การเพิ่มสารคาทีชินในผลิตภัณฑ์โดยกระบวนการห่อหุ้ม

CATECHIN - FORTIFIED BY PARBOILING TECHNIQUE

อคนิษฐ์ ชุมวิสุตร

AKANIT CHUMWISUT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

ISMTL-2015-EN-M-100-141

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเพิ่มคาเทชินในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง

CATECHIN- FORTIFIED BY PARBOILING TECHNIQUE

อกนิษฐ์ ชุมวิสูตร

AKANIT CHUMWISUT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 139443
วัน,เดือน,ปี..... 3 พ.ย. 2558

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-100-141

CATECHIN- FORTIFIED BY PARBOILING TECHNIQUE

AKANIT CHUMWISUT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUEREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2015

KMITL-2015-EN-M-100-141

COPYRIGHT 2015
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มคาเทชินในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง
Thesis Title Catechin-Fortified by Parboiling Technique
นักศึกษา นางสาวอกนิษฐ์ ชุมวิสูตร
รหัสประจำตัว 57601391
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-100-141

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.จิราพร	ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	
รศ.ดร.ปานมนัส	ศิริสมบูรณ์	
รศ.ดร.อนุพันธ์	เทอดวงศ์วรกุล	
ดร.วสุ	อุดมเพทายกุล	
ผศ.ดร.ประสันต์	ชุ่มใจหาญ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-302

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มคาเทชินในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง
นักศึกษา	นางสาวอกนิษฐ์ ชุมวิสูตร
รหัสนักศึกษา	57601391
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

บทคัดย่อ

กระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นที่แพร่หลายสำหรับการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำ นอกจากจะลดเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวได้แล้วยังมีคุณค่าทางอาหารของข้าวสูงขึ้น การเพิ่มสารอาหารอื่นๆ เช่น คาเทชิน ช่วยทำให้สามารถเพิ่มมูลค่าของข้าวคุณภาพต่ำได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 4 ส่วนคือ 1) เพื่อศึกษาระยะเวาในการแช่ข้าวต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว 2) เพื่อศึกษาการเก็บรักษาสารคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก 3) เพื่อทดสอบเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเชิงวัตถุวิสัย และ 4) เพื่อทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมคาเทชิน การทดลองทำโดยนำข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2557 มาแช่ในสารละลายคาเทชิน 5 ระดับ คือ 0.61, 1.23, 2.45, 4.90 และ 9.80 มิลลิโมลต่อลิตร มีระยะเวลาการแช่ 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ โดยรักษาอุณหภูมิระหว่างการแช่ให้คงที่ที่ 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการนึ่งคงที่ที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที และอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนความชื้นข้าวลดเหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาการแช่ข้าวส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว โดยเมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวมีแนวโน้มลดลง และที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 3 ชั่วโมง ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักลดลงจากข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่งประมาณ 5-10% แต่ระยะเวลาในการแช่ข้าวไม่ส่งผลต่อปริมาณค่าเทชิน แต่ความเข้มข้นของคาเทชินในสารละลายที่แช่ข้าวเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าว ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินและเวลาในการแช่ที่เหมาะสมคือ 2.62 มิลลิโมลต่อลิตร และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ การทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัยพบว่า ด้านความแข็งข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากข้าวสาร, ด้านความเหนียวพบว่า ข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากข้าวกล้อง สำหรับการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค ด้านกลิ่น ข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากข้าวนึ่ง, ด้านสี ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินแตกต่างกัน, ด้านความแข็ง ข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างจากข้าวกล้อง, ด้านความเหนียว ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่มีความแตกต่างกันด้านการยึดติด ข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างจากข้าวกล้อง และด้านสุดท้ายด้านรสชาติข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่มีความแตกต่างกัน

Title	Catechin – Fortified by Parboiling Technique
Student	Ms.Akanit Chumwisut
Student ID	57601391
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Prasan Choomjaihan

ABSTRACT

Parboiling rice technique has been widely used for improving the low quality rice. This technique is not only decreasing the percentage of breakage kernel, but also it is more enhance in the nutrient contents than the normal rice. Adding other supplementary nutrients, catechin, in rice, potentially increased the value of low quality rice. Therefore, the objectives of this research were 1) to study the percentage of broken rice kernel from catechin fortification, 2) to study the catechin retention concentration in cooked rice 3) texture analysis of catechin fortified rice (CFR) and 4)to study the consumers' satisfaction with the CFR. The rough rice harvested in year 2014 was soaked in 5 different concentration levels of catechin solution for up to 3 hours. The temperature of solution was at 70 °C, temperature steaming was at 90 °C for 25 minutes and drying temperature was at 40°C. The results showed that increasing of the soaking periods decreased the percentage of breakage kernel. The breakage of rice at the third hour of soaking was decreased up to 5-10% from the initial breakage. The optimum concentration of catechin solution and soaking time were 2.62 mM/L and 3 hours respectively.

The Texture analysis test found that hardness of brown rice (BR), parboiled rice (PR), CFR were not different but different from white rice (WR) and stickiness of WR, PR and CFR were equaled but different from BR. Consumers' satisfaction test shown that the smell of WR, BR and CFR were equaled but different from PR, Color of rice grain shown WR, BR, PR and CFR were different, the Hardness of WR, PR and CFR were equaled but different from BR, Stickiness of WR, BR, PR and CFR were not different, adhesiveness of WR, PR and CFR were equaled but different from BR; finally, the taste of WR, BR, PR and CFR were not different.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ที่ช่วยเหลือดูแลการทดลองให้เป็นไปอย่างเรียบร้อย และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบคุณ ดร.ดนุชา สลีวงศ์ สังกัด คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระราชูปถัมภ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแบบสอบถามที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ช่วยเหลือทำการทดลองและให้กำลังใจเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อกนิษฐ์ ชุมวิสูตร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาแหละความสำคัญ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 คุณภาพข้าว.....4

2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าว.....16

2.3 สารคาเทชิน และประโยชน์ของสารคาเทชิน.....22

2.4 การทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย.....24

2.5 ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์.....26

บทที่ 3 อุปกรณ์และการดำเนินการทดลอง.....31

3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....31

3.2 แผนการทดลอง.....37

3.3 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการนึ่งข้าว.....37

3.4 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก.....39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 การทดสอบเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเชิงวัตถุวิสัย....40
3.6 การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค....43

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล....45
4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว....45
4.2 ผลการศึกษาหาระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชิน และเวลาในการแช่ที่เหมาะสมต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก....47
4.3 ผลการทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย....49
4.4 ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค....52

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....60
5.1 สรุปผลการทดลอง....60
5.2 ข้อเสนอแนะ....62

เอกสารอ้างอิง....66

ภาคผนวก....68
ภาคผนวก ก เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว....69
ภาคผนวก ข มาตรฐานข้าวขาว....73
ภาคผนวก ค ปริมาณสารคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก....75
ภาคผนวก ง การทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย....84
ภาคผนวก จ การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค....87
ภาคผนวก ฉ การทดสอบทางสถิติ....103
ภาคผนวก ช หลักการทำงานเครื่อง UV-VIS spectrophotometer....111
ภาคผนวก ซ ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่....114

ประวัติผู้เขียน....120

สารบัญตาราง

ตารางที่.....หน้า
2.1 การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าว.....6
2.2 การประเมินขนาดและความยาวของเมล็ด.....6
2.3 การเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร.....7
2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส.....9
2.5 เปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องข้าวแดงหอมและข้าวขาวดอกมะลิ105.....16
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....28
4.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับเวลาในการแช่ข้าวแตกต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหัก.....47
4.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับเวลาในการแช่ข้าวแตกต่างกันต่อ
ปริมาณสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก.....49

สารบัญภาพ

ภาพที่.....หน้า
2.1 ระดับความเป็นท้องไข่ข้าว.....8
2.2 โครงสร้างคาเทชิน 8 อนุพันธ์.....23
2.3 กราฟแรง-เวลาในการทดสอบข้าวสวยด้วยวิธี Back Extrusion.....25
3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ.....32
3.2 ตู้อบลมร้อน.....32
3.3 เครื่องวัดความชื้น.....33
3.4 เครื่องกะเทาะเปลือก.....33
3.5 เครื่องทดสอบการคัดขนาดเมล็ดข้าว.....34
3.6 เครื่องทดสอบการขัดขาว.....34
3.7 เครื่องปั่นแยกสาร.....35
3.8 UV-Vis Spectrophotometer.....35
3.9 Texture analyzer.....36
3.10 แผนการทดลอง.....38
3.11 กระบวนการสีข้าว.....39
3.12 การหุงข้าว.....41
3.13 การตั้งค่าวิธีการทดสอบแบบ Back extrusion.....42
3.14 การคำนวณแบบ BE.....43
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการแช่ กับเปอร์เซ็นต์การแตกหักที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินต่างๆ.....46
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสารละลายคาเทชิน กับ ปริมาณคาเทชินหลังการหุงที่ระยะเวลาการในการแช่ต่างกัน.....48
4.3 ค่าความแข็งของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต(α=0.05).....50
4.4 ค่าความเหนียวของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05).....50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่.....
หน้า
4.5 ค่าความแข็งของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05).....51
4.6 แสดงค่าความเหนียวของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05).....52
4.7 ค่าความพึงพอใจด้านกลิ่นของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05).....53
4.8 ค่าความพึงพอใจด้านสีของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05).....54
4.9 ค่าความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05).....55
4.10 ค่าความพึงพอใจด้านความเหนียวของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินแต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05).....56
4.11 ความพึงพอใจด้านการยึดติดของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05).....57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่.....

หน้า

4.12 ค่าความพึงพอใจด้านรสชาติของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(α=0.05).....58

4.13 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้บริโภคในสมบัติ ด้านกลิ่น ด้านสี ด้านความแข็ง ด้านความเหนียว ด้านการยึดติด และด้านรสชาติ ของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมค่าเทชิน.....59

4.14 ค่าผลรวมของผลต่างความพึงพอใจของผู้บริโภคในสมบัติ ด้านกลิ่น ด้านสี ด้านความแข็ง ด้านความเหนียว ด้านการยึดติด และด้านรสชาติ ของข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเมื่อเทียบกับข้าวสาร.....59

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาแหละความสำคัญ

ข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย เนื่องจากพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่ของประเทศปลูกข้าวเป็นธัญพืชหลัก ปัจจุบันข้าวยังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ การส่งออกข้าวคุณภาพของข้าวถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพทางกายภาพของข้าวเป็นปัจจัยอีกหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความนิยมในการบริโภคข้าวและยังเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินคุณภาพข้าว ในการซื้อขายมักพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพเป็นหลัก ข้าวที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เช่น ความชื้น ลักษณะทางกายภาพของข้าว คุณภาพการสี ประเภทของข้าว เป็นต้น ถือว่าเป็นข้าวคุณภาพต่ำ [1] โดยคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวคุณภาพต่ำที่ปรากฏชัดคือการแตกหักของเมล็ดข้าว [2] ดังนั้นการลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวให้มีค่าน้อยลงเป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำสามารถทำได้โดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง การทำข้าวนึ่งเป็นการทำให้สตาร์ชกลายเป็นเจลบางส่วนและเมื่อนำความชื้นออกจากเมล็ดข้าว เจลจะทำหน้าที่คล้ายกาวประสานรอยร้าวภายในเมล็ดข้าวทำให้รอยแตกหักภายในเชื่อมต่อติดกัน ทำให้ข้าวมีการแตกหักลดลง [3] นอกจากนี้ข้าวที่ผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่งยังมีคุณประโยชน์ทางสารอาหารมากมาย เช่น สารอาหารจำพวกแร่ธาตุได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม ซิลิเนียม และสารอาหารจำพวกวิตามิน เป็นต้น [4] เนื่องจากขั้นตอนการทำข้าวนึ่งมีขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือกในน้ำทำให้น้ำเป็นตัวผลักดันให้สารอาหารที่มีอยู่ในชั้นรำเข้าสู่ชั้นแป้งในเนื้อข้าว [5] นั้นหมายความว่ากระบวนการทำข้าวนึ่งนอกจากจะปรับปรุงคุณภาพการสีข้าวให้ดีขึ้นแล้ว ยังมีคุณค่าทางอาหารสูงขึ้นกว่าข้าวสารปกติอีกด้วย

กระบวนการทำข้าวนึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ การแช่ข้าว การนึ่งข้าว และการอบลดความชื้น ในขั้นตอนของการแช่ข้าวจะเกิดกระบวนการแพร่และไฮเดรชั่น ซึ่งเป็นกระบวนการนำน้ำเข้าไปในโมเลกุลทำให้สารอาหารที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีสามารถเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ในขั้นตอนของการนึ่ง จากนั้นการนำข้าวมานึ่งจะเกิดกระบวนการเจลาทิไนซ์เชชั่นทำให้สตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็น เจลเนื่องจากผลของอุณหภูมิทำให้ช่องว่าง รอยแตก และรอยร้าวภายในเกิดการผสานตัวยึดเกาะกันเป็นผลทำให้มีปริมาณการแตกหักของข้าวลดลง ข้าวเปลือกที่ผ่านการทำข้าวนึ่งจะมีความชื้นสูง 40-50 เปอร์เซ็นต์ จึงจำเป็นต้องลดความชื้นของข้าวนึ่งให้เหลือประมาณ 14-16 เปอร์เซ็นต์เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาและกระบวนการสี [6] การอบลดความชื้นข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นภายในเมล็ดข้าวจะระเหยออกมาอย่างช้าๆ ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีคุณภาพดี [7] เมล็ดข้าวที่

อยู่ในสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิสูง ทำให้ความสามารถในการรับภาระของเมล็ดข้าวระหว่างการสีข้าวต่ำลง ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแตกหักของข้าวสาร [8] นอกจากคุณภาพของข้าวสารแล้วยังต้องคำนึงถึงเนื้อสัมผัสของข้าวสวย ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Stickiness) ซึ่งเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของข้าวสวย ซึ่งมีผลต่อราคา และการยอมรับของผู้บริโภค การยอมรับของผู้บริโภคโดยส่วนใหญ่มักคำนึงถึงความแข็งเป็นหลัก ซึ่งสามารถประเมินความแข็งของข้าวสวยโดยทดสอบเชิงวัตถุวิสัยและการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค

สำหรับสารคาเทชินเป็นสารจำพวกโพลิฟีนอลซึ่งสามารถสกัดได้จากพืช เช่น โกโก้ ไวน์ แอปเปิ้ล แต่พบปริมาณสูงที่สุดในชาเขียว คาเทชินทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชั่น อันเกิดจากเซลล์ในร่างกายทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระและพบความเชื่อมโยงของสารอนุมูลอิสระที่จะสามารถส่งผลให้เกิดมะเร็งได้ โดยพบว่ามะเร็งเป็นโรคร้ายที่เป็นสาเหตุการตายอันดับ 1 ของคนไทย มาตลอด 10 ปีที่ผ่านมา [9] ชาเขียวจึงเป็นที่นิยมในหมู่คนรักสุขภาพแต่การดื่มชาเขียวนั้นควรคำนึงถึงปริมาณคาเฟอีน การดื่มชาเขียว 1 ถ้วย (250 มิลลิลิตร) จะได้รับคาเฟอีน 25-40 มิลลิกรัม [10] เพื่อให้ร่างกายได้รับปริมาณคาเทชินที่แนะนำใน 1 วัน (320 มิลลิกรัม) ต้องบริโภคชาเขียว 3 แก้วทำให้ร่างกายได้รับปริมาณคาเฟอีนที่สูง 75-195 มิลลิกรัม ส่งผลกระทบต่อร่างกาย เช่น ระบบทางเดินอาหาร ต่อระบบกระดูก ต่อสมอง และ ต่อระบบไหลเวียนโลหิต เป็นต้น [11] ดังนั้นการเพิ่มสารคาเทชินในอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่บริโภคเป็นประจำ เช่น ข้าว เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการรับสารคาเทชินเข้าสู่ร่างกาย

กระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพการสีของข้าวที่มีคุณภาพการสีต่ำ ซึ่งมีส่วนช่วยในการลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าว อีกทั้งยังสามารถเพิ่มสารอาหารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ แต่ในการเสริมสารอาหารนั้นต้องคำนึงถึงปริมาณของสารที่เข้าสู่เมล็ดข้าว เพื่อเพิ่มคุณค่าให้แก่เมล็ดข้าวอย่างเหมาะสม รวมถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ จากที่กล่าวข้างต้นเป็นปัจจัยที่ควรจะต้องคำนึงถึงในการศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำเพื่อเพิ่มคุณค่าและมูลค่าด้วยกระบวนการทำข้าวนึ่ง โดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

1.2.2 เพื่อศึกษาการเก็บรักษาสารคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก

1.2.3 เพื่อทดสอบเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเชิงวัตถุวิสัย

1.2.4 เพื่อทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเสริมคาเทชิน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในการศึกษานี้ใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เก็บเกี่ยวในปีการเพาะปลูก 2557 โดยใช้สารคาเทชินที่ผลิตโดยบริษัท คามาตะ คอร์ปอเรชั่น ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งดำเนินการวิจัยนี้อยู่ในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

นอกจากจะให้คุณภาพข้าวที่ดีขึ้นและคุณค่าทางโภชนาการที่มากขึ้นแล้ว ยังคาดหวังว่าข้าวนึ่งเสริมคาเทชินจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการบริโภคสารคาเทชิน เนื่องสารคาเทชินเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย มีส่วนช่วยในการต้านสารอนุมูลอิสระ ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวคุณภาพต่ำและเพื่อเป็นแนวทางในการส่งออกข้าวนึ่งของประเทศไทย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำ ถือว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางเลือกของข้าว ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบที่สนับสนุนการทำงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย 5 หัวข้อหลักๆ คือ 1) คุณภาพข้าว 2) คุณค่าทางโภชนาการของข้าว 3) สารคาเทชิน และประโยชน์ของสารคาเทชิน 4) การทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย และ 5) ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ โดยในรายละเอียดของการรวบรวมองค์ความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังอธิบายแยกตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 คุณภาพข้าว

คุณภาพข้าวถูกกำหนดขึ้นเป็นเกณฑ์หรือมาตรฐานเพื่อทำให้เกิดความเข้าใจตรงกันในการซื้อขายต่อกัน โดยพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพการสี โดยแสดงรายละเอียดของแต่ละคุณภาพมีการอธิบายดังต่อไปนี้

2.1.1 คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว

คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว หมายถึง คุณสมบัติต่างๆของเมล็ดที่สามารถมองเห็นหรือ ชั่ง ตวง วัดได้ ได้แก่ น้ำหนักเมล็ด สีเปลือกของข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง ขนาดรูปร่างข้าวท้องไข่ ความ เลื่อมมันของเมล็ด ความข้าวของขาวสาร และความใสของเมล็ด โดยแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. *น้ำหนักเมล็ด* กำหนดได้ 2 แบบ คือ นำหนักต่อปริมาตร หมายถึงการชั่งน้ำหนักข้าวด้วยปริมาตรคงที่ เช่น กรัม/ลิตร หรือ กิโลกรัม/ถัง และแบบที่สองเป็นน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด หมายถึง การชั่งน้ำหนักข้าวด้วยจำนวนเมล็ดที่คงที่ เช่น กรัม/100 เมล็ด หรือ กรัม/1000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดถือเป็นลักษณะหนึ่งในการจำแนกพันธุ์ข้าว เพราะควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรม เป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุด อาจแปรปรวนได้บ้างจากสภาพแวดล้อม เช่น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย หรือสภาพภูมิอากาศ จากการตรวจสอบพันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทย ประมาณ 344 พันธุ์พบว่ามีน้ำหนักเมล็ดอยู่ในช่วง 16.20-41.68 กรัม/1000 เมล็ด [12] สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ใช้ในการทดลอง มีน้ำหนักข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด เฉลี่ย 27.7 กรัม หรือ 10.64 กิโลกรัมต่อถัง [13]

2. *สีเปลือกของข้าวเปลือก* เป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าว มีหลายสีตั้งแต่สีขาว ฟาง น้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม น้ำตาลทอง ร่องน้ำตาล กระน้ำตาล น้ำตาลแดง ม่วง หรือดำ เป็นต้น สำหรับพันธุ์ข้าวของประเทศไทยมีสีเปลือกส่วนใหญ่เป็นสีขาว หรือสีฟาง และสีน้ำตาล ส่วนสีน้ำตาลแดง สีเขียวแกมเทา และดำมีเป็นส่วนน้อย พันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีความมีเปลือกสีอ่อน เพราะเปลือกสีเข้ม เมื่อนำมาสีจะได้เปอร์เซ็นต์แกลบสูง [14]

3. *สีข้าวกล้อง* เป็นลักษณะประจำพันธุ์เช่นเดียวกับสีเปลือกของข้าวเปลือก ที่ควบคุมโดยจีน (gene) หลายคู่ สร้างสารสีประเภทแอนโทไซยานิน (anthocyanin) อยู่ในเยื่อหุ้มผล (pericarp) มีสีต่างๆกัน เช่น ขาว แดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงถึงม่วงเกือบดำ และบางพันธุ์เป็นพันธุ์เฉพาะที่ผู้บริโภคนิยมเป็นข้าวพิเศษ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวกล้องสีปกติ ซึ่งประเทศไทยพบพันธุ์ข้าวที่ให้สีข้าวกล้องจัดกลุ่มได้ 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ (ดำม่วง) คุณภาพข้าวกล้องที่เกี่ยวข้องกับสีจึงขึ้นอยู่กับกลุ่มผู้บริโภค ซึ่งถ้าผู้บริโภคชอบบริโภคข้าวขัดขาว ทำให้ข้าวกล้องต้องมีสีขาวด้วยเพื่อให้ไม่ต้องใช้แรงในการขัดมาก และข้าวไม่หักมาก แต่ถ้าผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวกล้อง โดยเฉพาะข้าวกล้องสีเข้มเพราะให้คุณค่าทางอาหารมากกว่าข้าวขัดขาว ก็ไม่ต้องขัดสีของข้าวกล้องออกไป วิธีการตรวจสอบสีของข้าวกล้องยังใช้การดูด้วยตาเปล่าหรือดูผ่านกล้องขยายให้เห็นชัดเจนขึ้น นอกจากนี้สีเปลือกของข้าวเปลือกและสีข้าวกล้องที่เข้มยังมีผลต่อการนำข้าวเปลือกไปทำเป็นข้าวนึ่ง เพราะจะทำให้ได้ข้าวนึ่งที่มีสีคล้ำ คุณภาพต่ำ ในการจัดเกณฑ์มาตรฐานข้าวยังถือว่าข้าวเมล็ดแดงที่ปนกับข้าวสาร ทำให้ข้าวสารอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานต่ำกว่าข้าวสารที่ไม่มีข้าวเมล็ดแดงปนเลย [14]

4. *ขนาดและรูปร่าง* เป็นลักษณะประจำพันธุ์ เพื่อจำแนกพันธุ์ข้าวและใช้เป็นเกรฑ์มาตรฐานในการซื้อขายข้าวของประเทศไทย โดยวัดขนาดเป็นความยาว วัดรูปร่างจากอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง และการวัดความหนาของเมล็ดได้ดังนี้[12]

ความยาวของเมล็ด หมายถึง ระยะทางจากปลายยอดสุดของเมล็ดถึงโคน

ความกว้างของเมล็ด หมายถึง ระยะทางส่วนที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ถึงเปลือกเล็ก

ความหนาของเมล็ด หมายถึง ระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเปลือก รูปร่างของเมล็ดข้าวสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ เรียว ปานกลาง ป้อมดังแสดงในตาราง 2.1ซึ่งผลที่ได้จะบอกถึงคุณภาพประสิทธิภาพของการขัดสีข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสาร แต่ละชนิด

ตารางที่ 2.1 การประเมินรูปร่างของเมล็ดข้าว

รูปร่าง	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร
เรียว	3.4 ≥	3.1 ≥	3.0 ≥
ปานกลาง	2.3 - 3.3	2.1 - 3.0	2.0 - 2.9
ป้อม	2.2 ≤	2.0 ≤	1.9 ≤

ที่มา : USDA (1992) [12]

ขนาดและเมล็ดข้าวเป็นลักษณะที่มีความสำคัญที่นักปรับปรุงพันธุ์คำนึงถึงในด้านคุณภาพ เป็นลักษณะหนึ่งที่ใช้จำแนกพันธุ์ข้าวเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอินดิกา มีรูปร่างเมล็ดเรียว นิยมปลูกในเขตร้อนทวีปเอเชีย เช่น ประเทศไทย พม่า และปากีสถาน เป็นต้น กลุ่มจาวานิกา มีรูปร่างเมล็ดปานกลาง เป็นข้าวที่มี แหล่งกำเนิดจากประเทศมาเลเซีย และที่มีหมู่เกาะ เช่น อินโดนีเซีย เป็นต้น จะมีความกว้างและหนากว่า กลุ่มอินดิกา และจอปอนิกา ซึ่งมีรูปร่างเมล็ดป้อม ปลูกกันมากในประเทศเขตอบอุ่น เช่น ไต้หวัน เกาหลี และญี่ปุ่น เป็นต้น โดยมาตรฐานข้าวไทยไม่มีการกำหนดรูปร่างเมล็ดเนื่องจากข้าวส่วนใหญ่มีเมล็ดยาวเรียว และยึดถือข้าวที่มีความยาวเกิน 7.0 มิลลิเมตร เป็นข้าวคุณภาพดี ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การประเมินขนาดและความยาวของเมล็ดข้าว

ขนาด	ความยาว (มม.)
ยาวมาก (Very long-VL)	>7.5
ยาว (Long-L)	7.06-7.5
ค่อนข้างยาว (Medium long-ML)	6.61-7.059
ปานกลาง (Medium-M)	6.101-6.609
ค่อนข้างสั้น (Medium short-MS)	5.51-6.10
สั้น (Short-s)	<5.5

ที่มา : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2539) [12]

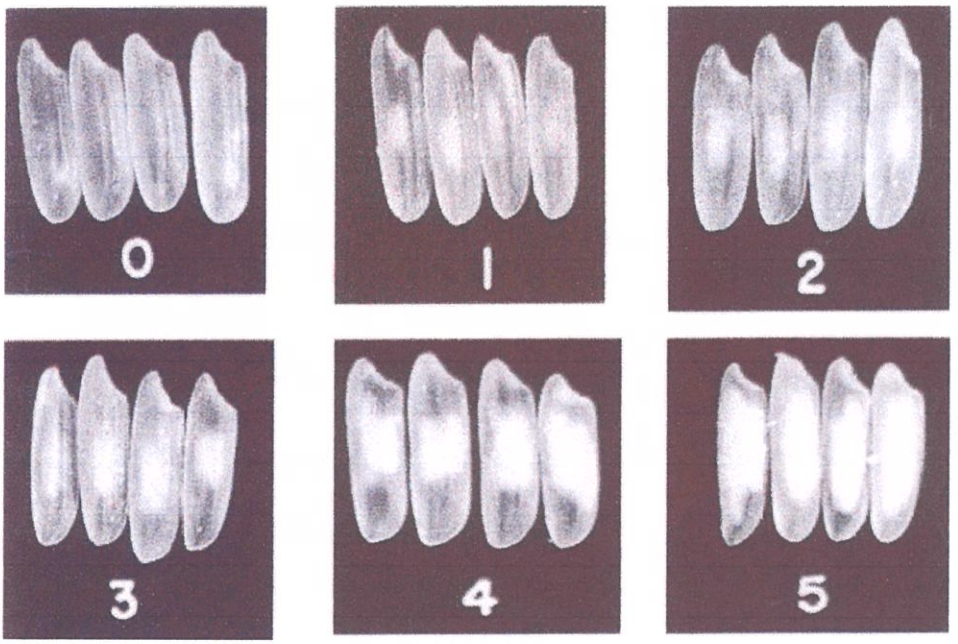
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวเปลือกดังตารางที่ 2.3 ซึ่งผลที่ได้จะบอกถึงคุณภาพประสิทธิภาพของการขัดสีข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสาร แต่ละชนิด

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร

ชนิดเมล็ด	ลักษณะเมล็ด	ความยาว มม.	ความกว้าง มม.	ยาว/กว้าง อัตราส่วน	ความหนา มม.	น้ำหนักเมล็ด มก./เมล็ด
ยาว	ข้าวสาร	6.5-7.5	2.9-2.2	3.01-3.7:1	1.5-1.8	15-21
ปานกลาง		5.4-6.0	2.3-2.7	2.11-1.6:1	1.7-1.9	17-21
สั้น		5.0-5.2	2.5-2.9	1.71-2.0:1	1.8-2.0	18-22
ยาว	ข้าวกล้อง	6.8-8.0	2.0-2.3	3.01-3.8:1	1.6-1.9	16-20
ปานกลาง		5.8-6.3	2.4-2.8	2.21-2.7:1	1.8-2.1	18-22
สั้น		5.2-5.4	2.6-3.0	1.81-2.0:1	1.9-2.1	20-23
ยาว	ข้าวเปลือก	8.7-9.9	2.3-2.5	3.41-4.0:1	1.8-2.0	21-24
ปานกลาง		7.8-8.4	2.9-3.2	2.51-2.8:1	1.9-2.2	23-25
สั้น		7.2-7.3	2.9-3.4	2.11-2.4:1	2.0-2.3	24-29

ที่มา : Webb (1991) [12]

5. *ข้าวท้องไข่* หมายถึง จุดขาวขุ่นคล้ายชอล์กที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ดข้าวสาร มี 3 ลักษณะ คือ จุดขาวตรงกลางของเนื้อเมล็ดข้าวสาร (white center) , จุดขาวขุ่นด้านข้างหรือด้านท้องของเมล็ด ซึ่งเป็นด้านเดียวกับคัพภะ (white belly) และจุดขาวขุ่นด้านหลังของเมล็ดข้าวสาร ซึ่งเป็นด้านตรงข้ามกับคัพภะ (white back) ข้าวท้องไข่จัดเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งบอกคุณภาพและราคาข้าวเปลือก เนื่องจากเมล็ดข้าวที่เป็นท้องไข่มาก เมื่อนำไปสีทำให้เมล็ดหัก จึงมีผลต่อคุณภาพการสีโดนตรง ดังนั้น สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) จึงจัดระดับความเป็นท้องไข่ของเมล็ดเป็น 0 ถึง 5 โดยให้ระดับ 0 = ไม่มีจุดขาวขุ่นในเมล็ดขาวสาร (<10% ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร), 2-3 = มีจุดขาวขุ่นปานกลาง (10-20% ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร) และ 4-5 = มีจุดขาวขุ่นมาก (>20% ของเนื้อเมล็ดข้าวสาร) [15] แสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ระดับความเป็นท้องไข่ของข้าว [16]

6. *ความเลื่อมมันของเมล็ด* เป็นปัจจัยที่ใช้ประเมินคุณภาพและราคาข้าว เนื่องจากข้าวกล้องที่มีความเลื่อมมันดี เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวไม่หัก ได้ข้าวเต็มเมล็ดมาก ข้าวหักน้อย ลักษณะความเลื่อมมันของเมล็ดเป็นผลจากการปฏิบัติดูแลรักษาข้าวขณะปลูกเป็นอย่างดี [12]

7. *ความขาวของข้าวสาร* เมื่อนำข้าวกล้องไปขัดขาวจนได้ข้าวสารซึ่งมีสีขาวเสมอกัน แต่อาจจะมีความขาวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับการสี ถ้าขัดเบาๆจะมีสีคล้ำกว่าเมื่อขัดหนักๆ เพราะยังมีส่วนรำติดอยู่ที่ผิวของเมล็ดข้าว สำหรับข้าวเปลือกที่เก็บไว้นาน ถ้านำไปสีจะได้ข้าวสารสีคล้ำกว่าข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่ๆ ดังนั้นความขาวของข้าวสารจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของข้าว วัดความขาวนี้ได้ด้วยเครื่องวัดความขาว เช่น เครื่องวัดความขาวแบบเค็ตต์ (Kett Whiteness Meter) เป็นต้น [12]

8. *ความใสของเมล็ด* เป็นลักษณะความโปร่งแสง โดยแสงส่องผ่านได้ทั้งเมล็ดข้าว ต่างจากข้าวท้องไข่ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะจุด ในข้าวเจ้าด้วยกันหรือแม้แต่พันธุ์เดียวกันจะมีความใส หรือขุ่นต่างกันได้ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมที่ปลูก ในขณะที่ข้าวเหนียวทั่วไปจะมีความทึบแสง ซึ่งตรวจสอบได้จากการดูด้วยตาเช่นเดียวกับการวัดข้าวท้องไข่ หรือใช้เครื่องมือวัด [12]

2.1.2 คุณภาพทางเคมีของเมล็ดข้าว

คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี คือ สัดส่วน และ องค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสุก โดยมีผลทำให้ข้าวสุกนั้น นุ่ม เหนียว หรือ ร่วนขึ้นหม้อ ซึ่งคุณภาพข้าวสุกนี้จะขึ้นกับ

คุณภาพเมล็ดทางเคมี คือ สัดส่วนอะไมโลสและอะไมโลแพกติน ความคงตัวของแป้งสุก อุณหภูมิแป้งสุก การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก โปรตีน ความชื้น และการเก็บรักษาโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. *ปริมาณอะไมโลส* โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยถืออะไมโลสเป็นหลัก ในแป้งข้าวเจ้าจะมีอะไมโลสปนอยู่ประมาณ 10-34% ปริมาณอะไมโลสเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้น และทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอะไมโลสที่สุกแล้ว มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลสดังแสดงในตารางที่ 2.4 ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มจึงมีส่วนกระทบกระเทือนคุณภาพของข้าวสุก เช่น ข้าวที่มีอะไมโลสต่ำต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะทำให้ได้ข้าวแฉะ แต่สำหรับข้าวที่มีอะไมโลสสูงหากใส่น้ำขนาดเดียวกับข้าวอะไมโลสต่ำ จะได้ข้าวที่แข็งกระด้างมาก เนื่องจากการหุงต้มข้าวที่มีอะไมโลสสูงต้องการน้ำมากและเมื่อสุกแล้วจะได้ข้าวที่ร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากหรือข้าวขึ้นหม้อดี ในขณะที่มีอะไมโลสต่ำ เป็นข้าวที่เหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ [17]

