้ง และเรียกช่วงอุณหภูมินี้ว่าช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature range) โดยอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวเจ้าอยู่ในช่วง 55-78 องศาเซลเซียสดังตารางที่ 2.1 (ศันสนีย์ อุดมระติ, 2548)

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	ปริมาณอะมิโลส (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิเกิดเจลาติไนซ์ (องศาเซลเซียส)
ข้าวสาลี	26	43-65
ข้าวบาเล่ย์	22	56-62
ข้าวโพด	28	62-70
ข้าวโอ๊ต	27	56-62
ข้าวเจ้า	18	61-78
ข้าวเหนียว	1	55-65
ข้าวฟ่าง	25	69-75
มันฝรั่ง	23	58-66

ที่มา : ศันสนีย์ อุดมระติ (2548)

2.2.3. การเกิดรีโทรเกรเดชั่น (retrogradation) ทั้งโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินสามารถทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้ แต่ทั้งสองมีบทบาทต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันต่างกัน คือ อะมิโลสจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้อย่างรวดเร็ว และเกิดในระยะแรกของการเก็บรักษา เพราะโครงสร้างของอะมิโลสมีลักษณะเป็นสายตรง โมเลกุลจึงสามารถรวมตัวกันใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบมีความเสถียรเพิ่มขึ้น ส่วนอะมิโลเพคติน มีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันในระยะยาว จะเกิดรีโทรเกรเดชันได้ช้า อาจใช้เวลาหลายวันหรือเป็นสัปดาห์ เพราะโครงสร้างของอะมิโลเพคตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ทำให้เกิดการรวมตัวได้ยากกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชันของทั้งอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ประกอบด้วยสายโมเลกุลอะมิโลสหรืออะมิโลเพคตินเกิดอัตรกิริยากัน (interaction) สายโมเลกุลพันกันเป็นเกลียวคู่ (double helices) เกิด

การรวมตัวกันจนลักษณะเป็นผลึก (crystallization) เกิดเป็นโครงร่างแห (network) (คำรบ สมะวรรธนะ, 2546)

2.3 ข้าวกล้อง (brown rice)

ข้าวกล้อง คือ ข้าวที่ผ่านการกะเทาะเอาเปลือกออกเท่านั้น จึงหมายถึงข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว ข้าวที่ได้จึงมีสีขาวขุ่น และเป็นข้าวที่ยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่มาก ส่วนนี้เป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เมื่อเทียบกับข้าวขัดขาว (polished rice or white rice) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนเยื่อหุ้มนี้จะมีใยอาหาร วิตามินบี และวิตามินอี ถึงแม้ว่าข้าวกล้องจะเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ดีแต่พื้นที่ผิวที่อยู่ล้อมรอบเมล็ดชั้นนอกมีความแข็ง อุดมด้วยน้ำมันและเส้นใย จึงเป็นส่วนที่ป้องกันการแทรกผ่านของความร้อนและการดูดซับน้ำ ทำให้เมื่อหุงข้าวภายใต้แรงดันบรรยากาศจะเกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) ของสตาร์ชและการอ่อนตัวหรือการสลายตัวของเนื้อเยื่อชั้นนอกได้ไม่ดีพอ ดังนั้นการหุงข้าวกล้องภายใต้ความดันทั่วไป ข้าวกล้องจะมีความแข็งและร่วน คุณภาพในการรับประทานต่ำเมื่อเทียบกับข้าวขัดขาว (Toyoshima *et al.*, 2004)

2.4 ข้าวกล้องงอก (germinated brown rice)

ข้าวกล้องงอก หมายถึง ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 32-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22-24 ชั่วโมง จนส่วนของจมูกข้าวมีความยาวประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของกระบวนการงอกของเมล็ดข้าว ระหว่างการแช่ เมล็ดข้าวจะดูดซับน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ด เปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกจะนิ่มขึ้น ช่วยให้ง่ายต่อการรับประทาน สารอาหารต่าง ๆ ภายในเมล็ดจะถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์เพื่อใช้ในการงอก (Toyoshima *et al.*, 2004) สารอาหารหลักที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นคือ กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก เส้นใยอาหาร อินโนซิทอล กรดเฟอร์รูลิก กรดไฟติก โทโคไตรอีนอล แมกนีเซียม โพแทสเซียม สังกะสี แกมมา โอรีซานอล และ สารยับยั้งเอนไซม์โพรลีเลนเปปติเดส (prolylendopeptidase) (Ito and Ishikawa, 2004)

O'Brien และ Fowkes (2005) อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในข้าวบาร์เลย์ระหว่างกระบวนการงอกว่าเอมบริโอ (embryo) จะผลิตกรดจิบเบอริลิกที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในการผลิตเอนไซม์ในชั้นแอลิวโลน และแพร่เข้าในส่วนของเอนโดสเปิร์มและเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งหมายถึง การสลายของผนังเซลล์และการเปลี่ยนสตาร์ชไปเป็นน้ำตาลภายในเอนโดสเปิร์ม ในระหว่างการงอกเพนโทซานกัมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเบต้ากลูแคนกัม ซึ่งเบต้ากลูแคนกัมประกอบด้วยโมเลกุลเบต้ากลูโคส (β-glucose) 500-20000 หน่วยเรียงต่อกันเป็นเส้นตรง เอนไซม์เบต้ากลูคาเนส (β-glucanases) จะสลายเบต้ากลูแคนกัมไปเป็นกลูโคส

นอกจากนี้กระบวนการงอก ยังเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมี (biochemical) สารอาหาร (nutritional) และลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าระหว่างกระบวนการงอก สารประกอบในเมล็ดถั่วจะเกิดการสลายตัวและมีการสังเคราะห์โปรตีนในโครงสร้าง ไขมัน (fat) คาร์โบไฮเดรต

(carbohydrate) จะสลายตัวในขณะที่เส้นใยอาหารมีปริมาณเพิ่มขึ้น วิตามินและสารประกอบอื่น (secondary compounds) ที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนแปลงมากในระหว่างกระบวนการงอก ปริมาณกรดไฟติกและเส้นใยอาหารจะเปลี่ยนแปลงในปริมาณที่แตกต่างกัน นอกจากนี้สารที่ไม่ใช่ทริปซิน (trypsin) และสารยับยั้งไคโมทริปซิน (chymotrypsin inhibitor) ที่มีผลต่อการย่อยโปรตีนมีปริมาณลดลงหลังจากกระบวนการงอก ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและสารที่ไม่ใช่สารอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของถั่วและสภาวะในการงอก เช่น ระยะเวลา แสง อุณหภูมิ เป็นต้น (Kuo *et al*, 2004)

Rao และ Muralikrishna (2004) ทดลองแยกโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (non-starch polysaccharide) จากธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี เรจจิ (ragi) และธัญพืชที่งอก (germinated cereal) ออกเป็นส่วนที่ละลายน้ำ (water-extractable, WEPs) และไม่ละลายน้ำ (water-unextractable, WUPs) โดยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช ได้แก่ อะราบิโนไซแลนและบีต้า-ดี-กลูแคน ซึ่งในธัญพืชที่งอกมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชส่วนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น อาจเป็นไปได้ว่าในการงอกหรือการเกิดมอลต์ (malting) การจับกันของผนังเซลล์หลวมทำให้ความสามารถในการละลายของโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชที่ผนังเซลล์มากขึ้น โดยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชที่พบมากในแป้งตามธรรมชาติ (native) และธัญพืชที่งอก คือ อะราบิโนส ไซโลส และกลูโคส และยังพบว่าน้ำตาลเฮกโซสในข้าว ข้าวโพด เรจจิ ลดลง แสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลเฮกโซส เช่น แมนโนสและกาแลคโตส สูงกว่า เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์แมนโนซิเดส และกาแลกโตซิเดส ดังนั้น การงอกมีผลให้ปริมาณอะราบิโนส ไซโลส และกลูโคสในข้าว ข้าวโพด และเรจจิ เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของ Komatauzaki และคณะ (2005) พบว่าข้าวกล้องงอกที่ได้จากการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณกรดอะมิโนแอสพาติก (aspartic acid) เซอรีน (cerin) แอสพาราจีน (asparagine) และกลูตามิก (glutamic) ลดลง ในขณะที่กรดอะมิโนตัวอื่น ๆ เช่น ไกลซีน (glycine) อะลานีน (alanine) วาลีน (valine) มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกรดอะมิโนที่อยู่ในข้าวกล้องงอกจะสลายตัวเมื่อมีการดูดซับน้ำ และเปลี่ยนเป็นเอไมด์ (amide) กรดอะมิโนเหล่านี้ยังช่วยในการเจริญเติบโตของเมล็ดด้วย

Tian และคณะ (2004) กล่าวว่า ปริมาณของสารอาหารที่มีในข้าวกล้องงอกนั้น ปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริกจะมากกว่าข้าวขัดขาว 10 เท่า เส้นใยอาหาร วิตามินอี ไนอะซิน และไลซีน มีมากกว่าประมาณ 4 เท่า ส่วนวิตามินบี 1 บี 6 และแมกนีเซียมมีมากกว่าประมาณ 3 เท่า Oloyo (2004) พบว่า การแช่ข้าวกล้องก่อนการหุงต้ม ทำให้มีสารอาหารเพิ่มขึ้น โดยข้าวกล้องงอกจะมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าข้าวกล้อง ปริมาณกรดอะมิโนไลซีนมากขึ้น 3 เท่าและปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก เพิ่มขึ้น 10 เท่า นอกจากนี้พบว่าการบริโภคข้าวกล้องงอกเป็นประจำอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพเนื่องจากโภชนสารหลายชนิดที่พบดังแสดงในตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 ประโยชน์ของสารอาหารที่มีในข้าวกล้องงอกต่อร่างกาย
ที่มา: ดัดแปลงจาก Ito and Ishikawa (2004)

สารอาหาร	ประโยชน์ของสารอาหารที่มีในข้าวกล้องงอกต่อร่างกาย
กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก	เร่งกระบวนการเผาผลาญพลังงานในสมอง ป้องกันโรคนอนไม่หลับ และป้องกันการเกิดความผิดปกติในวัยหมดประจำเดือน ป้องกันการเกิดท้องผูกและป้องกันโรคมะเร็งลำไส้
ใยอาหาร	ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด
อินโนซิทอล	เร่งกระบวนการเผาผลาญไขมัน ป้องกันภาวะที่เส้นเลือดแดงหนา
กรดเฟอร์รูลิก	เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยในการสร้างเม็ดสีให้แก่ผิว
กรดไฟติก	ป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นและการตกตะกอนของเกล็ดเลือด
วิตามินอี	เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันผิวจากแสงแดด
แมกนีเซียม	ป้องกันโรคหัวใจ
โพแทสเซียม	ลดระดับความดันเลือด
สังกะสี	ป้องกันภาวะผนังเส้นเลือดแดงหนา
แกมมาโอรีซานอล	ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ช่วยบำรุงผิว และลดระดับโคเลสเตอรอล
สารยับยั้งแอนไซม์โพลีเลนโดเปปติเดส	ป้องกันการเกิดโรคสมองเสื่อม

2.4.1 สารอาหารและประโยชน์ของข้าวกล้องงอก (Ito and Ishikawa, 2004)

สารอาหารที่เป็นประโยชน์ในของข้าวกล้องงอกมีด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดให้คุณประโยชน์ที่แตกต่างกันดังนี้

1) กรดอะมิโน (amino acid) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย (essential amino acid) ร่างกายสังเคราะห์ไม่ได้ต้องได้รับจากสารอาหาร กรดอะมิโนเหล่านี้ เช่น ไลซีน อีกกลุ่มหนึ่งคือ กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย (non-essential amino acid) ได้แก่ แอสพาราจีน กลูตาเมต อะลานีน แกมมาอะมิโนบิวทิริก เป็นต้น

2) กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก เป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทในสมอง กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริกมีความสำคัญโดยเป็นสารสื่อประสาทหลักและถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของสารสื่อประสาทชนิดยับยั้งในระบบประสาทส่วนกลาง กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริกได้จากปฏิกิริยาดีคาร์บอกไซเลชัน (decarboxylation) ของกรดกลูตามิก โดยเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase; GAD) (Komatsuzaki *et al.*, 2005) จะช่วยให้ไตทำงานเป็นปกติ เร่งกระบวนการ

เผาผลาญพลังงานในสมอง ป้องกันอาการปวดหัวหรือภาวะที่ผนังเส้นเลือดแดงหนาและมีความยืดหยุ่นน้อยลงเนื่องจากความเครียด

3) วิตามิน (vitamin) ช่วยให้ร่างกายเผาผลาญอาหารได้ดี ช่วยในการสร้างกระดูกและเนื้อเยื่อ ช่วยเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรตเพื่อให้พลังงานแก่ร่างกาย วิตามินที่พบมากในรำและจมูกข้าว ได้แก่ วิตามินบี 1 (thiamin) ข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามินบี 1 เป็น 4 เท่าของข้าวกล้อง วิตามินบี 1 ช่วยให้ร่างกายย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดีขึ้น มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบประสาท หัวใจ และกล้ามเนื้อ วิตามินบี 3 (niacin) ข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามินบี 3 เป็น 4 เท่าของข้าวกล้อง วิตามินบี 3 จะกระตุ้นการหมุนเวียนของเลือดและลดระดับโคเลสเตอรอล (cholesterol) ช่วยให้ร่างกายดูดซึมโปรตีน น้ำตาล และไขมัน ลดความดันเลือด ช่วยบำรุงผิว วิตามินบี 6 (pyridoxine) ข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามินบี 6 เกือบ 3 เท่าของข้าวกล้องซึ่งช่วยในการสร้างกรดอะมิโน ช่วยให้ร่างกายใช้ไขมันและคาร์โบไฮเดรต ช่วยในการสร้างแอนติบอดี (antibody) รักษาสมดุลของโซเดียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย ลดการเกิดตะคริวกล้ามเนื้อ วิตามินอี เป็นสารหลักของกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ ข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามีนอี เป็น 10 เท่าของข้าวกล้อง วิตามินอีช่วยชะลอความแก่ของเซลล์ ช่วยในการกระจายออกซิเจนไปในเลือด ป้องกันการสะสมของแคลเซียมในหลอดเลือด และป้องกันเซลล์เม็ดเลือดแดงจากสารพิษ

4) เกลือแร่ ที่พบในรำและจมูกข้าว ได้แก่ แมกนีเซียม ข้าวกล้องงอกมีปริมาณแมกนีเซียมเป็น 10 เท่าของข้าวกล้อง แมกนีเซียมช่วยรักษาระดับการเต้นของหัวใจให้เป็นปกติ ช่วยให้ร่างกายใช้แคลเซียมและวิตามินซีได้ดี เปลี่ยนน้ำตาลเป็นพลังงาน ช่วยในการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ เหล็ก ข้าวกล้องงอกมีปริมาณเหล็กเป็น 1.5 เท่าของข้าวกล้อง เหล็กเป็นส่วนสำคัญของฮีโมโกลบินที่ใช้ในการส่งออกซิเจนจากปอดไปสู่เซลล์ และเป็นส่วนสำคัญในการส่งออกซิเจนเข้ากล้ามเนื้อ แคลเซียม ข้าวกล้องงอกมีปริมาณแคลเซียมเป็น 1.5 เท่าของข้าวกล้อง แคลเซียมใช้ในการสร้างกระดูกและฟัน ควบคุมการเต้นของหัวใจ ช่วยในการนอนหลับ ช่วยส่งสารอาหารไปทั่วร่างกาย รักษาการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ลดความดันเลือด ทำให้การทำงานของไตเป็นปกติ (Komatsuzaki *et al*, 2005; Morin and Allen, 2005)

5) เส้นใยอาหาร (fiber) ข้าวกล้องงอกมีปริมาณเส้นใยอาหารเกือบ 2 เท่าของข้าวกล้อง

6) สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ในข้าวกล้องงอกจะพบสารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารจำพวกวิตามิน แร่ธาตุ ฟลาโวนอย หรือเอนไซม์ที่ช่วยปกป้องร่างกายจากอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระเป็นสาเหตุของความแก่และก่อให้เกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยป้องกันร่างกายจากการเข้าทำลายของเชื้อไวรัสและแบคทีเรียได้ (Morin and Allen, 2005; Shelp *et al*., 1999)

2.5 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

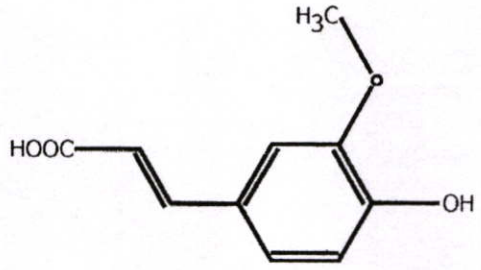
สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารในกลุ่มผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ในพืชแต่ละชนิดจึงแตกต่างกันไป โครงสร้างพื้นฐานของ

สารประกอบฟีนอลจะเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลของน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ก็ได้ น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก คือ กลูโคส (glucose) ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นที่พบ ได้แก่ กาแลกโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไซโลส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) และอนุพันธุ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucoronic acid) กรดกาแลกตูโรนิก (galacturonic acid) และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเองหรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่น เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (organic acids) อะมีน (amines) และไขมันอีกด้วย สารประกอบฟีนอลิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งสามารถพบได้โดยทั่วไปและมีความสำคัญ ประกอบด้วยฟีนอล (phenols, C_6) กรดฟีนอลิก (phenolic acids, C_6-C_1) ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids, C_6-C_3) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ตัวอย่างของฟีนอล ได้แก่ ฟีนอล (phenol) ครีซอล (cresol) ไทมอล(thymol) รีซอซินอล (resorcinol) ออซินอล (orcinol) และอื่น ๆ ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องเทศ รวมทั้งไฮโดรควิโนน (hydroquinone) และอนุพันธุ์ สำหรับตัวอย่างของกรดฟีนอลิก ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดวานิลิก (vanillic acid) กรดไซรินจิก (syringic acid) กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (p-hydroxybenzoic acid) และอัลดีไฮด์ของกรดฟีนอลิก ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงและเฟิร์น ตัวอย่างของฟีนิลโพรพานอยด์ (phenyl propanoids) ได้แก่ กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acids) เช่น กรดพาราคูมาริก (p-comaric acid) กรดเฟอร์รูลิก (ferulic acid) กรดซินนาปิก (sinapic acid) และ อนุพันธุ์ของคูมาริน (coumarins) เช่น อันบิลิฟีโรน (unbiliferone) แอกคูเลทิน (aceculetin) และสโคโพเลทิน (scopoletin) ซึ่งเป็นสารพวกกลัยโคไซด์ (glycosides) (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2445)

สารประกอบฟีนอลิกสามารถพบได้ในอาหารและเครื่องดื่มที่ได้จากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืช ชา กาแฟ เป็นต้น แต่จะพบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปในพืชต่างชนิดกัน ในเมล็ดธัญพืชพบเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปอิสระ (free phenolic compound) และกลัยโคไซด์ (glycosides) ซึ่งมีทั้งส่วนที่ละลายได้ (soluble phenolic compound) และส่วนที่ไม่ละลาย (insoluble phenolic compound) โดยที่ส่วนใหญ่จะจับกับโพลีแซคคาไรด์ที่มีกลูโคส อะราบิโนส ไซโลส กาแลกโตส แรมโนส และแมนโนส เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Tian *et al.*, 2004) ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลิกในธัญพืช ได้แก่ อนุพันธุ์ของเบนโซอิก (benzoic compound) และกรดซินนามิก (cinnamic acid) แอนโธไซยานิดิน (anthocyanidin) ควิโนน (quinine) ฟลาโวนอล (flavanol) ฟลาโวโนน (flavonone) นอกจากนี้ยังมีโทโคไตรอีนอล โทโคฟีรอล (tocopherol) และในเมล็ดข้าวยังพบโอรีซานอล (oryzanol) อีกด้วย (Adom and Liu, 2002)

กรดฟีนอลิกที่สำคัญในข้าว ได้แก่

1) กรดเฟอร์รูลิก (ferulic acid) มีชื่อทางเคมีว่า กรด 4-ไฮดรอกซี-3-เมทอกซีซินนามิก (4-hydroxy-3-methoxycinnamic acid) สูตรทางเคมีคือ $C_{10}H_{10}O_4$ มวลโมเลกุล 194 ดาลตัน โครงสร้างของกรดเฟอร์รูลิกแสดงดังรูปที่ 2.2

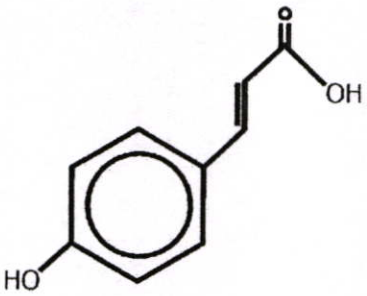


รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดเฟอร์รูลิก

ที่มา : Juliano (1972)

กรดเฟอร์รูลิก อยู่ในกลุ่มของไฮดรอกซีซินนามิก พบได้ในใบไม้ ส่วนของลำต้น และเมล็ดของพืชหลายชนิด โดยเฉพาะในธัญพืช เช่น ข้าวกล้อง ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต และข้าวโพด นอกจากนี้ยังพบในกาแฟ แอปเปิล ถั่วลิสง เป็นต้น กรดเฟอร์รูลิกมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยจะป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเซลล์ได้ มีการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในสารอาหารด้วย

2) กรดคูมาลิค (coumaric acid) มีชื่อทางเคมีว่า กรด พารา-คูมาริกริคริสตัลไลน์ (p-conmaric acid crystalline) กรด 4-ไฮดรอกซีซินนามิก (4-hydroxycinnamic acid) กรด 4-ไฮดรอกซีฟีนิลโพรพีโนอิก (4-hydroxyphenylpropenoic acid) มีสูตรทางเคมีคือ $C_9H_8O_3$ มวลโมเลกุลเท่ากับ 164.16 ดาลตัน โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.3



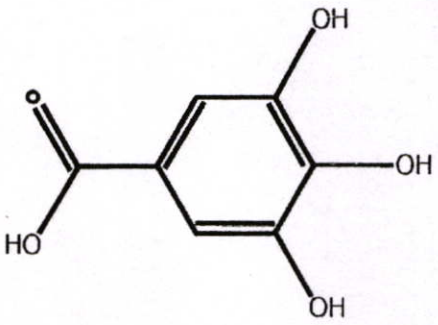
ρ-Coumaric acid

รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของกรดคูมาลิค

ที่มา: Juliano (1972)

กรดคูมาลิค อยู่ในกลุ่มของกรดไฮดรอกซีซินนามิก พบได้ในผักและผลไม้หลายชนิด ในผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล แพร์ นอกจากนี้ยังพบในถั่ว มันฝรั่ง มะเขือเทศ และชา กรดคูมาลิคสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดจากอนุพันธุ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยาและต้านการเกิดออกซิเดชันของไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL)

3) กรดแกลลิก (gallic acid) มีชื่อทางเคมีว่า กรด 3,4,5-ไตรไฮดรอกซีเบนโซอิก (3,4,5-trihydroxybenzoic acid) มีสูตรทางเคมี $C_7H_6O_6$ มวลโมเลกุลเท่ากับ 170.12 ดาลตัน โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของกรดแกลลิก

ที่มา: Juliano (1972)

จากการศึกษาการกระจายตัวของกรดฟีนอลิกในเมล็ดข้าวโดย Zhou และคณะ (2004) พบว่า กรดฟีนอลิกที่พบส่วนใหญ่ในข้าวกล้องและข้าวขัดขาว คือ กรดเฟอร์รูลิกและกรดพารา-คูมาริก และพบกรดแกลลิก (gallic acid) กรดวานิลลิก (vanillic acid) กรดแคเฟอิก (caffeic acid) และกรดไซลินจิก (syringic acid) เล็กน้อย ความเข้มข้นของกรดฟีนอลิกจะเพิ่มขึ้นจากส่วนของเอนโดสเปิร์มไปยังชั้นแอลิวโลน กรดพาราคูมาริกจะเชื่อมต่อกับลิกนินที่ผนังเซลล์ ขณะที่กรดเฟอร์รูลิกจะเชื่อมต่อกับองค์ประกอบของผนังเซลล์ โดยผนังเซลล์ของชั้นแอลิวโลนจะมีอะราบิโนสไซแรนมากจึงทำให้ชั้นแอลิวโลนมีปริมาณกรดเฟอร์รูลิกมาก

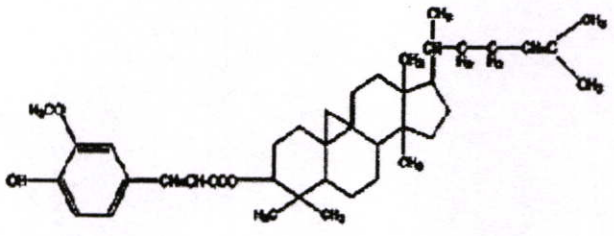
Tian และคณะ (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดฟีนอลิกในข้าวกล้องระหว่างกระบวนการงอกและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายได้ (soluble phenolic compound) และสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ละลาย (insoluble phenlic compound) ในข้าวขัดขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอกด้วยโครมาโตกราฟีแบบของเหลวแรงดันสูง (HPCL) พบว่า ข้าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ละลายมากกว่าสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายได้ โดยสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ละลายประกอบด้วยกรดฟีนอลิกอิสระและไฮดรอกซีซินนาเมต ซูโครส เอสเทอร์ (hydroxycinnamate sucrose esters) ในกระบวนการงอกปริมาณกรดเฟอร์รูโรอิลซูโครส (feruloylsucrose) และซินนาโพอิลซูโครส (sinapoylsucrose) ลดลงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณกรดเฟอร์รูลิกอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณของสารประกอบฟีนอลลิกที่ไม่ละลาย พบว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 18.47 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม เป็น 24.78 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม นอกจากนี้ข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าข้าวขัดขาว ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่พบในส่วนรำ ระหว่างกระบวนการงอก ปริมาณของกรดฟีนอลิกอิสระจะเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของกรดเฟอร์รูลิกในข้าวกล้องเพิ่มขึ้นจาก 0.32 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม เป็น 0.48 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ซึ่งการเพิ่มของสารประกอบฟีนอลิกเป็นการเพิ่มขึ้นในรูปของกรดฟีนอลิกอิสระเมื่อถูกย่อยด้วยด่าง จึงมีผลให้ข้าวกล้องงอกอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก