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

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

ที่มา : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2539)

2. *ความคงตัวของแป้งสุก* แม้ว่าปริมาณอะไมโลสจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน ที่แตกต่างกัน แต่ในข้าวบางสายพันธุ์แม้จะมีอะไมโลสใกล้เคียงกัน เมื่อหุงสุกก็ยังมีคุณภาพที่แตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสุกเมื่อเย็นแล้วมีความแข็งหรือความคงตัวแตกต่างกัน ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อนจะนุ่มกว่าข้าวพันธุ์ที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง [17]

3. *อุณหภูมิแป้งสุก* หมายถึงอุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชเริ่มพองตัว (อุณหภูมิเจลาทิไนซ์) ในน้ำร้อนและเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหุงต้ม ถ้าข้าวมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะหุงสุกช้ากว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ แม้ว่า

ระยะเวลาการหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุกก็ตามแต่ความกว้างและความหนาของเมล็ดข้าวก็มีผลต่อเวลาการหุงต้มด้วย ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากันแต่มีเมล็ดหนามากกว่าจะใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่า [18]

4. *การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก* ในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณสมบัติพิเศษของข้าว ซึ่งจะช่วยเสริมให้เมล็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น และหากข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งขึ้นไม่อัดกันแน่น [19]

5. *ปริมาณโปรตีน* ในเมล็ดข้าวมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 9.8 ซึ่งถือว่าน้อยแต่ก็มีผลกระทบต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานเช่นกัน ปริมาณโปรตีนจะมีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงต้มข้าวสุกนานขึ้น เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าไปยังเมล็ดและโปรตีนยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซึมน้ำของเมล็ด ความนุ่ม และความเหนียว กล่าวคือทำให้เมล็ดดูดซึมน้ำได้น้อยลง ทำให้ข้าวสุกมีความนุ่มและความเหนียวน้อยลง [19] นอกจากนี้ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์เชชั่นสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำโปรตีนส่วนใหญ่ในเมล็ดข้าวเป็นกลูเตลิน โดยมีมากกว่าร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมดในข้าว ข้าวที่มีโปรตีนสูงจะทำให้ข้าวแกร่งขึ้น ทำให้ขัดสีออกได้ยากจึงอาจมีระดับการสีต่ำกว่า (มีรำอยู่มาก)และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวลดลงและสีคล้ำ หากทำการสีข้าวในระดับที่มากขึ้นข้าวโปรตีนสูงอาจมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ [20]

6. *ความชื้น* ความชื้นในเมล็ดข้าวจะส่งผลต่อการที่ข้าวหุงขึ้นหม้อและความร่วนของข้าวเช่นกัน ข้าวที่มีความชื้นต่ำส่วนใหญ่จะเป็นข้าวเก่าจะหุงขึ้นหม้อ และมีความร่วนมากกว่าข้าวที่มีความชื้นสูงหรือข้าวใหม่ ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะนิยมบริโภคข้าวเจ้าที่เป็นข้าวเก่า เนื่องจากหุงขึ้นหม้อดีกว่า ทำให้ข้าวเก่ามีราคาสูงกว่าข้าวใหม่ นอกจากนี้ความชื้นในข้าวยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาข้าว ถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงทำให้เชื้อรา และจุลินทรีย์ต่างๆเจริญเติบโตได้ดี ทำให้ข้าวจะเสื่อมคุณภาพในระยะเวลาอันสั้น [18] การเก็บรักษาหลังจากการเก็บเกี่ยว 3-4 เดือนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้าวเนื่องจากปริมาณความชื้นลดลงทำให้มีผลต่อคุณสมบัติข้าวสุก คือทำให้ข้าวสุกแข็งและร่วนมากขึ้น ข้าวสุกขยายปริมาตรได้มากขึ้นหรือหุงขึ้นหม้อ เมล็ดข้าวมีความสามารถในการดูดซึมน้ำระหว่างการหุงต้มได้มากขึ้น น้ำข้าวจะใสมากขึ้น แต่ใช้เวลาในหุงต้มนานขึ้นเพียงเล็กน้อย [21]

2.1.3 คุณภาพการสี

คุณภาพการสีกำหนดจากการนำข้าวเปลือกมาทดลองสีเพื่อประเมินปริมาณแกลบ, รำ, ข้าวสาร เต็มเมล็ด, ต้นข้าว และข้าวหัก สิ่งที่สำคัญที่ใช้ประเมินราคาข้าวเปลือก คือ ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าว ซึ่งถ้ามีปริมาณมาก ราคาข้าวเปลือกจะสูง โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการสี 3 ปัจจัยหลัก คือ พันธุ์ข้าวหรือลักษณะประจำพันธุ์ การปฏิบัติการทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว และกระบวนการสี โดยแสดงรายละเอียดดังนี้

1. *พันธุ์ข้าว* มีลักษณะประจำพันธุ์ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพในด้านขนาด รูปร่าง สีเปลือก สีข้าวกล้อง ข้าวท้องไข่ หรือความเลื่อมมันของเมล็ดข้าวแต่ละพันธุ์ จะมีผลต่อคุณภาพการสี เช่น พันธุ์ข้าวที่มีความยาวมาก หรืออ้วน หรือมีท้องไข่มาก เมื่อนำไปสีจะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้นต่ำ ส่วนพันธุ์ข้าวที่ให้เมล็ดข้าวค่อนข้างยาว เรียว และเมล็ดใส จะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง สำหรับพันธุ์ข้าวที่ให้ข้าวเปลือกที่มีเปลือกบาง สีอ่อน หรือปริมาณเปลือกน้อย เมื่อนำไปสีจะให้ปริมาณข้าวสารสูง และถ้าพันธุ์ข้าวให้ลักษณะข้าวกล้องสีเข้ม ต้องใช้แรงในการขัดขาวสูง ขัดขาวนานเพื่อให้ได้ข้าวสารขาว จึงอาจเป็นผลทำให้เกิดข้าวหักมากได้ [14]

2. *การปฏิบัติก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว* ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การปฏิบัติก่อนการเก็บเกี่ยว และการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว [12,14]

2.1 การปฏิบัติก่อนการเก็บเกี่ยว ต้องคำนึงถึง 2 เรื่องด้วยกัน คือ

1. ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ถ้าเก็บเกี่ยวข้าวช้าหรือเร็วเกินไปจะมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของข้าวที่สีได้ต่ำกว่าการเก็บเกี่ยวในเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากการเก็บเกี่ยวข้าวช้า เมล็ดจะแก่ และตากแดดตากน้ำค้างหลายครั้งจนเมล็ดร้าวข้างใน เมื่อนำไปสี ข้าวจะหักมากได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อย แต่ถ้าเก็บเกี่ยวข้าวเร็วเกินไป เมล็ดข้าวยังสร้างเนื้อเมล็ดไม่สมบูรณ์ เมล็ดยังเขียว น้ำหนักเมล็ดยังเบา เมื่อตากแห้งแล้วนำไปสี ข้าวจะหัก และปนไปกับส่วนรำแกลบ และข้าวหัก จึงได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อย

2. วิธีการเก็บเกี่ยว ทำได้ 2 วิธี คือ การเก็บเกี่ยวด้วยแรงคน (โดยใช้เคียว หรือแกระ) และการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวนวด สิ่งที่ต้องระวังในการเก็บเกี่ยวด้วยแรงคน คือ การเกี่ยวข้าวไม่หมด เกิดการสูญเสียข้าวในนา และเสียเวลามากกว่าการใช้เครื่องเกี่ยวนวด แต่การใช้เครื่องก็ต้องระวังในการปรับตั้งเครื่อง และเกี่ยวนวดข้าวในระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้ข้าวร่วงหล่นหรือเกี่ยวไม่หมด และสิ่งที่ต้องระวังในการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องที่สำคัญอีกข้อคือ ความชื้นของข้าว

และน้ำในนาข้าว เพราะมีผลต่อประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยว โดยควรเก็บเกี่ยวข้าวที่มีความชื้นประมาณ 22-26% และนาข้าวแห้งจึงจะเหมาะสม [12,14] ได้มีการศึกษาการทดลองความสูญเสียของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บเกี่ยวระยะเวลาต่างๆกัน ที่เขตทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดร้อยเอ็ด โดยใช้รถเกี่ยวนวดที่ผลิตในประเทศไทยรุ่นเพาเวอร์คู่ พบว่า ข้าวที่เก็บเกี่ยวระยะเหมาะสม คือ 28 วัน หลังข้าวออกดอกจะเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด **การเก็บเกี่**ยวเร็วหรือช้ากว่าระยะที่เหมาะสมจะมีความสูญเสียในช่วงการเก็บเกี่ยวและนวดสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม [22] แสดงในตารางที่ 2.5 ความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิโดยใช้แรงงานคน พบว่า การเก็บเกี่ยวส่งผลให้เกิดสูญเสียมากที่สุดถึงร้อยละ 60.4 และการสูญเสียรองลงมาคือ การขนย้าย, การตากแผ่ และการนวดด้วยเครื่องนวด ตามลำดับ [23] แสดงในตารางที่ 2.6 และการเปรียบเทียบการเก็บเกี่ยวข้าวโดยใช้แรงงานคนและเครื่องเกี่ยวนวด พบว่า การเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องนวดให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่น้อยกว่าและเปอร์เซ็นต์การสีข้าวที่สูงกว่าการเก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคน แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการเก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคน [24] แสดงในตารางที่ 2.7

22 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว แบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. การตากข้าวก่อนนวด เป็นการลดความชื้นขั้นต้น เพื่อให้การนวดมีประสิทธิภาพจะได้ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพการสีสูง และเก็บรักษาข้าวไว้ได้นาน

2. การนวดข้าว เป็นการทำให้เมล็ดข้าวหลุดออกจากรวง ทำได้หลายวิธีโดยใช้แรงคน นวดด้วยการฟาด การย่ำด้วยเท้าคน หรือควาย หรือรถไถ ในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องนวดและเครื่องเกี่ยวนวด ซึ่งต้องปรับอัตราความเร็วของเครื่อง และความแรงของลมดูดให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการสูญเสียเมล็ดข้าวดีน้อย ได้ข้าวเปลือกที่สะอาด มีสิ่งเจือปนน้อย

3. การตากข้าวเปลือกหลังนวด เป็นการลดความชื้นข้าวเปลือกที่นวดออกจากรวงและทำความสะอาดแล้ว เกษตรกรในบางแห่งนิยมเกี่ยวข้าวแล้วนำมานวดทันที ทำความสะอาดข้าวเปลือกด้วยการสีฝัด หรือใช้เครื่องนวดที่มีเครื่องทำความสะอาดอยู่ในตัว แล้วจึงนำไปตากให้ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงเหลือไม่เกิน 14% เพราข้าวที่มีความชื้นสูงอาจทำให้เมล็ดเสียหายในขณะเก็บรักษาเนื่องจากเชื้อรา

4. การเก็บรักษา ถ้าต้องการเก็บรักษาข้าวเปลือกในระยะ 2-3 เดือน ควรลดความชื้นข้าวเปลือกให้เหลือไม่เกิน 14% ถ้าต้องการเก็บนานหลายเดือนควรลดความชื้นข้าวเปลือกถึง 12-12.5% ทำความสะอาดเมล็ดข้าวเปลือกไม่ให้มีเศษฟาง ระแง้ อิฐ หิน ดิน ทราย

หรือเมล็ดข้าวหักเพื่อไม่ให้เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค นำข้าวเปลือกที่สะอาดเก็บในยุ้งฉางที่สะอาด มีอากาศถ่ายเทสะดวก การเก็บรักษาข้าวเปลือกให้อยู่ในสภาพที่ดีจะมีคุณภาพการสีดีด้วย [12,14]

3. กระบวนการสีข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกเปลือก รำ และคัพภะ ออกจากเนื้อเมล็ดข้าวได้เป็นข้าวสารที่มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุด หรือมีข้าวหักน้อยที่สุด ผ่านกระบวนการ 4 ขั้นตอนพื้นฐาน คือ การทำความสะอาด การกะเทาะ การขัดขาว และการคัดแยก โดยชนิดของเครื่องสีข้าวและการปรับตั้งเครื่องสี นับเป็นปัจจัยสำคัญไม่น้อยกว่า 2 ปัจจัยที่กล่าวแล้ว เนื่องจากหากใช้เครื่องสีข้าวไม่เหมาะสมกับชนิด และลักษณะของเมล็ดข้าว หรือการปรับเครื่องไม่เหมาะในการกะเทาะ และการขัดขาว ก็จะทำให้เกิดข้าวหักมาก เป็นผลต่อคุณภาพการสีมาก โดยเฉพาะในด้านปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ได้ ดังนั้นคุณภาพการสีธรรมดา หมายถึง ประสิทธิภาพการสี และระดับการสีให้ได้ข้าวสารตามต้องการ

1. ประสิทธิภาพการสี หมายถึง ปริมาณผลผลิตจากข้าวเปลือกที่ได้เป็นข้าวสารเต็มเมล็ดและต้นข้าว ถ้าได้ข้าวสารเต็มเมล็ด และต้นข้าวมาก แสดงว่ามีประสิทธิภาพการสีดี ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว การปฏิบัติการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวและกระบวนการสี [12]

ในกระบวนการสีข้าวจะได้ผลผลิตจากข้าวเปลือกดังนี้

ข้าวเปลือกสะอาด	100% จะได้
แกลบ	20-30%
รำ	8-11%
ข้าวสารรวม	66-72%

ประเมินประสิทธิภาพการสีดังกล่าว จากเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบต่างๆของเมล็ดที่ได้จากการสี ซึ่งเป็นกระบวนการขจัดเปลือกรำและคัพภะออกจากข้าวเปลือกโดยให้มีข้าวสารหักน้อยที่สุด ดังนี้ [24]

$$\% \text{ แกลบ} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก} - \text{น้ำหนักข้าวกล้อง}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100 \quad \text{.....(2.1)}$$

$$\% \text{ รำ} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวกล้อง} - \text{น้ำหนักข้าวสาร}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100 \quad \text{.....(2.2)}$$

$$\% \text{ ข้าวสาร} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสารรวม}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100 \quad \text{.....(2.3)}$$

$$\% \text{ ข้าวหัก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสาร} - \text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100 \quad \text{.....(2.4)}$$

2. ระดับการสี หรือ ชั้นของการสี (degree of milling) หมายถึง ความหนักเบาหรือมากน้อยในการขัดข้าวกล้องให้เป็นข้าวสาร สิ่งที่ได้จากการขัดคือ รำ คัพภะ และส่วนของเนื้อเมล็ดโดยแบ่งระดับการสีเป็น 4 ระดับ คือ [12]

1. สีดีพิเศษ หมายถึง การสี ขัดรำออกทั้งหมด จนเมล็ดข้าวสวยงามเป็นพิเศษ
2. สีดี หมายถึง การสี ขัดรำออกทั้งหมด จนเมล็ดข้าวสวยงาม
3. สีดีปานกลาง การสี ขัดรำออกเป็นส่วนมาก จนเมล็ดข้าวสวยงามพอควร
4. สีธรรมดา หมายถึง การสี ขัดรำออกแต่เพียงบางส่วน

ระดับการสียังสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์รำที่ขัดออก หรือข้าวสารหลังการขัดสีซึ่งตรวจสอบได้หลายวิธี ได้แก่

ก. ตามมาตรฐานของ ISO ประเทศอินเดีย และมาเลเซีย จากสูตร

$$\%\text{น้ำหนักรำที่หายไป} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100$$

โดย M_1 = น้ำหนักข้าวกล้อง, M_2 = น้ำหนักข้าวสาร

และนำค่าที่คำนวณได้มาเป็นเกณฑ์ของระดับการสี ดังนี้ คือ

1. สีดีพิเศษ หมายถึง 8% ของน้ำหนักรำที่หายไปหรือมากกว่า
2. สีดี หมายถึง 7-7.9% ของน้ำหนักรำที่หายไป
3. สีดีปานกลาง หมายถึง 6-6.9% ของน้ำหนักรำที่หายไป
4. สีธรรมดา หมายถึง 5-5.9% ของน้ำหนักรำที่หายไป

ข. ตามมาตรฐานของประเทศไต้หวัน คิดจากเปอร์เซ็นต์ข้าวสารหลังการขัดสี

$$\text{ระดับการขัดสี} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสาร}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100$$

ระดับที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ คือ 88%

ค. ตามปริมาณไทอะมีนหรือวิตามิน บี ที่วิเคราะห์ได้จากรำที่ขัดออกจากข้าวกล้อง ถ้ามีปริมาณมาก แสดงว่าขัดรำออกได้มากอยู่ในระดับสีดีพิเศษ เป็นต้น

ง. ตามสีย้อมเมล็ดข้าว โดยการใช้สารเคมีบางชนิด เช่น ซูแดน 4 (Sudan IV) ทำปฏิกิริยากับไขมันที่ติดอยู่กับเมล็ดข้าวสาร จะกลายเป็นสีแดง ดังนั้นถ้าเมล็ดข้าวสารมีสีแดงติดอยู่มาก แสดงว่ายังมีไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบของรำอยู่มาก ระดับการสีจึงยังไม่ดีมีรำติดอยู่กับเมล็ดมากนั้นเอง

3 มาตรฐานข้าว ตลาดข้าวคุณภาพดีเป็นตลาดที่ข้าวมีราคาสูง ข้าวแต่ละประเภทยังแบ่งเป็นระดับคุณภาพต่างๆ การที่จะพิจารณาคุณภาพข้าวในด้านการค้าประเทศส่งออกแต่ละประเทศจะกำหนดมาตรฐานสำหรับการซื้อขายข้าว โดยแบ่งชนิดคุณภาพหรือเกรดต่างๆ ไว้ สำหรับประเทศไทย การแบ่งชนิดคุณภาพขาวเป็นไปตามข้อกำหนดในประกาศกระทรวงพาณิชย์ ซึ่งมีการปรับปรุงประกาศกระทรวงพาณิชย์เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าวขึ้นใหม่ในปีพ.ศ. 2540 (7) โดยได้แสดงในภาคผนวก ข ตามมาตรฐานดังกล่าวพิจารณาชนิดคุณภาพข้าวยึดถือคุณภาพและองค์ประกอบทางกายภาพที่สามารถตรวจสอบด้วยตาเป็นหลัก ดังต่อไปนี้ [26]

1. พื้นข้าว สุ่มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหัก 100 เมล็ด และวัดความยาวโดยใช้ *micrometer* หรือ *vernier* ที่สามารถวัดได้ละเอียด 0.01 มม. เพื่อแบ่งเป็นชั้นตามความยาวของเมล็ด

2. ส่วนผสม นำส่วนของข้าว 100 กรัม มาคัดแยกขาวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหักขนาดต่างๆ ตรวจสอบความยาวของข้าวหักและต้นข้าวตามที่กำหนดในข้าวแต่ละเกรด สำหรับข้าวหักซีกแยกโดยการร่อนผ่านตะแกรงโลหะรูกลมเบอร์7 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.75 มม. (0.069 นิ้ว) และหนา 0.79 มม.

3. ข้าวและสิ่งที่อาจมีปน จะทำการตรวจสอบด้วยตาหรือตรวจพินิจจากข้าว 100กรัม

4. ระดับการสี การตรวจสอบใช้วิธีตรวจพินิจด้วยสายตาจากผู้ชำนาญ

5. ความชื้น ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความชื้น

2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าว

เมล็ดข้าวเป็นแหล่งอาหารที่ให้ปริมาณสารอาหารค่อนข้างสูง ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวจะผันแปรไปตามลักษณะพันธุกรรมของข้าวพันธุ์ต่างๆ และสภาพแวดล้อม เช่น ลักษณะพื้นที่ปลูก ฤดูกาลปริมาณการใส่ปุ๋ย คุณภาพการสี และสภาพการเก็บรักษา ในหัวข้อนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวสาร และการเพิ่มคุณค่าทางสารอาหารให้แก่เมล็ดข้าว โดยแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1. คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวสาร

ข้าวกล้อง คือ ข้าวที่สีเอาเปลือก (แกลบ) ออกไป โดยยังมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวเหลืออยู่ ซึ่งจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวนี้ เป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมาก สารอาหารในข้าวกล้องที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็น

ประโยชน์ต่อร่างกายโดยข้าวกล้อง มีโปรตีนประมาณ 6-12 เปอร์เซ็นต์ การขัดสีข้าวกล้องจนมีสีขาว จะทำให้โปรตีนสูญหายไปประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์นอกจากนี้ในข้าวกล้องยังประกอบไปด้วยวิตามิน เช่นวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 วิตามินอี และเกลือแร่ ได้แก่ แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส ทองแดง ซึ่งจะช่วยให้ส่วนต่างๆ ของร่างกายทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีเส้นใยอาหารมากซึ่งจะทำให้ท้องไม่ผูก และช่วยป้องกันมะเร็งในลำไส้ใหญ่ มีผลทำให้สุขภาพดีขึ้น [27] โดยสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบของแร่ธาตุและวิตามินต่างๆ ในตัวอย่างข้าวกล้องข้าวแดงหอม และข้าวกล้องข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก [28] แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องข้าวแดงหอมและข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ต่อน้ำหนักข้าว 100 กรัม)

	ข้าวกล้องข้าวแดงหอม	ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105
เส้นใยอาหาร (กรัม)	4.63	3.73
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.91	0.94
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.02	1.48
วิตามินอี (ไมโครกรัม)	83.10	159.48
วิตามินบี 1 (ไมโครกรัม)	0.29	0.37
วิตามินบี 2 (ไมโครกรัม)	0.01	0.01
วิตามินบี 6 (ไมโครกรัม)	0.26	0.22

ที่มา : สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (2541) [28]

สารอาหารในส่วนประกอบของเมล็ดข้าวยังได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์นอกจากการนำมาบริโภค เช่น ในส่วนของเมล็ดข้าวนำมาทำเครื่องสำอางลบริ้วรอย พบว่า สารสกัดจากข้าวมีสารสำคัญหลายชนิดที่มีคุณสมบัติต้านปฏิกิริยาต่างๆ ที่ก่อให้เกิดริ้วรอยบนใบหน้าหรือผิวหนังอื่นได้เป็นอย่างดี ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต้านริ้วรอยที่ทำขึ้นจากข้าวหอมมะลิของไทย โดยมีการทดสอบเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อให้มั่นใจได้ว่า ใช้ได้ผลจริง ซึ่งใช้อาสาสมัครหลายคนและผ่านกระบวนการวิจัยอย่างเป็นระบบโดยใช้เครื่องมือวัดการเปลี่ยนแปลงของริ้วรอยบนผิวหนัง ซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์การลดริ้วรอยได้ ผลการทดลอง คือ สารสกัดจากข้าวสามารถลดริ้วรอยบนผิวหนังได้ถึง 40 กว่าเปอร์เซ็นต์ภายใน 2 สัปดาห์ และเมื่อผ่านไป 6 สัปดาห์ ปรากฏว่าริ้วรอยลดลงได้ถึง 67% ซึ่งให้ผลได้ใกล้เคียง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กับผลิตภัณฑ์นำเข้าที่มีขายในท้องตลาดปัจจุบัน [29] นำเมล็ดข้าวสีต่างๆ มาวิจัยการบำรุงผิวที่มีประสิทธิภาพซึ่งจะทำให้ผิวหนังมีอายุสามารถฟื้นฟูสภาพได้ดีขึ้น โดยเฉพาะสารที่สกัดจากเมล็ดข้าว พบว่า เมล็ดข้าวโดยเฉพาะในส่วนของ จมูกข้าว รำข้าว มีส่วนประกอบที่สำคัญคือวิตามินอีและมีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยเมล็ดข้าวสีต่างๆ มีศักยภาพต้านอนุมูลอิสระสูง และปริมาณพอลิฟินนอลมากกว่าข้าวขาวถึง 4 เท่า และน้ำมันรำข้าวซึ่งมีวิตามินอีและแกมมา-ออริซานอล ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสำหรับสุขภาพและผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสำหรับความงาม ผิวหนังและเส้นผม นอกจากนี้ยังมีสารที่สกัดจากจมูกข้าวซึ่งมีกรดเฟอรูลิกและกาบาที่มักใช้ในผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพรวมอยู่ด้วย ที่สำคัญ เครื่องสำอางที่ได้จากผลิตผลของข้าวยังมีความปลอดภัยสูงอีกด้วย [30] ในส่วนของรำ มีการนำรำละเอียดที่ปรับปรุงคุณภาพดีแล้วสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารเด็กอ่อน รำข้าวที่ผ่านการอบให้คงตัวแบบธรรมดาและแบบรำสกัดไขมันแล้ว สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด อรอนงค์ นัยวิกุล ทดลองผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพแบบกรอบพอง โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ โดยใช้รำข้าวที่ผ่านการอบคงตัวเป็นส่วนประกอบ 10% พบว่าได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในเกณฑ์ดี มีคุณค่าทางสารอาหารดีกว่าอาหารว่างทั่วไปโดยมีโปรตีน, เส้นใยอาหาร, วิตามิน และเกลือแร่เพิ่มขึ้น [31] เป็นต้น

2.2.2 การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าว

ในกระบวนการสีข้าว จะมีขั้นตอนการกะเทาะเปลือกและคัดขาว จะทำให้จมูกข้าวและรำข้าวหลุดออกไป ซึ่งเป็นส่วนที่มีแร่ธาตุและวิตามินสูงถูกขจัดออกในกระบวนการสี ดังนั้นจึงได้มีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าว ได้มีการคิดค้นหลากหลายวิธีโดยเริ่มตั้งแต่การบำรุงข้าวโดยการให้ปุ๋ย การเคลือบสารอาหารสำคัญบนเมล็ดข้าวสารโดยเฉพาะวิตามิน และกระบวนการทำข้าวนึ่ง โดยแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. *การให้สารอาหารขณะเพาะปลูก* ปุ๋ยถูกนำมาใช้ในการทำการเกษตร เพื่อให้พืชและดินได้รับแร่ธาตุที่จำเป็นอย่างเพียงพอ ในดินมักมีแร่ธาตุอยู่ตามธรรมชาติ แต่ส่วนมากมักจะน้อยกว่าปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการให้ปุ๋ยเพื่อให้เป็นแหล่งอาหารสำหรับพืชที่อายุน้อย ปุ๋ยสามารถเพิ่มแร่ธาตุให้กับดินและช่วยในการเจริญเติบโตของพืช และพบว่าปุ๋ยช่วยเพิ่มปริมาณและคุณภาพของพืชผลได้ ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตซึ่งเป็นอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์มากขึ้น และผลผลิตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย ได้มีงานวิจัยพยายามเพิ่มสารอาหารให้แก่ผลผลิต เช่น การเพิ่มคุณค่าของธัญพืชด้วยสังกะสี ด้วยวิธีทางเกษตรศาสตร์ หรือ การเสริมสารอาหารแบบชีวภาพ พบว่าโปรแกรมการใช้ปุ๋ยสังกะสีหรือปุ๋ย NPK ที่อุดมไปด้วยแร่สังกะสี เป็นวิธีการแก้ปัญหาอย่างรวดเร็วและแสดงให้เห็นถึงวิธีการเสริมสารอาหารที่มีประโยชน์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งมีหลักฐานการเพิ่มขึ้นของสังกะสีในใบหรือใบและดิน การให้ปุ๋ยสังกะสีในพื้นที่เพาะปลูกมีประสิทธิภาพสูงและวิธีการนี้เพิ่มการ

139443

ดูดซึมและการสะสมของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวสาลี ความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มขึ้นถึง 60 มิลลิกรัมสังกะสีต่อกิโลกรัม ธัญพืชที่อุดมด้วยสังกะสีมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการผลิตพืช ซึ่งให้ความแข็งแรงของต้นกล้าที่ดีกว่า, การหายใจของพืชที่หนาแน่นและความทนทานต่อความเครียดที่สูงในดินที่ขาดธาตุสังกะสี วิธีการเสริมสารอาหารแบบชีวภาพเป็นสิ่งจำเป็นในการรักษาปริมาณสังกะสีในดินและการขนส่งสังกะสีไปยังเมล็ด ในช่วงระยะการเจริญเติบโตของระบบสืบพันธุ์ สุดท้ายการเสริมสารอาหารแบบชีวภาพเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพและสร้างความมั่นใจความสำเร็จของการเสริมสารอาหารแบบชีวภาพทางพันธุกรรมของธัญพืชที่กับธาตุสังกะสี ในกรณีที่มีการดูดซึมสังกะสีของเมล็ดจะดูดซึมทางใบมากกว่าทางดิน การเสริมสารอาหารแบบชีวภาพทางการเกษตรจะเป็นกลยุทธ์ที่น่าสนใจมากและมีประโยชน์ในการแก้ปัญหาการขาดแคลนสังกะสีในด้านสุขภาพ ทั่วโลกและมีประสิทธิภาพ [32] การศึกษาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยที่แตกต่างกัน การทดลองได้ดำเนินการเพื่อประเมินผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยสังกะสีและการตลาดในพื้นที่แตกต่างกันของบังคลาเทศและผลกระทบของปริมาณแร่ธาตุในข้าว (BRRI Dhan 32) โดยผลิตภัณฑ์ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองได้แก่ Zn-1, Zn-2, Zn-3, Zn-4, Zn-5, Zn-6, Zn-7 และZn-8และตัวอย่างควบคุม โดยมีปริมาณสังกะสี 18.4, 19.8, 20.0, 19.8, 9.3, 18.9, 11.0 และ26.0 % ตามลำดับ จำนวนแร่ธาตุ คือ ปริมาณของไนโตรเจน, ซัลเฟอร์ และแคลเซียมในเมล็ดข้าวและฟางไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณโพแทสเซียม, โซเดียม, แมกนีเซียม, สังกะสี, ทองแดง, เหล็กและแมงกานีสในเมล็ดข้าวและฟางแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันของปุ๋ยสังกะสี ปริมาณสารอาหารในข้าวสูงสุดของธาตุ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม, โซเดียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์ คือ 1.279, 0.0415, 0.2017,0.0785, 0.1607, 0.3187, 0.187% และสังกะสี, ทองแดง, เหล็ก, แมงกานีส คือ 10.77, 8.963, 185.30, 61.33 ppm ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามปริมาณสูงสุดของ ไนโตรเจน, โพแทสเซียม, โซเดียม, แคลเซียม, ซัลเฟอร์ คือ 0.709, 5.040, 0.0760, 0.3739, 0.208% ที่พบในฟาง ตามลำดับและ สังกะสี, ทองแดง, เหล็ก, แมงกานีส คือ 56.65, 55.79, 263.7, 548.8 ppm ตามลำดับ เป็นที่ชัดเจนว่า Zn-2 เกิดการสะสมสูงสุดของธาตุ ฟอสฟอรัส, สังกะสีทองแดงและแมงกานีสในเมล็ดข้าว ทางตรงกันข้ามในฟางที่ผลิตภัณฑ์นี้เกิดการสะสมทำให้เกิดความเข้มข้นสูงสุดของ ไนโตรเจน, เหล็ก และแมงกานีส ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีทั้งในเมล็ดข้าวและฟางปรากฏในจำนวนน้อยในตัวอย่างปุ๋ยทั้งหมดเมื่อเทียบตัวอย่างกับตัวอย่างควบคุม ยกเว้นว่าเม็ดเนื่องจาก Zn-2 [33] การศึกษาธาตุสังกะสี, ซีลิเนียม และเหล็ก ในข้าวของประเทศจีน 65 ตัวอย่าง ถูกตรวจสอบและผลชี้ให้เห็นว่า ปริมาณแร่ธาตุของข้าวตัวอย่างมีความแตกต่างกันมากเนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกมีความหลากหลาย ค่าเฉลี่ยของปริมาณสังกะสี, ซีลิเนียม และเหล็กในข้าวตัวอย่าง ได้แก่ 21.5 ± 1.8, 0.020 ± 0.012, and 12.4 ± 4.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับต่ำที่จะตอบสนองความ

ต้องการธาตุอาหารสำหรับประชากรที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก แถวที่ 19 ของพื้นที่ตัวอย่างนำไปสู่ข้าวสายพันธ์วูยูนจิง 7(WUyanjing 7)ถูกตรวจสอบผลกระทบของการให้ปุ๋ยสังกะสี, ซีลิเนียม และเหล็กกับความเข้มข้นของแร่ธาตุ, ผลผลิต, โปรตีน และปริมาณเถ้าของเมล็ดข้าว พบว่า สังกะสีและซีลิเนียมเป็นตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสังกะสี, ซีลิเนียม และเหล็กของข้าว และความเหมาะสมสำหรับการให้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มแร่ธาตุคือ 0.90 kg ha−1 สำหรับสังกะสี, 0.015 kg ha−1 สำหรับซีลีเนียม, and 0.90 kg ha−1 สำหรับเหล็ก ภายใต้ความเหมาะสมของโปรแกรมการให้ปุ๋ยปริมาณสังกะสี, ซีลิเนียม และเหล็กเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือ 36.7%, 194.1%, และ 37.1% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ควบคุม โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตและโปรตีนและปริมาณเถ้าของข้าว นอกจากนี้การทดลองยืนยันว่าข้าวพันธุ์ Ninggeng 1 ความเหมาะสมสามารถในการให้ปุ๋ยเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสี, ซีลิเนียมและเหล็กของข้าวได้ถึง 17.4, 0.123 และ 14.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ [34]