2.6 สารประกอบแกมมาโอรีซานอล (Gamma Oryzanol)

แกมมาโอรีซานอลเป็นกลุ่มของสารที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นองค์ประกอบเอสเทอร์ของกรดฟอร์รูลิกและสเตียรอล หรือ ไตรเทอร์พีน แอลกอฮอล์ ปริมาณแกมมาโอรีซานอลที่พบในน้ำมันรำข้าวมีมากกว่าวิตามินอีประมาณ 20 เท่า โดยแกมมาโอรีซานอลในน้ำมันรำข้าวมีปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่วิตามินอีมีปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ปริมาณแกมมาโอรีซานอลในน้ำมันรำข้าวยังมีความแปรปรวนอยู่มาก เช่น การตรวจสอบปริมาณแกมมาโอรีซานอลของน้ำมันรำข้าวที่มีขายอยู่ในประเทศญี่ปุ่นจะมีปริมาณ 1.5-2.9 เปอร์เซ็นต์ ประเทศอินเดียพบปริมาณ 1.5-1.9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่น้ำมันรำข้าวที่มีขายในสหรัฐอเมริกากลับมีปริมาณแกมมาโอรีซานอล 0.1 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น (Saska and Rossiter, 1988) ซึ่งอาจเนื่องจากความแตกต่างของกระบวนการการผลิตน้ำมันรำข้าว แกมมาโอรีซานอลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับโทโคฟีรอล แต่มีฤทธิ์อ่อนกว่า

2.6.1 โครงสร้างของแกมมาโอรีซานอล

โอรีซานอลที่พบในน้ำมันรำข้าวมีชื่อเฉพาะว่า แกมมาโอรีซานอล (รูปที่ 2.5) ในปี ค.ศ 1945 มีการค้นพบโอรีซานอลครั้งแรก และในปี ค.ศ 1999 Xu และ Godber ได้จำแนกองค์ประกอบแกมมาโอรีซานอลในน้ำมันรำข้าวได้ 10 อนุพันธุ์ ได้แก่ เดลต้า-7 ซิกมาสเตอนิลเฟอร์รูเลต (data-7 sigmastenyl ferulate) ซิกมาสเตอริลเฟอร์รูเลต (sigmasteryl ferulate) ไซโคอาร์เทอนิลเฟอร์รูเลต (cycloartenyl ferulate) 24-เมธิลลีนไซโคลอาร์เทอนิลเฟอร์รูเลต (24-methylene cycloartenyl ferulate) เดลต้า-7-แคมสเตอนิลเฟอร์รูเลต (delta-7-campesternyl ferulate) ซิโตสเตอริลเฟอร์รูเลต (sitosteryl ferulate) แคมสตานิลเฟอร์รูเลต (campestanyl ferulate) และซิโตสตานิลเฟอร์รูเลต (sitostanyl ferulate) อนุพันธุ์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของแกมมาโอรีซานอล คือ ไซโคลอาร์เทอนิลเฟอร์รูเลต 24-เมธิลีนไซโคลอาร์ทอนิลเฟอร์รูเลต และแคมสเตอริลเฟอร์รูเลต



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของแกมมาโอรีซานอล

ที่มา: Juliano (1972)

2.6.2 คุณสมบัติของแกมมาโอรีซานอล

แกมมาโอรีซานอลมีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือสีขาวปนเหลืองอ่อน ละลายได้ดีในตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม รองลงมาเป็นอีเทอร์ ละลายได้เล็กน้อยในเฮปเทน และไม่ละลายในน้ำ มีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ 161.2 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 315 291 และ 231 นาโนเมตร

2.6.3 ประโยชน์ของโอรีซานอล (Das *et al.*,1998)

แกมมาโอรีซานอลมีประโยชน์มากมาย Xu และ Godber (2000) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของแกมมาโอรีซานอล 3 ชนิดจากรำข้าว คือ ไซโคลอาร์เทอนิลเฟอร์รูเลต 24-เมธิลลีนไซโคลอาร์เทอนิลเฟอร์รูเลต และแคมสเตอริลเฟอร์รูเลต เทียบกับแอลฟาโทโคฟีรอลและกรดเฟอร์รูลิก พบว่าอัตราส่วนของอนุพันธุ์ของแกมมาโอรีซานอลต่อกรดไขมันลิโนเลนิกที่ 1:500 ไม่สามารถลดการผลิตไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เพราะประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของอนุพันธุ์ 3 ชนิด ของแกมมาโอรีซานอลจะลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นในโมเดลของกรดไขมันลิโนเลนิก ส่วนประสิทธิภาพของแอลฟาโทโคฟีรอลและกรดเฟอร์รูลิก (ferrulic acid) จะลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน การที่กรดเฟอร์รูลิกมีประสิทธิภาพมากกว่าเอสเทอร์ของกรดเฟอร์รูลิก เนื่องจากไม่มีส่วนของไตรเทอร์พีนแอลกอฮอล์ ทำให้มีขนาดโมเลกุลเล็ก จากการศึกษามีการนำโอรีซานอลไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งทางด้านอาหาร เครื่องสำอาง และทางการแพทย์ ผลการตรวจสอบความปลอดภัยระบุอย่างชัดเจนว่าไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติของยีน ไม่เป็นสารก่อมะเร็งและเนื้องอก (Juliano *et al.*, 2005; Xu and Godber, 2000)

2.7 ขนมจีน

ขนมจีน (fermented rice noodle) เปนผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบาน มีลักษณะเปนเสนยาว เหนียว สีขาวขุน แปรรูปมาจากแปงขาวเจาที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกวา 25 เปอร์เซ็นต์ เชน ขาวพันธุขาวกอเดียว เหลืองสิบเอ็ด เปนตน ถาขาวที่นำมาใชมีปริมาณอะมิโลสนอยจะทำใหขนมจีนนิ่ม เละ นิยมใชขาวเกาที่มีอายุการเก็บมากกวา 6 เดือนถึง 1 ป ถาใชขาวที่มีการเก็บนอยกวานี้จะทำใหเส้นขนมจีนนิ่ม เละ เกาะติดกัน และไดปริมาณนอยกวาเมื่อใช้ขาวเกา แตถาใชขาวที่เก็บไวนานกวา 1 ป จะไดเสนขนมจีนที่แข็งเกินไป รวนไมมีความเงามัน (อรอนงค นัยวิกุล และคณะ, 2547) การทำขนมจีนมีวิธีการขั้นต้นคล้ายการทำก๋วยเตี๋ยว การผลิตขนมจีนมักจะผลิตแบบอุตสาหกรรมครัวเรือนแทบทุกขั้นตอน ตั้งแต่การโม่จนกระทั่งออกมาเป็นเส้นขนมจีน ขนมจีนแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1) ขนมจีนแป้งหมัก เป็นขนมจีนที่มีผู้นิยมบริโภคกันมาก ผลิตจากข้าวที่หมักไว้ 2-3 วัน มีเนื้อเหนียวนุ่ม เส้นขนมจีนมีคล้ำเล็กน้อย และมีกลิ่นหมัก

2) ขนมจีนแป้งสด เป็นขนมจีนที่ไม่ค่อยมีผู้นิยมกันมากนัก ผลิตจากแป้งสด ไม่มีการหมัก มีเนื้อค่อนข้างกระด้าง สีขาว และไม่มีกลิ่นหมัก

การผลิตขนมจีนแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ การผลิตระดับอุตสาหกรรม การผลิตระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน และการผลิตระดับพื้นบ้าน การผลิตทั้ง 3 ระดับนี้ส่วนใหญ่เป็นการผลิตขนมจีนแป้งหมัก ซึ่ง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กรรมวิธีคล้ายคลึงกันมาก ความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตและการใช้อุปกรณ์เครื่องทุ่นแรงมาช่วยในการผลิต

2.7.1 วัตถุดิบที่ใช้ผลิต

1) ข้าว วัตถุดิบที่นำมาใช้ทำขนมจีน คือ ปลายข้าวเจ้าหรือข้าวหัก (พัชรี โสธนาสมบูรณ์ และคณะ, 2534) เพราะมีราคาถูก แต่ควรเป็นข้าวเมล็ดแข็ง การเลือกปลายข้าวเพื่อใช้ทำขนมจีนต้องพิจารณาปัจจัยหลายประการ คือ พันธุ์ข้าว แหล่งที่ปลูก วิธีการปลูก วิธีการสีข้าว และอายุการเก็บ ซึ่งมีผลต่อสภาวะการผลิต สี และเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีน พันธุ์ข้าวที่ได้รับการยอมรับว่าเหมาะสมและนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นขนมจีน คือ ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวนางพญา ข้าวปิ่นแก้ว และข้าวตะเภาแก้ว และต้องเป็นข้าวที่เก็บมาแล้วไม่ต่ำกว่า 3-4 เดือน หรือเป็นข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ เพราะโปรตีนทำให้เกิดสีคล้ำ และให้เนื้อสัมผัสที่กระด้าง สีขาวขุ่น และด้านไม่เงา แต่ถ้ามีปริมาณอะมิโลสน้อยเกินไปจะทำให้เส้นขนมจีนขาดความคงตัว

ในปัจจุบัน ผู้ผลิตขนมจีนต้องใช้ข้าวหักแทนข้าวเต็มเมล็ด เนื่องจากราคาของข้าวเต็มเมล็ดสูงกว่ามาก ไม่คุ้มต่อการลงทุน อย่างไรก็ตามโรงสีข้าวและผู้ผลิตยังไม่ทราบลักษณะและสมบัติที่แท้จริงของพันธุ์ข้าวที่ใช้ทำขนมจีนได้เหล่านี้ จึงได้มีการสำรวจและรวบรวมข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำขนมจีนตามภาคต่าง ๆ ของประเทศไทยในลักษณะที่เป็นข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหัก นำมาตรวจสอบทางเคมีและกายภาพซึ่งเป็นแนวทางในการพิจารณาความเหมาะสมของข้าวที่ใช้ทำขนมจีนได้ จากการสุ่มตัวอย่างข้าวนาปี ข้าวนาปรังพันธุ์ต่าง ๆ และข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากท้องถิ่นที่มีการผลิตขนมจีนทั้ง 4 ภาค คือ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ (พัชรี โสธนาสมบูรณ์ และคณะ, 2534) พบว่าขนมจีนมีการผลิตอยู่ทั่วประเทศ แต่จากการสำรวจผู้ประกอบการ นิยมสั่งปลายข้าวจากจังหวัดในภาคเหนือและภาคกลาง คือ สระบุรี พิจิตร นครสวรรค์ เป็นต้น

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีและกายภาพของข้าวหักที่ใช้ในการทำขนมจีนพบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีโดยน้ำหนักแห้งคือ ความชื้น 9.57-12.88 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 0.26-0.66 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 0.33-1.79 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 5.99-8.69 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.44-1.74 เปอร์เซ็นต์ สตาร์ช 87.49-92.06 เปอร์เซ็นต์ และอะมิเลส 27.25-33.33 เปอร์เซ็นต์ โดยมีลักษณะของความหนืดของแป้งข้าวหักบางพันธุ์วัดโดยเครื่องวัดของบราเบนเดอร์จัดอยู่ในประเภทที่เกิดเจลที่อุณหภูมิสูง (74-80.5 องศาเซลเซียส) มีความหนืดอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง มีความคงตัวและการคืนตัวของน้ำแป้งสูง จึงจะเหมาะในการทำขนมจีนให้มีเส้นที่เหนียวนุ่มคงตัวดีตามความนิยมของผู้บริโภค

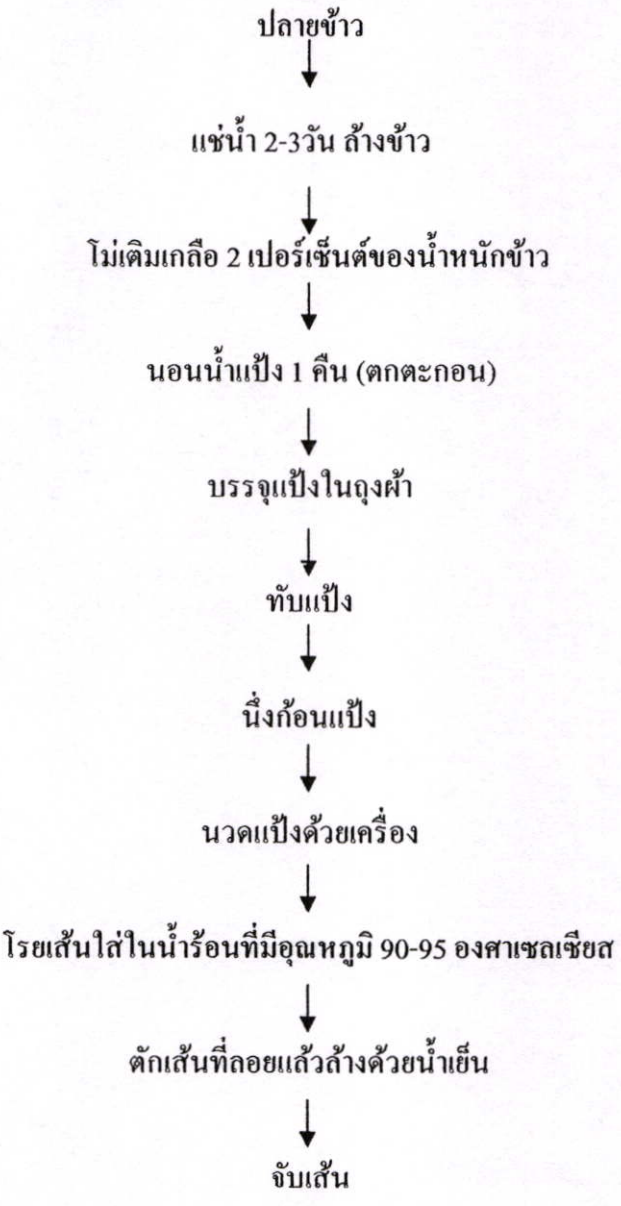
2) น้ำ มีความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องของสีขนมจีน โดยอาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์หรือสารแขวนลอย ดังนั้นน้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำสะอาด มีความกระด้างต่ำ ไม่มีสารแขวนลอย ถ้าเป็นน้ำบาดาลควรให้เกลือของเหล็กตกตะกอนก่อน แล้วนำมากรองด้วยทรายและผ่านเครื่องกำจัดความกระด้าง ถ้าเป็นน้ำประปาไม่ควรมีปริมาณคลอรีนมากเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นผิดปกติ ถ้าใช้น้ำขุ่นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ (อรอนงค์ นัยวิกุล และคณะ, 2534)

116791

3) เกลือ นิยมใช้เกลือเม็ดสีขาว สะอาด เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักแป้ง ไม่ทำให้แป้งเกิดรสและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเกินไป

2.7.2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตขนมจีนเริ่มตั้งแต่แช่ปลายข้าวในน้ำหรือเรียกว่าการหมักข้าว โดยระยะเวลาในการหมักข้าวแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 2-3 วัน แสดงกระบวนการผลิตขนมจีนในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการผลิตขนมจีน

ที่มา: พัชรี โสธนาสมบูรณ์ และคณะ (2534)

2.7.3 คุณภาพของขนมจีน

ขนมจีนที่มีคุณภาพดีควรจะมีสีขาว เส้นเหนียว ไม่เละ ไม่มีกลิ่นกรด ไม่มีรสเปรี้ยว และสามารถเก็บไว้ได้นานพอสมควร

ต่อมาปริมาณของข้าวพันธุ์แข็งที่เหมาะแก่การนำไปทำขนมจีนไม่เพียงพอและมีราคาสูงขึ้นตลอดเวลา โดยผู้ประกอบการไม่อาจจะเพิ่มราคาสินค้าได้ตามวัตถุดิบ สาเหตุอาจจะเกิดจากความต้องการข้าวพันธุ์แข็งเพิ่มขึ้นมากในขณะที่การผลิตอาจจะลดน้อยลง เนื่องจากชาวนาหันไปปลูกพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าและทำรายได้ดีกว่า ทางโรงสีหรือผู้ประกอบการไม่สามารถหาข้าวพันธุ์แข็งได้เพียงพอต่อความต้องการ จึงนำพันธุ์ข้าวที่อ่อนกว่ามาผสม ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ดี ไม่สม่ำเสมอ อาจทำให้เสียโอกาสและเสียลูกค้าไป กว่าจะรู้ก็เมื่อผลิตเสร็จแล้ว ผู้ประกอบการรายเล็กจะประสบปัญหานี้มากกว่าผู้ประกอบการรายใหญ่ เพราะไม่มีอำนาจต่อรองและเงินทุนเพียงพอที่จะหาซื้อและเก็บวัตถุดิบให้พอใช้ตลอดปีได้ นอกจากปัญหานี้ยังมีปัญหาที่เกิดจากกระบวนการผลิต ได้แก่

การหมักข้าวหรือแป้ง การหมักแป้งเป็นสิ่งจำเป็นในการทำขนมจีน ระหว่างการหมักจุลินทรีย์ในธรรมชาติที่ติดมากับวัตถุดิบและน้ำใช้จะเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นกรด โปรตีนในแป้งก็จะละลายในน้ำที่เป็นกรดนี้ ทำให้แป้งที่จะทำขนมจีนมีส่วนประกอบของโปรตีนเหลืออยู่น้อย ได้เส้นที่เหนียวนุ่ม

กลิ่นหมักแรง มักจะเกิดในกรณีที่หมักข้าวนานหลายวัน ซึ่งอาจเกิดจากการวางแผนการผลิตที่ผิดพลาด ซึ่งแก้ไขได้ด้วยการล้างข้าวหมักด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง

สีคล้ำ เกิดจากการใช้วัตถุดิบที่ไม่สะอาด มีสิ่งสกปรก พวกหิน ดิน ทราย ปะปนอยู่ หรือเกิดจากการล้างข้าวไม่สะอาด ใช้น้ำขุ่น ซึ่งควรแก้ไขสภาพน้ำที่ใช้และล้างหลาย ๆ ครั้ง

เส้นเปื่อยยุ่ย เกิดจากการใช้ข้าวที่ไม่เหมาะสม นวดแป้งน้อยเกินไป หรือใช้น้ำที่มีความกระด้างสูง นอกจากนี้อาจใส่เกลือน้อยเกินไปในขณะล้างแป้ง เป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

-ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 23	ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี

3.2 อุปกรณ์

-เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง	Ohaus, USA
-เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง	Metler Toledo AJI 100, Switzerland
-ตู้อบลมร้อน	Model BWS-3, Japan
-เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	Texture Measuring System, TA-XT2i, UK
-เครื่องสกัดไขมัน	Buchi 810, USA
-เครื่องสกัดโปรตีน	Buchi Distillation Unit B-316, , Switzerland
-เครื่องผสมอาหาร	Kitchen Aid K5SS Heavy Duty, USA
-เครื่องวัดสี	Minolta Cr-300, Japan
-เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง	Inolab pH Level I, USA
-เครื่องกะเทาะเปลือก	GHW-80, Japan
-ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ	Incubator, Sanyo, Japan
-โม่หิน	
-ถุงพลาสติกประเภทโพลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene: LDPE) (0.910-0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) หนา 30 ไมครอน ขนาด 8×12 นิ้ว	บริษัท Kor.Ratthanakit จำกัด

3.3 สถานที่ดำเนินการทดลอง

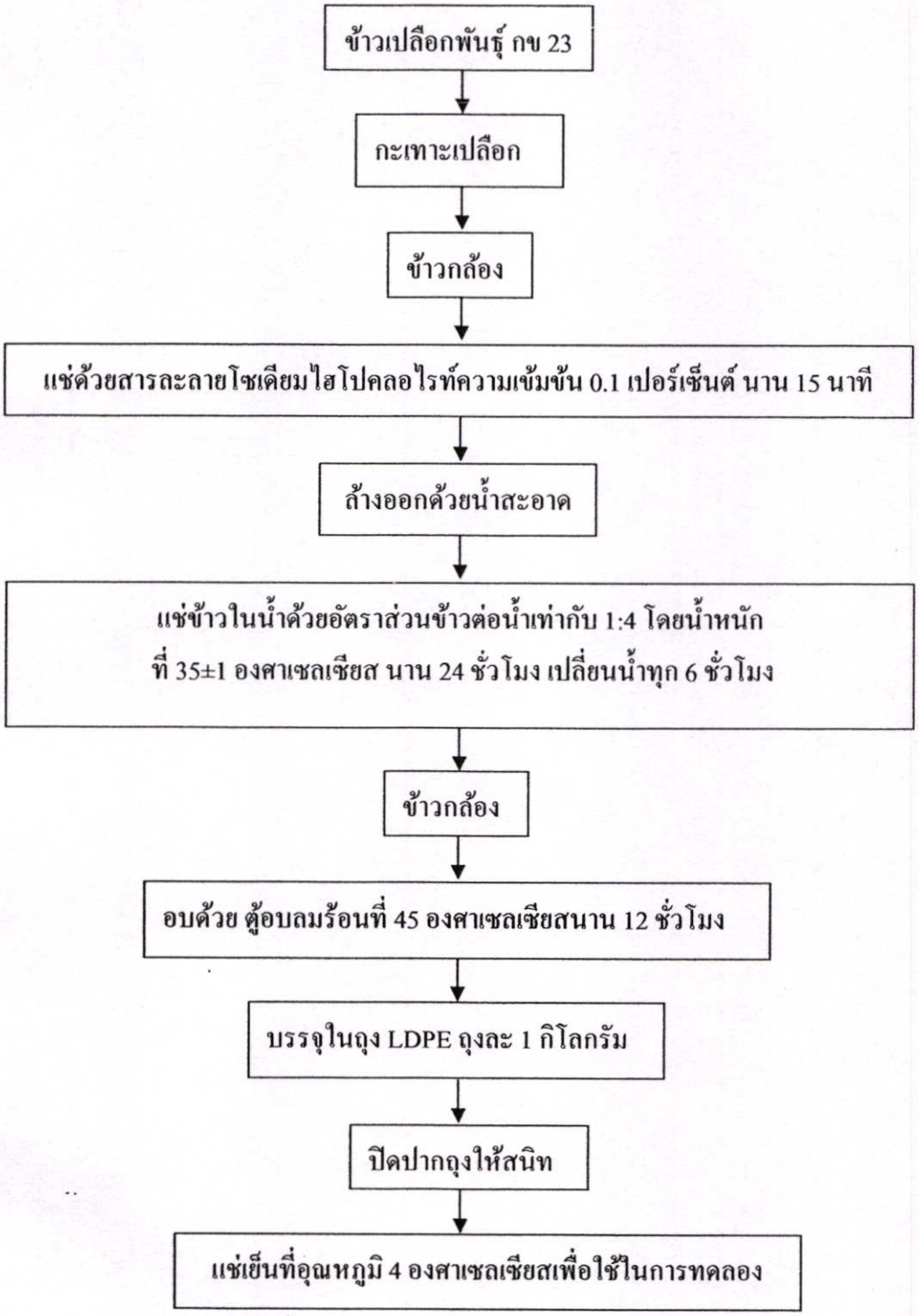
ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4 วิธีทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างและสภาวะการทำข้าวกล้องงอก

ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 23 กะเทาะเปลือกออกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกโดยไม่ทำให้ส่วนที่เป็นจมูกข้าวหลุดออกไป ได้ข้าวกล้อง สภาวะการทำข้าวกล้องงอก โดยแช่ข้าวกล้องในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite) เข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างออกด้วยน้ำสะอาดและแช่ข้าวในน้ำด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:4 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24

ชั่วโมง เปลี่ยนน้ำทุก 6 ชั่วโมง จะได้ข้าวกล้องงอก นำข้าวกล้องงอกที่ได้ไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนที่ 45 องศาเซลเซียสนาน 12 ชั่วโมง แล้วบรรจุในถุงพลาสติกประเภทโพลิเอทิลีน (LDPE) ภายใต้สุญญากาศ ถุงละ 1 กิโลกรัม ปิดปากถุงให้สนิทโดยเครื่องบรรจุ เก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป ดังแสดงในรูป 3.1

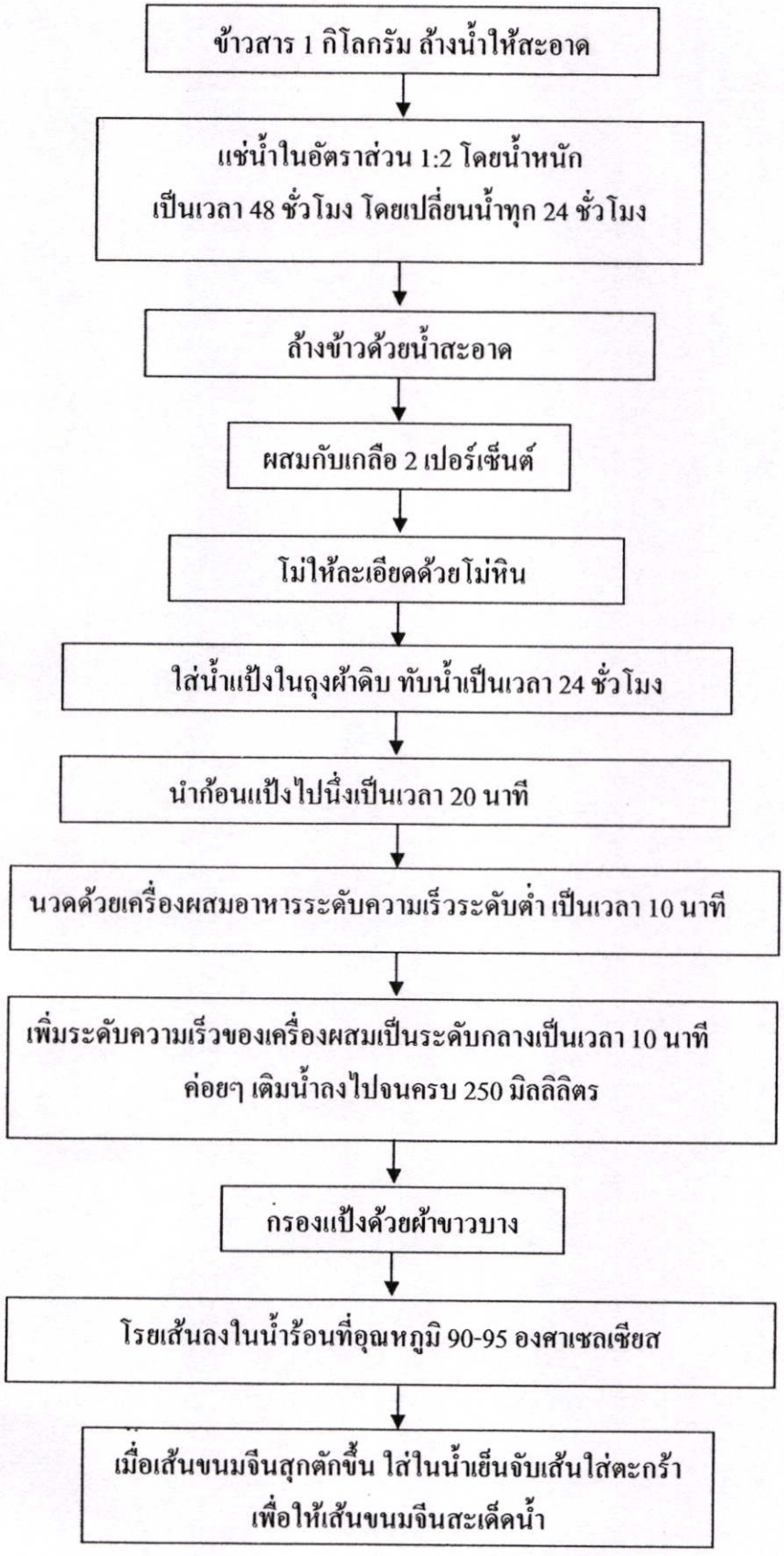


รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างและสภาวะการทำข้าวกล้องงอก