2. การเคลือบสารอาหารบนเมล็ดข้าว ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจกับอาหารสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอาหารสุขภาพที่มีส่วนผสมหรือสารเติมแต่งจากธรรมชาติ การนำสารสกัดจากพืชและสมุนไพรมาเคลือบบนเมล็ดข้าวสารที่เป็นอาหารหลักของ คนไทยและคนในหลายประเทศทั่วโลก จึงเป็นอีกแนวทางที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค เพิ่มมูลค่าให้กับข้าวสาร รวมถึงเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคและช่วยเหลือเกษตรกรผู้เพาะปลูกข้าว ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กระบวนการพัฒนาการเคลือบเมล็ดข้าวสารด้วยธาตุเหล็ก-สังกะสี-ไอโอดีน โดยได้พัฒนาสารเคลือบเมล็ดข้าวที่เป็นเจลธรรมชาติจะทำหน้าที่ละลายแร่ธาตุและช่วยเคลือบให้แร่ธาตุดูดซึมสู่เมล็ดข้าวได้ แต่เมื่อแช่เมล็ดข้าวเหนียวแล้วยังเหลือแร่ธาตุอยู่ประมาณ 60% และเก็บได้ 7-9 เดือน โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารน้อย อีกทั้งเมื่อทดสอบการดูดซึมธาตุเหล็กของผู้บริโภคก็ได้ผลดีเช่นกัน [35] และ ข้าวเสริมแคลเซียมสำเร็จรูปถูกเตรียมโดยใช้แคลซียมคลอไรด์แช่และฉีดพ่นด้วยวิธีการเคลือยแบบโพลิเมอร์ชีวภาพ ได้แก่ เซลลูโลสเมธิลไฮดรอกซี (HPMC), เมธิลเซลลูโลส (MC)) การรวมกันของ HPMC และ MC และ Zein(โปรตีนจากข้าวโพด) พบว่า วิธีการฉีดพ่นส่งผลให้ดัชนีความขาวและความแข็งในข้าวเสริมแคลเซียมสำเร็จรูปสูงกว่าวิธีการแช่ ปริมาณแคลเซียมในข้าวเสริมแคลเซียมสำเร็จรูปโดยใช้วิธีการแช่และการฉีดพ่นมีค่าตั้งแต่ 9.93-22.39 และ 11.84-25.39 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ การเคลือบแบบไบโอพอลิเมอร์ของข้าวเสริมแคลเซียมสำเร็จรูปลดการสูญเสียแคลเซียมในการชะล้าง การเก็บรักษาแคลเซียมหลังจากการชะล้างครั้งที่สองในน้ำกลั่นสามารถเก็บรักษามากที่สุดในการเคลือบด้วยZein (ที่ระดับ 9%) ข้าวเสริมแคลเซียมสำเร็จรูปด้วยการรวมกันของ HPMC และMC อยู่ในระดับ 2% คะแนนการยอมรับโดยรวมสำหรับตัวอย่างของข้าวเสริมแคลเซียมเสริมหุงสุกอยู่ในช่วง 7.66-8.14 เมื่อเทียบกับ 8.07 ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการเสริม แม้ว่าคะแนนการยอมรับ

โดยรวมสำหรับตัวอย่างของข้าวเสริมแคลเซียมเสริมหุงสุกและข้าวที่ไม่ได้ผ่านการเสริมจะไม่มีนัยสำคัญที่สูงขึ้น แต่คะแนนการยอมรับของข้าวเสริมแคลเซียมสำเร็จรูปที่ผ่านการหุงสุกด้วย HPMC และ MC (ในระดับ 2%)เป็นตัวบ่งชี้สำหรับการพัฒนาโดยการฉีดพ่นสารละลายแคลเซียมปริมาณ 120 มิลลิกรัมแคลเซียมต่อมิลลิลิตรที่ 150 นาทีด้วยการเคลือบด้วย HPMC และ MC (ในระดับ 2%) และการอบแห้ง [36] การเสริมวิตามินบีรวม โดยวัตถุประสงค์ของงานนี้คือการเสริมสร้างวิตามินในข้าว 3 ชนิด (สีน้ำตาล, สีขาวและสีข้าวนึ่ง) ด้วยวิตามินบีรวม (B1, B2, B3, B5, B6, B12) ใช้วิธีการทางกายภาพที่แตกต่างกัน 2 วิธี (1) แช่ข้าวเปลือกในสารละลายวิตามิน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีแช่ (2) การฉีดพ่นข้าวเปลือกด้วยสารละลายวิตามินที่ 35 องศาเซลเซียส ทั้งสองวิธีใช้การอบด้วยลมร้อน ความเข้มข้นของสารอาหารต่าง ๆ ที่ถูกเพิ่มและเก็บรักษาวิตามินของการเสริมแบบแห้งเช่นเดียวกับข้าวสุกที่ได้ถูกทำนาย ข้าวเสริมวิตามินถูกประเมินด้วยการเก็บรักษา โดยประมาณเป็นเปอร์เซ็นต์วิตามินหลังจากการเสริมเทียบกับเทียบกับจำนวนที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณวิตามินเริ่มต้นของเมล็ดข้าว พบว่า ค่าเฉลี่ยของการเก็บรักษาวิตามินทั้งหมดในข้าวที่ผ่านการทำแห้งอยู่ในระดับสูงและแตกต่างกันจากปริมาณวิตามินเริ่มต้นของเมล็ดข้าว 54.3%ถึง 85.3% สำหรับการฉีดพ่นและ 53.5% ถึง 76.2% สำหรับวิธีการแช่ตามลำดับ หลังจากหุงข้าวการเก็บรักษาที่ถูกเก็บรักษาไว้ในระดับที่เพียงพออย่างมีนัยสำคัญ (> 70%) สำหรับวิตามินทั้งหมดยกเว้นบี 12 เมื่อใช้น้ำในการหุงต้มปริมาณมากวิตามินที่ละลายน้ำจะถูกชะล้าง อย่างไรก็ตามปริมาณของวิตามินยังคงรักษาและแตกต่างจากปริมาณวิตามินเริ่มต้นของเมล็ดข้าว13.5% (B12) ถึง 51.2% (B1) วิตามินสามารถเก็บรักษาได้ดีหลังการหุงต้ม 37]

3. กระบวนการทำข้าวนึ่ง การทำข้าวนึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพการสี ทำให้ข้าวหักน้อยลงและปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของข้าว แต่จะแตกต่างจาก 2 วิธีข้างต้น เพราะวิธีการนี้เป็นการนำสารอาหารที่อยู่ที่ชั้นรำของเมล็ดข้าวให้เคลื่อนที่เข้าสู่ในเนื้อแป้งของเมล็ดข้าวสารโดยการซึมเข้าไปในเนื้อระหว่างการแช่ และการนึ่ง ทำให้ข้าวจะทำให้ข้าวที่ได้มีสีเหลืองอ่อน การเพิ่มสารอาหารในเมล็ดข้าวทำได้โดยอาศัยกรรมวิธีการทำข้าวนึ่ง คือ การนำข้าวเปลือกไปแช่ นึ่ง และอบลดความชื้นก่อนนำไปผ่านกระบวนการสีกรรมวิธีการทำข้าวนึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อเพิ่มปริมาณข้าวต้น (ลดปริมาณการแตกหักระหว่างกระบวนการสี) นอกจากนี้ยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพของข้าว และช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุอาหารในบางส่วนของเมล็ดข้าวในระหว่างการสีกรรมวิธีการทำข้าวนึ่งมีขั้นตอนการทำหลักๆอยู่ 3 ขั้นตอนคือ

1.การแช่ (soaking) โดยการนำเมล็ดข้าวเปลือกไปแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 3-6 ชั่วโมงหรือ 80 องศาเซลเซียส นาน 1-3 ชั่วโมงจนมีความชื้น30-40% ขั้นตอนนี้จะทำให้ช่องว่างบริเวณเปลือกเริ่มปริมาณสารอาหารในชั้นรำเริ่มเคลื่อนที่เข้าไปในเมล็ดข้าว

[3] ในระหว่างการแช่การเพิ่มอัตราการไฮเดรชั่นทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิในการแช่ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์การดูดซึมน้ำก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้ส่วนประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำ เช่น การแพร่เข้าและออกของเม็ดสีและแร่ธาตุอาหารถูกดูดซึม [38]

2. การนึ่ง (steaming) เมื่อเม็ดแป้งภายใน เอนโดสเปิร์ม ของเมล็ดข้าวดูดซับน้ำไว้เพียงพอแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการให้ความร้อนเพื่อทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวเป็นเม็ดแป้งสุก ปกติการนึ่งจะใช้เวลา 15-30 นาทีโดยใช้อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส [3] ซึ่งการให้ความร้อนแก่แป้งที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์หลังจากการไฮเดรชั่น ทำให้เกิดการเจลาทิไนซ์และการเกิดผลึกใหม่ ในระหว่างกระบวนการเกิดผลึกใหม่ของแป้งซึ่งสร้างความหลากหลายของเนื้อสัมผัสในการนำข้าวนึ่งมาประกอบอาหารและในระหว่างการเกิดเจลาทิไนซ์เชชั่นเม็ดแป้งจะเกิดการขยายตัว [39] สำหรับอุณหภูมิเจลาทิไนซ์แบ่งเป็น 3 กลุ่ม อุณหภูมิเจลาทิไนซ์ต่ำ (55-69 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิเจลาทิไนซ์ปานกลาง (70-74 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิเจลาทิไนซ์สูง (75-79 องศาเซลเซียส) [40] การเกิดเจลาทิไนซ์เกี่ยวข้องกับเวลาในการทำให้สุกและเนื้อสัมผัสของข้าว ความรู้ด้านอุณหภูมิเจลาทิไนซ์เป็นประโยชน์ต่อการแช่ข้าวนึ่งในการปรับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ตัวอย่าง เช่น ข้าวที่มีอุณหภูมิเจลาทิไนซ์สูงและอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ปานกลางสามารถแช่ที่น้ำร้อน 70 องสาเซลเซียส ยกเว้นข้าวที่ใช้อุณหภูมิเจลาทิไนซ์ต่ำจะต้องมีการให้น้ำที่มากกว่าถ้าต้องการแชในระยะเวลาเท่ากันกับอุณหภูมิเจลาทิไนซ์สูง [41]

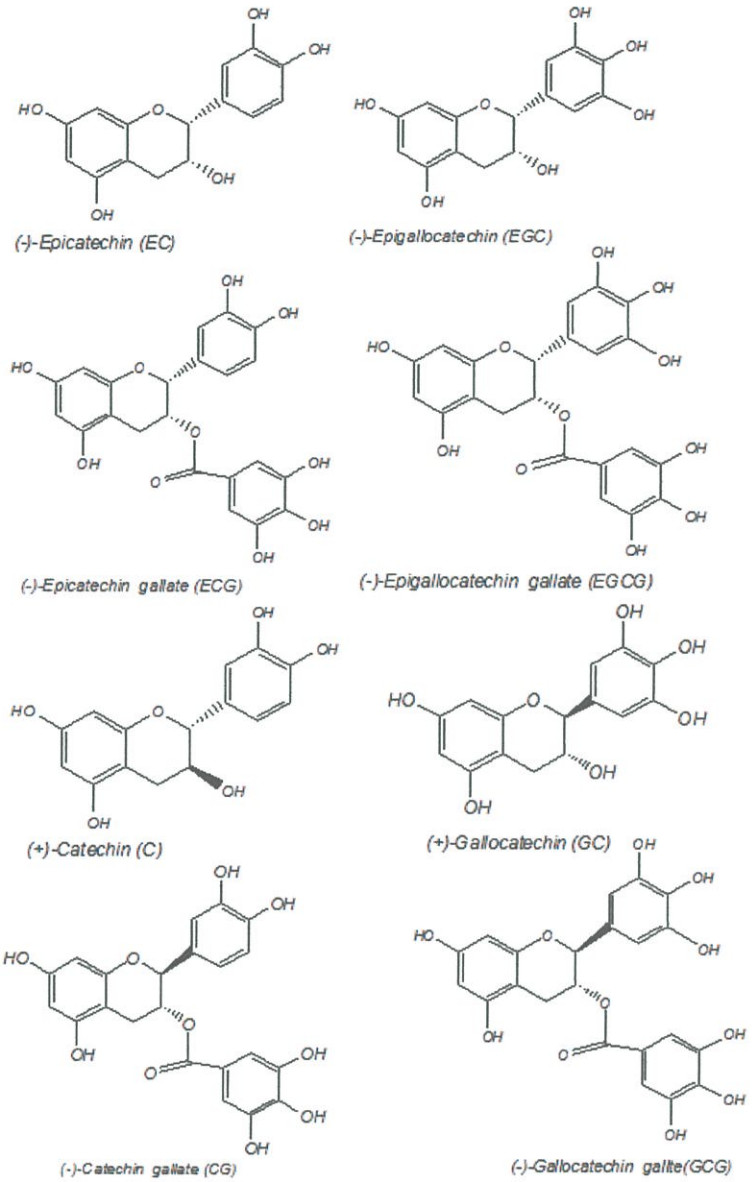
3. การทำให้แห้ง (drying) ในการลดความชื้นของเมล็ดข้าวนึ่งนี้จะต้องทำเป็นสองระยะ คือ ในระยะแรกเมื่อความชื้นลดลง 19-20% ก็หยุดพักโดยเก็บเมล็ดไว้ที่อุณหภูมิห้องสักระยะหนึ่งจากนั้นนำมาอบต่อจนมีความชื้น 14 % [3] ในขั้นตอนนี้จะเกิดกระบวนการดีไฮเดรชั่นซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการทำข้าวนึ่งหลังจากแป้งในเนื้อข้าวเกิดการเจลาทิไนซ์ในระหว่างการแช่ และการให้ความร้อนในกระบวนการทำข้าวนึ่ง การทำแห้งควรให้ความชื้นอยู่ในช่วง 12% wb เพื่อที่จะให้เหมาะสมสำหรับขั้นตอนต่อไปหรือการเก็บรักษา รูปแบบการอบแห้งของเมล็ดที่ผ่านการเจลาทิไนซ์จะแตกต่างจากเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการเจลาทิไนซ์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุแป้งที่เกิดการเจลาทิไนซ์จะเกิดการขยายตัวเมื่ออบแห้งอย่างรวดเร็วจะทำให้น้ำที่อยู่ในช่องว่างหรือรอยแตกออกมาทำให้มีอัตราการแพร่ที่สูงขึ้น [42]ทำให้ได้ปริมาณต้นข้าวน้อย ดังนั้นการอบแห้งจึงควรแบ่งเป็น 2 ระยะเพื่อให้ได้ปริมาณต้นข้าวสูง

มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำงานวิจัยในการเพิ่มสารอาหารโดยใช้กระบวนการทำข้าวนึ่ง เช่น การวิจัยการดูดซับเหล็กในเมล็ดข้าวด้วยกระบวนการทำข้าวพบว่าการเพิ่มเหล็กในน้ำของกระบวนการทำข้าวนึ่งพบว่าความเข้มข้นของเหล็กเพิ่มขึ้นอย่างมากในเมล็ดข้าว และพบว่าความเข้มข้นของเหล็กในข้าวสารที่ผ่านการเสริมเหล็กที่ผ่านการขัดสี 60 และ 120 วินาที มีค่าความเข้มข้น

ของเหล็กสูงกว่า 20-50 เท่าของข้าวสารที่ไม่ได้ผ่านการบวนการเสริม ความเข้มข้นของเหล็กในข้าวสารที่ผ่านการขัดสี คือ 50–150 mg Fe kg^{-1} ในข้าวที่ผ่านการขัดสี 60 วินาทีและลดลงเล็กเมื่อผ่านการขัดสี 120 วินาที[43] การเพิ่มสังกะสีในเมล็ดข้าวด้วยกระบวนการทำข้าวนึ่งพบว่า การเสริมสังกะสีในข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการสีที่ 50-400 mg Zn/kg ข้าวเปลือกระหว่างกระบวนการทำข้าวนึ่ง ความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวนึ่งที่ผ่านการขัดขาวจะเพิ่มขึ้นประมาณ1.3-4.เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ผ่านการเสริมในกระบวนการทำข้าวนึ่ง สังกะสีจะถูกเติมเข้าไปอย่างรวดเร็วในข้าวนึ่งในกระบวนการแช่ข้าวเริ่มต้นก่อนที่จะอิ่มตัว [44] ข้าวนึ่งถูกใช้เป็นเทคนิคสำหรับการเสริมกรดโฟลิคในข้าวกล้อง ช่วงของเงื่อนไข ได้แก่ การแช่ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ที่ 0.15, 0.3, 0.6 และ 1.2 กรัมกรดโฟลิค ต่อ300 กรัมข้าวกล้องและคัดขาวที่ 0, 60 และ 120 วินาที โดยการศึกษาเพื่อตรวจสอบการดูดซึมของกรดโฟลิคในข้าวเสริมกรดโฟลิค พบว่า ประมาณ 20-300 ไมโครกรัมกรดโฟลิคต่อกรัม ที่พบในข้าวเสริมกรดโฟลิคและโดยเฉลี่ย 90% ของกรดโฟลิคสามารถเก็บรักษาไว้ได้หลังจากการชะล้องและการหุงสุกของข้าวเสริมกรดโฟลิค คุณภาพของข้าวนึ่งที่ถูกประเมินขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว (HRY), ขนาดของเมล็ดข้าวและสีของข้าว พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและขนาดของเมล็ดข้าว เมื่อเทียบกับข้าวสารและข้าวนึ่ง ข้าวที่ผ่านกระบวนการเสริมไม่ได้มีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่ลดลงและมีแนวโน้มที่อาจจะประสบความสำเร็จ แม้ข้าวที่ผ่านกระบวนการเสริมจะมีสีเหลืองโดยธรรมชาติของกรดโฟลิก เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวนึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในสีเหลืองของข้าวเสริมกรดโฟลิคที่ 1.2 กรัมกรดโฟลิคต่อข้าวกล้อง 300 กรัม แต่ไม่ได้อยู่ในหมู่ผู้ข้าวเสริมที่ความเข้มข้นต่ำ ความแตกต่างในความสว่างระหว่างข้าวเสริมและข้าวนึ่งลดลงเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้น [45]

2.3 สารคาเทชิน และประโยชน์ของสารคาเทชิน

สารคาเทชินมีสูตรทางเคมี คือ $C_{15}H_{14}O_6$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 290.28 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลว (melting point) อยู่ระหว่าง 212-126 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้เล็กน้อยในน้ำเย็นและละลายได้มากในน้ำร้อน แอลกอฮอล์ กรดน้ำส้ม (glacial acetic acid) และอะซิโตน (acetone) ไม่ละลายในเบนซิน (benzene) คลอโรฟอร์ม (chloroform) และปิโตรเลียม อีเทอร์ (petroleum ether) [46] คาเทชินที่พบในใบชามี 8 อนุพันธ์ ได้แก่ คาเทชิน (catechin, C), อิพิคาเทชิน (epicatechin, EC), แกลโลคาเทชิน (gallocatchin, GC), อิพิแกลโลคาเทชิน (epigallocatechin, EGC), คาเทชินแกลเลต (catechin gallate, CG), แกลโลคาเทชินแกลเลต (gallocatechin gallate, GCG), อิพิคาเทชินแกลเลต (epicatechin gallate, ECG) และอิพิแกลโลคาเทชินแกลเลต (epigallocatechin gallate, EGCG) แสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างคาเทชิน 8 อนุพันธ์ [47]

คาเทชินเป็นชื่อเรียก ฟาโวนอยด์ (Flavanoid) ในชา ซึ่งมีประมาณ 60-70% ของโพลิฟีนอลทั้งหมด กลุ่มของ Catechins ที่พบมากในชา ได้แก่ EGCG, EGC, ECG และEC [47] พบว่า คาเทชินมีคุณประโยชน์หลากหลายโดยแสดงดังต่อไปนี้ [48]

1. **ต้านมะเร็ง** หลักการต้านมะเร็งของคาเทชิน คือ การทำให้อวัยวะภายในแข็งแรงและทนทานต่อเซลล์มะเร็ง กล่าวคือ ภายในช่วงชีวิตคนเราจะเกิดเซลล์มะเร็งในร่างกาย 6-10 ครั้ง ซึ่งถ้าอวัยวะภายในเราแข็งแรงก็จะต้านเซลล์ร้ายนั้นและสลายไป แต่ถ้าอวัยวะอ่อนแอเซลล์มะเร็งก็จะเจริญเติบโตสร้างความเสียหายให้กับชีวิตเรานั่นเอง.

2. **ลดคอเลสเตอรอล** โดยคอเลสเตอรอล คือไขมันที่ไม่ดี จะคอยไปเกาะอยู่ตามผนังหลอดเลือด ทำให้เกิดโรคหลอดเลือดตีบ อุดตัน ความดัน หัวใจและสโตรค ซึ่งร่างกายเราได้สะสมจากการทานอาหารที่ไขมันทรานแฟตสูง การออกกำลังและควบคุมอาหารเป็นเวลานานถึงจะลดไขมันที่สะสมออกได้.คาเทชิน ช่วยลดคอเลสเตอรอล และไขมันที่สะสมอยู่ในเลือดได้

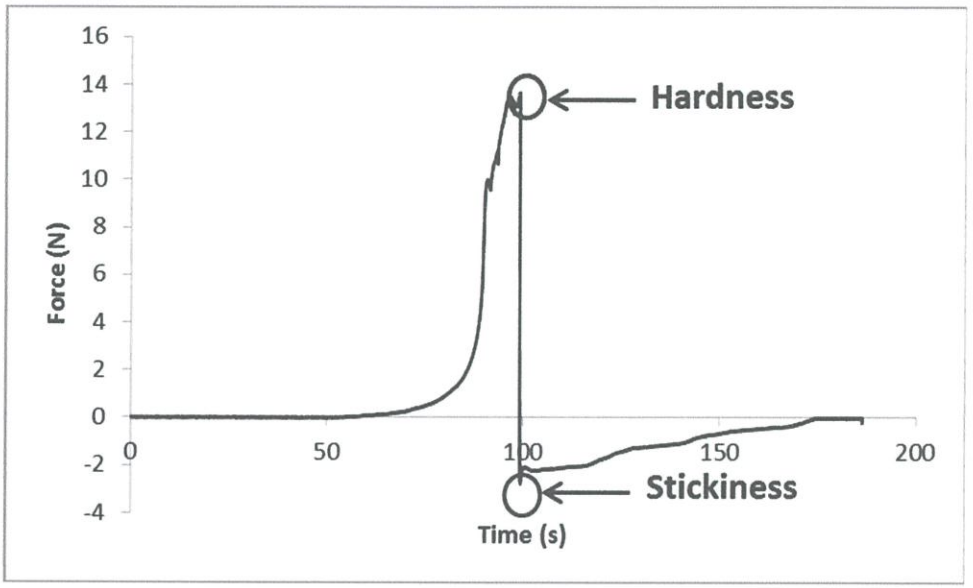
3. **กระตุ้นระบบเผาผลาญ** สารEGCG ในคาเทชิน ช่วยกระตุ้นระบบเผาผลาญของร่างกายให้ทำงานดีขึ้นทำให้เหงื่อออกง่ายขึ้น และเผาผลาญไขมันได้ดีขึ้น เป็นที่นิยมในกลุ่มนักมวยในอเมริกาเพื่อรีดน้ำหนักก่อนขึ้นชั่ง.และในการวิจัยจาก Harvard ได้ทดลองแล้วว่ากลุ่มที่รับคาเทชินจะลดน้ำหนักได้ดีและเร็วกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับ.

4. **คุณประโยชน์อื่นๆ** คาเทชิน ยังช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ลดความเสื่อมของอวัยวะ หรือ
ชลออายุ ช่วยต้านการอักเสบ ทำให้แผลหายเร็วขึ้น กระตุ้นทำให้ร่างกายสดชื่น กระปรี้กระเปร่า ลดความเสี่ยงของโรคอัลไซเมอร์ พาร์คินสัน ต้านไวรัส แบททีเรีย และยังสามารถทำเป็นสกินแคร์ช่วยเรื่องผิวพรรณได้อีกด้วย.

2.4 การทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย

การทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย เป็นการใช้เครื่องมือเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับเนื้อสัมผัส โดยการให้แรงหรือความเค้นกระทำต่อตัวอย่างอาหาร ด้วยการผ่านอุปกรณ์ในลักษณะต่างๆกัน ทำให้เกิดแรงกระทำต่อตัวอย่างอาหารลักษณะต่างๆกัน เช่น การกด (Compression) การเจาะ (Penetration หรือ Puncture) การเฉือน (Shear) การดึง (Tension) การผลักดัน (Extrusion) การยึด (Adhesion) เป็นต้น การทดสอบสมบัติความแข็งและความเหนียวของข้าวถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ชี้วัดคุณภาพของข้าวอีกปัจจัยหนึ่ง โดยวิธีวัดเนื้อสัมผัสของข้าวสวยเชิงวัตถุวิสัยแบบผลักดันย้อนกลับ (Back Extrusion) เป็นวิธีที่ดีที่สุด [49] เหมาะแก่การวัดเนื้อของข้าวสวยสำหรับงานวิจัย เนื่องจากให้ความแปรปรวนที่น้อยกว่าวิธีอื่นๆได้แก่ วิธี Ottawa cell, วิธี TPA, วิธี KMITL method

โดยค่าที่ได้จากการทดสอบที่นำมาวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากกราฟแรง-เวลา หรือ กราฟแรง – ระยะทาง ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) ในเชิงวัตถุวิสัย คือ แรงสูงสุดถึง %strainหรือระยะทางที่กำหนดในการกด เปรียบเสมือนกับการเคี้ยวครั้งแรก มีหน่วยเป็น นิวตัน (N) ค่าความเหนียว หน่วยเป็น นิวตันมิลลิเมตร (N mm) เป็นพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกับระยะทางระหว่างการกดถึง% strain หรือระยะทางที่กำหนดในการกด แสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กราฟแรง-เวลาในการทดสอบข้าวสวยด้วยวิธี Back Extrusion

ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสของข้าว ได้แก่ การประเมินสมบัติเชิงความแข็งของข้าวในโรงงานปรับปรุงคุณภาพข้าว โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปี ซึ่งได้ทดสอบเนื้อสมบัติเชิงความแข็งของข้าวสวย 4 ชนิด คือ ข้าวนึ่ง, ข้าวหอมมะลิใหม่, ข้ามหอมมะลิเก่า และข้าวขาว ด้วยการทดสอบเชิงวัตถุวิสัย ความแข็งคือแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดที่ระยะ 99%strian พบว่า ข้าวขาวมีความแข็งมากที่สุดและข้าวนึ่งมีความแข็งน้อยที่สุด และค่าความแข็งของข้าวขาวมีความแข็งกว่าข้าวหอมมะลิเก่า, ข้าวหอมมะลิใหม่ ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งข้าวหอมมะลิใหม่และข้าวหอมมะลิเก่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ข้าวขาวจะมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าข้าวหอมมะลิ โดยความแข็งของข้าวสวยส่วนใหญ่จะมาจากปริมาณอะไมโลสและความแข็งของข้าวสวยมีความสัมพันธ์ทางเชิงบวกกับปริมาณอะไมโลส ($0.706 \le r \le 0.866$, $P<0.01$) ส่วนข้าวหอมมะลิเก่ามีความแข็งมากกว่าข้าวหอมมะลิใหม่เนื่องจากข้าวหอมมะลิเก่ามีอายุการเก็บมากกว่าข้าวหอมมะลิใหม่ สำหรับค่าความเหนียว พบว่าข้าวขาวมีความเหนียวมากที่สุด ส่วนข้าวนึ่งมีความเหนียวน้อยที่สุด ในกรณีเดียวกันกับความแข็ง ค่า

ความเหนียวของข้าวขาวมีความเหนียวกว่าข้าวหอมมะลิเก่า, ข้าวหอมมะลิใหม่ และข้าวนึ่ง ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ [50]

2.5 ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์

การศึกษาเกี่ยวกับความพอใจได้ศึกษา 2 ส่วน คือ แนวคิดด้านความพึงพอใจ และ การคำนวณค่าความพึงพอใจทางสถิติ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1 แนวคิดด้านความพึงพอใจ มีผู้ให้แนวความคิดความพึงพอใจต่างๆกันดังนี้

คอตเลอร์ ในปี พ.ศ. 2535 [51] กล่าวถึงความพึงพอใจของลูกค้า (Customer Satisfaction) ว่า เป็นการตัดสินใจของลูกค้าที่มีต่อการนำเสนอคุณค่าทางการตลาดและทำให้เกิดการตัดสินใจซื้อนั้นจะเกี่ยวข้องกับรูปแบบของสินค้าที่นำาเสนอออกมา และเชื่อมโยงไปถึงความคาดหวังของลูกค้า โดยลูกค้าแต่ละรายอาจจะมี ระดับความพึงพอใจที่แตกต่างกัน โดยถ้ารูปแบบที่นำเสนอสินค้ามีความคาดหวังที่ต่ำลูกค้าจะไม่พึงพอใจ แต่ถ้าเพิ่มความคาดหวังเข้าไป ลูกค้าจะพึงพอใจเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามความคาดหวงยังขึ้นนอยู่กับประสบการณ์การซื้อในอดีตของลูกค้า ความคิดเห็นของเพื่อนและผู้เกี่ยวข้อง รวมทั้งข้อมูลของนักการตลาดและคู่แข่งขันที่นำเสนอหรือสัญญาไว้ นักการตลาดจะต้องระมัดระวัง ในเรื่องความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำาคัญ

ศิริวรรณ เสรีรัตน์และคณะ ในปี พ.ศ. 2539 [51] กล่าวสรุปไว้ว่าการจูงใจเป็นสิ่งเร้าและความพยายามที่จะ ตอบสนองความต้องการหรือเป้าหมาย สวนความพึงพอใจ หมายถึง ความพอใจเมื่อความต้องการได้รับการตอบสนอง ดังนั้นการจูงใจจึงเป็นสิ่งเร่าเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ คือ ความพึงพอใจ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ซึ่งเมื่อเกิดแรงจูงใจขึ้นแล้วสามารถตอบสนองแรงจูงใจนั้นผลลัพธ์ก็คือความพึงพอใจ

ศิริวรรณ เสรีรัตน์และคณะ ในปี พ.ศ. 2541 [51] กล่าวว่า ความพึงพอใจของลูกค้า (Customer Satisfaction) เกิดจากการได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าสูงกว่าต้นทุนที่เขาต้องจ่ายไปและยังขึ้นกับเครื่องมือการตลาดแลกิจกรรมการตลาดอื่นๆ อีกด้วย

ศิริวรรณ เสรีรัตน์และคณะ ในปี พ.ศ. 2541 [51] กล่าวว่า ความพึงพอใจของลูกค้า (Customer Satisfaction) เป็นระดับความรู้สึกของลูกค้าที่มีผลจากการเปรียบเทียบระหว่างผลประโยชน์จากคุณสมบัติ ผลิตภัณฑ์หรือการทำงานของผลิตภัณฑ์กับความคาดหวังของลูกค้าระดับความพอใจของลูกค้าจะเกิดจากความแตกต่างระหว่างผลประโยชน์ตามผลิตภัณฑ์ และความคาดหวังของบุคคล การคาดหวังของบุคคล (Expectation) เกิดจากประสบการณ์และความรู้ในอดีตของผู้ซื้อ นักการตลาดและฝ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจะตองพยายามสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าโดยพยายามสร้างคุณค่าเพิ่ม (Value Added) การสร้างคุณค่าเพิ่มเกิดจากการผลิต(Manufacturing) และจาก

การตลาด (Marketing) รวมทั้งมีการทำงานร่วมกันกับฝ่ายต่างๆ โดยจัดหลักการสร้างคุณภาพรวม (Total Quality) คุณค่าเกิดจากความแตกต่างทางการแข่งขัน (Competitive differentiation) คุณค่าที่มอบให้กับลูกค้าจะต้องมากกว่าต้นทุนของลูกค้า (Cost) ต้นทุนของลูกค้าส่วนใหญ่ก็คือราคาสินค้า (Price) นั้นเอง

2.5.2 การคำนวณค่าความพึงพอใจ

ข้อมูลแบบสอบถามที่ได้เก็บรวบรวมถูกนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ แสดงรายละเอียดดังนี้ [51]

1. การคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจ

โดยใช้สูตร $\overline{X} = \frac{\sum X}{n}$

เมื่อ X แทน ค่าคะแนนเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

N แทน จำนวนคะแนนในกลุ่ม

2. การคำนวณหาค่า SD ของความพึงพอใจ

โดยใช้สูตร $S.D. = \sqrt{\frac{\sum X_i - \overline{X}}{n-1}}$

เมื่อ

S.D. แทน ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐานของคะแนนกลุ่มตัวอย่าง (Standard Deviation)

X_i แทน คะแนนแต่ละตัวในกลุ่มตัวอย่าง

$\overline{X}$ แทน ค่าคะแนนเฉลี่ย

n แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size)

วิธีทางสถิติที่ใช้คือการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทางประชากรศาสตร์ต่อความพึงพอใจรวมหากพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จะทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Multiple Comparison ด้วยวิธี Duncan Multiple Range tests

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

ตารางที่ 2.6 Completely Randomized Design :(CRD)

แหล่งแปรปรวนหรือ แหล่งความผันแปร	องศาอิสระ DF	ผลบวกกำลังสอง SS	ผลบวกกำลังสอง เฉลี่ย MS	F
ระหว่างทรีทเม้นต์ (Treatment) : k	k-1	SSR	MSTrt	$\frac{MSTrt}{MSE}$
ภายในทรีทเม้นต์ ความคลาดเคลื่อน	n-k	SSE	MSE	
ผลรวม (Total)	n-1	SST		

เมื่อ

CM (Correction for mean) = $(\sum\sum X_{ij})^2 /n = (\sum Ti)^2 /n$

SST = $\sum\sum X^2_{ij} - CM$ SSTrt = $\sum T^2_i /n - CM$

SSE = SST-SSTrt

MSE = SSE/(n-k) MSTrt = SSTrt/(k-1)

X_{ij} = ข้อมูลของตัวแปรอิสระ เมื่อ i,j = (1,2,3,..,k)

Ti = ผลรวมของข้อมูลของตัวแปรอิสระในกลุ่ม เมื่อ i, = (1,2,3,..,k)

n = จำนวนข้อมูลของตัวแปรอิสระทั้งหมด

k = จำนวนระดับของข้อมูล

โดยได้มีตัวอย่างการทดสอบความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ เช่น การศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภค กรณีศึกษา : กลุ่มผลิตภัณฑ์สินค้า OTOP ปลาร้าท่าตูม โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล ผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ปลาร้าบองท่าตูม โดยใช้การสุ่มตัวอย่างตามสะดวก จำนวน 385 ตัวอย่าง ผลจากการวิจัย พบว่า ประชากรส่วนใหญ่ที่บริโภคปลาร้าบองท่าตูม เป็นเพศหญิง ร้อยละ 53.51อยู่ในระดับอายุ 41-50 ปี ร้อยละ 26.23 มีสถานภาพสมรส ร้อยละ 60.26 ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีอาชีพเป็น