ที่มา: ดัดแปลงตามวิธีของวรรณา ตั้งเจริญชัย และคณะ (2549)

3.4.2 การทำขนมจีนแป้งหมัก

ล้างข้าวสาร 1 กิโลกรัมให้สะอาด แช่น้ำในอัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2 โดยน้ำหนัก ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนน้ำทุก 24 ชั่วโมง นำข้าวที่แช่น้ำไว้มาล้างด้วยน้ำสะอาด ผสมเกลือ 2 เปอร์เซ็นต์กับข้าวที่ล้างสะอาดแล้ว โม่ด้วยโม่หิน ใส่น้ำแป้งในถุงผ้าดิบ เอาของหนักทับเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ก้อนแป้ง นึ่งก้อนแป้ง 15 นาที นวดด้วยเครื่องผสมอาหารระดับความเร็วระดับต่ำเป็นเวลา 10 นาที เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร เพิ่มระดับความเร็วของเครื่องผสมเป็นระดับกลางเป็นเวลา 20 นาที กรองแป้งด้วยผ้าขาวบางจากนั้นโรยเส้นลงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เมื่อเส้นขนมจีนสุกตักขึ้นใส่น้ำเย็นแล้วจับเส้น ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำในตะกร้า วิธีการทำขนมจีนแป้งหมักแสดงในรูป 3.2



รูปที่ 3.2 การทำขนมจีนแป้งหมัก

ที่มา: ดัดแปลงตามอรอนงค์ นัยวิกุล (2547)

3.4.3 ศึกษาปริมาณการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนแป้งหมัก

นำข้าวเปลือกพันธุ์ กข 23 มาแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งสีให้เป็นข้าวกล้อง อีกส่วนสีจนได้ข้าวขัดขาว ทำขนมจีนโดยใช้ข้าวกล้องทดแทนข้าวขัดขาวในปริมาณ 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ นำเส้นขนมจีนที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังนี้

3.4.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้ายกายภาพ

- วัดค่าสี ด้านความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) โดยใช้เครื่องวัดสี
- วัดค่าแรงดึงสูงสุด ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

3.4.3.2 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยให้คะแนนความชอบแบบ hedonic scale 5 ระดับ ในด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน

ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าที่ได้ในข้อ 3.4.3.1 ตามแผนการทดลองแบบ Complete Randomize Design (CRD) และวิเคราะห์ผลการทดลองในข้อ 3.4.3.2 ตามแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อเลือกปริมาณข้าวกล้องสูงสุดที่สามารถใช้ทดแทนได้

3.4.4 ศึกษาองค์ประกอบและคุณภาพของขนมจีนที่ใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนข้าวขัดขาวบางส่วนเปรียบเทียบกับขนมจีนปกติ

จากปริมาณข้าวกล้องที่สามารถใช้ทดแทนได้ในข้อ 3.4.3 ทดลองใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนข้าวขัดขาวในปริมาณเท่ากัน วิเคราะห์ตัวอย่างขนมจีนที่ได้เปรียบเทียบกับขนมจีนที่ทำจากข้าวขัดขาว ดังนี้

3.4.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้ายกายภาพ

- วัดค่าสี ด้านความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) โดยใช้เครื่องวัดสี
- วัดค่าแรงดึงสูงสุด ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

3.4.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

- ปริมาณใยอาหาร (cruce fiber) (AOAC, 2000)
- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Kim *et al.*, 2006)
- ปริมาณแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (AOAC, 2000)
- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)
- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)
- ปริมาณปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากผลต่าง (carbohydrate by different)

3.4.4.3 ทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 3.4.3.2

ผลการทดลองข้อ3.4.4.1และ3.4.4.2 วิเคราะห์ความแตกต่างของตัวอย่างตามแผนการทดลองแบบ Complete Randomize Design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เช่นเดียวกับข้อ 3.4.3.1 และวิเคราะห์ผลการทดลองในข้อ3.4.4.3 ตามแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t -test

3.4.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมจีนที่ใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนข้าวขัดขาวบางส่วน

ศึกษาอายุการเก็บรักษาขนมจีน โดยเก็บตัวอย่างเส้นขนมจีนใส่ถุงโพลิเอธิลีน ปิดปากถุงให้สนิท เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์เพื่อหาอายุการเก็บดังนี้

- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) (AOAC, 2000)
- ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาปริมาณการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องที่เหมาะสมในการผลิตเส้นขนมจีนแป้งหมัก

4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้ายกายภาพ

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ การวิเคราะห์ค่าสี ด้านความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) และค่าแรงดึงสูงสุดของเส้นขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้อง 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ การวิเคราะห์ค่าสี และค่าแรงดึงสูงสุดของเส้นขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องที่ระดับต่างกัน

ปริมาณการทดแทน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าสี			ค่าแรงดึงสูงสุด (g.force)
	ความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)	
0	97.85±0.36^{a}	-0.15±0.04^{e}	1.81±0.33^{e}	4.58±0.06^{a}
25	97.65±0.55^{a}	-0.02±0.04^{d}	3.21±0.21^{d}	4.44±0.06^{b}
50	96.98±0.59^{b}	0.06±0.02^{c}	3.92±0.34^{c}	4.08±0.07^{c}
75	96.58±0.68^{c}	0.23±0.05^{b}	5.68±0.24^{b}	3.85±0.04^{d}
100	95.99±0.50^{d}	0.44±0.03^{a}	6.88±0.22^{a}	3.71±0.04^{e}

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

จาก ตารางที่ 4.1 ในการวิเคราะห์ค่าสีด้านค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) พบว่าการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องทำให้ตัวอย่างขนมจีนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.00$ $p=0.02$ และ$p=0.01$) โดยตัวอย่างที่ใช้ข้าวขัดขาวมีค่าความสว่าง (L) มากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดข้าวด้วยข้าวกล้อง 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของตัวอย่างขนมจีนที่ทำจากข้าวกล้องทั้งหมดมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดข้าวด้วยขาวกล้อง 75 50 25 เปอร์เซ็นต์ และขนมจีนจากข้าวขัดขาวตามลำดับ (รูป จ1 ในภาคผนวก จ) การที่ปริมาณข้าวกล้องเพิ่มขึ้นทำให้เส้นขนมจีนมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากข้าวกล้องเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีน้อย โดยยังมีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ ในส่วนนี้มีรงควัตถุทำให้สีคล้ำ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) การขัดขาวทำให้เนื้อเยื่อส่วนนี้รวมทั้งคัพภะหลุดออกจากเมล็ดข้าว ข้าวที่ได้จะมีสีขาวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับ

การขัดสีข้าว ดังนั้นการใช้ข้าวกล้องซึ่งไม่ได้ขัดสี จึงทำให้เส้นขนมจีนมีค่าความสว่าง (L) ลดลง ค่าสีเหลือง (b) และค่าสีแดง (a) เพิ่มขึ้น ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของภัทรพร กระดังงา และสุนันทา ชัยวงศ์ (2549) ซึ่งทดลองผลิตขนมจีนแป้งหมักจากข้าวกล้องโดยใช้ข้าวเจ้าพันธุ์ขาวตาแห้งและหอมมะลิ ซึ่งพบว่าขนมจีนที่ใช้ปริมาณข้าวกล้องเพิ่มขึ้นจะมีค่าสีเหลืองมากขึ้น

เมื่อศึกษาค่าแรงดึง ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเหนียว นิ่ม และยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ พบว่า การทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องในปริมาณมากขึ้นจะทำให้ค่าแรงดึงลดลง โดยทุกตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.00$) ขนมจีนจากข้าวขัดขาวมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงสุด รองลงมาคือขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้อง 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าข้าวขัดขาว (Ito and Ishikawa,2004) เส้นใยนี้มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างมาก ทำให้ดูดซับน้ำได้ดี (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) ปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เส้นขนมจีนนิ่มขึ้นและมีความเหนียวน้อยลง เมื่อปริมาณการทดแทนเพิ่มมากขึ้นเส้นขนมจีนที่ได้จึงมีความเหนียวน้อยลงและขาดง่ายขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของภัทรพร กระดังงา และสุนันทา ชัยวงศ์ (2549) พบว่าการทดแทนปริมาณข้าวกล้องในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เส้นขนมจีนมีลักษณะนิ่มและมีความเหนียวลดลง

4.1.2 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องในระดับต่างกันแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คะแนนเฉลี่ยของผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเส้นขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องที่ระดับต่างกัน

ปริมาณการทดแทน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	4.00±0.63^{a}	3.91±0.74^{a}	3.92±0.49^{a}	4.03±0.47^{a}	4.01±0.37^{a}
25	3.86±0.45^{a}	3.68±0.53^{a}	3.98±0.42^{a}	3.99±0.43^{a}	4.01±0.41^{a}
50	4.05±0.59^{a}	3.48±0.55^{b}	3.86±0.61^{a}	4.07±0.53^{a}	4.02±0.82^{a}
75	3.43±0.64^{b}	2.74±0.60^{c}	3.31±0.84^{b}	3.54±0.42^{b}	3.43±0.66^{b}
100	2.72±0.41^{c}	2.20±0.54^{d}	2.84±0.61^{c}	2.86±0.42^{c}	2.62±0.48^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.2 ด้านลักษณะปรากฏ พบว่าคะแนนมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการทดแทนเพิ่มขึ้น โดยคะแนนของตัวอย่างจากข้าวขัดข้าวและตัวอย่างที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้อง 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากตัวอย่างที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้อง 75 และ 100

เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p= 0.02) เมื่อปริมาณการทดแทนมากขึ้นจะทำให้เส้นขนมจีนขาดง่ายขึ้น เส้นมีลักษณะสั้นและแฉะ ทำให้คะแนนความชอบลดลง

ด้านความชอบสี พบว่าการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องมีผลทำให้คะแนนที่ได้มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.03) โดยคะแนนของตัวอย่างจากข้าวขัดขาวและตัวอย่างที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้อง 25 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองตัวอย่างแตกต่างจากขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องที่ระดับ 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (รูป จ1 ในภาคผนวก จ) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากข้าวกล้องเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการกะเทาะเอาเปลือกออกเท่านั้นไม่ผ่านการขัดสี ข้าวกล้องจึงมีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ทำให้ข้าวกล้องมีสีน้ำตาลแดง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2537) เมื่อนำมาทดแทนข้าวขัดขาวในการผลิตขนมจีนจึงทำให้เส้นขนมจีนมีสีเข้มขึ้น ผู้ทดสอบจึงไม่ยอมรับ ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสีในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าผู้ทดสอบชอบขนมจีนที่มีสีขาวมากกว่าและสอดคล้องกับรายงานของรักชนก จัดวงษ์ (2545) ที่พบว่าผู้บริโภค 77 เปอร์เซ็นต์ ชอบสีของขนมจีนสีขาว รองลงมาคือสีขาวออกเหลืองหรือสีครีม

ด้านความชอบกลิ่น พบว่าการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องมีผลทำให้คะแนนด้านกลิ่นลดลง โดยคะแนนความชอบของตัวอย่างที่ไม่ได้ทดแทนและทดแทนด้วยข้าวกล้อง 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกัน แต่จะต่างจากตัวอย่างที่ทดแทนด้วยข้าวกล้อง 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.03) จะเห็นว่าเมื่อปริมาณการทดแทนสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ คะแนนการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องมีปริมาณไขมันและโปรตีนมากกว่าข้าวขัดขาว (Juliano, 1993) เมื่อผ่านกระบวนการหมัก สารเหล่านี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะตัวที่แรงกว่า

ด้านความชอบเนื้อสัมผัส พบว่าการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องทำให้คะแนนมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน (p=0.01) โดยตัวอย่างที่ทำจากข้าวขัดขาวได้คะแนนไม่ต่างจากตัวอย่างที่ทดแทนในปริมาณ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่จะต่างจากตัวอย่างที่ทดแทนในปริมาณ 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยขนมจีนจากข้าวขัดขาวและขนมจีนที่ทดแทนในปริมาณ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่น ไม่ขาดง่าย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนเป็น 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เส้นขนมจีนจะมีความยืดหยุ่นน้อยลง ขาดง่ายขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการวัดค่าแรงดึงสูงสุดในตารางที่ 4.1 ทั้งนี้เนื่องจากเนื่องจากในข้าวกล้องมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าในข้าวขัดขาวเส้นใยนี้มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างมาก ทำให้ดูดซับน้ำได้ดีปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้เส้นขนมจีนนิ่มขึ้นและมีความเหนียวน้อยลง ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว

ด้านความชอบโดยรวม พบว่าการใช้ข้าวกล้องทดแทนข้าวขัดขาวมีผลทำให้คะแนนที่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.00) โดยขนมจีนที่ทำจากข้าวขัดขาวได้คะแนนไม่ต่างจากตัวอย่างที่ทดแทนในปริมาณ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่แตกต่างจากขนมจีนที่ทดแทนในปริมาณ 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากขนมจีนมีลักษณะปรากฏที่ดี มีความยืดหยุ่น ไม่ขาดง่าย ส่วนขนมจีนจากตัวอย่างที่ทดแทนในปริมาณ 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์จะมีลักษณะยืดหยุ่นน้อย ขาดง่าย

จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาคะแนนการความชอบด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของเส้นขนมจีน พบว่า การทดแทนในปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ตัวอย่างได้คะแนนไม่ต่างจากขนมจีนตามปกติ แม้ว่าจะมีค่าสีและค่าแรงดึงสูงสุดแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.1) แต่เมื่อทดแทนที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป คะแนนที่ได้จะลดลงเนื่องจากมีเนื้อสัมผัสนิ่มและมีความยืดหยุ่นน้อยลง เส้นขาดง่ายขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของภัทรพร กระดังงา และสุนันทา ชัยวงศ์ (2549) ที่พบว่าระดับการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องในปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์เหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากเส้นขนมจีนมีความเหนียวนุ่ม มีสี และลักษณะใกล้เคียงกับขนมจีนในท้องตลาด และผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับ ดังนั้นจะเลือกปริมาณการทดแทน 50 เปอร์เซ็นต์ในการทดลองต่อไป

4.2 การศึกษาองค์ประกอบและคุณภาพของขนมจีนที่ใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนข้าวขัดขาวบางส่วนเปรียบเทียบกับขนมจีนปกติ

จากปริมาณข้าวกล้องที่สามารถใช้ทดแทนได้ในข้อ 3.4.3 ทดลองใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนข้าวขัดขาวในปริมาณเท่ากันคือ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำตัวอย่างเส้นขนมจีนที่ได้มาวิเคราะห์ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

เมื่อศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพของขนมจีนข้าวขัดขาวและขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้อง 50 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะทางกายภาพด้านค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) และค่าความยืดหยุ่นของเส้นขนมจีนแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพด้านค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) และค่าค่าแรงดึงสูงสุดของขนมจีนข้าวขัดขาวและขนมจีนทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ปริมาณการทดแทน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าสี			ค่าแรงดึงสูงสุด (g.force)
	ความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)	
0	97.56±0.76[a]	0.02±0.20[b]	1.51±0.54[b]	4.68±0.64[a]
50	93.62±0.42[b]	0.13±0.05[a]	3.30±0.45[a]	3.87±0.73[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) ของขนมจีนทั้งสองตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.02$) โดยตัวอย่างขนมจีนจากข้าวขัดขาวมีค่าความสว่าง (L) มากกว่า แต่มีค่าสีแดง (a) และมีค่าสีเหลือง (b) น้อยกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์มีสีคล้ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลจากระดับการขัดสีเยื่อหุ้มเมล็ดออกที่แตกต่างกันดังได้กล่าวมาแล้ว (รูป จ1 ในภาคผนวก จ)

สำหรับค่าแรงดึงสูงสุด พบว่าค่าจากตัวอย่างขนมจีนที่ใช้ข้าวกล้องงอกทดแทน 50 เปอร์เซ็นต์จะน้อยกว่าค่าจากขนมจีนข้าวขัดขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.04$) ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องงอกมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าข้าวขัดขาว เมื่อนำมาใช้ทดแทนจึงทำให้เนื้อสัมผัสของขนมจีนที่ได้มีความเหนียวและความยืดหยุ่นน้อยลงด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนั้น ปริมาณโปรตีนของข้าวกล้องงอกที่สูงกว่าข้าวขัดขาวก็มีผลทำให้ความเหนียวของเส้นขนมจีนลดลง Chrastil (1990) รายงานว่าปริมาณโปรตีนจะเกี่ยวข้องกับความเหนียวของข้าว เนื่องจากโครงสร้างของโปรตีนจะขัดขวางการพองตัวของสตาร์ช ทำให้ความหนืดต่ำ ความเหนียว และความยืดหยุ่นลดลง

4.2.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของจากขนมจีนข้าวขัดขาวและขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของทางเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของของขนมจีนข้าวขัดขาวและขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์

	ขนมจีนข้าวขัดขาว	ขนมจีนทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	78.80±0.33 [b]	79.38±0.16 [a]
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	0.22±0.05 [b]	0.32±0.03 [a]
ไขมัน(เปอร์เซ็นต์)	0.48±0.03 [a]	0.41±0.02 [b]
โปรตีน(เปอร์เซ็นต์)	2.94±0.07 [b]	3.15±0.08 [a]
คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	17.52±0.49 [a]	16.79±0.34 [b]
ใยอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	0.01±0.00 [b]	0.19±0.00 [a]
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/100g)	28.69±0.05 [b]	48.79±0.09 [a]
กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (mg/100g)	ND	ND

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p\leq0.05$), ND = ตรวจไม่พบ (not detected)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณความชื้นมากกว่าขนมจีนข้าวขัดขาวเล็กน้อย แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.03$) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณใยอาหารในข้าวกล้องงอกที่มีมากกว่าในข้าวขัดขาวทำให้สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าดังได้กล่าวมาแล้ว และพบว่าในขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้า โปรตีน และใยอาหารมากกว่าขนมจีนข้าวขัดขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.04$, $p=0.00$ และ $p=0.01$ ตามลำดับ) เนื่องจากแป้งข้าวกล้องงอกยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ด (รำ) ติดอยู่ ส่วนนี้มีองค์ประกอบที่เป็นโปรตีนและไขมันรวมทั้งสารอาหารอื่น ทำให้ขนมจีนจากข้าวกล้องงอกมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาว

พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์สูงกว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.02$) เนื่องจากในรำข้าวจะพบสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ และระหว่างกระบวนการงอกปริมาณของกรดฟีนอลิกอิสระจะเพิ่มขึ้น (Tian และคณะ, 2004) พบปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก อินโนซิทอล กรดเฟอร์รูลิก กรดไฟติก โทโคไตรอีนอล แมกนีเซียม โพแทสเซียม สังกะสี แกมมา โอรีซานอล และสารยับยั้งเอนไซม์โพรลีเลนโดเปปติเดส (prolylendopeptidase) จะเพิ่มขึ้นด้วย (Ito และ Ishikawa, 2004)

แต่ขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.02$ และ $p=0.01$ ตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างกระบวนการเพาะงอกเกิดการสลายตัวของไขมันและคาร์โบไฮเดรต

อย่างไรก็ตามจากการทดลอง พบว่าขนมจีนทั้งสองตัวอย่างตรวจไม่พบกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก วรรณา ตั้งเจริญชัย และคณะ (2549) ได้รายงานผลการศึกษาสภาวะการงอกต่อปริมาณกรดอะมิโนบิวทิริกในข้าวกล้องงอกพันธุ์ ชัยนาท 1 พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข 23 ว่าข้าวกล้องงอกทั้งสามสายพันธุ์ตรวจไม่พบปริมาณกรดแกมม่าอะมิโนบิวทิริก นอกจากนั้นกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริกอาจสูญเสียไปในระหว่างการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตขนมจีน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของกัญญารัตน์ รี้พลกุล และคณะ (2552) ที่พบว่าปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริกจะลดลงเมื่อนึ่งเส้นหมี่ข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำที่ความดัน 75 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.2.1.3 ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมจีนจากข้าวขัดขาวและขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คนแสดงตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 คะแนนเฉลี่ยของผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนมจีนข้าวขัดขาวและขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ขนมจีนข้าวขัดขาว	ขนมจีนทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์
ลักษณะปรากฏ[ns]	3.81±0.40	3.67±0.40
สี	3.98±0.45[a]	3.49±0.41[b]
กลิ่น[ns]	3.83±0.32	3.70±0.30
เนื้อสัมผัส	4.01±0.43[a]	3.20±0.30[b]
ความชอบโดยรวม	4.27±0.41[a]	3.59±0.40[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 ด้านลักษณะปรากฏ พบว่าคะแนนของตัวอย่างขนมจีนจากข้าวขัดขาวและขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p= 0.63$) โดยขนมจีนทั้งสองตัวอย่างมีลักษณะปรากฏที่ดี คือมีขนาดเส้นสม่ำเสมอ เส้นไม่เกาะติดกัน ไม่แฉะ

ด้านความชอบสี คะแนนของขนมจีนจากข้าวขัดขาวมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p= 0.00$) ทั้งนี้เนื่องจากขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ มีสีเข้มกว่า สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสีใน (ตาราง 4.3) ผลคะแนนด้านความชอบแสดงให้เห็นว่า สีของผลิตภัณฑ์มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ และสอดคล้องกับรายงานของรักชนก จัดวงษ์ (2545) ซึ่งพบว่าผู้บริโภค 77 เปอร์เซ็น ชอบขนมจีนที่มีสีขาวรองลงมาคือสีขาวออกเหลืองหรือสีครีม

ด้านความชอบกลิ่น ตัวอย่างขนมจีนจากข้าวขัดขาวและขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 พบว่าคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.16$)ขนมจีนทั้งสองสูตรมีกลิ่นหมักตามธรรมชาติของขนมจีน

ด้านความชอบเนื้อสัมผัส พบว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาวได้คะแนนมากกว่าขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p= 0.04$) พบว่าเนื้อสัมผัสของขนมจีนจากข้าวขัดขาวมีความยืดหยุ่น ไม่ขาดง่าย ในขณะที่เนื้อสัมผัสของขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็น มีความยืดหยุ่นน้อยกว่า เส้นขาดง่าย และมีลักษณะแฉะ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าความต้านทานแรงดึง (ตาราง 4.3) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณใยอาหารและโปรตีนที่สูงกว่าดังได้กล่าวมาแล้ว

ด้านความชอบโดยรวม พบว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาวได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.01$) เนื่องจากขนมจีนจากข้าวขัดขาวมีลักษณะปรากฏที่ดี มีสีขาว มีความสม่ำเสมอของเส้น เส้นไม่เกาะติดกัน มีความยืดหยุ่น ไม่ขาด

ง่าย ส่วนขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็น มีสีเข้มกว่า มีความยืดหยุ่นน้อย เส้นขนมจีนจะขาดง่าย จึงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมน้อยกว่า

จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนสำหรับการผลิตเส้นขนมจีนในปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะได้ลักษณะของขนมจีนที่ดี ยืดหยุ่น ไม่ขาดง่าย ให้ลักษณะปรากฏที่ดี เนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับขนมจีนปกติแต่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น

4.3 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมจีนที่ใช้ข้าวกล้องงอกทดแทนข้าวขัดขาวบางส่วน

เมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง โดยวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์จากปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรา ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม)
0	2.9×10	1.3×10
6	4.8×10^{2}	2.2×10^{2}
12	8.7×10^{3}	2.8×10^{3}
18	5.3×10^{4}	3.6×10^{4}
20	9.9×10^{4}	6.4×10^{4}
21	5.7×10^{5}	3.6×10^{5}
22	4.1×10^{5}	2.6×10^{5}
23	2.4×10^{8}	1.1×10^{8}
24	2.9×10^{9}	1.7×10^{9}

จากตารางที่ 4.6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราของขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์เมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 23 ชั่วโมงจะสูงกว่า 1×10^{6} โคโลนีต่อกรัมซึ่งไม่ควรนำมาบริโภคเพราะอาจทำให้ผู้บริโภคเกิดอันตราย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2536) กำหนดเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของขนมจีนว่าขนมจีนที่สามารถนำมาบริโภคต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10^{6} โคโลนีต่อกรัม ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของศันสนีย์ เนียมเปรม

(2543) ที่ศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมจีนจากข้าวหอมมะลิผสมแป้งบุกพบว่าอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้นคือ 22 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นขนมจีนจึงมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 22 ชั่วโมง

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 จากการศึกษาการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องในการผลิตขนมจีนแป้งหมัก พบว่าปริมาณการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้างกล้องงอกจะมีผลต่อ ค่าสีความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง โดยพบว่าเมื่อปริมาณการทดแทนมากขึ้นค่าความสว่างของเส้นขนมจีนลดลง แต่ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นทำให้ทราบว่าเส้นขนมจีนมีสีเข้าขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของเส้นขนมจีนลดลง เส้นขนมจีนนิ่มขึ้น ได้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลง อัตราส่วนการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องที่ดีที่สุดคือ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากเส้นขนมจีนมีลักษณะใกล้เคียงกับขนมจีนในท้องตลาดและยังคงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