พนักงานบริษัท ร้อยละ 43.64 และพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ที่รู้จักปลาร้าบองท่าตูมรู้จักผ่าน ญาติ พี่น้อง เพื่อน ร้อยละ 67.01 ผลการสำรวจความพึงพอใจจากการบริโภคปลาร้าบองท่าตูม พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ที่บริโภคปลาร้าบองพึงพอใจที่สุดคือผู้บริโภคมีความพึงพอใจในรสชาติของปลาร้าบ่องท่าตูม (ค่าเฉลี่ย = 4.18) รองลงมา คือ ผลิตภัณฑ์ปลาร้าบองท่าตูมยังเป็นที่รู้จักของผู้บริโภคอยู่ระดับมาก(ค่าเฉลี่ย = 3.61) ผู้บริโภคมี ความพึงพอใจในความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ปลาร้าบองท่าตูม (ค่าเฉลี่ย =3.10) ความพึงพอใจผู้บริโภคในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาร้าบองท่าตูมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย =2.96) ความพึงพอใจที่สำคัญ คือ มีฉลากชัดเจนแสดงข้อมูลส่วนผสมและวันหมดอายุ ระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย =2.94) ความพึงพอใจความสม่ำเสมอรสชาติของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับปานกลาง ผลิตภัณฑ์สวยดึงดูดใจผู้บริโภคพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย = 2.86) ความพึงพอใจในเรื่องของกลิ่นปลาร้าบองท่าตูมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย = 2.85) ผู้บริโภคพึงพอ ใจความสะดวกในการหาสถาที่จำหน่ายระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย = 2.84) ความพึงพอใจ รสชาติของ ปลาร้าบองท่าตูมและคุณค่าทางอยู่ในระดับน้อย (ค่าเฉลี่ย =2.79) ราคาผลิตภัณฑ์ปลาร้าบองท่าตูมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย =2.77) ความพึงพอใจสะอาด ถูกหลักอนามัย และส่วนมากชอบรับประทานรสเผ็ด อยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย =2.69) การเผยแพร่ความรู้ คุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ปลาร้าบองท่าตูมอยู่ในระดับที่น้อย (ค่าเฉลี่ย =2.36) ผู้บริโภคพึงพอใจในการบริการลูกค้าระดับน้อย (ค่าเฉลี่ย =2.32) ผู้บริโภคชอบรับประทานรสเผ็ดน้อยอยู่ในระดับน้อย (ค่าเฉลี่ย =229) การประชาสัมพันธ์ของโรงงานผลิตภัณฑ์ปลาร้าบองท่าตูมอยู่ในระดับ น้อย (ค่าเฉลี่ย =2.29) ความพึงพอใจในการบริโภครสชาติเผ็ดปานกลางอยู่ในระดับน้อย (ค่าเฉลี่ย =1.69) ผลจากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาปรับปรุงกิจการ พบว่า กิจการร้านปลาร้าบองท่าตูมควรได้รับการปรับปรุงในเรื่องการประชาสัมพันธ์การเผยแพร่ความรู้ คุณประโยชน์ ของผลิตภัณฑ์ รวมถึง รสชาติ ความสม่ำเสมอของรสชาติ ควรให้มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายและเข้าถึงกลุ่มลูกค้าในทุกวัย กิจการต้องเน้นในเรื่องของความสะอาด ถูกหลักอนามัย ใส่ใจการ หมดอายุของผลิตภัณฑ์ และการบรรจุ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มยอดขายให้กิจการมี รายได้เพิ่มขึ้นในการผลิต [52] การศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อเนื้อไก่พื้นเมือง (ชีท่าพระ) โดยการให้ชิมเนื้อไก่ย่าง และใช้ แบบสอบถามสัมภาษณ์ผู้ที่เข้าร่วม การประชุมสำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ ประจำปี 2555 จำนวน 98 ราย, การประชุมองค์การบริหารส่วนท้องถิ่นจังหวัดขอนแก่น จำนวน 72 ราย และ การประชุมหัวหน้าส่วนราชการจังหวัดขอนแก่น จำนวน 92 ราย โดยออกแบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการสัมภาษณ์ผู้บริโภคหลังจากการชิมเนื้อไก่ย่าง โดยข้อมูลความพึงพอใจของผู้บริโภค แบ่งเป็นมาตรฐานส่วนประเมิน ค่าตอบ ประยุกค์ตามแบบของ Likert scale question แต่ละคำถามมีคำตอบให้เลือกโดยกำหนดค่าน้ำหนักของการประเมินดังนี้ ระดับ 1 = พึงพอใจน้อยที่สุด, ระดับ 2 = พึงพอใจน้อย,ระดับ 3 = พึง

พอใจ ระดับ, 4 = พึงพอใจมาก และระดับ 5 = พึงพอใจมากที่สุด ผลการศึกษาพบว่า ความพึงพอใจในด้านความแน่นนุ่ม กลิ่นหอมของไก่ขณะเคี้ยวและด้านรสชาติ อยู่ในระดับคะแนน 3.78 – 4.16 หมายถึงพึงพอใจมาก ส่วนความพึงพอใจโดยรวม ได้คะแนน 3.92 – 4.35 หมายถึงพึงพอใจมากถึงมากที่สุด [53] จะสังเกตได้ว่าการตรวจสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคมีความสำคัญมากในการสร้างหรือทำการผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้นมาในตลาด ดังนั้นในหัวข้อนี้มีสามารถช่วยยืนยันข้อมูลทางการวัดในเชิงวิทยาศาสตร์ ที่แสดงในหัวข้อ 2.3 ได้ นอกจากยืนยันข้อมูลในเชิงวิทยาศาสตร์แล้ว ข้อมูลในด้านอื่นๆ เช่นความชอบต่อผลิตภัณฑ์จะได้รับผลตอบรับจากการทดลองนี้ด้วย

บทที่ 3
อุปกรณ์และการดำเนินการทดลอง

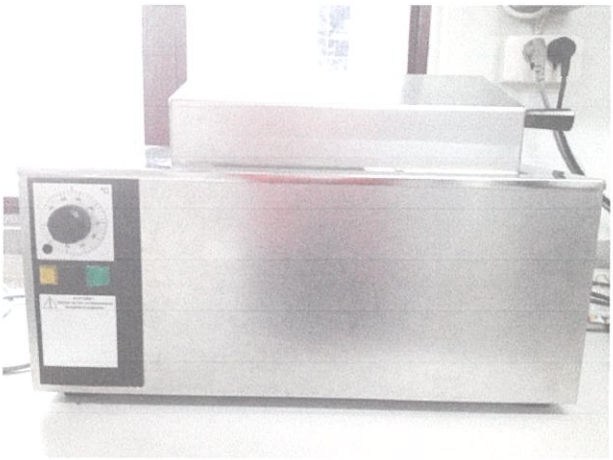
ในบทนี้เป็นการอธิบายถึงอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลองเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยที่การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำด้วยกระบวนการทำข้าวนึ่ง ในกรณีการเพิ่มสารคาเทชินในเมล็ดข้าว ข้าวที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทำการปลูกและจัดซื้อจากจังหวัดสุรินทร์ในปี พ.ศ. 2557 ได้นำมาผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่ง 3 ขั้นตอนหลัก การแช่ การนึ่ง และการอบลดความชื้น จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการสี เพื่อนำข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ผ่านกระบวนการสีมาตรวจสอบ เปอร์เซ็นต์การแตกหัก ปริมาณคาเทชินหลังการหุงต้มและทดสอบเนื้อสัมผัสของข้าวเสริมคาเทชินและความพึงพอใจของผู้บริโภค โดยรายละเอียดของการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์และแผนการทดลอง

ในหัวข้อต่อไปนี้มีการบรรยายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ตลอดการศึกษารวมถึงวิธีการใช้อุปกรณ์ต่างๆ และแผนการทดลองตลอดการศึกษาซึ่งที่สรุปให้เข้าใจง่ายในรูปแบบของแผนภาพ โดยมีการแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง

1. *อ่างควบคุมอุณหภูมิ รุ่น WB350, Memmert, Germany* แสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งใช้ในการแช่ข้าวและการนึ่งข้าวเพื่อสามารถควบคุมอุณหภูมิและควบคุมเวลาที่เหมาะสมในระหว่างการทดลอง เพื่อทำให้เกิดการแพร่ของน้ำและเปลือกข้าวเข้าสู่เมล็ดข้าวในกระบวนการแช่ข้าว และเป็นการเตรียมพร้อมกับเมล็ดข้าวให้ชุ่มน้ำ และพร้อมกับการเกิดกระบวนการเจลลาทิไนซ์เซชั่นในขั้นตอนการนึ่ง (Delcour et al., 2010) ซึ่งทุกการทดลองที่แสดงในหัวข้อ 3.2 ต้องใช้อุปกรณ์นี้สำหรับการศึกษาเรื่อง การศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการนึ่งข้าว, การศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในข้าวหุงสุก, การศึกษาเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัยและความพึงพอใจของผู้บริโภค และการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งการศึกษาดังกล่าวอยู่ในหัวข้อ 3.3 ถึง 3.6 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)

2. *ตู้อบลมร้อน Memmert, Germany* แสดงในภาพที่ 3.2 ใช้สำหรับการอบลดความชื้นข้าวนึ่งให้อยู่ในระดับความชื้นที่เหมาะสม คือ ประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก ซึ่งการทดสอบดังกล่าวแสดงในหัวข้อ 3.2 ต้องใช้อุปกรณ์นี้ สำหรับการศึกษาเรื่อง การศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการนึ่งข้าว, การศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในข้าวหุงสุก, การศึกษาเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัยและความพึงพอใจของผู้บริโภค และการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งการศึกษาดังกล่าวอยู่ในหัวข้อ 3.3 ถึง 3.6 ตามลำดับ

ภาพที่ 3.2 ตู้อบลมร้อน

3. เครื่องวัดความชื้น (MOISTURE METER TA-5, JAPAN) แสดงในภาพที่ 3.3 ใช้ในการวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้น สามารถวัดได้ทั้งข้าวเปลือกและข้าวกล้อง โดยวัดก่อนนำข้าวเปลือกสู่กระบวนการสี ซึ่งการทดสอบดังกล่าวแสดงในหัวข้อ 3.2 ต้องใช้อุปกรณ์นี้ สำหรับการศึกษาเรื่องการศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการนึ่งข้าว, การศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในข้าวหุงสุก, การศึกษาเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัยและความพึงพอใจของผู้บริโภค และการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งการศึกษาดังกล่าวอยู่ในหัวข้อ 3.3 ถึง 3.6 ตามลำดับ

ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดความชื้น MOISTURE METER TA-5

4. เครื่องกะเทาะเปลือก SATAKE HUSK TESTER รุ่น THU, JAPAN แสดงในภาพที่ 3.4 ใช้ในการกะเทาะเปลือกข้าวเปลือกให้เป็นข้าวกล้อง ก่อนนำไปขัดขาว ซึ่งการทดสอบดังกล่าวแสดงในหัวข้อ 3.3 ต้องใช้อุปกรณ์นี้ สำหรับการศึกษาเรื่องการศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการนึ่งข้าว

ภาพที่ 3.4 เครื่องกะเทาะเปลือก SATAKE HUSK TESTER รุ่น THU

5. เครื่องทดสอบการคัดขนาดเมล็ดข้าว SATAKE รุ่น TWSB, JAPAN แสดงในภาพที่ 3.5 สำหรับคัดแยกข้าวกล้องหรือข้าวที่ผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือกและยังสามารถแยกข้าวเต็มเมล็ดออกจากข้าวหัก หลังจากกะเทาะเปลือกและหลังการขัดขาวเพราะใช้เกณฑ์ในการคัดขนาดตามความยาวของเมล็ดข้าว ซึ่งการทดสอบดังกล่าวแสดงในหัวข้อ 3.3 ต้องใช้อุปกรณ์นี้ สำหรับการศึกษาเรื่อง การศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการนึ่งข้าว

ภาพที่ 3.5 เครื่องทดสอบการคัดขนาดเมล็ดข้าว SATAKE รุ่น TWSB

6. เครื่องทดสอบการขัดขาว SATAKE รุ่น TM05, JAPAN

แสดงในภาพที่ 3.6 ใช้ในการขัดขาวข้าวกล้องที่ปริมาณวัสดุต่างๆ เครื่องทดสอบขัดขาว SATAKE รุ่น TM05 เป็นเครื่องทดสอบขนาดเล็กจึงมีปริมาณจำกัดในการขัดขาวไม่เกิน 200 กรัม ซึ่งการทดสอบดังกล่าวแสดงในหัวข้อ 3.3 ต้องใช้อุปกรณ์นี้ สำหรับการศึกษาเรื่อง การศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการนึ่งข้าว

ภาพที่ 3.6 เครื่องทดสอบการขัดขาว SATAKE รุ่น TM05

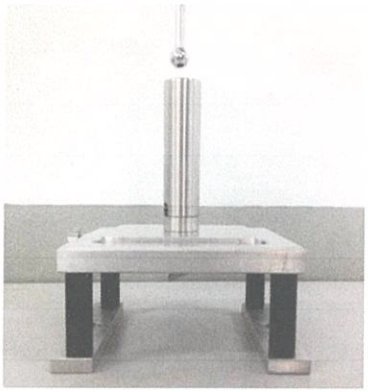
7. เครื่องปั่นแยกสาร รุ่น Spectrafuge 7M Microcentrifuge, Labnet, USA แสดงในภาพที่ 3.7 ใช้ในการแยกแยกตะกอนออกจากสารละลาย ซึ่งการทดสอบดังกล่าวแสดงในหัวข้อ 3.4 ต้องใช้อุปกรณ์นี้ สำหรับการศึกษาเรื่องการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในข้าวหุงสุก

ภาพที่ 3.7 เครื่องปั่นแยกสาร (Spectrafuge)

8. UV-VIS Spectrophotometer รุ่น GENESYS 10S UV-Vis, Thermo, USA แสดงในภาพที่ 3.8 ใช้ในการตรวจสอบความเข้มข้นสารคาเทชินในเมล็ดข้าว โดยใช้การตรวจวัดปริมาณแสงและค่า Intensity ในช่วงรังสี UV และช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือดูดกลืนโดย ตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสง จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งการทดสอบดังกล่าวแสดงในหัวข้อ 3.4 ต้องใช้อุปกรณ์นี้ สำหรับการศึกษาเรื่องการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในข้าวหุงสุก

ภาพที่ 3.8 UV-Vis Spectrophotometer

9. *Texture analyzer รุ่น TA HD Plus, Stable Micro System, UK*แสดงใน ภาพที่ 3.9 ใช้ในการวัดเนื้อสัมผัสของข้าว โดยวิธีผลักดันย้อนกลับ (Back Extrusion) เพื่อทดสอบความแข็งและความเหนียวของข้าว ซึ่งการทดสอบดังกล่าวแสดงในหัวข้อ 3.5 4 ต้องใช้อุปกรณ์นี้สำหรับการศึกษาเรื่องการศึกษาเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัยและความพึงพอใจของผู้บริโภค และการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งการศึกษาดังกล่าวอยู่ในหัวข้อ 3.3 ถึง 3.6 ตามลำดับ



(ก)

(ข)

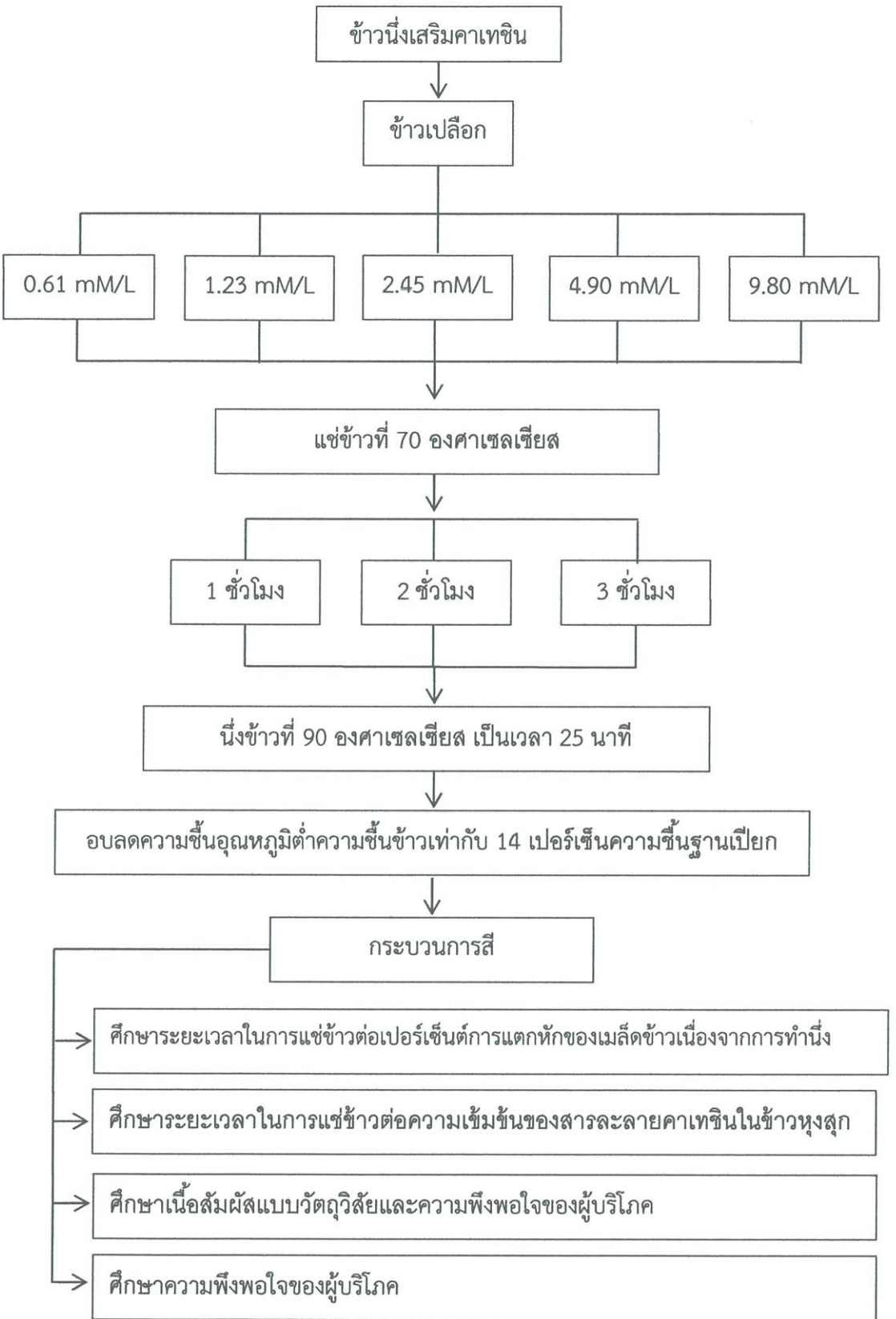
ภาพที่ 3.9 (ก)แท่นวัดและหัววัดวิธีผลักย้อนกลับ (Back extrusion), (ข) เครื่องทดสอบทางกล

3.2 แผนการทดลอง

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ แผนการทดลองจึงได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจการทำวิจัยการศึกษาการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำด้วยกระบวนการทำข้าวนึ่ง ซึ่งแผนการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.10 โดยกระบวนการทำข้าวนึ่งเสริมคาเทชินโดยขั้นตอนได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ นำข้าวเปลือกแช่ในสารละลายคาเทชิน 5 ระดับ คือ เข้มข้น 0.61, 1.23, 2.45, 4.90 และ 9.80 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ แสดงในภาพที่ 3.1 จากนั้นนึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที และลดความชื้นข้าวเปลือกให้เหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสแสดงในภาพที่ 3.2 แล้วจึงนำข้าวเปลือกเข้าสู่กระบวนการสี ซึ่งแสดงในภาพที่ 3.11

3.3 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการนึ่งข้าว

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเนื่องจากกระบวนการสีข้าว ประกอบไปด้วยขั้นตอนการกะเทาะเปลือกของข้าวเปลือกให้ได้ข้าวกล้อง โดยนำข้าวเปลือก ข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่ง และข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งโดยมีการเสริมคาเทชินโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วนำมาทำการอบลดความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน หลังจากนั้นนำตัวอย่างข้าวไปผ่านกระบวนการสีข้าว โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก แสดงในภาพที่ 3.4 ที่มีระยะห่างของลูกล้อที่กะเทาะเปลือกประมาณ 1 มิลลิเมตร ทำการวัดระยะห่างโดยใช้ฟิลเลอร์เกจ เมื่อข้าวเปลือกผ่านเครื่องกะเทาะแล้วจะได้ข้าวกล้อง หลังจากนำข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกปริมาณ 150 กรัม มาผ่านการขัดเพื่อเอาชั้นรำออกโดยเครื่องขัดขาวที่แสดงในภาพที่ 3.6 เป็นเวลา 90 วินาที เพื่อทำให้ได้ข้าวสาร และนำข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวไปคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าวโดยใช้ตะแกรงหลุมเบอร์ 6 แสดงในภาพที่ 3.5 แล้วนำข้าวที่คัดขนาดแล้วมาชั่งน้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักออกจากกันหลังจากนั้นจะทำการชั่งน้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักพร้อมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทั้งจดบันทึกค่า เพื่อนำมาคิดหาเปอร์เซ็นต์การแตกหักดังสมการที่ 2.4 โดยมีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.10 แผนการทดลอง

ภาพที่ 3.11 กระบวนการสีข้าว

3.4 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก

การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุกได้จัดการการทดลองแบบแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ โดย นำข้าวนึ่งที่ผ่านการเสริมคาเทชินระดับความเข้มข้น 5 ระดับและระยะเวลาในการแช่ 3 ระดับ ปริมาณ 10 กรัม มาหุงโดยใช้บีกเกอร์ อัตราส่วนข้าว:น้ำ ในการหุงต้ม คือ 1:2.5 ปิดฟอล์ยด้านบนบีกเกอร์ให้สนิท พร้อมเจาะรูขนาดเล็กจำนวน 4-5 รูเพื่อใช้ระบายความดันระหว่างการหุงต้ม แล้วให้ความร้อนโดยวางบนแผ่นความร้อนเป็นเวลา 45 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 15 กรัมเพื่อแช่ข้าวเสริมคาเทชินหลังการหุงต้มเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง เพื่อนำสารละลายดังกล่าวมาปั่นแยกของแข็งด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง แสดงในภาพที่ 3.7 แล้วนำมาตรวจปริมาณคาเทชินด้วยเครื่อง UV-

VIS spectrophotometer แสดงในภาพที่ 3. ความยาวคลื่นของสารคาเทชินที่สามารถตรวจได้ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 276 นาโนเมตร หลักการทำงานเครื่อง UV-VIS spectrophotometer แสดงในภาคผนวก ซ สารละลายเพื่อ Calibrate น้ำกลั่น, 0.31, 0.61, 1.23, 2.45, 4.80, 9.80 และ19.6 mM/L จากนั้นตรวจสอบปริมาณสารคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงโดยนำสารละลายที่ผ่านการปั่นแยกสารใส่คิวเวทท์ชนิดพลาสติกที่ทำการสุ่มตัวอย่างแบบสุ่มสมบูรณ์นำมาคิดในหน่วยของกรัมโดยสมการที่ 3.1 แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติแบบการวิเคราะห์

$$g = \frac{CV}{1000} \times MW \qquad (3.1)$$

g คือ มวลของสารบริสุทธิ์(ตัวละลาย) หน่วยเป็น กรัม

C คือ ความเข้มข้น หน่วยเป็น mol/dm^3

V คือ ปริมาตรสารละลาย หน่วยเป็น cm^3

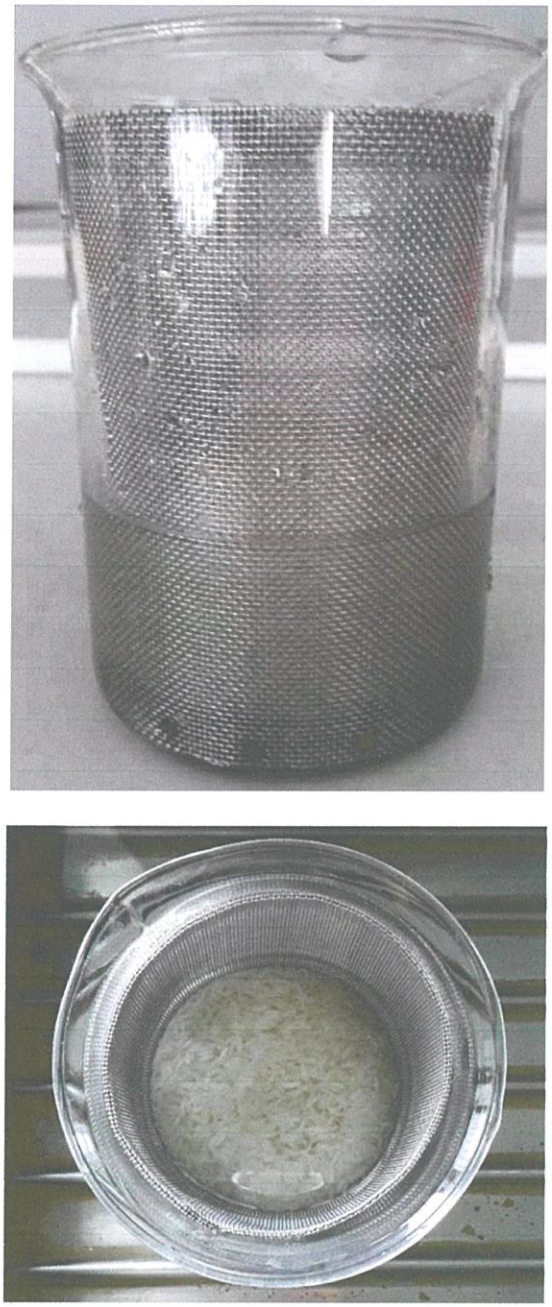
MW คือ มวลโมเลกุลของตัวละลาย หน่วยเป็น กรัม/โมล

3.5 การทดสอบเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเชิงวัตถุวิสัย

การทดสอบเนื้อสัมผัสของข้าวเชิงวัตถุวิสัย (Objective test) แบบ Back extrusion มีขั้นตอนในการทดลองดังต่อไปนี้

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างข้าว

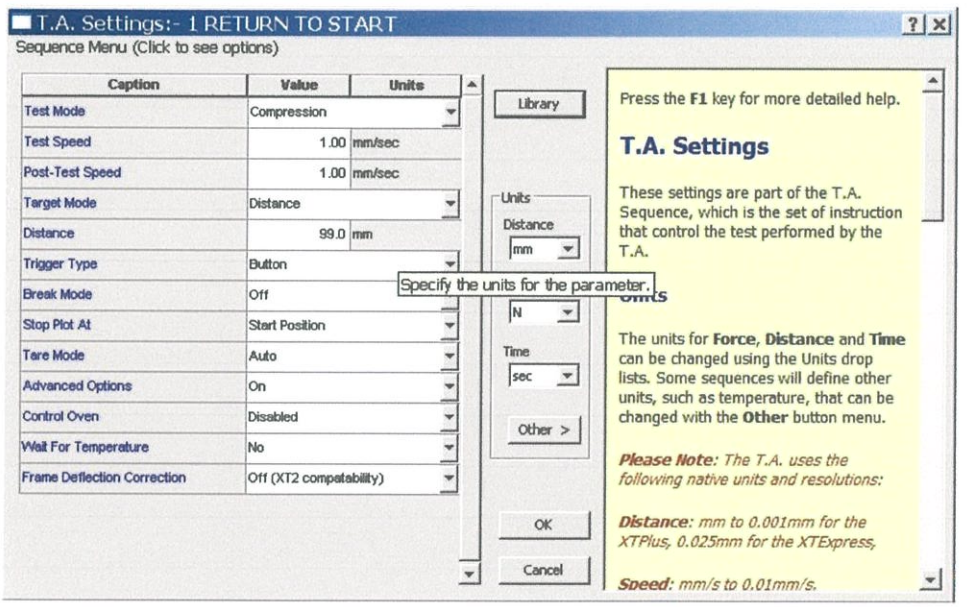
นำ ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวสารนึ่ง และข้าวสารนึ่งเสริมคาเทชินที่ผ่านกระบวนการสี 200 กรัม ใส่ในตะแกรงทรงกระบอก เติมน้ำในบีกเกอร์ขนาด 1000 mL ปริมาณ 350 กรัม แล้วน้ำใส่อ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 97 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 นาที เพื่อป้องกันการสุกอย่างไม่สม่ำเสมอเนื่องจากสัดส่วนของน้ำไม่เพียงพอต่อการหุงต้ม ดังแสดงในภาพที่ 3.12



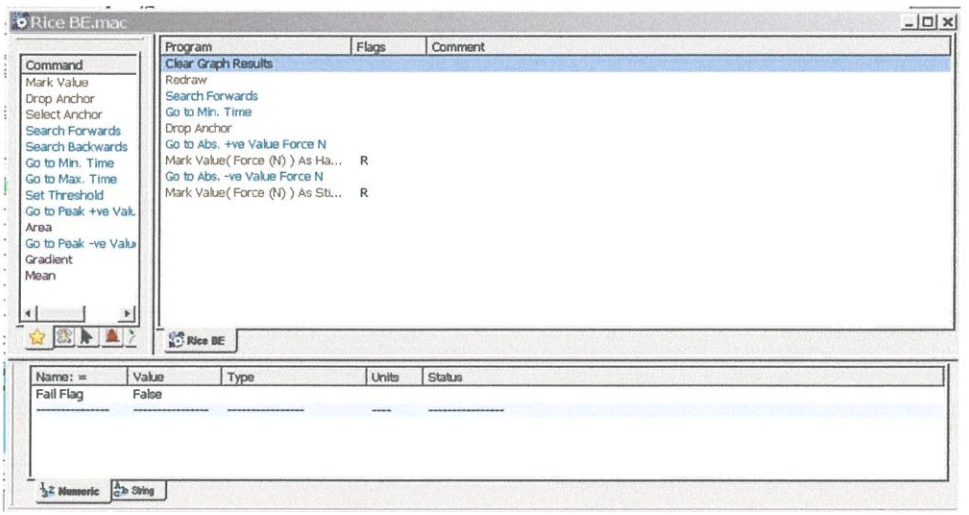
ภาพที่ 3.12 การหุงข้าว

3.5.2. การทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer

ชั่งน้ำหนักข้าวที่ผ่านการหุงสุก ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ปริมาณ 3 กรัม ใส่ถ้วยพลาสติก เปิดเครื่องทดสอบเนื้อสัมผัส Texture Analyzer และเปิดใช้โปรแกรม Texture Exponent version 5,1,10 เพื่อทำการ Calibration แรงและระยะทางก่อนใช้งาน ประกอบหัววัดแบบ Back extrusion โดยใช้ความเร็วในการกดและขณะถอนหัวกดขึ้นเท่ากับ 1 mm/s กดที่ระยะ 99 mm แสดงในภาพที่ 3.13 ใส่ข้าวสวย 3 กรัมลงในกระบอกสเตนเลส ทำการทดสอบกับตัวอย่างข้าวสวยในแต่ละชนิด 3 ซ้ำ บันทึกกราฟแรงและระยะทาง แล้วหาค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว (Stickiness) โดยใช้คำสั่ง Process data -->MacroRun -->macro -->เลือกการคำนวณแบบ BE แสดงในภาพที่ 3.14 บันทึกค่าและผลการวิเคราะห์ โดยทำการสุ่มตัวอย่างการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomized Design)



ภาพที่ 3.13 การตั้งค่าวิธีการทดสอบแบบ Back extrusion



ภาพที่ 3.14 การคำนวณแบบ BE

3.6 การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค

การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคเป็นหนึ่งในวิธีเพื่อตรวจสอบผลิตภัณฑ์เพื่อให้ดูระดับความยอดรับของตัวอย่างผู้บริโภค โดยการทดสอบนี้เพื่อให้เป็นการทดสอบระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคต่อข้าวนึ่ง โดยใช้คณะผู้ชิมทดสอบไม่ต่ำกว่า 30 คน ตัวอย่างข้าวหุงสุกได้ถูกเตรียมในขั้นตอนที่ 3.5.1 ผู้เตรียมได้ตักข้าวปริมาณตัวอย่างละ 10 กรัม โดยทำการสุ่มตัวอย่างการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomized Design)สร้างใบให้คะแนนความพึงพอใจสมบัติของข้าว 6 ด้าน โดยเรียงตามลำดับ คือ กลิ่น สีข้าว ความแข็ง ความเหนียว การยึดติด และรสชาติ แสดงในส่วนของภาคผนวก ได้กำหนดรหัสข้าว 4 ชนิดคือ AA01 คือ ข้าวสาร, AB02 คือ ข้าวกล้อง, AC03 คือ ข้าวนึ่ง และAD04 คือ ข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ส่วนระดับคะแนนที่กำหนดมีคะแนนต่ำสุดคือ 1 คะแนน และให้คะแนนสูงสุดคือ 7 คะแนน โดยวิธีการทดสอบสมบัติของข้าว 6 ด้าน ได้แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กลิ่น เปิดฝาถ้วยพลาสติกแล้วดมกลิ่น การให้คะแนน หอมน้อยสุดให้ 1 คะแนน หอมมากสุดให้ 7 คะแนน และจึงให้คะแนนในส่วนที่เหลือ

2. สีข้าว ดูสีของข้าว การให้คะแนน สีเข้มที่สุดให้ 1 คะแนน สีอ่อนที่สุดให้ 7 คะแนน และจึงให้คะแนนในส่วนที่เหลือ

3. ความแข็ง นำข้าววางไว้ระหว่างเพดานกับลิ้นแล้วกด การให้คะแนน แข็งมากที่สุดให้ 1 คะแนน แข็งน้อยที่สุดให้ 7 คะแนน และจึงให้คะแนนในส่วนที่เหลือ

4. ความเหนียว นำข้าววางในปากแล้วทำให้เคลื่อนที่ระหว่างลิ้นกับเพดาน ระดับความเหนียวตัดสินจากระดับที่ต้องจัดการกับข้าวก่อนที่ข้าวจะแยกออกเป็นชิ้นๆ การให้คะแนน เหนียวน้อยที่สุดให้ 1 คะแนน เหนียวมากที่สุดให้ 7 คะแนน

5. การยึดติด นำข้าววางไว้ในปากแล้วกดให้ติเพดานด้วยลิ้น ระดับการยึดติดตัดสินจาก แรงที่ต้องการเอาออกจากเพดานด้วยลิ้น การให้คะแนนการยึดติด ยึดติดกันน้อยที่สุดให้ 1 คะแนน ยึดติดกันมากที่สุดให้ 7 คะแนน

6. รสชาติ นำข้าววางในปากทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที การให้คะแนน รสชาติไม่ดีที่สุดให้ 1 คะแนน รสชาติดีที่สุดให้ 7 คะแนน

การทดสอบความพึงพอใจในคุณสมบัติทั้ง 6 ด้านของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินได้นำค่าผลรวมของค่าความต่างของคุณสมบัติทั้ง 6 ด้านของข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเมื่อเทียบกับคุณสมบัติเดียวกันของข้าวสาร ค่าผลรวมที่มีค่าน้อยสุดแสดงว่ามีความแตกต่างในด้านความพึงพอใจของผู้บริโภคเมื่อเทียบกับข้าวสารน้อยสุด และถ้ามีค่าผลรวมมากสุดแสดงว่าว่ามีความแตกต่างในด้านความพึงพอใจของผู้บริโภคเมื่อเทียบกับข้าวสารมากสุด

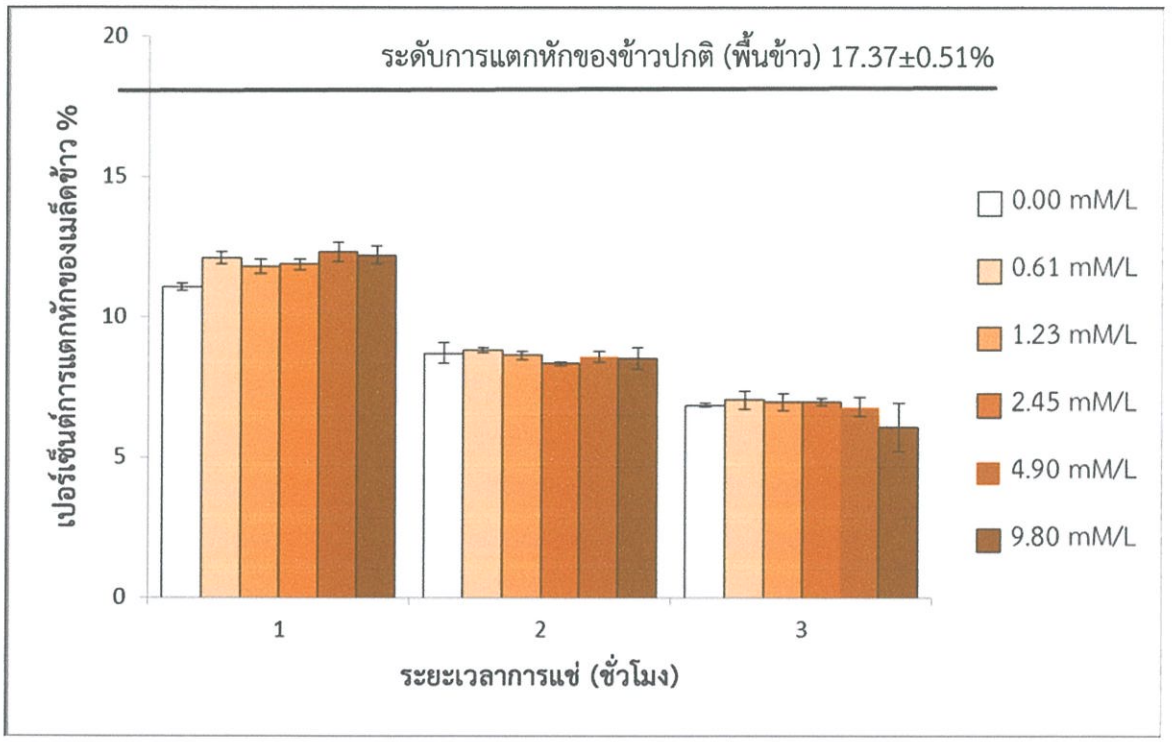
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำด้วยกระบวนการทำข้าวนึ่ง กรณีการเพิ่มสารคาเทชินในเมล็ดข้าว นอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าของข้าวคุณภาพต่ำในเชิงคุณภาพการสีข้าว (การลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าว)แล้วยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่เมล็ดข้าว(การเพิ่มสารคาเทชิน) ซึ่งวิธีดำเนินการทดลองได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้นแบ่งการศึกษานี้ออกเป็น 4 ส่วน 1) การศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว 2) การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก 3) การทดสอบเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเชิงวัตถุวิสัยและ 4) การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค โดยผลการทดลองและวิจารณ์ของแต่ละการทดลองแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 4.1 ถึง 4.4 ดังอธิบายดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

การศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าว พบว่า ก่อนนำข้าวเปลือกไปผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่ง ได้นำข้าวเปลือกมาทดสอบเพื่อหาคุณภาพการสีข้าว โดยเน้นในส่วนของเปอร์เซ็นต์การแตกหักเบื้องต้นตามวิธีการทดลองที่ได้อธิบายในหัวข้อ 3.3 พบว่า ข้าวเปลือกดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักเริ่มต้นสูงเท่ากับ 17.37% เมื่อนำข้าวเปลือกดังกล่าวมาผ่านกระบวนการนึ่ง โดยแช่ในน้ำที่มีการตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 70 องศาเซลเซียสแล้วทำการปรับระยะเวลาการแช่โดยเริ่มตั้งแต่ 1, 2 ถึง 3 ชั่วโมงตามลำดับ เพื่อดูอิทธิพลของการแช่ข้าวต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว โดยขั้นตอนการทำข้าวนึ่งได้อธิบายในหัวข้อ 3.2 จากผลการทดสอบ พบว่าระยะเวลาในการแช่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงตาราง ANOVA ในภาคผนวก ฉ. ระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวมีแนวโน้มลดลงเหลือประมาณ 5-10% จากการทดลองการแช่ข้าวที่เวลา 3 ชั่วโมงที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักมีค่าต่ำสุด คือ 6.85±0.06%, 7.03±0.33%, 6.96±0.29%, 6.96±0.12%, 6.78±0.35% และ 6.07±0.85% ที่ ข้าวนึ่ง, 0.61, 1.23, 2.45, 4.80 และ 9.80 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 4.1 เนื่องจากกระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้เมล็ดข้าวสุกบางส่วนจนทำให้ส่วนที่เกิดการแตกหักหรือร้าวประสานกันเป็นเนื้อเดียวได้ และเมื่อนำความชื้นออกจากเมล็ดข้าวแล้วรอยร้าวและการแตกหักภายในเมล็ดก็หมดไป ดังนั้นระยะเวลาการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้นทำให้เมล็ดข้าวที่แตกหักมีระยะเวลาให้น้ำเข้าแทรกในรอยแตกร้าวไปในเมล็ดข้าวได้อย่างทั่วถึง และเมื่อเมล็ดข้าวผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีนึ่ง ทำให้เนื้อแป้ง

ภายในที่เคยแตกร้าวกลับมาประสานเป็นเนื้อเดียวกันได้มากขึ้น จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่ข้าว สำหรับการศึกษาระดับความเข้มข้นของคาเทชินที่ระดับต่างๆกัน พบว่าไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักที่ระยะเวลาในการแช่ข้าวต่างๆที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงตารางANOVA ในภาคผนวก ฉ. นั่นหมายความว่าปริมาณความเข้มข้นของคาเทชินที่เพิ่มขึ้นในสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว ไม่ช่วยให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวเปลี่ยนแปลงจากการแช่ข้าวในน้ำเปล่าเพียงอย่างเดียว (ระดับความเข้มข้นที่ 0.00 mM/L) และแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวที่ระยะเวลาในการแช่ข้าวแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการแช่ กับเปอร์เซ็นต์การแตกหักที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินต่างๆ

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับเวลาในการแช่ข้าวแตกต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหัก

ระยะเวลาการแช่ข้าว	ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชิน (มิลลิโมลต่อลิตร)					
	0.00	0.61	1.23	2.45	4.90	9.80
1 ชั่วโมง	11.06±0.13a	12.09±0.21a	11.79±0.25a	11.87±0.19a	12.32±0.35a	12.20±0.34a
2 ชั่วโมง	8.71±0.35b	8.82±0.09b	8.64±0.15b	8.33±0.06b	8.58±0.21b	8.52±0.38b
3 ชั่วโมง	6.85±0.06c	7.03±0.33c	6.96±0.29c	6.96±0.12c	6.78±0.35c	6.07±0.85c

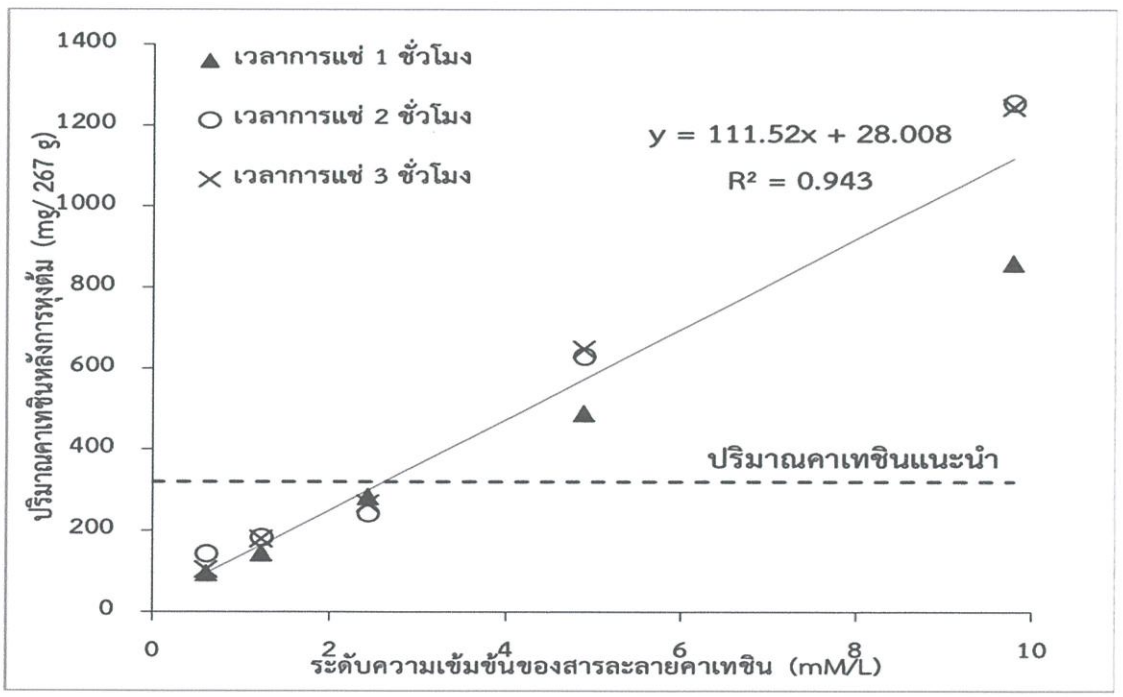
*ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

4.2 ผลการศึกษาหาระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชิน และเวลาในการแช่ที่เหมาะสมต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชิน และเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าว ต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก โดยวิธีการทดลองได้นำเสนอในหัวข้อที่ 3.4 ผลการทดสอบการศึกษานี้ แสดงในภาพที่ 4.2 โดยในแกนนอนเป็นระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆกัน และแกนตั้งเป็นค่าปริมาณคาเทชินที่แทรกซึมเข้าไปในเนื้อข้าวโดยเทียบกับปริมาณข้าวที่ต้องรับประทานภายใน 1 วัน (267กรัม) จากภาพเห็นว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้เมล็ดข้าวที่ผ่านแช่สารละลายและผ่านการหุงต้มมีปริมาณสารคาเทชินเพิ่มสูงขึ้น ที่ทุกๆระยะเวลาในการแช่ข้าว และเมื่อพิจารณาปริมาณสารคาเทชินในเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นนั้นเทียบกับปริมาณที่แนะนำให้รับประทานใน 1 วัน พบว่าที่ระยะเวลาการแช่ 1, 2 และ3 ชั่วโมงมีการแทรกซึมของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวจะเพิ่มอย่างช้าๆที่ระดับสารละลายคาเทชินความเข้มข้นต่ำและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสารละลายคาเทชินระดับความเข้มข้นสูงขึ้นตามรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น แสดงในภาพที่ 4.2 ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินสูงทำให้การแทรกซึมของสารคาเทชินเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ดีกว่าระดับสารละลายคาเทชินความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินที่แตกต่างกันระหว่างภายนอกและภายในของเมล็ดข้าว ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินสูงจะมีความแตกต่างระหว่างความดันของสารละลายกับความดันภายในเมล็ดข้าวมากทำให้สารคาเทชินถูกผลักดันเข้าไปในเมล็ดข้าวได้มากกว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินต่ำ แสดงให้เห็นว่า

ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินส่งผลต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 ในภาคผนวก ฉ. และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับเวลาในการแช่ข้าวแตกต่างกันต่อปริมาณสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ คือ 0.61 และ 1.23 มิลลิโมลต่อลิตรให้ค่าปริมาณสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุกไม่แตกต่างกัน เมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น คือ 2.45, 4.90 และ 9.80 มิลลิโมลต่อลิตรให้ค่าปริมาณสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุกแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.2 และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการแช่ข้าว พบว่า ที่เวลา 1 – 3 ชั่วโมงไม่มีผลต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงต้มที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 ในภาคผนวก จ. ทั้งนี้คาดว่าสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวที่ความเข้มข้นต่างๆ เข้าสู่สภาวะสมดุลย์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารคาเทชินมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีทำให้การแทรกซึมของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวเกิดการอิ่มตัวในช่วงระยะเวลาก่อน 1 ชั่วโมงแรกของการแช่ ดังนั้นระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินที่ทำให้ปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงมีค่าเท่ากับ 320 มิลลิกรัมต่อปริมาณข้าวที่รับประทานใน 1 วัน(267 กรัม) คือ 2.62 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเท่ากับ 0.943

$$y = 111.52X + 28.00 \qquad (4.1)$$



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสารละลายคาเทชิน กับ ปริมาณคาเทชินหลังการหุงที่ระยะเวลาการในการแช่ต่างกัน

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับเวลาในการแช่ข้าวแตกต่างกันต่อปริมาณสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก

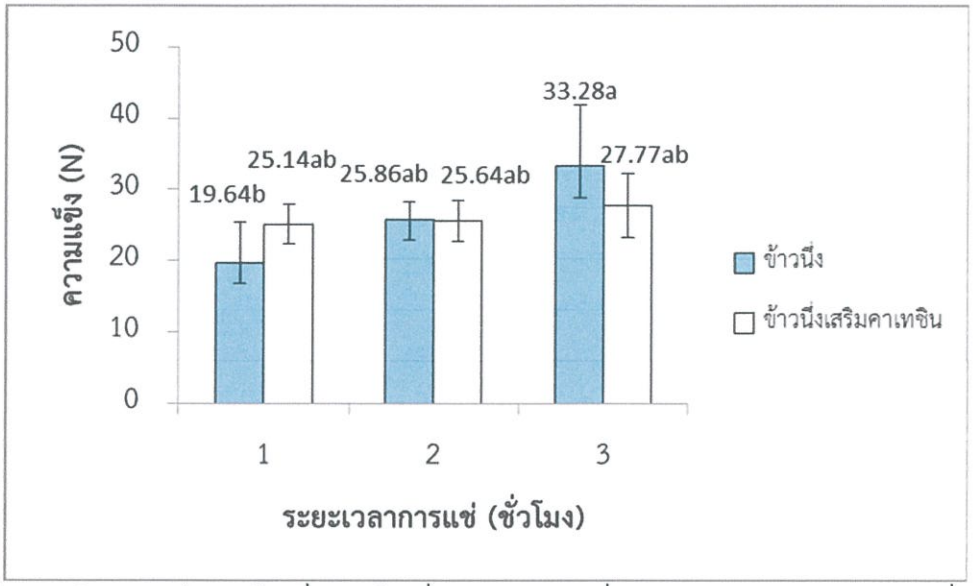
ระยะเวลาการแช่ข้าว	ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชิน (มิลลิโมลต่อลิตร)				
	0.61	1.23	2.45	4.90	9.80
1 ชั่วโมง	104.16±0.21a	151.76±0.21a	283.67±0.31b	488.29±0.52c	859.03±0.70d
2 ชั่วโมง	136.07±0.15a	183.73±0.21a	233.17±29.13b	629.47±0.55c	1255.32±0.90d
3 ชั่วโมง	103.84±0.15a	161.41±0.20a	242.12±10.28b	645.97±1.27c	1243.34±14.83d

*ค่าเฉลี่ยในแถวกันที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

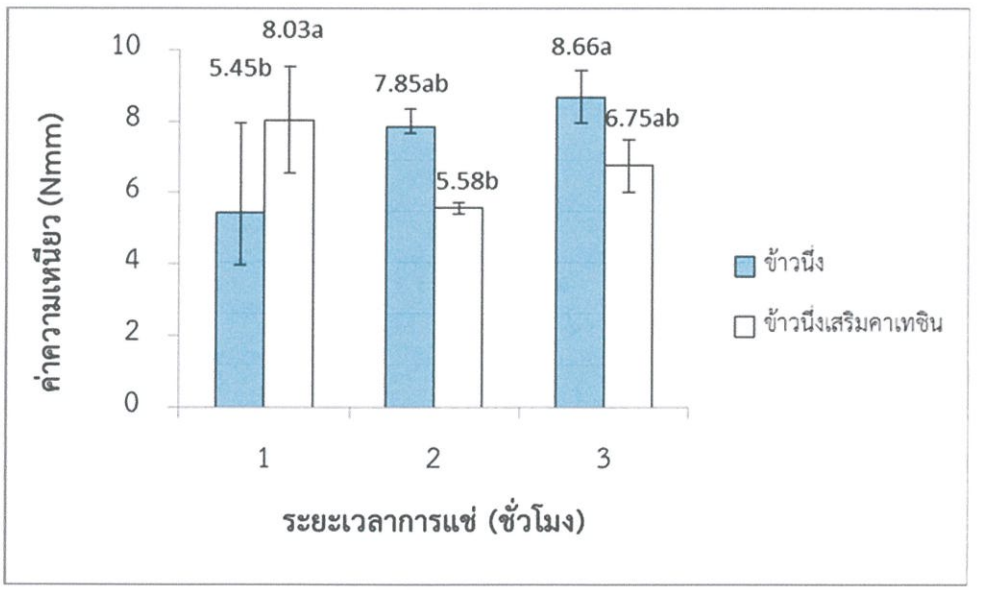
4.3 ผลการทดสอบเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัย

การทดสอบเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัย (Objective test) มีวัตถุประสงค์เพื่อการตรวจสอบสภาพเนื้อสัมผัสโดยเครื่องมือทดสอบทางกล (Texture Analyzer) โดยใช้หัววัดแบบหัวแบบวิธีผลักย้อนกลับ (Back Extrusion) และใช้โปรแกรม Texture Exponent version 5,1,1,0 โดยใช้ Macro แบบ BEสำหรับการวิเคราะห์ ในหัวข้อนี้ทำการเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัย 2 ส่วนคือ 1) เปรียบเทียบเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัยของข้าวนึ่งกับข้าวที่เสริมคาเทชินที่เวลาการแช่ต่างๆกัน และ 2) เปรียบเทียบเนื้อสัมผัสของข้าว 4 ชนิด คือ ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน โดยทั้ง 2 ส่วนได้ทำการเปรียบเทียบค่าเชิงวิสัย 2 ค่าคือ ความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Stickiness)

การทดสอบเบื้องต้นกับข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 4.3 และ 4.4 สำหรับผลของความแข็งและความเหนียวตามลำดับ จากภาพที่ 4.3 พบว่า ค่าความแข็งของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันมีค่าความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 สำหรับค่าความเหนียวแสดงในภาพที่ 4.4 พบว่าค่าความเหนียวของข้าวนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น และค่าความเหนียวของข้าวนึ่งเสริมคาเทชินมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น แต่ที่ระยะเวลาการแช่ 3ชั่วโมงข้าวมีความเหนียวกว่าที่ที่ระยะเวลาการแช่ 2ชั่วโมง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเหนียวของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน พบว่า ที่ระยะเวลาการแช่ 2 และ 3 ชั่วโมงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แต่ต่างกันที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 1 ชั่วโมง

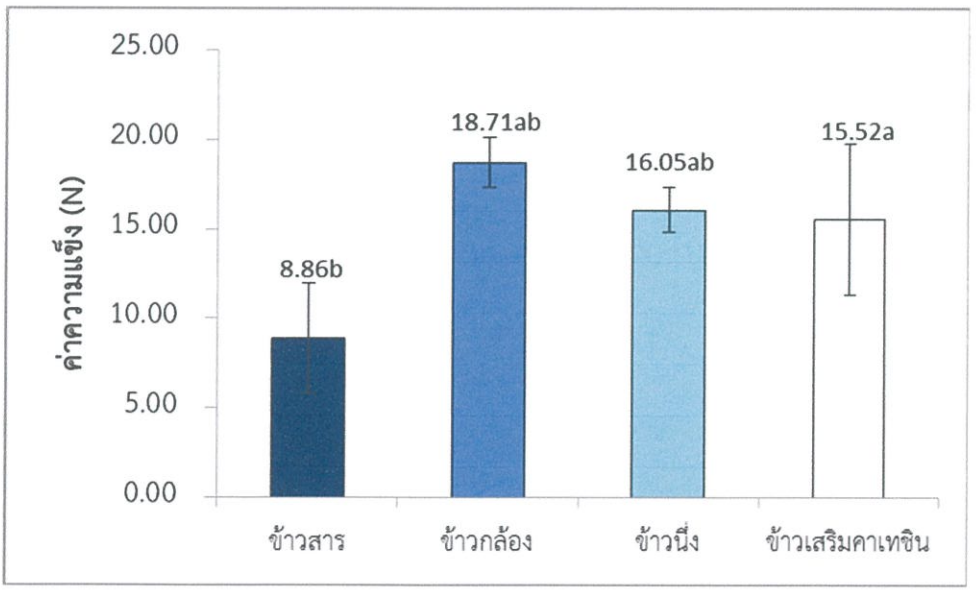


ภาพที่ 4.3 ค่าความแข็งของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

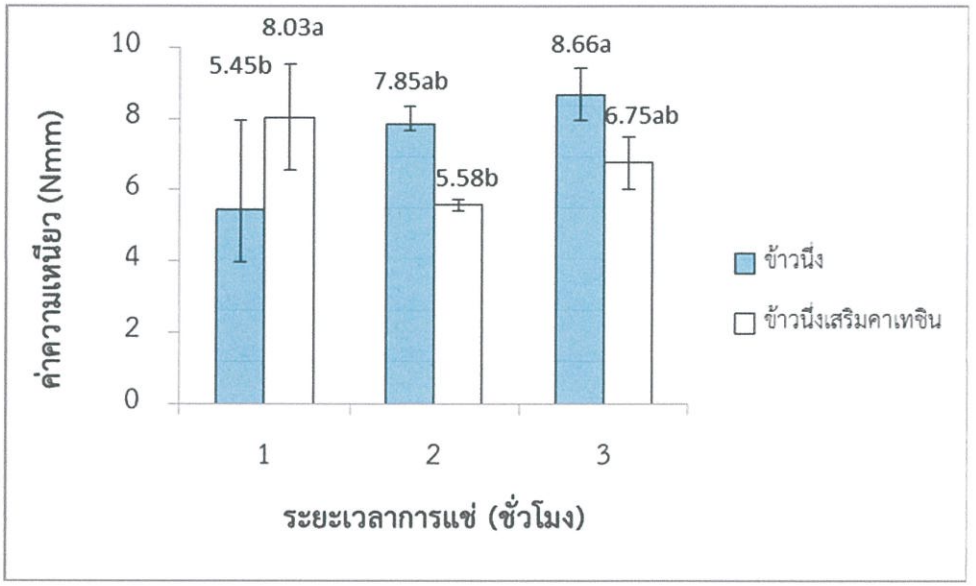


ภาพที่ 4.4 ค่าความเหนียวของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

สำหรับการเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสของข้าว 4 ชนิด คือ ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน พิจารณาเริ่มต้นที่ค่าความแข็งเป็นอันดับแรก สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสของข้าว 4 ชนิด คือ ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ซึ่งกดความแข็งคือแรงสูงสุด (N) ที่ใช้ในการกดที่ระยะ 99% strain โดยผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.5 ค่าความแข็งแรงคือค่าที่แรงต้านการกดของข้าวสูงสุด พบว่า ข้าวกล้องมีความแข็งมากที่สุดและข้าวสารมีความแข็งน้อยที่สุด และค่าความแข็งของข้าวกล้องแข็งกว่าข้าวนึ่งเสริมคาเทชินและข้าวนึ่งตามลำดับ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวทั้ง 4 ชนิดพบว่า ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แต่แตกต่างจากข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 และสำหรับค่าผลของค่าความเหนียว (N mm) ของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ซึ่งเป็นพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกับระยะทางระหว่างการกดข้าวสวยระยะ 99% strain แสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่า ข้าวกล้องมีความเหนียวมากที่สุกและข้าวสารมีความเหนียวน้อยที่สุด และค่าความเหนียวของข้าวกล้องมากกว่าข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ตามลำดับ ซึ่งข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แต่แตกต่างจากข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงในภาพที่ 4.6 นอกจากนี้ผลการทำลองนี้จะได้รับการยืนยัน จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.4 คือการทดสอบความพึงพอใจเนื้อสัมผัสของข้าวทั้ง 4 ชนิด เพื่อผู้บริโภคจะได้นิยมหรือยอมรับการซื้อ หรือบริโภคอาหารนั้น



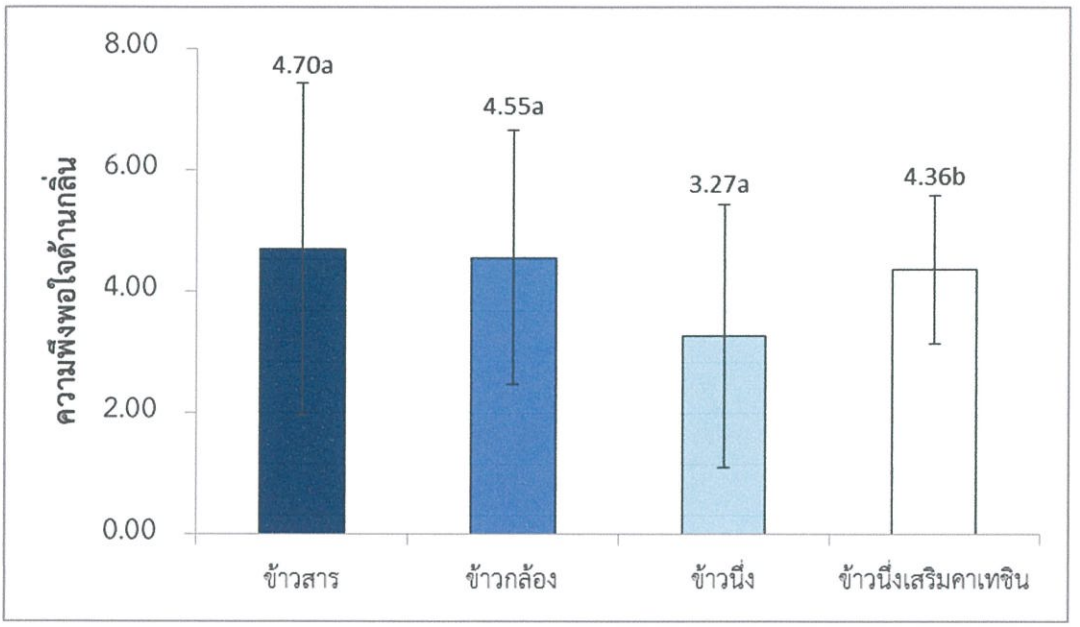
ภาพที่ 4.5 ค่าความแข็งของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)



ภาพที่ 4.6 ค่าความเหนียวของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

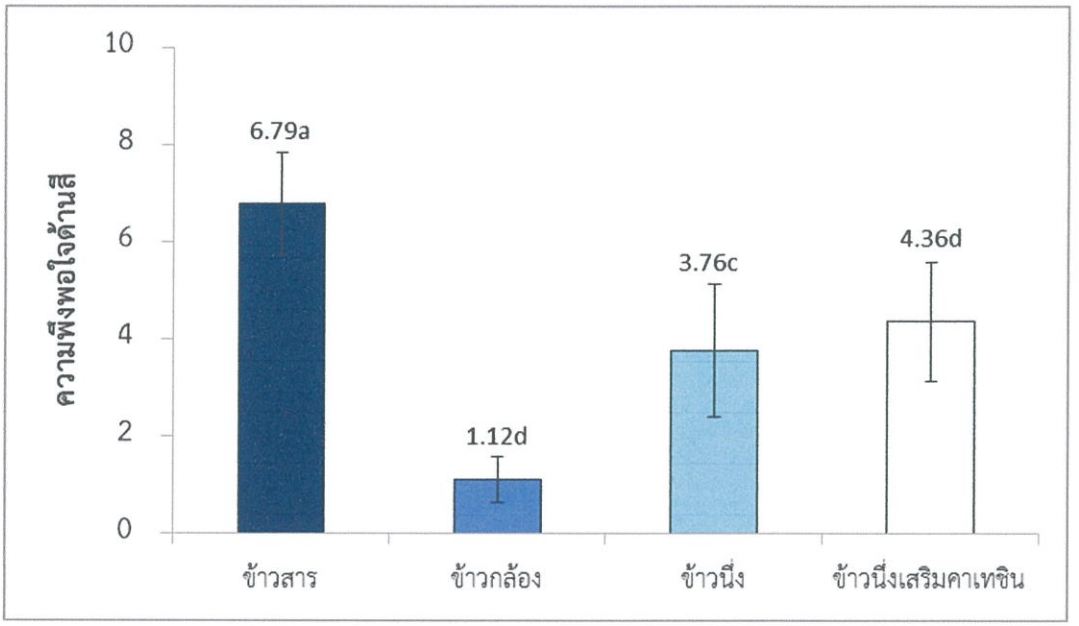
4.4 ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค

การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค ได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติของข้าว 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่งที่ระยะเวลาการแช่ 3 ชั่วโมง และข้าวนึ่งเสริมคาเทที่ระยะเวลาการแช่ 3 ชั่วโมง โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภคทดสอบคุณสมบัติ 6 ด้าน คือ กลิ่น สี ความแข็ง ความเหนียว การยึดติด และรสชาติ โดยให้คะแนนในช่วง 1 ถึง 7 คะแนน แสดงแบบสอบถามในภาคผนวก ง. จำนวนผู้ที่ได้ทำการทดสอบเท่ากับ 33คน ผลของความพึงพอใจด้านกลิ่นโดยพิจารณาจากการดมกลิ่นของข้าวทั้ง 4 ชนิด แสดงในภาพที่ 4.7 พบว่า กลิ่นของข้าวสารได้ความพึงพอใจมากที่สุดแสดงถึงข้าวสารมีความหอมมากที่สุดและกลิ่นของข้าวนึ่งได้ความพึงพอใจน้อยที่สุดแสดงถึงข้าวนึ่งหอมน้อยที่สุด ความพึงพอใจของข้าวสารมากกว่า ข้าวนึ่งเสริมคาเทชินและข้าวกล้อง ตามลำดับ แสดงถึง กลิ่นของข้าวสารหอมกว่ากลิ่นของข้าวนึ่งเสริมคาเทชินและข้าวกล้อง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านกลิ่น พบว่า ข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน มีความพึงพอใจด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แต่แตกต่างจากข้าวนึ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงถึง กลิ่นของข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน แต่แตกต่างจากกลิ่นของข้าวนึ่ง และเมื่อพิจารณาความถี่ในการให้คะแนน พบว่า ข้าวสารและข้าวกล้องมีความถี่ความพึงพอใจมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 7 คะแนน สำหรับข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินมีความถี่ความพึงพอใจมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 1 คะแนน แสดงในภาคผนวก จ



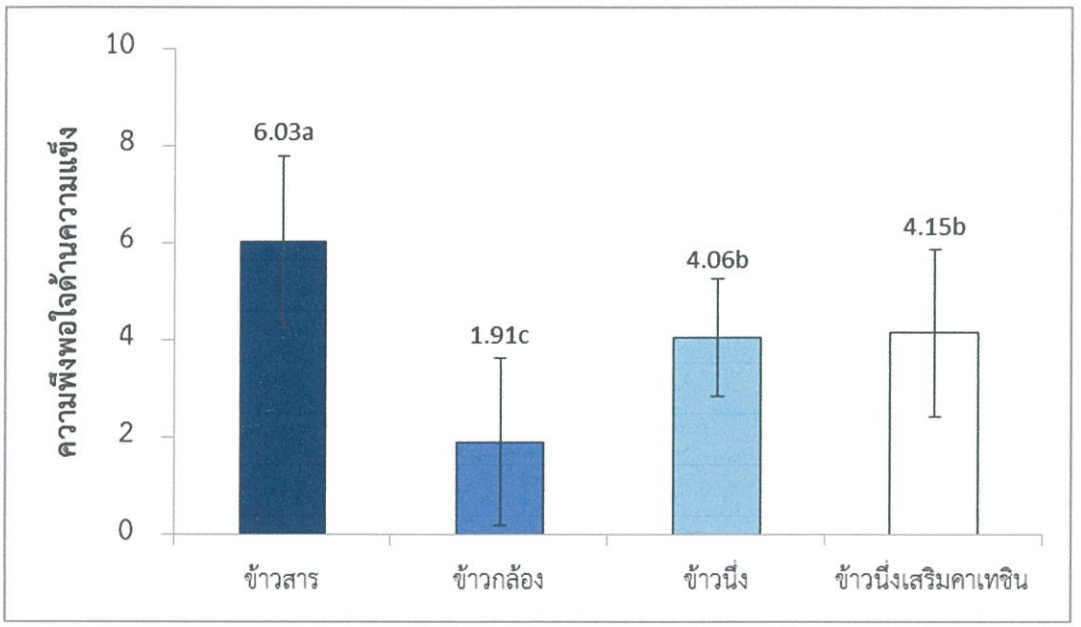
ภาพที่ 4.7 ค่าความพึงพอใจด้านกลิ่นของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