5.2 จากศึกษาคุณภาพด้านกายภาพ เคมี การยอมรับทางประสาทสัมผัส และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับขนมจีนจากข้าวขัดขาว พบว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาวมีค่าความสว่าง (L) มากกว่า แต่มีค่าสีแดง (a) และมีค่าสีเหลือง (b) น้อยกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนมจีนที่ทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์มีสีคล้ำกว่า สำหรับค่าแรงดึงสูงสุด พบว่าขนมจีนที่ใช้ข้าวกล้องงอกทดแทน 50 เปอร์เซ็นต์มีค่าน้อยกว่าขนมจีนข้าวขัดขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาวได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากขนมจีนจากข้าวขัดขาวมีลักษณะปรากฏที่ดี มีสีขาว มีความสม่ำเสมอของเส้น เส้นไม่เกาะติดกัน มีความยืดหยุ่น ไม่ขาดง่าย จึงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า และขนมจีนที่ทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก 50 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ใยอาหาร และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าขนมจีนข้าวขัดขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาว ทำให้ขนมจีนจากข้าวกล้องงอกมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาว ขนมจีนทั้งสองตัวอย่างตรวจไม่พบกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกข้าวเจ้าพันธุ์ กข 23 เท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรเลือกข้าวเจ้าชนิดอื่นที่มีปริมาณอะมิโลสสูงมาศึกษา ในประเทศไทยยังมีข้าวเจ้าชนิดอื่นๆ ที่มีประโยชน์และน่าสนใจอีกหลายสายพันธุ์ เป็นการส่งเสริมการเพาะปลูกในไทยและยังเพิ่มมูลค่าให้กับอุตสาหกรรมแปรรูปจากข้าวอีกด้วย

2. เนื่องจากเนื้อสัมผัสของขนมจีนที่มีการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยขาวกล้องงอกเส้นขนมจีนจะนิ่ม เละ ขาดง่ายกว่าขนมจีนจากข้าวขัดขาว อาจจะแก้ไขโดยการใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนส่วนของแป้งข้าว กข 23 เพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจทำให้เส้นขนมจีนที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับขนมจีนจากข้าวขัดขาว

3. เนื่องจากขนมจีนที่ผลิตได้มีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น คือ 22 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาเส้นขนมจีน เช่น ลักษณะ การบรรจุ การใช้สารยืดอายุการเก็บรักษาต่างๆ เช่น สารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นต้น

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, ศูนย์ประสานงานวิชาการ. 2536. **เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร.** ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ

กัญญารัตน์ รี้พลกุล, นุชจิรา ทวีดีตระกูล และศิริชัย ส่งเสริมพงษ์. 2552. **กรรมวิธีการผลิตเส้นหมี่สดจากแป้งข้าวกล้องเริ่มงอก.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กฤษณา สุดทะสาร **"ข้าวกล้องสดและข้าวกล้องงอก นวัตกรรมเพิ่มมูลค่าข้าวกล้อง"** [Online]. Available : http://ubn.ricethailand.go.th/document/kitsana/brown/brown.htm. 2550

คำรบ สมะวรรธนะ. 2546. **"ผลของการเจลาติไนเซชั่นและการรีโทรกราเดชั่นต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าว."** วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพฯ.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2536. คุณภาพในเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเม็ด, เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จินตนา อุปดิสสกุล. 2535. **กลิ่นรสและการประเมินค่า.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จีสุดา เกตุกราย, 2548. สารระเหยให้กลิ่นรสของขนมจีนแป้งหมัก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิตยา บุญมี. 2532. **จุลินทรีย์ในการผลิตขนมจีนแป้งหมัก.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. **เคมีอาหาร** . โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร.

ภัทรพร กระดังงา, สุนันทา ชัยวงศ์. 2549. **การผลิตเส้นขนมจีนข้าวกล้อง.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รักชนก จัดวงษ์. 2545. **การพัฒนาแป้งขนมจีนหมักสำเร็จรูป.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรรณา ตั้งเจริญชัย, กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, อุมา แสงคร้าม, วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย และ ทนาวุฒิ ปริญญาพัฒนบุตร. 2549. **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวกล้องงอกด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน:** สภาวะการทำให้ข้าวกล้องงอกกับการเปลี่ยนแปลงของโภชนสาร โครงการความร่วมมือไทย-เกาหลี (NRCT-KOSEE). สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 56 หน้า.

วิไลภรณ์ ตระกูลพิบูลชัย. 2549. **ผลของระยะเวลาในการงอกต่อสารชีวกิจกรรมบางชนิดและคุณภาพของข้าวกล้องหอมมะลิ 105.**วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตคณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปราโมทย์ ศิริโรจน์, อรอนงค์ นัยวิกุล, พัชรี โสธนาสมบูรณ์, สุภรัตน์ ชวนะ, ลาวัณย์ ไกรเดช, พรเทพ พัฒนานุรักษ์, มาลี สุวรรณอัตถ์ และผู้ผลิตจากนิคมอุตสาหกรรมขนมจีนฉะเชิงเทรา. 2534. **การเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์และความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลและกรดในกระบวนการหมักขนมจีน.** ในรายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

พัชรี โสธนาสมบูรณ์, อรอนงค์ นัยวิกุล, สุภรัตน์ ชวนะ, ปราโมทย์ ศิริโรจน์, สุภรัตน์ ชวนะ, มาลี สุวรรณอัตถ์. 2534. **คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของข้าวหักที่ใช้ในการทำขนมจีน,** รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรสาสตร์ ครั้งที่ 29. หน้า 357-364. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

ศันสนีย์ อุดมระติ. 2548. **"การเกิดเจลาทีไนเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์."**วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของข้าว.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

AOAC. 1998. Official method of analysis of association of official analytical chemists. 16th ed. Maryland : Gaithersburg.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis. **Association of Official Analytical Chemists**. Arlington. Virinias chromatographic technique for

Chrastil, J. 1990. **Chemical and physiochemical changes of rice during storage at different tamperatures**. J. Cereal Sci. 11: 71-85

Juliano, B. O. 1985. Rice : **Chemistry and Technology**. 2nd ed. The America Association Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.

Ito, S. and Y. Ishikawa. 2004. **Marketing of value-addes rice products in Japan: germinated brown rice and rice bread**. FAO International Rice Year 2004 , Symposium Rome, Italy.

Kim, K., R. Tsao, R. Yang and S.W. Cui. 2006. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. **Food Chemistry**. 95, pp: 466-473.

Komatsuzaki, N., K. Tsukahara, H. ToYoshima, T. Suzuki, N. Shimizu and T. Kimura. 2005. **Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice**. J. of Food Engineering.

Naivikul, O. 1988. **Diversification of rice utilization in Thailand**. Extension Bulletin No. 274. P.O. Box 22-149, Taipei City, Taiwan, Republic of China.

Oloyo, R.A. 2004. **Chemical and nutritional quality changes in germinating seeds of Cajanus cajan L. Food Chemistry** 85:497-502

Tian, S., K. Nakamura, T. Cui, and H. Kayahara. 2004. **Analysis of Phenolic Compounds in White Rice, Brown Rice, and Germinated Brown Rice**. J. of Agriculture and Food Chemistry. 52 : 4808-4813.

Toyoshima, H., K. Ohtsubo, H. Okadome, K. Tsukahara. N. Komatsuzaki, and T. Kohno. 2004. **Germinated brown rice with good safety and cooking property**, process for producing the same, and processed food there from. U.S. patent no. 6685979. Fabruary 2004.

Varanyanond, W., P. Tungtrakul, V. Surojanametakul, L. Watanasiritham, and W. Luxiang. 2005. **Effects of Water Soaking on Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) in Germ of Different Thai Rice Varieties**. Kasetsart J. (Nat. Sci.), 39. pp: 411-415

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Measuring System, TA-XT2i, UK)

วิธีการทดลอง

1. สอบเทียบด้านแรง (calibrate force) ก่อนวัดทุกครั้ง
2. ประกอบเครื่องมือสำหรับดึง ใช้หัววัดชนิด Spaghetti / noodle rig (A/SPR) เข้ากับเครื่องวัดเนื้อสัมผัส
3. เทียบด้านหัววัด (calibrate probe) ก่อนการวัด

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

เลือกเส้นขนมจีนที่สึกแล้วที่มีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร มาพันหัววัด

ชนิดของหัววัด

ใช้หัววัดชนิด spaghetti/noodle rig (A/SPR)

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

- ระยะห่างหัววัด 80 มิลลิเมตร
- อัตราเร็วการทดสอบ 3 มิลลิเมตร/วินาที
- Trigger 0.5 นิวตัน
- ระยะสูงสุดที่ให้หัววัดเคลื่อนที่ 80 มิลลิเมตร

หาค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่าง Force-time curve ที่บันทึกโดยเครื่อง รายงานค่าเป็นค่าแรงดึงสูงสุด (maximum force) มีหน่วยเป็นกรัม-แรง (gram-force, g.f)

2. การวิเคราะห์ค่าสี L a b โดยใช้เครื่อง Minolta chroma meter

เครื่องมือ

Minolta chroma meter, Minolta Cr-300, Japan

วิธีการ

วัดสีของผลิตภัณฑ์ ทำการวัดค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ โดยที่

ค่า L แทนค่าความสว่าง

ค่า a แทนค่สีแดง คือ (+) แทนค่าสีแดง (-) แทนสีเขียว

ค่า b แทนสีเหลือง คือ (+) แทนค่าสีเหลือง (-) แทนสีน้ำเงิน

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. ความชื้น (AOAC. 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. กระป๋องอลูมิเนียม (moisture can)
2. โถดูดความชื้น (desiccators)
3. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ใช้เครื่อง Model BWS-3, Japan

วิธีการทดลอง

1. อบกระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักแน่นอน)
2. ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 2.0 กรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่กระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด จดน้ำหนักเป็นน้ำหนักก่อนอบ
3. นำกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ใส่ตัวอย่างอาหารไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง โดยเปิดฝาระหว่างอบ
4. นำออกจากตู้อบปิดฝาทันทีใส่ในโถดูดความชื้น รอจนเย็นชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และอบใหม่ จนได้น้ำหนักคงที่ (ผลต่างการชั่งสองครั้งมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิกรัม) ได้เป็นน้ำหนักหลังอบ

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\left(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}\right) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

2. ปริมาณไขมัน (AOAC. 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสกัดไขมัน รุ่น Buchi 810, USA
2. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (precision balance)
4. กระดาษกรอง (filter papers)

สารเคมี

1. ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether)
2. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างอาหารที่อบแห้งแล้วประมาณ 2 กรัม (w1) (น้ำหนักแน่นอน) ใช้กรวยแก้วเทลงในหลอดบรรจุตัวอย่าง (thimbles) ชนิดกระดาษหรือแก้วก็ได้
2. นำถ้วยสกัด ไปอบและชั่งน้ำหนัก (w2)
3. เติมตัวทำละลายลงในถ้วยสกัดประมาณ 50-75 มิลลิลิตร
4. ใส่ถ้วยสกัดในชุดสกัดไขมัน soxhlet พร้อมทั้งโยกคันโยกลง
5. เลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่งต้ม (boiling) และสกัดเป็นเวลา 15-20 นาที จากนั้นเลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่งชะล้าง (rinsing) ทำการชะล้างเป็นเวลา 30-45 นาที
6. ระเหยตัวทำละลาย พร้อมกับปิดจุกระบายความร้อน (condensers valve) และเปิดสวิทช์
7. นำถ้วยสกัดไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
8. ทำถ้วยสกัดให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (w3) คำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมันในสารตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหาร} = \frac{(w2-w3) \times 100}{w1}$$

รูปที่ ข1 เครื่องสกัดไขมัน รุ่น Buchi 810, USA

3. ปริมาณโปรตีนโดยวิธี kjeldahl (AOAC. 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสกัดโปรตีน (Buchi Distillation Unit B-316, Switzerland)
2. อุปกรณ์การย่อย
3. อุปกรณ์การกลั่น
4. อุปกรณ์การไตเตรท

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (sulfuric acid)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) 40 เปอร์เซ็นต์
3. สารละลายกรดบอริก (boric acid) 4 เปอร์เซ็นต์
4. ตัวเร่งปฏิกิริยา ประกอบด้วยโพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulphate) 98 เปอร์เซ็นต์ และคอปเปอร์ซัลเฟต (copper(II) sulfate) 2 เปอร์เซ็นต์
5. อินดิเคเตอร์ ละลายเมธิลเรด (methyl red)
6. กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เข้มข้น 0.1 นอร์มอล

วิธีการ

เตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างอย่างละเอียดในช่วง 0.5-1.0 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย
2. ใส่สารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 10 กรัม
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไปประมาณ 10-15 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเบา ๆ

การย่อย

1. เปิดเครื่องย่อย แล้วตั้งหลอดย่อยในเครื่อง สวมเครื่องดักจับไอกรดลงบนส่วนบนของหลอดย่อย และเปิด Power ของเครื่องดักจับไอกรด โดยย่อยในตู้ดูดควัน
2. กดปุ่มเริ่มทำงานที่เครื่องย่อย เมื่ออุณหภูมิได้ 420 องศาเซลเซียสแล้วเครื่องจะย่อยต่อไปอีก 1 ชั่วโมงจนตัวอย่างเป็นสารละลายสีเขียวใส (หากครบ 1 ชั่วโมงแล้วยังไม่เป็นสีเขียวใสให้ย่อยต่อ)
3. ยกหลอดย่อยออกมาตั้งพักไว้ให้เย็น
4. ปิดการทำงาน เครื่องย่อย แต่ยังคงเปิดเครื่องดักจับไอกรดไว้เพื่อดักจับไอกรดที่ยังคงเหลืออยู่