สำหรับความพึงพอใจด้านสีของข้าวเป็นตัวตัดสินในการยอมรับการบริโภค ดังนั้นการทดสอบความพึงพอใจด้านสีด้วยการมองสีของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวเสริมคาเทชิน แสดงในภาพที่ 4.8 ซึ่งพบว่า สีของข้าว 4 ชนิด ความพึงพอใจด้านสีของข้าวสารมีค่ามากที่สุดและสีของข้าวกล้องมีค่าต่ำที่สุด แสดงถึง ข้าวสารมีสีอ่อนที่สุด ข้าวสารมีสีอ่อนกว่าข้าวนึ่ง และข้าวเสริมคาเทชินตามลำดับ และข้าวกล้องมีสีเข้มที่สุด การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านกลิ่น พบว่า สีของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงถึง สีของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาความถี่ในการให้คะแนน พบว่า ข้าวสารมีความถี่ความพึงพอใจด้านสีมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 7 คะแนน ข้าวกล้องมีความถี่ความพึงพอใจด้านสีมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 1 คะแนน ข้าวนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านสีมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 3 คะแนน และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านสีมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 4 แสดงในภาคผนวก จ



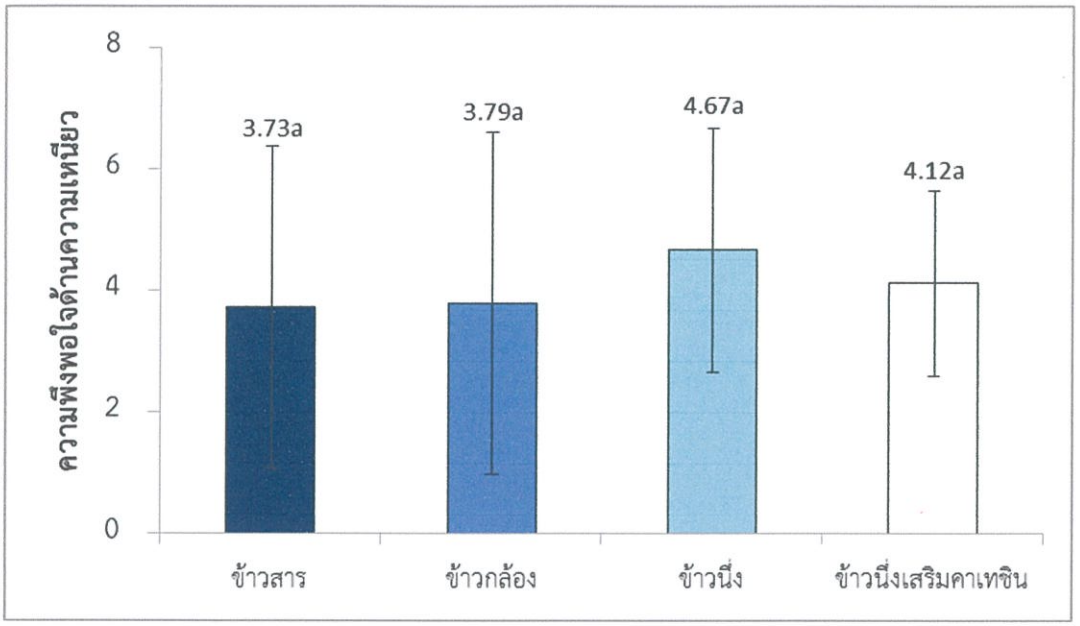
ภาพที่ 4.8 ค่าความพึงพอใจด้านสีของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

ส่วนการทดสอบความพึงพอใจผู้บริโภคด้านความแข็ง ซึ่งเป็นตัวชี้วัดคุณภาพการรับประทานอีกปัจจัยหนึ่ง โดยส่วนใหญ่ผู้บริโภคมักชื่นชอบข้าวที่มีความแข็งน้อย จากการทดสอบนำข้าววางไว้ระหว่างเพดานกับลิ้นแล้วกดแสดงในภาพที่ 4.9 พบว่า ความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวสารมากที่สุดและความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวกล้องน้อยที่สุด ความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวสารมากกว่าความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวนึ่งและความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ตามลำดับ แสดงถึง ข้าวสารมีความแข็งน้อยที่สุดและข้าวกล้องมีความแข็งมากที่สุด ข้าวสารมีความแข็งน้อยกว่าข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ตามลำดับ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านความแข็ง พบว่า ความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 ส่วนความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวขาวและข้าวกล้องแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงถึง ความแข็งของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากความแข็งของข้าวสารและข้าวกล้อง และเมื่อพิจารณาความถี่ในการให้คะแนน พบว่า ข้าวสารมีความถี่ความพึงพอใจด้านความแข็งมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 7 คะแนน ข้าวกล้องมีความถี่ความพึงพอใจด้านความแข็งมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 1 คะแนน ข้าวนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านความแข็งมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 3 คะแนน และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านความแข็งมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 5 แสดงในภาคผนวก จ



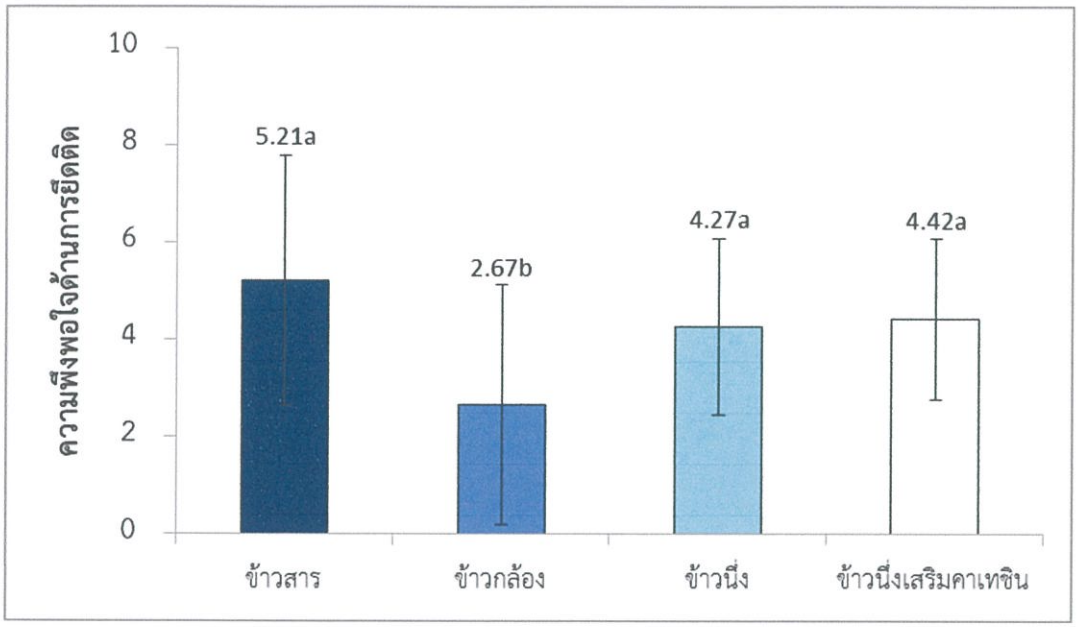
ภาพที่ 4.9 ค่าความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

สำหรับความพึงพอใจด้านความเหนียว เป็นอีกด้านหนึ่งที่ควรคำนึงถึงเช่นกัน ทดสอบโดยการนำข้าววางในปากแล้วทำให้เคลื่อนที่ระหว่างลิ้นกับเพดาน ระดับความเหนียวตัดสินจากระดับที่ต้องจัดการกับข้าวก่อนที่ข้าวจะแยกออกเป็นชิ้นๆ ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่4.10 พบว่า ความพึงพอใจด้านความเหนียวข้าวนึ่งมากที่สุดและความพึงพอใจด้านความเหนียวข้าวสารต่ำที่สุด ความพึงพอใจด้านความเหนียวข้าวนึ่งมากกว่าข้าวกล้องและข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ตามลำดับ แสดงถึง ข้าวนึ่งเหนียวที่สุดและข้าวสารเหนียวน้อยที่สุด ข้าวนึ่งมีความเหนียวมากกว่าข้าวกล้องและข้าวเสริมคาเทชินตามลำดับ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านความเหนียว พบว่า ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน มีความพึงพอใจด้านความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงถึง ความเหนียวของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาความถี่ในการให้คะแนน พบว่า ข้าวสารและข้าวกล้องมีความถี่ความพึงพอใจด้านความเหนียวมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 1 คะแนน ข้าวนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านความเหนียวมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 7 คะแนน และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านความเหนียวมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 4 แสดงในภาคผนวก จ



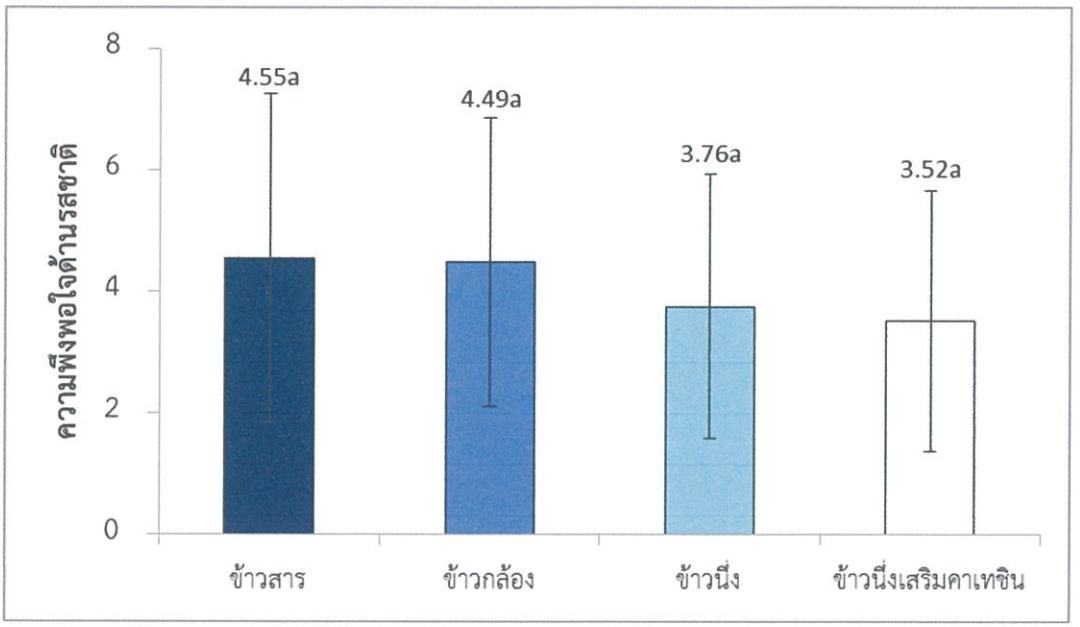
ภาพที่ 4.10 ค่าความพึงพอใจด้านความเหนียวของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

ส่วนความพึงพอใจด้านการยึดติด เป็นปริมาณแรงที่ต้องการแยกข้าวหุงสุกที่เหนียวติดปากขณะรับประทาน ซึ่งทดสอบโดยนำข้าววางไว้ในปากแล้วกดให้ติดเพดานด้วยลิ้น ระดับการยึดติดตัดสินจาก แรงที่ต้องการเอาออกจากเพดานด้วยลิ้น และผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.11 และผลการทดสอบพบว่า ความพึงพอใจด้านการยึดติดของข้าวสารมากที่สุดและความพึงพอใจด้านการยึดติดของข้าวกล้องต่ำที่สุด ความพึงพอใจด้านการยึดติดของข้าวสารมากกว่าความพึงพอใจด้านการยึดติดของข้าวกล้องและความพึงพอใจด้านการยึดติดของข้าวนึ่ง ตามลำดับ แสดงถึง ข้าวสารมีระดับการยึดติดมากที่สุดและข้าวกล้องมีระดับการยึดติดน้อยที่สุด ข้าวสารมีระดับการยึดติดมากกว่า ข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ตามลำดับ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านการยึดติด พบว่า ข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินมีความพึงพอใจด้านการยึดติดเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แต่แตกต่างจากข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงถึง ระดับการยึดติดของข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวเสริมคาเทชินที่เหมือนกัน แต่แตกต่างจากระดับการยึดติดของข้าวกล้อง และเมื่อพิจารณาความถี่ในการให้คะแนน พบว่า ข้าวสารมีความถี่ความพึงพอใจด้านการยึดติดมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 7 คะแนน ข้าวกล้องมีความถี่ความพึงพอใจด้านการยึดติดมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 1 คะแนน ข้าวนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านการยึดติดมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 5 และ 6 คะแนน และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านการยึดติดมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 3 แสดงในภาคผนวก จ



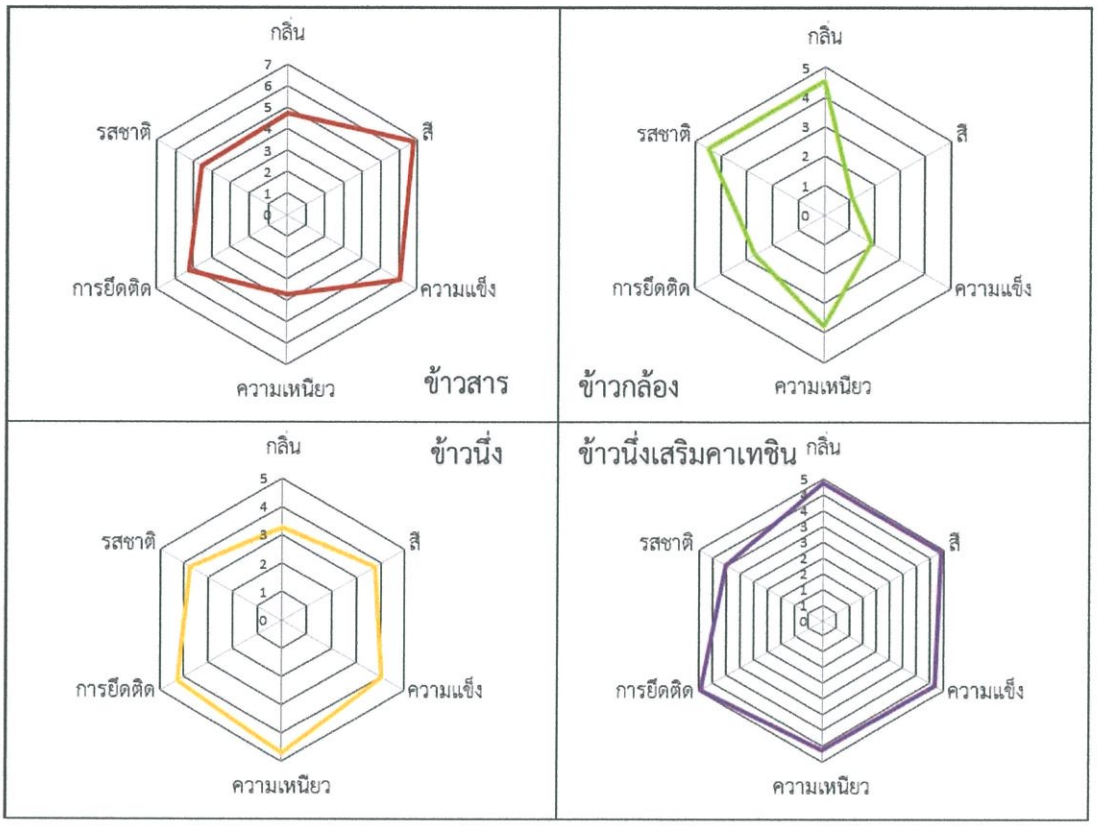
ภาพที่ 4.11 ความพึงพอใจด้านการยึดติดของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

การทดสอบความพึงพอใจด้านสุดท้ายคือการทดสอบความพึงพอใจด้านรสชาติ ซึ่งเป็นการออกแบบการทดสอบโดยความชอบในรสชาติเป็นการบูรณาการค่าชี้ผลทั้ง 5 ค่าที่อธิบายข้างต้น ซึ่งการ ทดสอบทำได้โดยนำข้าววางในปากทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที แล้วให้ผู้ทดสอบพิจารณาความพึงพอใจ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.12 และผลการทดสอบพบว่า ความพึงพอใจด้านรสชาติของข้าวสารมากที่สุดและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินต่ำที่สุด ความพึงพอใจด้านรสชาติของข้าวสารมากกว่าข้าวนึ่งและข้าวกล้องตามลำดับ แสดงถึง ข้าวสารมีรสชาติดีที่สุด รองลงมาคือข้าวกล้องและข้าวนึ่งตามลำดับ และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินมีรสชาติดีน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านรสชาติในทางสถิติแล้ว พบว่า ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินมีความพึงพอใจด้านรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 ซึ่งแสดงถึงรสชาติของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาความถี่ในการให้คะแนน พบว่า ข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านรสชาติมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 7 คะแนน และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินนึ่งมีความถี่ความพึงพอใจด้านรสชาติมากที่สุดคือที่ระดับคะแนน 1 และ 3 คะแนน แสดงในภาคผนวก จ

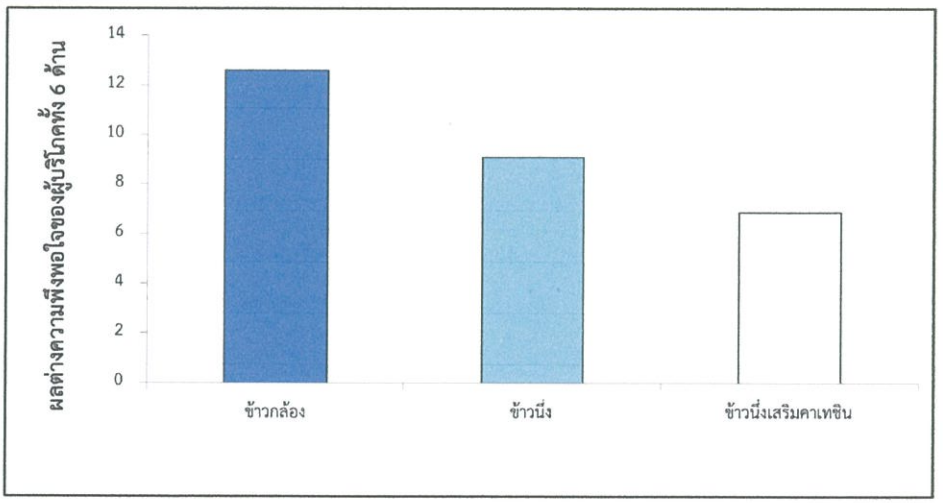


ภาพที่ 4.12 ค่าความพึงพอใจด้านรสชาติของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน ที่แต่ละบาร์แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคเป็นการรับประกันว่าสมบัติของข้าวนึ่งเสริมคาเทชินมีสมบัติไม่แตกต่างกับสมบัติของข้าวสาร ซึ่งพิจารณาจากผลรวมของคุณสมบัติทั้ง 6 ด้านของ ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเทียบกับคุณสมบัติทั้ง 6 ด้านของข้าวสาร แสดงในภาพที่ 4.13 เมื่อนำมาหาค่าผลรวมของผลต่างความพึงพอใจทั้ง 6 ด้าน พบว่า ข้าวนึ่งมีผลรวมความแตกต่างน้อยที่สุด รองลงมาคือ ข้าวนึ่ง และข้าวกล้อง จากผลการทดสอบความพึงพอใจ พบว่าแสดงถึง ข้าวนึ่งเสริมคาเทชินมีความพึงพอใจใกล้เคียงกับข้าวสารมากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวนึ่ง และข้าวกล้อง แสดงในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้บริโภคในสมบัติ ด้านกลิ่น ด้านสี ด้านความแข็ง ด้านความเหนียว ด้านการยึดติด และด้านรสชาติ ของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมค่าเทชิน



ภาพที่ 4.14 ค่าผลรวมของผลต่างความพึงพอใจของผู้บริโภคในสมบัติ ด้านกลิ่น ด้านสี ด้านความแข็ง ด้านความเหนียว ด้านการยึดติด และด้านรสชาติ ของข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเมื่อเทียบกับข้าวสาร

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาระยะเวลาในการแช่ต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวและระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุกในการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำด้วยกระบวนการทำข้าวนึ่ง ที่อุณหภูมิการแช่ข้าว 70 องศาเซลเซียส และทำการนึ่งที่ 90 องศาเซลเซียส โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ ผลการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหัก ผลการศึกษาการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก ผลการทดสอบเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัย และผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค ดังนั้นในบทนี้ได้นำเสนอในส่วนสรุปผลการวิจัยใน 3 ส่วนที่ได้กล่าวไปข้างต้น ทั้งนี้มีข้อเสนอแนะที่เพิ่มเติมได้นำมาเสนอในบทนี้เช่นกัน

5.1 สรุปผลการวิจัย

กระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำในเชิงของการลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าว ในการทดลองใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักเริ่มต้นเฉลี่ยของเมล็ดข้าวเท่ากับ 17.37% เมื่อนำข้าวเปลือกดังกล่าวมาผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่ง โดยแช่ในสารละลายคาเทชินที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการแช่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมงพบว่าระยะเวลาในการแช่ข้าวเป็นอีกปัจจัยที่ความสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวมีแนวโน้มลดลง และที่เวลาการแช่ข้าว 3 ชั่วโมง ที่ข้าวนึ่งและระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชิน 0.61, 1.23, 2.45, 4.80 และ 9.80 มิลลิโมลต่อลิตร ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวต่ำที่สุด เท่ากับ 6.85, 7.03, 6.96, 6.96, 6.78 และ 6.07% ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักลดลงจากข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่งประมาณ 10% และเมื่อพิจารณาถึงระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินที่ใช้ในการแช่ข้าว พบว่าไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว แต่ พบว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุกซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชิน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณคาเทชินที่แนะนำในการบริโภคนั้น (320mg/วัน) พบว่าควรใช้ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินในการแช่ข้าวเท่ากับ 2.62 มิลลิโมลต่อลิตร โดยไม่ต้องคำนึงถึงระยะเวลาในการแช่ข้าว แต่เพื่อให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพการสีดีขึ้นจึงใช้เวลาในการแช่ข้าว 3 ชั่วโมง เนื่องจากสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวที่ความเข้มข้นต่างๆเข้าสู่สภาวะสมดุลย์อย่างรวดเร็ว

สำหรับการทดสอบเนื้อสัมผัสข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่และความเข้มข้นของสารละลายดังกล่าวให้ค่าความแข็งและค่าความเหนียวไม่แตกต่างกันและยังให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวที่ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสกับข้าว 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน พบว่า ค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่มีความแตกต่างกัน แต่ข้าวกล้องแตกต่างจากข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับด้านการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคโดยทำการทดสอบสมบัติ 6 ด้านพบว่า ด้านกลิ่น ข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากข้าวนึ่ง, ด้านสี ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินแตกต่างกัน, ด้านความแข็ง ข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างจากข้าวกล้อง, ด้านความเหนียว ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่มีความแตกต่างกันด้านการยึดติด ข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างจากข้าวกล้อง และด้านสุดท้ายด้านรสชาติข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินไม่มีความแตกต่างกัน และพบว่าความพึงพอใจของผู้บริโภคเป็นการรับประกันว่าสมบัติของข้าวนึ่งเสริมคาเทชินมีสมบัติไม่แตกต่างกับสมบัติของข้าวสาร ซึ่งพิจารณาจากผลรวมของคุณสมบัติทั้ง 6 ด้านของ ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชินเทียบกับคุณสมบัติทั้ง 6 ด้านของข้าวสาร เมื่อนำมาหาค่าผลรวมของผลต่างความพึงพอใจทั้ง 6 ด้าน พบว่า ข้าวนึ่งมีผลรวมความแตกต่างน้อยที่สุด รองลงมาคือ ข้าวนึ่ง และข้าวกล้อง แสดงถึง ข้าวนึ่งมีความพึงพอใจใกล้เคียงกับข้าวสารมากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวนึ่ง และข้าวกล้อง

ในการทดลองการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำด้วยกระบวนการทำข้าวนึ่งกรณีเสริมสารคาเทชินในเมล็ดข้าว นอกจากจะให้คุณภาพข้าวที่ดีขึ้นแล้วยังให้คุณค่าทางโภชนาการที่มากขึ้น โดยสารคาเทชินเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย มีส่วนช่วยในการต้านสารอนุมูลอิสระ ข้าวนึ่งเสริมคาเทชินจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการบริโภคสารคาเทชิน ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวคุณภาพต่ำและเพื่อเป็นแนวทางในการส่งออกข้าวนึ่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำด้วยกระบวนการทำข้าวนึ่ง ในกรณีการเพิ่มสารคาเทชินในเมล็ดข้าวดังที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่งและผสมสารละลายคาเทชินที่ความเข้มข้น 2.62 มิลลิโมลต่อลิตร มีปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุกที่เหมาะสมในการบริโภค ดังนั้นเพื่อทำให้การศึกษาที่สมบูรณ์มากขึ้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติม มีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษากับพันธุ์ข้าวอื่นๆที่เหมาะสมกับการเพิ่มสารอาหารเข้าไป
2. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าวและในการนึ่งเพื่อลดเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวและลดระยะเวลาในการเพิ่มสารคาเทชินในเมล็ดข้าว
3. ศึกษาการเพิ่มสารอาหารชนิดอื่น ที่นอกเหนือจากสารคาเทชิน โดยใช้กระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นพื้นฐาน เพื่อเพิ่มคุณค่าสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายหรือสารอาหารที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น. 2558. **คุณภาพข้าว.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 29/01/2558] เข้าถึงได้จาก : http://kkn-rsc.ricethailand.go.th/rice/harvest/harvest-post-quality.html.

[2] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมข้าว.. 2558. **องค์ความรู้เรื่องข้าว.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 29/01/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.brrd.in.th/rkb/postharvest/index.php-file=content.php&id=6.htm.

[3] ผดุงศักดิ์ วานิชชัง. 2535. **การจัดการโรงสี.** ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตรศาสตร์บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

[4] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2008. **คุณค่าทางโภชนาการของข้าว.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 29/01/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577

[5] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2553. **ข้าวนึ่ง.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 29/01/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1079/parboiled-rice

[6] Oli, P., Ward, R., Adhikari, B., Torley, P. 2014. "Parboiled rice: Understanding from a materials science apporoach," **Journal of Food Engineer.** Vol.124. pp. 173-183.

[7] Rice Knowledge Bank. 2558. **Heated air drying and low-temperature drying.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 29/01/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/postharvest-management/drying-factsheet-category/heated-air-drying-and-low-temperature-drying-fact-sheet

[8] ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, และสมนึก ชูศิลป์. 2554. "การศึกษาความแข็งของเมล็ดข้าวหอมมะลิที่อุณหภูมิห้องแตกต่างกัน." หน้า. 351-359. ใน **การประชุมวิชาการ ประจำปี 2544 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.** มหาวิทยาลัยขอนแก่น..

[9] ไทยรัฐออนไลน์ 2557. **คุณประโยชน์ของคาเทชิน.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 29/01/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.thairath.co.th/content/402394.

[10] สุพรรณิการ์ กิจสวัสดิ์ไพบูลย์. 2558. **คาเฟอีนในเครื่องดื่มใกล้ตัว.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 2/02/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.pharmacy.cmu.ac.th/dic/newsletter/newpdf/newsletter10_4/cafeine.

[11] การจัดการความรู้. 2551. **คาเฟอีน มหันตภัยใกล้ตัวคุณ.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 2/02/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.academic.hcu.ac.th/forum/board_posts.asp?FID=327 เข้าดูเมื่อ 27/01/2558

[12] เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2536. "คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ดข้าว." หน้า. 1-53. ใน **การบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว.** กรุงเทพฯ : ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[13] WABSANOM. 2550. **พันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 2/02/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.websanom.com/sanom_info_rice_thailand_02.php

[14] อังคณา เหลืองศิโรรัตน์ และเครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2539. "เรื่องข้าวเมล็ดข้าว." หน้า. 149-155. ใน **ข้าว: ความรู้คู่ชาวนา เอกสารวิชาการครบรอบ 80 ปี** กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[15] สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว. 2558. **คุณสมบัติทางกายภาพของข้าว.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 2/02/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.riceproduct.org

[16] สำนักงานวิจัยและพัฒนากรมการข้าว. 2558. **ข้าวท้องไข่**. [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 2/02/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.brrd.in.th/rkb/postharvest/index.php-file=content.php&id=6.htm

[17] งามชื่น คงเสรี. 2531. "คุณภาพการหุงต้มรับประทานและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง." หน้า. 94-101. ใน **การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับธุรกิจโรงสีธุรกิจโรงสี.** กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยข้าว กรมการเกษตร

[18] เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534. **คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด.** กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยปทุมธานี สถาบันข้าวกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[19] ลินดา พงศ์พาสุข. 2537. "การผลิตข้าวเคลือบกลิ่นหอม." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

[20] งามชื่น คงเสรี. 2545. "คุณภาพข้าวสวย." หน้า. 11-30. ใน **คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[21] Desikachar, H.S.R. and Subrahmanyan. 1959. "Expansion of new and old rice during cooking." **Cereal chemistry.** Vol.26. pp.385-391.

[22] วินิต ชินสุวรรณ สุเนตรโม่งปราณี และณรงค์ ปัญญา. 2540. 4 กรกฎาคม- สิงหาคม. "ระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้เครื่องนวดข้าวหอมมะลิ." **หนังสือพิมพ์ กสิกร.** หน้า. 91.

[23] สมชาย ชวนอุดม. 2552. "ความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิ โดยใช้แรงงานคนในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้." **ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.** ปีที่ 8(1). หน้า. 7-8.

[24] สมชาย ชวนอุดม. 2543. "ความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิโดยใช้แรงงานคนและใช้เครื่องเกี่ยวนวด." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องจักรกลการเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[25] เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2531. "คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและมาตรฐานข้าว." หน้า.60- 76. ใน **การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี** กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[26] งามชื่น คงเสรี. 2547. "มาตรฐานข้าว" หน้า. 75-83. **คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[27] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2557. **ข้าวกล้อง.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 2/02/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2203/brown-rice

[28] สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2541. **วิตามินและแร่ธาตุที่ได้จากข้าวกล้อง.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 20/05/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.ricethailand.go.th

[29] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). 2553. **เครื่องสำอางจากข้าว.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 20/05/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.arda.or.th/easyknowledge/easy-articles-detail.php?id=50

[30] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). 2558. **เครื่องสำอางจากข้าวสี.** [Online]. [อ้างถึงเมื่อ 20/05/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.arda.or.th/research02-02.php

[31] อรอนงค์ นัยวิกุล. 2544. "ผลิตภัณฑ์ข้าวไทย: จากอดีตถึงปัจจุบันสู่อนาคต." **วารสารอาหารและยา** ปีที่8(3). หน้า. 70-74.

[32] Cakmak, I. 2008. "Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?." **Plant and Soil**. Vol.302. pp.1–17.

[33] Mollah, M.Z., Talukder, N.M., Islam, M.N., Rahman, M.A. and Ferdous, Z. 2010. "Residual Effect of Nutrients Content in Rice as Influenced by Zinc Fertilization." **World Journal of Agricultural Sciences.** Vol.6 (1). pp.105-109.

[34] Fang, Y., Wang, L., Xin, z., An, X. and Hu, Q. 2008. "Effect of Foliar Application of Zinc, Selenium, and Iron Fertilizers on Nutrients Concentration and Yield of Rice Grain in China." **Agric. Food Chem**. Vol.56(6). pp 2079–2084.

[35] Science and Technology. 2550. เคลือบข้าวสารด้วยธาตุเหล็ก- สังกะสี-ไอโอดีน [Online] [อ้างถึงเมื่อ 22/02/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9500000026958

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[36] Mridula, D., Sahay, D., Gupta, R.K., and Goswami, D. 2015. "Development of biopolymer coated calcium fortified rice using spraying and soaking methods." **LWT-Food Science and Technology.** Vol.61(1). pp.209-215.

[37] Kyritsia, A., Tziaa, C. and Karathanosb, V.T. 2010. "Vitamin fortified rice grain using spraying and soaking methods." **LWT-Food Science and Technology.** Vol.44(1). pp.312–320.

[38] Bakshi, A.S. and Singh, R.P. 1980. "Kinetics of water diffusion and starch gelatinization during rice parboiling." **Journal of Food Science.** Vol.45(5). pp.1387–1392.

[39] Delcour, J.A. and Hoseney, R.C. 2010. **Principles of Cereal Science and Technology.** 3th ed. Minnesota. AACC International.

[40] Bhattacharya, K.R. 1979. "Gelatinization temperature of rice starch and its determination. In: Chemical Aspects of Rice Grain Quality." **International Rice Research Institute**. Los Banos Laguna Philippines.

[41] Bhattacharya, K.R. 2011. **Rice Quality.** 1st ed. Cambridge, UK. Woodhead.

[42] Amornsin, A. 2003. "Properties of waxy rice starch and rice grain: process development for an instant waxy rice product". The University of Georgia, Athens, Georgia.