การกลั่น

1. เปิด Power เครื่องหล่อเย็น แล้วเปิดเครื่องกลั่นทำการล้างระบบด้วยการล้างน้ำกลั่น
2. ตวงกรดบอริค 4 เปอร์เซ็นต์ 25 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร พร้อมหยดอินดิเคเตอร์สารละลายจะเป็นสีแดงออกชมพู
3. นำหลอดย่อยประกอบเข้ากับเครื่องกลั่นและวางไว้บริเวณ plateform ให้แท่งแก้วจุ่มอยู่ใต้กรดบอริก
4. ปิด Safety door ลง เครื่องกลั่นจะทำการกลั่นเป็นเวลาประมาณ 4 นาที
5. เมื่อกลั่นเสร็จแล้ว เอาขวดรูปชมพู่และหลอดย่อยออกจากเครื่อง

6. นำสารละลายในขวดรูปชมพู่ไปไทเทรตกับสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล จนได้สารละลายเป็นสีชมพูอ่อน

คำนวณผลการวิเคราะห์ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{14\times(v1-v2)\times\text{นอร์มาลิตีของกรดไฮโดรคลอริก (โมล/ลิตร)}\times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}\times 100}$$

เมื่อ v1 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรทตัวอย่าง

v2 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรท blank

เปอร์เซ็นต์โปรตีน = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน × แฟกเตอรการแปลงหนวย (conversion factor)

เมื่อแฟกเตอร์การแปลงหน่วย = 5.95 (แฟกเตอร์ของข้าว)

4. การวิเคราะห์ใยอาหาร (AOAC. 2000)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก 0.128 โมลาร์
2. ออกทานอล (Octanol)
3. โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 0.223 โมลาร์
4. ซีไลท์ (celite)

การเตรียมสารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก 0.128 โมลาร์ โดยไปเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3.8 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกรองครบ 1 ลิตร
2. โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.223 โมลาร์ โดยชั่งโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 12.5 กรัม ละลายในน้ำกรอง 1 ลิตร

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ปราศจากความชื้นและสกัดไขมันออกแล้วให้ได้น้ำหนักแน่นอน (ประมาณ 1 กรัม) ใส่ในเบ้ากรองที่ทำจากแก้วพรุน (sinter glass crucible)
2. นำเบ้ากรองที่ทำจากแก้วพรุนใส่ในเครื่องสกัดแบบร้อน (hot extraction unit)
3. เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.128 โมลาร์ 150 มิลลิลิตรลงในเบ้ากรองที่ทำจากแก้วพรุน
4. เติมออกทานอลจำนวน 2-3 หยด เพื่อป้องกันฟองล้นออกมาเมื่อความร้อนสูง

5. ลดความร้อนลงและต้มเป็นเวลา 30 นาที กรองแล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร
6. เติมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.223 โมลาร์ ปริมาณ 150 มิลลิลิตร
7. กรองและล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ปริมาณครั้งละ 25 มิลลิลิตร และกรองจนแห้ง
8. ล้างสารตัวอย่างที่อยู่ในถ้วยกระเบื้องด้วยอะซีโตน ในเครื่องสกัดแบบเย็น (cold extraction unit)
9. อบถ้วยกระเบื้องที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ในโถอบแห้งให้เย็นและชั่งน้ำหนัก (W1)
10. เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นและชั่งน้ำหนัก (W2)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใยอาหาร (เปอร์เซ็นต์)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักแห้งของกาก (W1)} - \text{น้ำหนักเถ้า (W2)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}\right)$$

รูปที่ ข2 เครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร

5. การตรวจหาปริมาณสารฟีโนลิคทั้งหมด (total phenolic compound)

การตรวจหาปริมาณสารฟีโนลิกทั้งหมดในสารสกัด โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi,1965) ซึ่งมีวิธีการทดลอง ดังนี้

1. นำสารสกัดที่ละลายด้วยเอทานอลปริมาณ 50 ไมโครลิตร ผสมกับ Folin reagent จำนวน 250 ไมโครลิตร และสารละลาย 20 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมคาร์บอเนตปริมาณ 250 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
2. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที
3. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ใช้สารมาตรฐานเป็นกรดแกลลิคเป็นตัวแทนของสารประกอบฟีนอลิค

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

1. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC 1998)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องตีผสม (stomacher)
2. หลอดทดลอง (test tube)
3. ปิเปตต์ (pipette)
4. จานเพาะเชื้อ (petri dish)
5. ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ (Incubator : Sanyo, Japan)

สารเคมี

1. เปปโตน วอเตอร์ (peptone water)
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar (PCA)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างขนมจีน 25 กรัม ใส่ถุงพลาสติกปลอดเชื้อ
2. ใส่เปปโตน วอเตอร์ 225 มิลลิลิตร และผสมตัวอย่างด้วยเครื่องตีผสมให้เป็น เนื้อเดียวกันได้สารละลายเจือจาง (dilution) 10^{-1}
3. ใช้ปิเปตต์ดูดสารละลาย 1 มิลลิลิตร ใส่ในเปปโตน วอเตอร์ ที่อยู่ในหลอดทดลอง 9 มิลลิลิตรได้สารละลายเจือจาง (dilution) 10^{-2} ทำเช่นเดิมจนได้สารละลายเจือจาง (dilution) 10^{-3}
4. ใช้ปิเปตต์ดูดสารละลายตัวอย่างในหลอด 1` มิลลิลิตร ใส่จานเพาะเชื้อ ที่ฆ่าเชื้อแล้ว เทอาหารเลี้ยงเชื้อที่หลอมเหลวและยังอุ่นอยู่ลงในจานเลี้องเชื้อ เขย่าจานเพาะเชื้อให้สารละลายตัวอย่างกระจายไปทั่ว
5. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว
6. บ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. นับจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยเลือกจานที่มีจำนวนโคโลนี 30-300 โคโลนี

2. ปริมาณยีสต์และรา (AOAC 1998)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องตีผสม (stomacher)
2. หลอดทดลอง (test tube)
3. ปิเปตต์ (pipette)
4. จานเพาะเชื้อ (petri dish)
5. ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ (incubator: Sanyo, Japan)

สารเคมี

1. เปปโตน วอเตอร์ (peptone water)
2. อาหารเลี้ยงเชื้อที่ทำจากมันฝรั่ง (potato dextrose agar)
3. กรดแลคติก (lactic acid)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างขนมจีน 25 กรัม ใส่ถุงพลาสติกปลอดเชื้อ
2. ใ ส่เปปโตน วอเตอร์ 225 มิลลิลิตร และผสมตัวอย่างด้วยเครื่องตีผสมให้เป็น เนื้อเดียวกันได้สารละลายเจือจาง (dilution) 10^{-1}
3. ใช้ปิเปตต์ ดูดสารละลาย 1 มิลลิลิตร ใส่ในเปปโตน วอเตอร์ ที่อยู่ในหลอทดลอง 9 มิลลิลิตรได้สารละลายเจือจาง (dilution) 10^{-2} ทำเช่นเดิมจนได้สารละลายเจือจาง (dilution) 10^{-3}
4. ใช้ปิเปตต์ดูดสารละลายตัวอย่างในหลอด 1` มิลลิลิตร ใส่จานเพาะเชื้ออบที่ฆ่าเชื้อแล้ว เทอาหารเลี้ยงเชื้อที่ทำจากมันฝรั่ง (potato dextrose agar) ที่ความเป็นกีดด่างเท่ากับ 3.5±1 โดยใช้กรดแลคติกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวปรับ ที่หลอมเหลวและยังอุ่นอยู่ลงในจานเลี้ยงเชื้อ
5. เขย่าจานเพาะเชื้อให้สารละลายตัวอย่างกระจายไปทั่ว
6. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว บ่มที่อุณภูมิห้อง (30±1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2-5 วัน นับจำนวนยีสต์และราโดยเลือกจานที่มีจำนวนโคโลนี 30-300 โคโลนี

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางความชอบประสาทสัมผัสแบบ 5 จุด

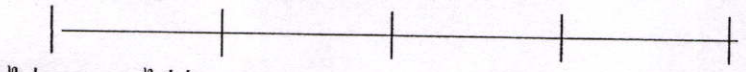
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะของขนมจีน

ชื่อ.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์.....ขนมจีน.....

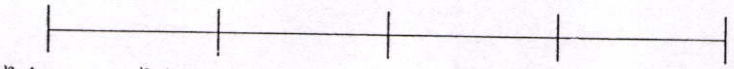
คำชี้แจง: ให้ทดสอบขนมจีนตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่าง โดยให้ขีดเส้น (|) ตามความรู้สึกของท่านและเขียนรหัสกำกับโดยประเมินผลคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1.ความชอบด้านลักษณะปรากฏ



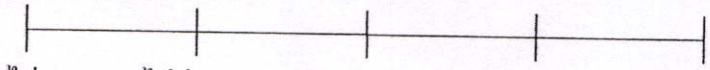
ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

2. ความชอบด้านสี



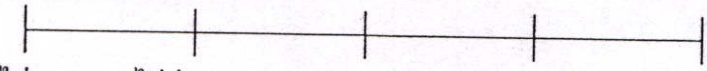
ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

3. ความชอบด้านกลิ่น



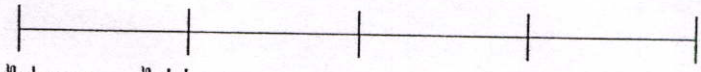
ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

4. ความชอบด้านเนื้อสัมผัส



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

5. ความชอบโดยรวม



ไม่ชอบ ไม่ค่อยชอบ เฉยๆ ชอบ ชอบมาก

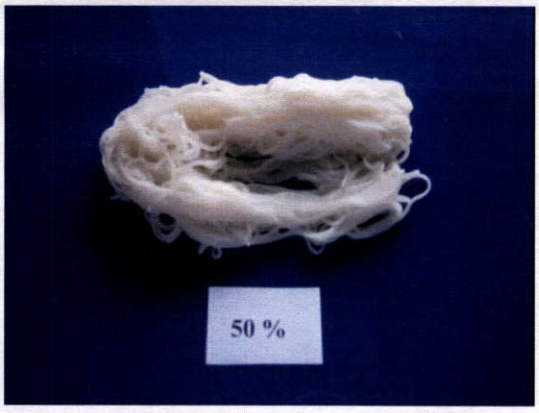
ข้อเสนอแนะ.....

ภาคผนวก จ

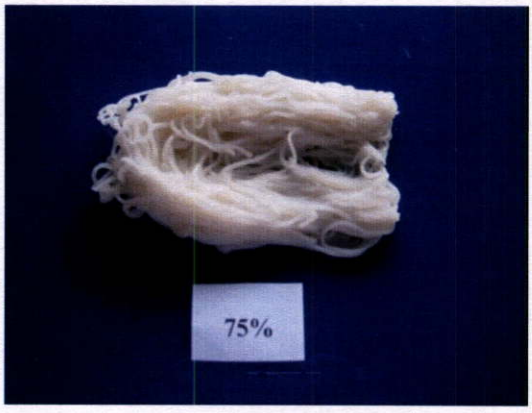
ภาพตัวอย่างจากการทดลอง

(ก) ขนมจีนจากข้าวกล้อง 0 เปอร์เซ็นต์

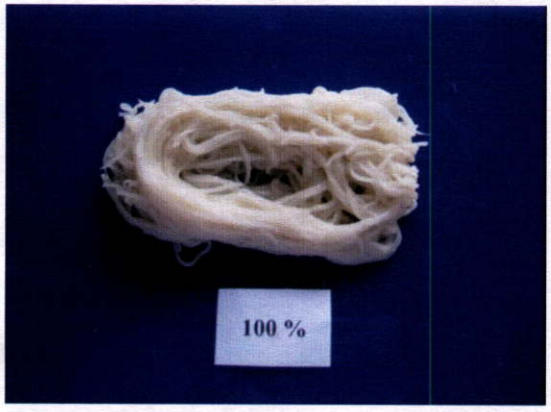
(ข) ขนมจีนจากข้าวกล้อง 25เปอร์เซ็นต์



(ค) ขนมจีนจากข้าวกล้อง 50 เปอร์เซ็นต์



(ง) ขนมจีนจากข้าวกล้อง 75 เปอร์เซ็นต์



(ง) ขนมจีนจากข้าวกล้อง 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ จ1 ภาพขนมจีนจากการทดลองขนมจีนจากข้าวกล้อง 0 เปอร์เซ็นต์ (ก) ขนมจีนจากข้าวกล้อง 25 เปอร์เซ็นต์ (ข) ขนมจีนจากข้าวกล้อง 50 เปอร์เซ็นต์ (ค) ขนมจีนจากข้าวกล้อง 75 เปอร์เซ็นต์ (ง) และ ขนมจีนจากข้าวกล้อง 100 เปอร์เซ็นต์ (ง)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปัณฑณัท วชิรศิริ เกิดวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดชุมพร สำเร็จการชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนนารีวิทยา จังหวัดราชบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีอาหารจากมหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2548 และศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ในสาขาเทคโนโลยีการจัดและบริการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และจบการศึกษาในปี พ.ศ. 2554