[43] Prom-u-thai, C., Fukai, S., Godwi, I.D., Rerkasem, B. and Huang, L. 2008. "Iron-fortified parboiled rice – A novel solution to high iron density in rice-based diets." **Food Chemistry**. Vol.110. pp. 390-398

[44] Prom-u-thai, C., Rerkasem, B., Cakmak, I. and Huang, L. 2010 "Zinc fortification of whole rice grain through parboiling process". **Food Chemistry**. Vol.120. pp. 858-863

[45] Kama, K., Arcota, J. and Wardb R. 2012. "Fortification of rice with folic acid using parboiling technique: Effect of parboiling conditions on nutrient uptake and physical characteristics of milled rice." **Journal of Cereal Science.** Vol.56(3). pp. 587–594

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[46] นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. 2547. "การศึกษากระบวนการสกัด คุณสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ และสารต้านอนุมูลอิสระของคาเทชินจากชาเขียวไทย."สาขาเทคโนโลยีอาหาร ภาคเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

[47] สถาบันชา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 2558. **องค์ประกอบทางเคมีในใบชาสด** [Online} [อ้างถึงเมื่อ 22/05/2558] เข้าถึงได้จาก : http://teainstitutemfu.com/main/blog/องค์ประกอบทางเคมี/

[48] Mugen Green tea. 2558. **คุณประโยชน์จากคาเทชินด** [Online} [อ้างถึงเมื่อ 22/05/2558] เข้าถึงได้จาก : http://www.mugengreentea.com/#!benefit/cnlp

[49] Jorg-Peter Conzen. 2006. **Multivariate Calibration. A practical guide for developing methods in the quantitative analytical chemistry.** โดย ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, รวิภัทร ลาภเจริญสุข, กรรณพต แก้วสอน, พนนนท์ อ่อนไสว, บัณฑิต ทองสร้อย, นัฐกรณ์ สอนสงวน, สมชาย กลัดสุข, ศิวดล รัตนโอภา, อภิชาต ผิวสม และกิ่งดาว ชนะโชติ. http://www.nirsresearch.com

[50] สมชาย กลัดสุข. 2556. "การประเมินสมบัติเชิงความแข็งของข้าวในโรงงานปรับปรุงคุณภาพข้าวโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปี. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[51] วิไลลักษณ์ ทองปั้น. 2546. "ความพึงพอใจและพฤติกรรมในการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อความงามของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร." บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[52] นพพร ราชูโส และพงษ์ภักดิ์ พิมพาเลีย. 2555. "การศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภค กรณีศึกษา : กลุ่มผลิตภัณฑ์สินค้า OTOP ปลาร้าท่าตูม." สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

[53] ชูศักดิ์ ประภาสวัสดิ์, สุเทพ เหลาทอง, อำนวย เลี้ยวธารากุล, ประสิทธิ์ รัตนชวานนท์, ชัชวาล ประเสริฐ และดรุณี โสภา. 2556. "ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อเนื้อไก่พื้นเมืองไทย (ชีท่าพระ)." **KHON KAEN AGR.** Vol.41(1) pp.415-419.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

ความเข้มข้น	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ข้าวเปลือก (กรัม)	ข้าวกล้อง (กรัม)	ข้าวสาร (กรัม)	ข้าวเต็มเมล็ด (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว
ข้าวปกติ		1	300	276.21	264.87	211.87	17.67
		2	300	277.01	264.87	211.88	17.66
		3	300	277.03	263.74	213.42	16.77
0.00 mM/L	1	1	300	276.41	266.35	233.42	10.98
		2	300	278.31	266.38	233.43	10.98
		3	300	278.32	266.89	233.26	11.21
0.00 mM/L	2	1	300	278.41	266.54	241.13	8.47
		2	300	277.02	266.76	241.09	8.56
		3	300	277.12	268.35	241.03	9.11
0.00 mM/L	3	1	300	278.32	267.32	246.63	6.90
		2	300	279.21	267.76	247.15	6.87
		3	300	279.23	267.32	246.95	6.79
0.61 mMol/L	1	1	300	276.54	267.45	231.43	12.01
		2	300	278.12	266.98	231.14	11.95
		3	300	276.52	267.42	230.43	12.33
0.61 mMol/L	2	1	300	277.14	267.57	241.43	8.71
		2	300	278.01	268.02	241.43	8.86
		3	300	278.03	268.32	241.67	8.88
0.61 mMol/L	3	1	300	276.12	267.87	246.67	7.07
		2	300	277.11	268.68	246.68	7.33
		3	300	277.13	267.87	247.82	6.68

ความเข้มข้น	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ข้าวเปลือก (กรัม)	ข้าวกล้อง (กรัม)	ข้าวสาร (กรัม)	ข้าวเต็มเมล็ด (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว
1.23 mMol/L	1	1	300	276.54	266.54	231.82	11.57
		2	300	276.54	267.02	231.83	11.73
		3	300	277.30	267.01	230.82	12.06
1.23 mMol/L		1	300	277.13	268.11	241.82	8.76
		2	300	278.12	267.85	241.81	8.68
		3		278.23	267.32	241.88	8.48
1.23 mMol/L	3	1	300	276.98	267.32	246.88	6.81
		2	300	276.81	268.75	246.88	7.29
		3	300	277.03	268.54	248.22	6.77
2.45 mMol/L	1	1	300	278.41	268.01	232.24	11.92
		2	300	276.98	267.22	232.24	11.66
		3	300	277.14	266.98	230.91	12.02
2.45 mMol/L	2	1	300	278.55	266.98	241.91	8.36
		2	300	276.19	267.02	241.91	8.37
		3	300	278.26	266.86	242.08	8.26
2.45 mMol/L	3	1	300	277.45	268.11	247.08	7.01
		2	300	277.45	268.2	247.06	7.05
		3	300	276.02	268.45	247.98	6.82
4.90 mMol/L	1	1	300	276.44	268.75	231.98	12.26
		2	300	278.02	267.98	231.97	12.00
		3	300	277.65	269.04	230.93	12.70

ความเข้มข้น	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ข้าวเปลือก (กรัม)	ข้าวกล้อง (กรัม)	ข้าวสาร (กรัม)	ข้าวเต็มเมล็ด (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว
4.90 mMol/L	2	1	300	277.63	267.86	241.93	8.64
		2	300	278.15	266.93	241.91	8.34
		3	300	276.98	268.45	242.21	8.75
4.90 mMol/L	3	1	300	276.96	267.95	247.21	6.91
		2	300	278.01	266.36	247.21	6.38
		3	300	277.33	269.02	247.88	7.05
9.80 mMol/L	1	1	300	277.45	268.45	231.87	12.19
		2	300	278.12	267.46	231.88	11.86
		3	300	278.13	268.51	230.91	12.53
9.80 mMol/L	2	1	300	279.10	269.04	242.21	8.94
		2	300	278.59	266.86	242.21	8.22
		3	300	278.61	267.39	242.21	8.39
9.80 mMol/L	3	1	300	277.45	269.12	253.88	5.08
		2	300	277.54	267.56	247.87	6.56
		3	300	278.14	267.55	247.88	6.56

ภาคผนวก ข

มาตรฐานข้าวขาว

ชั้นคุณภาพข้าวขาว	พื้นข้าว (%)				ส่วนผสม (%)					ส่วนของต้นข้าว	ส่วนของข้าวหัก	ข้าวและวัตถุอื่นที่อาจมีปนได้ไม่เกิน (%)							ระดับการสี
	เมล็ดยาว			เมล็ดสั้น (ไม่เกิน 6.2 mm)	ข้าวเต็มเมล็ด	ต้นข้าว	ข้าวหักและปลายข้าว C1					เมล็ดแดงและ/หรือเมล็ดสีต่ำกว่ามาตรฐาน (%)	เมล็ดเหลือง (%)	ท้องไข่ (%)	เมล็ดเสีย (%)	ข้าวเหนียวขาว (%)	เมล็ดสีบเมล็ดอ่อนวัตถุอื่น (%)	ข้าวเปลือก (เมล็ด/กก.)	
	ชั้น 1 (เกิน 7.0 mm)	ชั้น 2 (เกิน 6.6 ถึง 7.0 mm)	ชั้น 3 (เกิน 6.2 ถึง 6.6 mm)				รวม	ข้าวหักที่มีความยาวต่ำกว่าก้าหนดและไม่ผ่านตะแกรง No. 7	ปลายข้าว C1										
100%	≥40.0	-	-	≤5.0	≥50.0	-	≤4.5	≤0.5	≤ 0.1	≥8.0	≥5.0 ถึง<8.0	0	0.2	6.0	0.25	1.5	0.2	7	สีดีพิเศษ
5%	≥20.0	-	-	≤10.0	≥50.0	-	≤7.0	≤0.5	≤ 0.1	≥7.5	≥3.5 ถึง<7.5	2.0	0.5	6.0	0.25	1.5	0.3	10	สีดี
10%	≥10.0	-	-	≤15.0	≥55.0	-	≤12.0	≤0.7	≤ 0.3	≥7.0	≥3.5 ถึง<7.0	2.0	1.0	7.0	0.5	1.5	0.4	15	สีดี
15%	≥5.0	-	-	≤30.0	≥55.0	-	≤17.0	≤2.0	≤ 0.5	≥6.5	≥3.0 ถึง<6.5	5.0	1.0	7.0	1.0	2.0	0.4	15	สีดีปานกลาง

ภาพที่ ข.1 ตารางมาตรฐานข้าวขาว

ชั้นคุณภาพข้าวหัก	พื้นข้าวที่ได้จากการสีข้าวขาว	ส่วนผสม (%)						ข้าวและวัตถุอื่นที่อาจมีปนได้ไม่เกิน (%)		
		ข้าวเต็มเมล็ด	ข้าวเต็มเมล็ดรวมกับ ข้าวหักที่มีความยาว ≥6.5 ส่วน	ข้าวหักที่มีความยาว ≥5.0 ส่วน	ข้าวหักที่มีความยาว <6.5 ส่วนและไม่ผ่านตะแกรง No. 7	ข้าวหักที่มีความยาว <5.0 ส่วนและไม่ผ่านตะแกรง No. 7	ปลายข้าว C1	ข้าวเหนียวขาว		วัตถุอื่น
								ทั้งหมด (รวมปลายข้าว C1)	ปลายข้าว C1	
A 1 เลิศพิเศษ	100%	≤15	-	≥74.0	-	≤10	≤1.0	1.5	0.5	0.5
A1 เลิศ	100%, 5%, 10%	-	≤15.0	-	≥80.0	-	≤5.0	1.5	0.5	0.5

ภาพที่ ข.2 ตารางมาตรฐานข้าวขาวหัก

ภาคผนวก ค

ปริมาณสารคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลปริมาณสารคาเทชินในเมล็ดข้าวหุงสุก

ความเข้มข้น (mM/L)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ปริมาณคาเทชินที่ตรวจสอบ (mM/L)	ความชื้น %wb	น้ำหนักข้าวเปียก กรัม	น้ำหนักข้าวแห้ง กรัม	น้ำหนักน้ำในข้าว กรัม	ปริมาณสารคาเทชิน มิลลิกรัม	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าวแห้ง(g)	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าว 267 (g)
0.61	1	1	0.33	13	10	8.85	1.15	1.56	0.18	94.05
0.61	1	2	0.33	13	10	8.85	1.15	1.56	0.18	93.99
0.61	1	3	0.33	13	10	8.85	1.15	1.56	0.18	94.23
0.61	1	4	0.33	13	10	8.85	1.15	1.57	0.18	94.52
0.61	1	5	0.33	13	10	8.85	1.15	1.56	0.18	94.11
0.61	2	1	0.5	14	10	8.77	1.23	2.36	0.27	143.96
0.61	2	2	0.5	14	10	8.77	1.23	2.36	0.27	143.96
0.61	2	3	0.5	14	10	8.77	1.23	2.37	0.27	144.02
0.61	2	4	0.5	14	10	8.77	1.23	2.37	0.27	144.25
0.61	2	5	0.5	14	10	8.77	1.23	2.37	0.27	144.25

ความเข้มข้น (mM/L)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ปริมาณคาเทชินที่ตรวจสอบ (mM/L)	ความชื้น %wb	น้ำหนักข้าวเปียก กรัม	น้ำหนักข้าวแห้ง กรัม	น้ำหนักน้ำในข้าว กรัม	ปริมาณสารคาเทชิน มิลลิกรัม	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าวแห้ง(g)	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าว 267 (g)
0.61	3	1	0.36	13.5	10	8.81	1.19	1.71	0.19	103.88
0.61	3	2	0.36	13.5	10	8.81	1.19	1.71	0.19	103.59
0.61	3	3	0.36	13.5	10	8.81	1.19	1.71	0.19	103.94
0.61	3	4	0.36	13.5	10	8.81	1.19	1.71	0.19	103.88
0.61	3	5	0.36	13.5	10	8.81	1.19	1.71	0.19	103.94
1.23	1	1	0.51	13	10	8.85	1.15	2.38	0.27	143.77
1.23	1	2	0.51	13	10	8.85	1.15	2.38	0.27	143.83
1.23	1	3	0.51	13	10	8.85	1.15	2.38	0.27	143.43
1.23	1	4	0.51	13	10	8.85	1.15	2.38	0.27	143.43
1.23	1	5	0.51	13	10	8.85	1.15	2.38	0.27	143.43

ความเข้มข้น (mM/L)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ปริมาณคาเทชินที่ตรวจสอบ (mM/L)	ความชื้น %wb	น้ำหนักข้าวเปียก กรัม	น้ำหนักข้าวแห้ง กรัม	น้ำหนักน้ำในข้าว กรัม	ปริมาณสารคาเทชิน มิลลิกรัม	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าวแห้ง(g)	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าว 267 (g)
1.23	2	1	0.64	14	10	8.77	1.23	3.03	0.35	184.68
1.23	2	2	0.64	14	10	8.77	1.23	3.04	0.35	184.82
1.23	2	3	0.65	14	10	8.77	1.23	3.04	0.35	185.16
1.23	2	4	0.65	14	10	8.77	1.23	3.04	0.35	185.03
1.23	2	5	0.65	14	10	8.77	1.23	3.04	0.35	185.16
1.23	3	1	0.61	15	10	8.7	1.3	2.91	0.33	178.46
1.23	3	2	0.61	15	10	8.7	1.3	2.9	0.33	178.25
1.23	3	3	0.61	15	10	8.7	1.3	2.9	0.33	178.11
1.23	3	4	0.61	15	10	8.7	1.3	2.91	0.33	178.53
1.23	3	5	0.61	15	10	8.7	1.3	2.9	0.33	178.11

ความเข้มข้น (mM/L)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ปริมาณคาเทชินที่ตรวจสอบ (mM/L)	ความชื้น %wb	น้ำหนักข้าวเปียก กรัม	น้ำหนักข้าวแห้ง กรัม	น้ำหนักน้ำในข้าว กรัม	ปริมาณสารคาเทชิน มิลลิกรัม	ปริมาณคาเทชิน (mg) ต่อข้าวแห้ง(g)	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าว 267 (g)
2.45	1	1	1	13	10	8.85	1.15	4.71	0.53	283.99
2.45	1	2	1	13	10	8.85	1.15	4.7	0.53	283.88
2.45	1	3	1	13	10	8.85	1.15	4.69	0.53	283.19
2.45	1	4	1	13	10	8.85	1.15	4.7	0.53	283.65
2.45	1	5	1	13	10	8.85	1.15	4.7	0.53	283.65
2.45	2	1	0.85	14	10	8.77	1.23	4.02	0.46	244.54
2.45	2	2	0.85	14	10	8.77	1.23	4.01	0.46	243.96
2.45	2	3	0.85	14	10	8.77	1.23	4.01	0.46	243.96
2.45	2	4	0.85	14	10	8.77	1.23	4.01	0.46	243.85
2.45	2	1	0.63	13.5	10	8.81	1.19	2.95	0.34	178.95

ความเข้มข้น (mM/L)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ปริมาณคาเทชินที่ตรวจสอบ (mM/L)	ความชื้น %wb	น้ำหนักข้าวเปียก กรัม	น้ำหนักข้าวแห้ง กรัม	น้ำหนักน้ำในข้าว กรัม	ปริมาณสารคาเทชิน มิลลิกรัม	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าวแห้ง(g)	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าว 267 (g)
2.45	3	5	0.85	14	10	8.77	1.23	4	0.46	243.73
2.45	3	2	0.94	13.5	10	8.81	1.19	4.4	0.5	266.54
2.45	3	3	0.94	13.5	10	8.81	1.19	4.41	0.5	266.99
2.45	3	4	0.94	13.5	10	8.81	1.19	4.4	0.5	266.65
2.45	3	5	0.94	13.5	10	8.81	1.19	4.4	0.5	266.65
4.9	1	1	1.73	13	10	8.85	1.15	8.09	0.91	488.07
4.9	1	2	1.72	13	10	8.85	1.15	8.08	0.91	487.84
4.9	1	3	1.73	13	10	8.85	1.15	8.1	0.92	488.74
4.9	1	4	1.73	13	10	8.85	1.15	8.1	0.92	488.96
4.9	1	5	1.72	13	10	8.85	1.15	8.08	0.91	487.84

ความเข้มข้น (mM/L)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ปริมาณคาเทชินที่ตรวจสอบ (mM/L)	ความชื้น %wb	น้ำหนักข้าวเปียก กรัม	น้ำหนักข้าวแห้ง กรัม	น้ำหนักน้ำในข้าว กรัม	ปริมาณสารคาเทชิน มิลลิกรัม	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าวแห้ง(g)	ปริมาณคาเชิน(mg) ต่อข้าว 267 (g)
4.9	2	1	2.19	14	10	8.77	1.23	10.33	1.18	629.15
4.9	2	2	2.19	14	10	8.77	1.23	10.33	1.18	629.15
4.9	2	3	2.19	14	10	8.77	1.23	10.33	1.18	628.92
4.9	2	4	2.2	14	10	8.77	1.23	10.35	1.18	630.06
4.9	3	5	2.2	14	10	8.77	1.23	10.35	1.18	630.06
4.9	2	1	2.27	13.5	10	8.81	1.19	10.68	1.21	647.18
4.9	3	2	2.26	13.5	10	8.81	1.19	10.63	1.21	644.48
4.9	3	3	2.27	13.5	10	8.81	1.19	10.67	1.21	646.73
4.9	3	4	2.27	13.5	10	8.81	1.19	10.67	1.21	646.73
4.9	3	5	2.26	13.5	10	8.81	1.19	10.64	1.21	644.71

ความเข้มข้น (mM/L)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ปริมาณคาเทชินที่ตรวจสอบ (mM/L)	ความชื้น %wb	น้ำหนักข้าวเปียก กรัม	น้ำหนักข้าวแห้ง กรัม	น้ำหนักน้ำในข้าว กรัม	ปริมาณสารคาเทชิน มิลลิกรัม	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าวแห้ง(g)	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าว 267 (g)
9.78	1	1	3.04	13	10	8.85	1.15	14.25	1.61	859.97
9.78	1	2	3.04	13	10	8.85	1.15	14.24	1.61	859.54
9.78	1	3	3.04	13	10	8.85	1.15	14.23	1.61	858.69
9.78	1	4	3.03	13	10	8.85	1.15	14.22	1.61	858.26
9.78	1	5	3.04	13	10	8.85	1.15	14.23	1.61	858.69
9.78	2	1	4.37	14	10	8.77	1.23	20.6	2.35	1254.2
9.78	2	2	4.38	14	10	8.77	1.23	20.61	2.35	1254.63
9.78	2	3	4.38	14	10	8.77	1.23	20.64	2.35	1256.36
9.78	2	4	4.38	14	10	8.77	1.23	20.62	2.35	1255.49
9.78	2	5	4.38	14	10	8.77	1.23	20.63	2.35	1255.93

ความเข้มข้น (mM/L)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ปริมาณคาเทชินที่ตรวจสอบ (mM/L)	ความชื้น %wb	น้ำหนักข้าวเปียก กรัม	น้ำหนักข้าวแห้ง กรัม	น้ำหนักน้ำในข้าว กรัม	ปริมาณสารคาเทชิน มิลลิกรัม	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าวแห้ง(g)	ปริมาณคาเทชิน(mg) ต่อข้าว 267 (g)
9.78	3	1	4.37	15	10	8.7	1.3	20.68	2.38	1269.83
9.78	3	2	4.26	15	10	8.7	1.3	20.14	2.32	1236.94
9.78	3	3	4.25	15	10	8.7	1.3	20.11	2.31	1235.19
9.78	3	4	4.26	15	10	8.7	1.3	20.15	2.32	1237.38
9.78	3	5	4.26	15	10	8.7	1.3	20.15	2.32	1237.38

ภาคผนวก ง.

การทดสอบเนื้อสัมผัสเชิงวัตถุวิสัย

ตารางที่ ง.1 การทดสอบเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัยของข้าวนึ่งกับข้าวที่เสริมคาเทชิน

ชนิดข้าว	ระยะเวลาการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ความแข็ง (N)	ความเหนียว (N mm)
ข้าวนึ่ง	1	1	17.802	3.996
		2	15.023	4.040
		3	26.092	8.325
ข้าวนึ่ง	2	1	23.142	8.283
		2	26.432	7.971
		3	27.993	7.293
ข้าวนึ่ง	3	1	25.969	9.515
		2	42.832	8.254
		3	31.034	8.221
ข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน	1	1	28.131	6.547
		2	24.671	9.506
		3	22.620	8.031
ข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน	2	1	28.959	5.711
		2	23.849	5.387
		3	24.116	5.632
ข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน	3	1	27.445	5.974
		2	32.433	7.402
		3	23.430	6.880

ตารางที่ ง.2 การทดสอบเนื้อสัมผัสแบบวัตถุวิสัยของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่งและข้าวที่เสริมคาเทชิน

ชนิดข้าว	ซ้ำ	ความแข็ง (N)	ความเหนียว (N mm)
ข้าวสาร	1	14.693	2.677
	2	6.679	2.545
	3	11.033	3.657
ข้าวกล้อง	1	18.77	7.284
	2	17.263	7.275
	3	20.086	4.954
ข้าวนึ่ง	1	17.447	4.540
	2	15.046	3.793
	3	15.664	3.678
ข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน	1	13.66	2.783
	2	12.545	4.555
	3	20.345	4.727

ภาคผนวก จ.

การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค

ตารางที่ จ.1 ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านกลิ่น

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านกลิ่น						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
1	AB02	AD04	AC03				AA01
2	AB02			AD04		AA01	AB02
3	AA01		AB02			AC03	AD04
4	AA01					AB02,AC03	AD04
5	AA01		AC03		AD04		AB02
6	AC03	AD04				AB02	AA01
7	AD04	AB02			AC03		AA01
8	AC03		AD04	AB02			AA01
9	AD04	AB02		AC03			AA01
10	AC03		AB02			AD04	AA01
11	AC03	AD04			AB02		AA01
12	AA01			AB02,AD04			AC03
13	AC03	AD04				AA01	AB02
14	AD04	AC03		AB02			AA01
15	AC03	AD04	AA01				AB02
16	AD04	AC03				AB02	AA01
17	AA01			AB02		AC03	AD04
18	AD04		AC03			AB02	AA01
19	AD04		AC03	AB02			AA01
20	AA01				AB02	AD04	AC03
21	AB02		AC03	AD04			AA01
22	AA01		AB02		AD04		AC03

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านกลิ่น						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
23	AA01		AB02	AC03			AD04
24	AC03	AA01				AD04	AB02
25	AA01			AC03	AD04		AB02
26	AC03		AD04		AB02		AA01
27	AB02	AD04				AA01	AB02
28	AB02	AD04				AC03	AA01
29	AB02		AC03		AD04		AA01
30	AD04		AC03			AA01	AB02
31	AA01		AB02			AD04	AC03
32	AC03		AD04	AA01			AB02
33	AC03		AD04		AB02		AA01

ตารางที่ จ.2 ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านสี

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านสี						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
1	AB02				AD04	AC03	AA01
2	AB02			AD04		AA01	AC03
3	AB02		AC03	AD04			AA01
4	AB02	AC03		AD04			AA01
5	AB02		AC03		AD04		AA01
6	AB02		AC03			AD04	AA01
7	AB02		AC03	AD04			AA01
8	AB02				AC03	AD04	AA01
9	AB02		AD04	AC03			AA01
10	AB02		AC03		AD04		AA01
11	AB02				AC03	AD04	AA01
12	AB02		AC03		AD04		AA01
13	AC03		AB02		AD04		AA01
14	AB02			AD04	AC03		AA01
15	AB02				AC03	AD04	AA01
16	AB02		AC03		AD04		AA01
17	AB02		AC03	AD04			AA01
18	AB02				AD04	AC03	AA01
19	AB02			AD04	AC03		AA01
20	AB02			AD04			AA01
21	AB02		AC03	AD04			AA01
22	AB02			AC03	AD04		AA01

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านสี						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
23	AB02		AC03		AD04		AA01
24	AB02	AC03				AD04	AA01
25	AB02		AD04	AC03			AA01
26	AB02		AD04	AC03			AA01
27	AB02	AC03	AD04				AA01
28	AB02	AD04	AC03				AA01
29	AB02		AC03		AD04		AA01
30	AB02		AD04		AC03		AA01
31	AB02	AD04	AC03				AA01
32	AB02			AD04	AC03		AA01
33	AB02		AC03	AD04			AA01

ตารางที่ จ.3 ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านความแข็ง

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านความแข็ง						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
1	AB02		AD04	AA01			AC03
2	AB02				AD04	AC03	AA01
3	AB02		AC03	AD04			AA01
4	AB02	AC03		AD04			AA01
5	AC03		AB02		AA01		AD04
6	AB02	AC03				AD04	AA01
7	AC03		AB02	AA01			AD04
8	AC03			AD04	AB02		AA01
9	AB02	AD04	AC03				AA01
10	AB02		AD04		AC03		AA01
11	AB02				AD04	AC03	AA01
12	AB02				AD04	AC03	AA01
13	AD04			AB02	AC03		AA01
14	AB02			AD04	AC03		AA01
15	AC03				AD04	AA01	AB02
16	AA01		AB02			AC03	AD04
17	AD04	AB02			AA01		AC03
18	AB02	AC03				AD04	AA01
19	AB02		AD04	AC03			AA01
20	AC03		AD04		AB02		AA01
21	AB02		AC03	AD04			AA01
22	AB02	AD04			AA01		AC03

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านความแข็ง						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
23	AB02		AC03	AD04			AA01
24	AD04	AB02				AA01	AC03
25	AB02	AD04				AC03	AA01
26	AB02					AA01,AC03	AD04
27	AB02				AC03	AD04	AA01
28	AB02		AC03,AD04				AA01
29	AB02		AC03	AD04			AA01
30	AB02		AC03		AD04		AA01
31	AB02	AA01		AD04			AC03
32	AB02			AC03	AD04		AA01
33	AB02		AC03	AD04			AA01

ตารางที่ จ.4 ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านความเหนียว

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านความเหนียว						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
1	AB02			AC03,AD04			AA01
2	AB02		AC03	AD04			AA01
3	AA01		AB02		AD04		AC03
4	AA01				AD04	AC03	AB02
5	AB02		AC03		AD04		AA01
6	AB02	AA01				AD04	AC03
7	AB02		AC03	AD04			AA01
8	AC03			AD04	AB02		AA01
9	AA01		AD04	AC03			AB02
10	AA01		AD04			AC03	AB02
11	AD04				AA01	AC03	AB02
12	AD04	AC03	AA01				AB02
13	AB02			AC03		AA01	AD04
14	AB02				AD04	AC03	AA01
15	AA01		AB02		AC03		AD04
16	AA01		AD04			AC03	AB02
17	AC03		AA01			AD04	AB02
18	AB02		AA01		AD04		AC03
19	AB02	AD04		AC03			AA01
20	AB02				AD04	AC03	AA01
21	AA01		AC03	AD04			AB02
22	AB02		AC03	AA01			AD04

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านความเหนียว						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
23	AB02		AA01		AD04		AC03
24	AA01	AB02				AD04	AC03
25	AA01		AC03	AD04			AB02
26	AD04	AC03			AB02		AA01
27	AA01			AD04	AC03		AB02
28	AB02					AC03,AD04	AA01
29	AA01			AD04		AC03	AB02
30	AB02		AA01		AD04		AC03
31	AC03	AA01	AD04				AB02
32	AB02			AD04	AC03		AA01
33	AB02		AC03	AD04			AA01

ตารางที่ จ.5 ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านการยึดติด

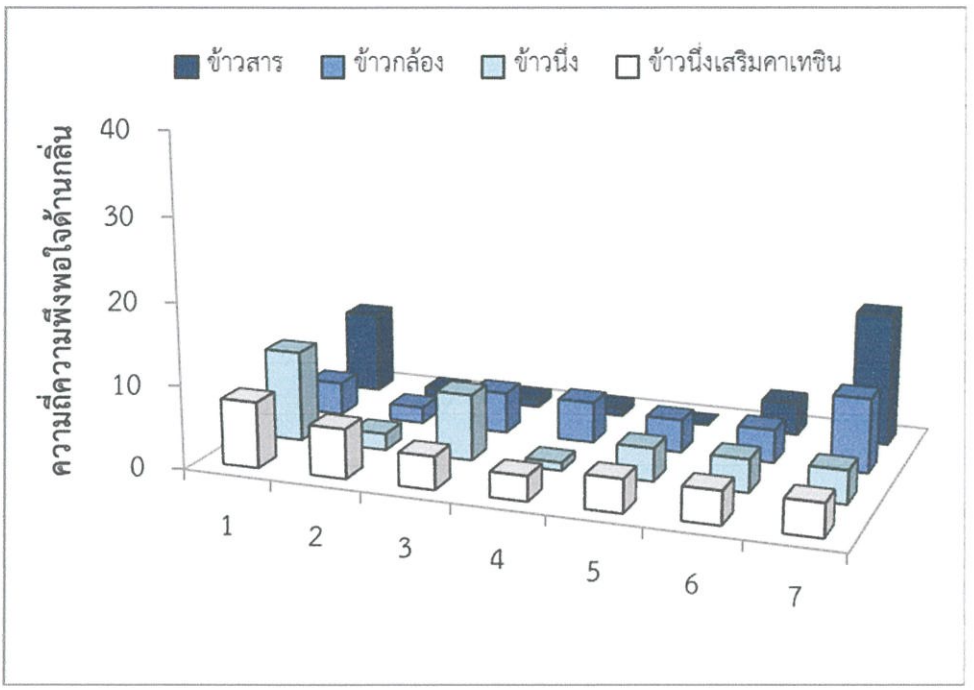
จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านการยึดติด						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
1	AB02			AC03,AD04			AA01
2	AB02		AC03	AD04			AA01
3	AB02		AD04	AC03			AA01
4	AB02		AD04		AC03		AA01
5	AA01		AD04		AC03		AB02
6	AB02	AD04				AC03	AA01
7	AB02	AC03				AD04	AA01
8	AC03			AD04	AB02		AA01
9	AB02		AA01		AC03		AD04
10	AB02		AC03		AA01		AD04
11	AB02				AC03	AD04	AA01
12	AD04			AC03	AA01		AB02
13	AB02	AD04	AC03				AA01
14	AB02				AD04	AC03	AA01
15	AA01		AD04		AC03		AB02
16	AC03	AD04				AA01	AB02
17	AC03	AB02				AD04	AA01
18	AB02				AD04	AC03	AA01
19	AB02	AC03			AD04		AA01
20	AA01			AB02	AC03		AD04
21	AA01			AC03,AD04			AB02
22	AB02		AD04		AA01		AC03

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านการยึดติด						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
23	AB02	AC03		AD04			AA01
24	AA01	AB02				AD04	AC03
25	AB02				AD04	AC03	AA01
26	AB02					AC03,AD04	AA01
27	AB02		AC03		AD04		AA01
28	AB02				AD04	AC03	AA01
29	AA01		AB02			AD04	AC03
30	AA01		AD04		AC03		AB02
31	AB02			AC03		AD04	AA01
32	AC03		AB02	AD04			AA01
33	AA01		AD04		AC03		AB02

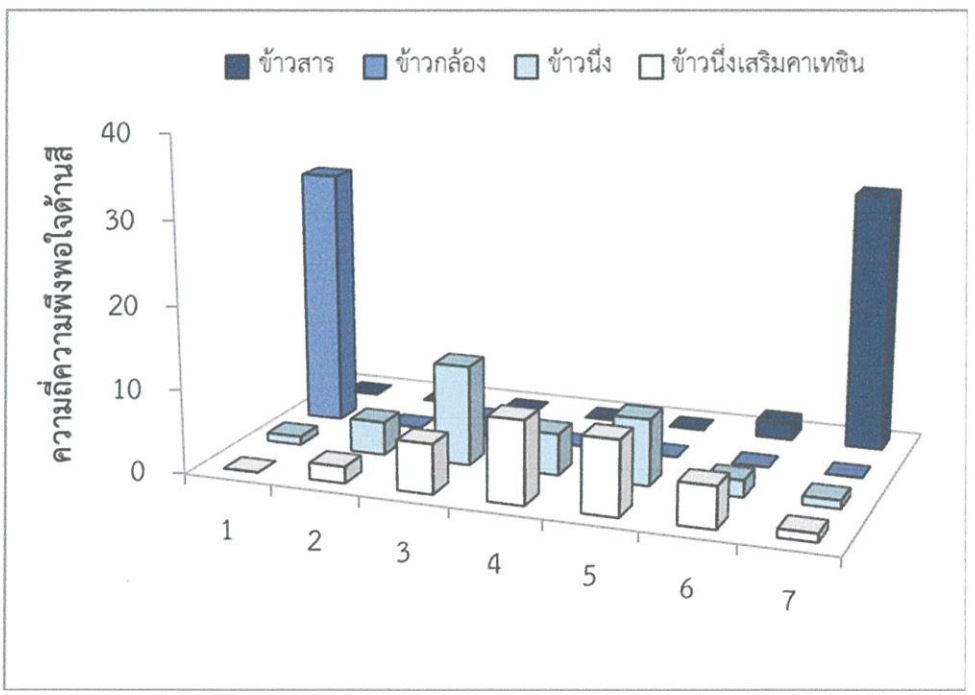
ตารางที่ จ.6 ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านรสชาติ

จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านรสชาติ						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
1	AB02		AD04	AC03			AA01
2	AD04			AA01	AB02		AC03
3	AC03		AB02			AA01	AD04
4	AA01	AB02				AC03	AD04
5	AB02		AA01		AD04		AC03
6	AC03	AD04				AB02	AA01
7	AC03	AD04				AB02	AA01
8	AB02		AD04	AC03			AA01
9	AB02	AD04		AC03			AA01
10	AD04		AB02		AC03		AA01
11	AD04				AC03	AB02	AA01
12	AC03	AD04	AA01				AB02
13	AC03		AB02			AA01	AB02
14	AD04	AB02	AC03				AA01
15	AD04		AB02	AC03			AA01
16	AC03	AD04				AA01	AB02
17	AA01		AD04			AC03	AB02
18	AB02				AD04	AC03	AA01
19	AC03		AD04		AB02		AA01
20	AB02	AA01	AC03				AD04
21	AA01		AD04	AC03			AB02
22	AA01		AD04		AB02		AC03

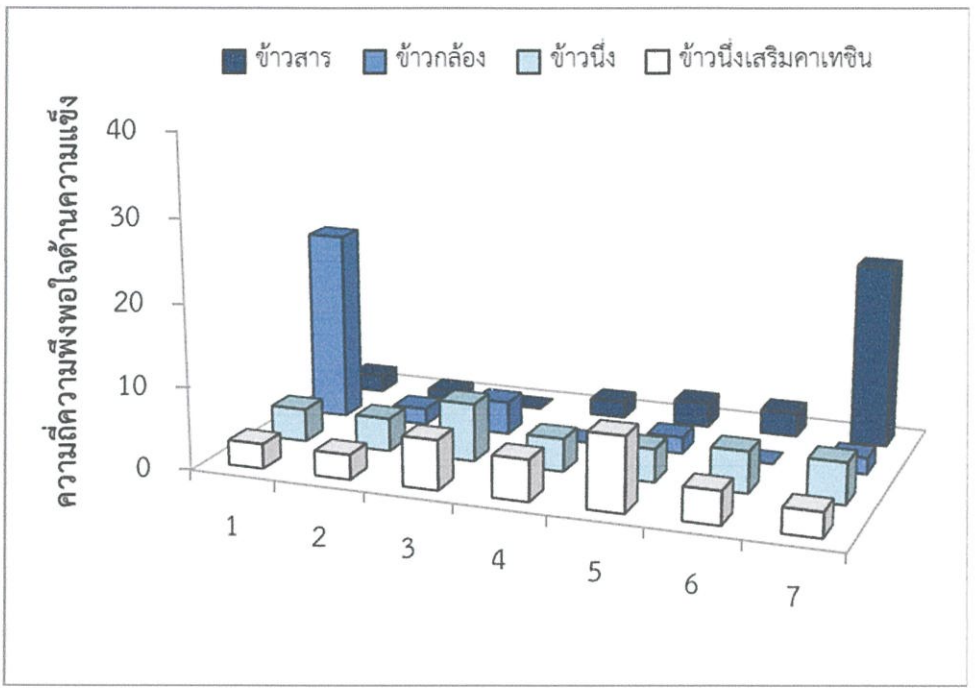
จำนวนผู้ทดสอบ	สมบัติด้านรสชาติ						
	1 คะแนน	2 คะแนน	3 คะแนน	4 คะแนน	5 คะแนน	6 คะแนน	7 คะแนน
23	AA01				AC03	AB02	AD04
24	AA01	AC03				AD04	AB02
25	AC03		AD04			AA01	AB02
26	AC03		AD04			AB02	AA01
27	AD04			AC03	AA01		AB02
28	AB02			AD04		AC03	AA01
29	AD04			AC03		AB02	AA01
30	AD04	AC03				AB02	AA01
31	AA01		AB02			AD04	AC03
32	AA01				AD04	AC03	AB02
33	AA01		AC03			AD04	AB02



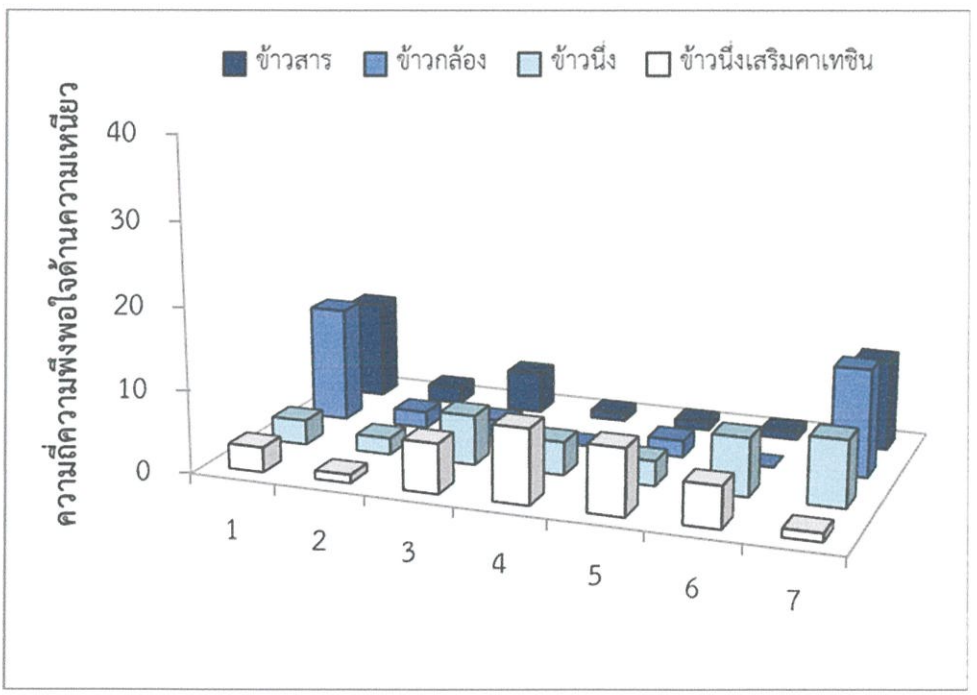
ภาพที่ จ.1 ความถี่ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านกลิ่นของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน



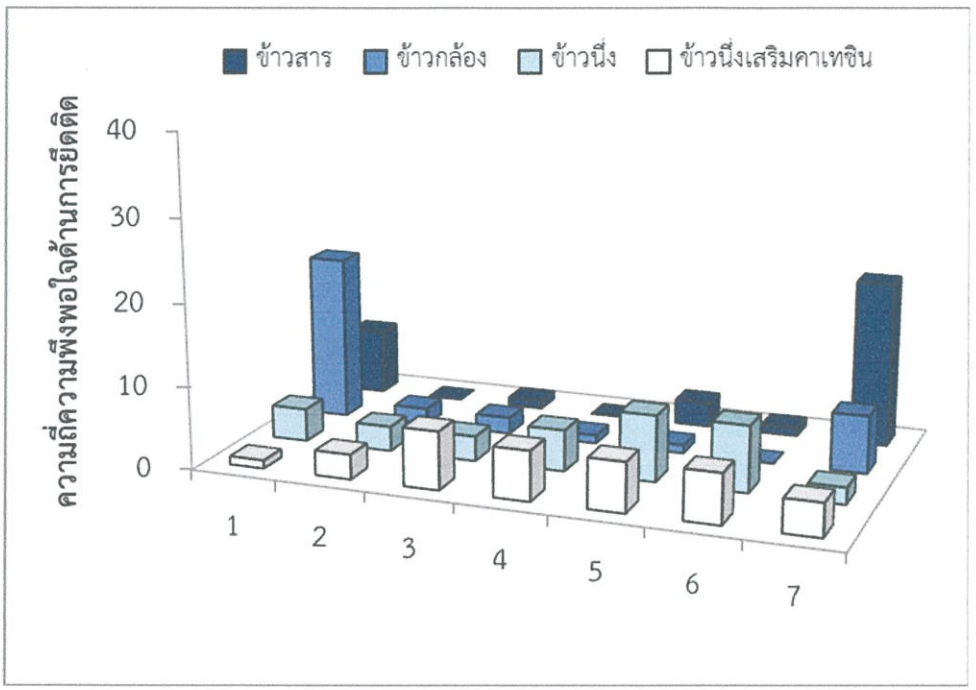
ภาพที่ จ.2 ความถี่ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านสีของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน



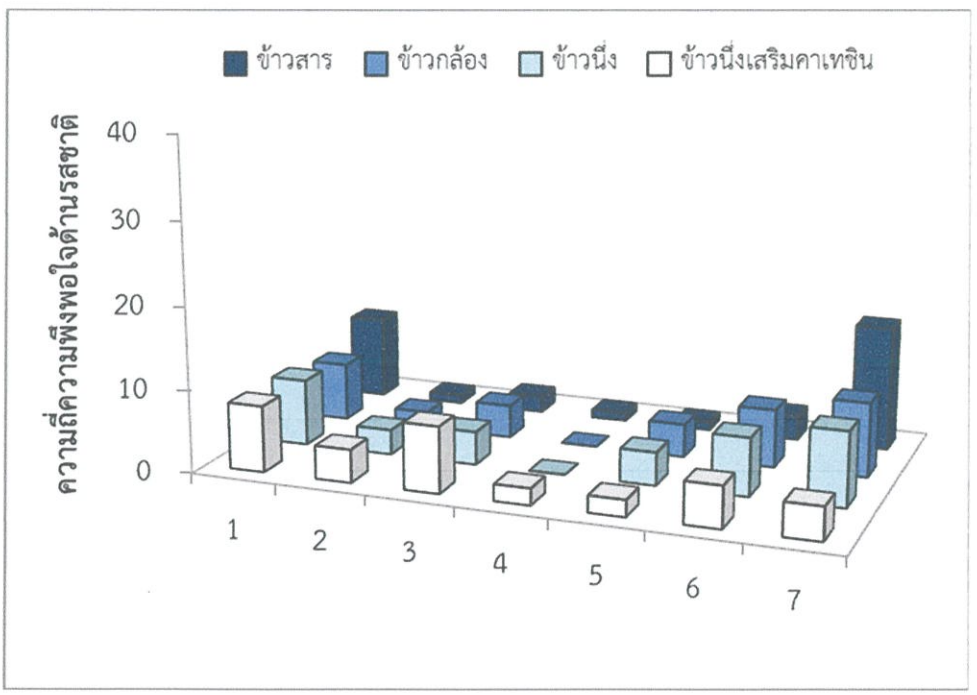
ภาพที่ จ.3 ความถี่ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านความแข็งของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน



ภาพที่ จ.4 ความถี่ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านความเหนียวของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน



ภาพที่ จ.5 ความถี่ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านการยึดติดของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน



ภาพที่ จ.6 ความถี่ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านรสชาติของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบทางสถิติ

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบ ANOVA ของเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวที่ระยะเวลาการแช่ข้าวแตกต่างกัน

ANOVA

เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	241.68	2	120.84	683.87	0.00
Within Groups	9.01	51	0.18		
Total	250.70	53			

ตารางที่ ฉ.2 ผลการทดสอบ ANOVA ของเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวที่ระดับความเข้มข้นสารละลายคาเทชินแตกต่างกัน

ANOVA

เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	1.30	5	0.26	0.05	1.00
Within Groups	249.39	48	5.20		
Total	250.70	53			

ตารางที่ ฉ.3 ผลการทดสอบ ANOVA ของปริมาณคาเทชินในข้าวหุงสุกที่ระยะเวลาการแช่ข้าวแตกต่างกัน

ANOVA

ปริมาณคาเทชินใน
เมล็ดข้าวหุงสุก

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	217029.25	2	108514.63	0.72	0.49
Within Groups	10818677.77	72	150259.41		
Total	11035707.02	74			

ตารางที่ ฉ.4 ผลการทดสอบ ANOVA ของปริมาณคาเทชินในข้าวหุงสุกระดับความเข้มข้นสารละลายคาเทชินแตกต่างกัน

ANOVA

ปริมาณคาเทชินใน
เมล็ดข้าวหุงสุก

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	10428798.61	4	2607199.65	300.71	0.00
Within Groups	606908.41	70	8670.12		
Total	11035707.02	74			

ตารางที่ ฉ.5 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความแข็งของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันมี

ANOVA

ความแข็ง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	291.49	5	58.30	2.32	0.11
Within Groups	301.07	12	25.09		
Total	592.56	17			

ตารางที่ ฉ.6 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความเหนียวของข้าวนึ่งและข้าวนึ่งเสริมคาเทชินที่ระยะเวลาการแช่แตกต่างกันมี

ANOVA

ความเหนียว

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	27.02	5	5.40	3.33	0.04
Within Groups	19.45	12	1.62		
Total	46.46	17			

ตารางที่ ฉ.7 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความแข็งของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และ ข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน

ANOVA

ความแข็ง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	97.34	3	32.45	3.47	0.07
Within Groups	74.88	8	9.36		
Total	172.22	11			

ตารางที่ ฉ.7 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความเหนียวของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และ ข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน

ANOVA

ความเหนียว

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	20.40	3	6.80	7.66	0.01
Within Groups	7.10	8	0.89		
Total	27.50	11			

ตารางที่ ฉ.8 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความพึงพอใจด้านกลิ่นของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน

ANOVA

ด้านกลิ่น

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	41.30	3	13.77	3.05	0.03
Within Groups	577.33	128	4.51		
Total	618.63	131			

ตารางที่ ฉ.9 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความพึงพอใจด้านสีของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน

ANOVA

ด้านสี

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	536.27	3	178.76	151.80	0.00
Within Groups	150.73	128	1.18		
Total	686.99	131			

ตารางที่ ฉ.10 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความพึงพอใจด้านความแข็งของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน

ANOVA

ด้านความแข็ง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	280.99	3	93.66	28.69	0.00
Within Groups	417.82	128	3.26		
Total	698.81	131			

ตารางที่ ฉ.11 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความพึงพอใจด้านความเหนียวของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน

ANOVA

ด้านความเหนียว

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	18.33	3	6.11	1.15	0.33
Within Groups	678.91	128	5.30		
Total	697.24	131			

ตารางที่ ฉ.12 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความพึงพอใจด้านการยึดติดของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน

ANOVA

ด้านการยึดติด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	112.81	3	37.60	8.00	0.00
Within Groups	601.45	128	4.70		
Total	714.27	131			

ตารางที่ ฉ.13 ผลการทดสอบ ANOVA ค่าความพึงพอใจด้านรสชาติของข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวนึ่ง และข้าวนึ่งเสริมคาเทชิน

ANOVA

ด้านรสชาติ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	26.52	3	8.84	1.59	0.20
Within Groups	710.73	128	5.55		
Total	737.24	131			

ภาคผนวก ช.

หลักการทำงานเครื่อง UV-VIS spectrophotometer

หลักการของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer[16]

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

1. **แหล่งกำเนิดแสง**

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วย หลอดกำเนิดแสง มีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง

ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสง ช่วง UV ใช้หลอด H_2 and D_2 lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm ชนิดของสเปกโทรสโกปี UV molecular absorption และช่วง visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm ชนิดของสเปกโทรสโกปีเป็นแบบ UV/visible/near-IR molecular absorption

2. **Monochromator**

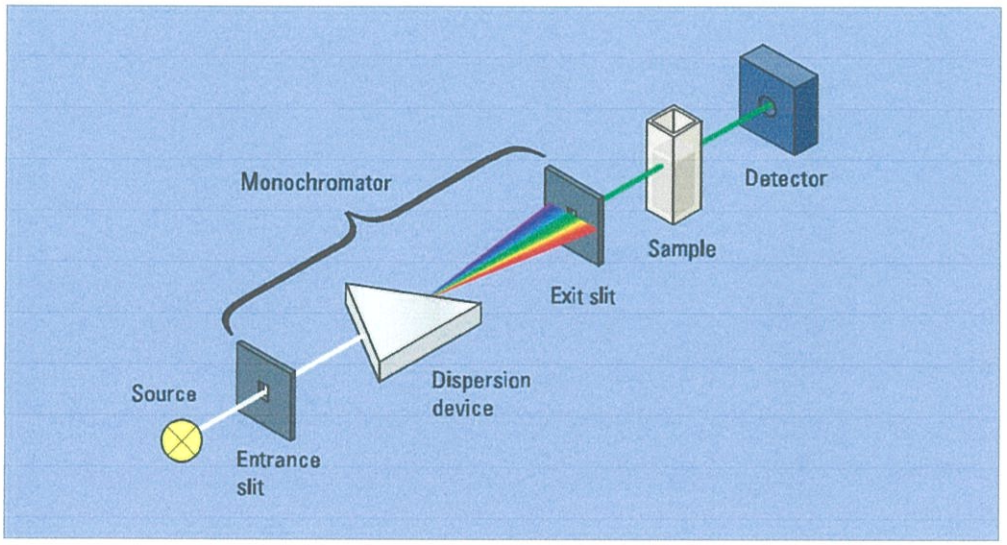
ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์ (กระจกสี) ปริซึม (prism) หรือ เกรตติ้ง (grating)

3. **เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง**

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (cell sample) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวทท์ (cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

4. Detector

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector)



ภาพที่ ช.1 การทำงานของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer
ที่มา: http://www.mfu.ac.th

ภาคผนวก ซ.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

อกนิษฐ์ ชุมวิสูตร และ ประสันต์ ชุ่มใจหาญ. 2015. “การศึกษาวิธีการเพิ่มคุณค่าของข้าคุณภาพต่ำ: กรณีศึกษาการเพิ่มคาเทชินในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง.” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 16. กรุงเทพ. วันที่ 17-19 มีนาคม 2558

The 16th TSAE National Conference and the 8th TSAE International Conference
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8

TPT-13

การศึกษาวิธีการเพิ่มคุณค่าของข้าวคุณภาพต่ำ: กรณีศึกษาการเพิ่มคาเทชินในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง

*อกนิษฐ์ ชุมวิสูตร[1] และ ประสันต์ ชุ่มใจหาญ[1]

[1]หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

ผู้เขียนติดต่อ: อกนิษฐ์ ชุมวิสูตร E-mail: C_Akanit@hotmail.com)

บทคัดย่อ

กระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นวิธีการที่แพร่หลายสำหรับการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำ ซึ่งนอกจากจะลดเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวได้แล้วสามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารของข้าวให้สูงกว่าข้าวปกติ การเพิ่มสารอาหารสำคัญอื่นๆ สามารถทำได้เช่นกัน โดยเฉพาะในขั้นตอนการแช่ของกระบวนการทำข้าวนึ่ง คาเทชินถือว่าเป็นสารสำคัญชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากพืชโดยพบมากที่สุดในใบชาเขียว สารคาเทชินมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโรคมะเร็ง การเพิ่มสารคาเทชินในเมล็ดข้าวโดยอาศัยหลักการของการทำข้าวนึ่งจึงมีความเป็นไปได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ 1) เพื่อศึกษาปริมาณการแตกหักของข้าวเนื่องจากการทำข้าวเสริมคาเทชิน และ 2) เพื่อศึกษาความเข้มข้นและระยะการเวลาแช่สารละลายคาเทชินในการทำข้าวเสริมคาเทชินและการเก็บรักษาความเข้มข้นของการคาเทชินในข้าวสวย โดยนำข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2557 มาแช่ในสารละลายคาเทชิน 5 ระดับ คือ 0.61, 1.23, 2.45, 4.90 และ 9.80 มิลลิโมลต่อลิตร มีระยะเวลาการแช่ 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยรักษาอุณหภูมิระหว่างการแช่ให้คงที่ที่ 70 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาการแช่ข้าวส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหัก โดยเมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวมีแนวโน้มลดลง และที่ระยะเวลาการแช่ข้าว 3 ชั่วโมง ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักลดลงจากข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่งเท่ากับ 10.28±0.28% เมื่อพิจารณาระยะเวลาการแช่ข้าวต่อปริมาณคาเทชินหลังการหุงต้มพบว่าระยะเวลาในการแช่ข้าวไม่ส่งผลต่อปริมาณคาเทชินหลังการหุงต้ม ดังนั้นปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงต้มจึงมีค่าแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลายคาเทชิน ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินที่เหมาะสมต่อการบริโภคเท่ากับ 3.83 มิลลิโมลต่อลิตร

คำสำคัญ: ข้าวคุณภาพต่ำ; กระบวนการทำข้าวนึ่ง; คาเทชิน

1. บทนำ

คุณภาพทางกายภาพของข้าวถือเป็นปัจจัยอีกหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความนิยมในการบริโภคข้าวและยังเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินคุณภาพข้าว ในการซื้อขายมักพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพเป็นหลัก ข้าวที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ความชื้น ลักษณะทางกายภาพของข้าว คุณภาพการสี ประเภทของข้าว)[1] กำหนดถือว่าเป็นข้าวคุณภาพต่ำ โดยคุณลักษณะทางกายภาพของข้าวคุณภาพต่ำที่ปรากฏชัดคือการแตกหักของเมล็ดข้าว[2] ดังนั้นการลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวให้มีค่าน้อยลงเป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำสามารถทำได้โดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง การทำข้าวนึ่งเป็นการทำให้สตาร์ชกลายเป็นเจลบางส่วนและเมื่อนำความชื้นออกจากเมล็ดข้าว เจลจะทำหน้าที่คล้ายกาวประสานรอยร้าวภายในเมล็ดข้าวทำให้รอยแตกหักภายในเชื่อมต่อติดกัน ทำให้ข้าวมีการแตกหักลดลง[3] นอกจากนี้ข้าวที่ผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่งยังมีคุณประโยชน์ทางสารอาหารมากมาย เช่น สารอาหารจำพวกแร่ธาตุได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม ซิลิเนียม และสารอาหารจำพวกวิตามิน เป็นต้น[4] เนื่องจากขั้นตอนการทำข้าวนึ่งมีขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือกในน้ำทำให้น้ำเป็นตัวผลักดันให้สารอาหารที่มีอยู่ในชั้นรำเข้าสู่ชั้นแป้งในเนื้อข้าว[5] นั้นหมายความว่ากระบวนการทำข้าวนึ่งนอกจากจะปรับปรุงคุณภาพการสีข้าวให้ดีขึ้นแล้ว ยังมีคุณค่าทางอาหารสูงขึ้นกว่าข้าวสารปกติอีกด้วย

กระบวนการทำข้าวนึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ การแช่ข้าว การนึ่งข้าว และการอบลดความชื้น ในขั้นตอนของการแช่ข้าวจะเกิดกระบวนการแพร่และไฮเดรชั่น ซึ่งเป็นกระบวนการนำน้ำเข้าไปในโมเลกุลทำให้สารอาหารที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีสามารถเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ในขั้นตอนของการนึ่ง จากนั้นการนำข้าวมานึ่งจะเกิดกระบวนการเจลาทิไนซ์เซชั่นทำให้สตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นเจลเนื่องจากผลของอุณหภูมิทำให้ช่องว่าง รอยแตก และรอยร้าวภายในเกิดการผสานตัวยึดเกาะกันเป็นผลทำให้มีปริมาณการแตกหักของข้าวลดลง ข้าวเปลือกที่ผ่านการทำข้าวนึ่งจะมีความชื้นสูง 40-50 เปอร์เซ็นต์ จึงจำเป็นต้องลดความชื้นของข้าวนึ่งให้เหลือประมาณ 14-16 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาและกระบวนการสี[6] การอบลดความชื้นข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นภายในเมล็ดข้าวจะระเหยออกมาอย่างช้าๆ ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีคุณภาพดี[7] เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิสูง ทำให้ความสามารถในการรับภาระของเมล็ดข้าวระหว่างการสีข้าวต่ำลง ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแตกหักของข้าวสาร[8]

ประเทศที่นิยมบริโภคข้าวนึ่ง เช่น ประเทศในทวีปแอฟริกา โดยเฉพาะในจีเรีย แอฟริกาใต้ เยเมน และเบนิน ประเทศในเอเชียได้ โดยเฉพาะบังคลาเทศ และประเทศในตะวันออกกลาง โดยเฉพาะซาอุดิอาระเบีย สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ เป็นต้น โดยสัดส่วนการส่งออกข้าวนึ่งของประเทศไทยมีสัดส่วน 27.2 % ของการส่งออกข้าวทั้งหมด ซึ่งถือว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมการส่งออกของประเทศที่สำคัญ[9] นอกจากข้าวนึ่งจะมีสารอาหารสำคัญต่างๆเพิ่มขึ้นจากข้าวสารปกติแล้วนั้น ยังมีนักวิจัยหลายท่านพยายามเพิ่มสารอาหารในเมล็ดข้าวโดยอาศัยหลักการของการทำข้าวนึ่ง เช่น เหล็ก[10],[11] สังกะสี[12] โฟเลต[13],[14]

สารคาเทชินเป็นสารจำพวกโพลีฟีนอลซึ่งสามารถสกัดได้จากพืช เช่น โกโก้ ไวน์ แอปเปิ้ล แต่พบปริมาณสูงที่สุดในชาเขียว คาเทชินทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยา "ออกซิเดชั่น" อันเกิดจากเซลล์ในร่างกายทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิด "สารอนุมูลอิสระ" และพบความเชื่อมโยงของสารอนุมูลอิสระที่จะสามารถส่งผลให้เกิดมะเร็งได้ โดยพบว่ามะเร็งเป็นโรคร้ายที่เป็นสาเหตุการตายอันดับ 1 ของคนไทย มาตลอด 10 ปีที่ผ่านมา[15] ชาเขียวจึงเป็นที่นิยมในหมู่คนรักสุขภาพ แต่การดื่มชาเขียวนั้นควรคำนึงถึงปริมาณคาเฟอีน การดื่มชาเขียว 1 ถ้วย(250 มิลลิลิตร) จะได้รับคาเฟอีน 25-40 มิลลิกรัม[16] ปริมาณคาเฟอีนที่สูงส่งผลกระทบต่อร่างกาย เช่น ระบบทางเดินอาหาร ต่อระบบกระดูก ต่อสมอง และต่อระบบไหลเวียนโลหิต เป็นต้น[17] ดังนั้นในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสารคาเทชินในเมล็ดข้าวโดยอาศัยหลักการของการทำข้าวนึ่ง ซึ่งผลที่ได้รับนอกจากจะเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังเป็นส่วนหนึ่งในการเพิ่มมูลค่า และเพิ่มโอกาสในการส่งออกข้าวซึ่งถือว่าเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจข้าวนึ่งของประเทศอีกทางหนึ่ง

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 การเตรียมข้าวเปลือกและสารละลายคาเทชิน

ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้าวพันธุ์หอมมะลิ (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 12 %wb ทำการปลูกและจัดซื้อที่จังหวัดสุรินทร์ อำเภอสังขะ ตำบลสังขะ ข้าวเปลือกตัวอย่างถูกทำความสะอาดโดยผ่านเครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกเพื่อคัดแยกสิ่งเจือปนต่างๆ ออก สำหรับสารคาเทชิน ผลิตโดยบริษัท คามาตะ คอร์ปอเรชั่น ประเทศญี่ปุ่น ผลิตภัณฑ์คาเทชินจะถูกนำมาบดเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องลดขนาดแบบ Hammer Mill โดยใช้ตะแกรงกลมที่มีขนาดช่องเปิดเท่ากับ 2μm แล้วนำมาละลายในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 0.61, 1.23, 2.45, 4.90 และ 9.80 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ

2.2 วิธีการทดลอง

นำตัวอย่างข้าวเปลือกปริมาณ 300 กรัม แช่สารละลายคาเทชิน 450 กรัม (ให้ได้สัดส่วนข้าวเปลือกต่อสารละลายเท่ากับ 1:1.5) ที่ความเข้มข้น 5 ระดับ โดยรักษาอุณหภูมิการแช่ให้คงที่ที่ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งควบคุมด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ และเก็บตัวอย่างโดยเทสารละลายคาเทชินออกแล้วพักไว้ให้เย็นทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นปิดฟอล์ยสนิทเพื่อนำข้าวที่ผ่านการแช่แล้วมานึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที ข้าวนึ่งจะถูกลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนความชื้นมีค่าเท่ากับ 14 %wb ทุกการทดลองทำ 3 ซ้ำ

2.3 การทดสอบคุณภาพ

การทดสอบคุณภาพหลักการเสริมสารคาเทชินแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ การหาเปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังกระบวนการสี และการหาปริมาณสารคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงต้ม

เปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังกระบวนการสี

นำข้าวนึ่งที่ผ่านการเสริมคาเทชินตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การแตกหักโดยผ่านการกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยางคู่ SATAKE รุ่น THU แล้วนำมาขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาว SATAKE รุ่น TM05 เป็นเวลา 90 วินาที นำข้าวที่ผ่านการขัดขาวมาทำการคัดขนาดเพื่อแยกข้าวหักออก

จากข้าวต้น แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

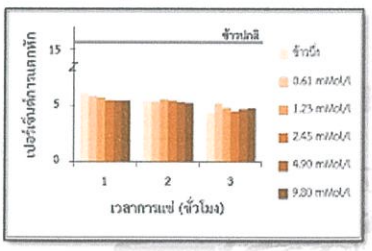
การหาปริมาณสารคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงต้ม

นำข้าวที่ผ่านการเสริมคาเทชินปริมาณทุกระดับความเข้มข้นและทุกระดับเวลาในการแช่ ปริมาณ 10 กรัม มาหุงโดยใช้บีกเกอร์และอัตราส่วนข้าว:น้ำ ในการหุงต้มของ คือ 1:2.5 ปิดฟอล์ยด้านบนบีกเกอร์ พร้อมเจาะรูขนาดเล็กจำนวน 4-5 รูเพื่อใช้ระบายความดันระหว่างการหุงต้น แล้วทำการให้ความร้อนโดยวางบนแผ่นความร้อนเป็นเวลา 45 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 15 กรัมเพื่อแช่ข้าวเสริมคาเทชินหลังการหุงต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อนำสารละลายมาปั่นแยกของแข็งด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง แล้วนำสารละลายดังกล่าวมาตรวจปริมาณคาเทชินด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophoto ที่ความยาวคลื่น 276 นาโนเมตร[18]

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลของระยะเวลาในการแช่และระดับความเข้มข้นของคาเทชินต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

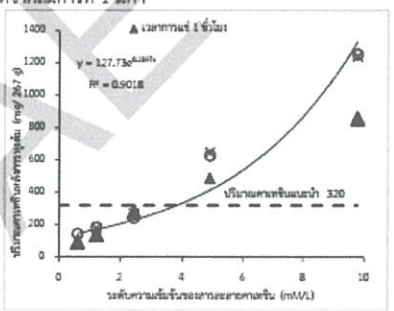
ก่อนนำข้าวเปลือกไปผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่ง พบว่าข้าวมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักเริ่มต้นสูงกว่า 15.43% เมื่อนำข้าวเปลือกดังกล่าวมาผ่านกระบวนการนึ่ง พบว่าระยะเวลาในการแช่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 ระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวมีแนวโน้มลดลงเหลือประมาณ 4-6% จากการทดลองการแช่ข้าวที่เวลา 3 ชั่วโมง ที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักมีค่าต่ำสุด สำหรับการศึกษาระดับความเข้มข้นของคาเทชิน พบว่าไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหัก แสดงในรูปที่1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการแช่ กับเปอร์เซ็นต์การแตกหักที่ความเข้มข้นของสารละลาย คาเทชินระดับต่างๆ

3.2 ผลของระยะเวลาในการแช่และระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุง

ข้าวเสริมคาเทชินที่ผ่านการหุงถูกนำมาตรวจปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าว พบว่า ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินส่งผลต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 การแทรกซึมของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวจะเพิ่มอย่างช้าๆที่ระดับสารละลายคาเทชินความเข้มข้นต่ำและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสารละลายคาเทชินระดับความเข้มข้นสูงขึ้น ตามรูปแบบความสัมพันธ์แบบเลขชี้กำลัง แสดงในรูปที่2 ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินที่ทำให้ปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงมีค่าเท่ากับ 320 มิลลิกรัมต่อข้าวปริมาณ 267 กรัม คือ 3.83 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1 มีดำ



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสารละลายคาเทชิน กับ ปริมาณคาเทชินหลังการหุงที่เวลาการแช่ระดับต่างๆ

$$y = 127.73e^{0.2397x} \quad ...(1)$$

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเท่ากับ 0.9018 สำหรับการศึกษาระยะเวลาการแช่ พบว่า ระยะเวลาในการแช่ไม่ส่งผลต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05

4. อภิปรายผลการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทำข้าวนึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวมีค่าลดลงเนื่องจากกระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้เมล็ดข้าวสุกบางส่วนจนทำให้ส่วนที่เกิดการแตกหักหรือร้าว ประสานกันเป็นเนื้อเดียวได้ และเมื่อนำความชื้นออกจากเมล็ดข้าวแล้วรอยร้าวและการแตกหักภายในเมล็ดก็หมดไป ดังนั้นระยะเวลาการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้นทำให้เมล็ดข้าวที่แตกหักมีระยะเวลาในการประสานเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อ

ระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น สำหรับสารคาเทชินที่เพิ่มในเมล็ดข้าวไม่ได้ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว แต่ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินส่งผลต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงต้ม ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินสูงทำให้การแทรกซึมของสารคาเทชินเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ดีกว่าระดับสารละลายคาเทชินความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินที่แตกต่างกันระหว่างภายนอกและภายในของเมล็ดข้าว ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินสูงจะมีความแตกต่างระหว่างความดันของสารละลายกับความดันภายในเมล็ดข้าวมากทำให้สารคาเทชินถูกผลักดันเข้าไปในเมล็ดข้าวได้มากกว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินต่ำ และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการแช่ข้าวพบว่า ที่เวลา 1 – 3 ชั่วโมงไม่มีผลต่อปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงต้ม ทั้งนี้คาดว่าสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวที่ความเข้มข้นต่างๆเข้าสู่สภาวะสมดุลย์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารคาเทชินมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีทำให้การแทรกซึมของสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวเกิดการอิ่มตัวในช่วงระยะเวลาก่อน 1 ชั่วโมงแรกของการแช่

5. สรุปผลการทดลอง

กระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการปรับปรุงข้าวคุณภาพต่ำในเชิงของการลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าว ได้ซึ่งจากการทดสอบพบว่า ระยะเวลาในการแช่ข้าวเป็นอีกปัจจัยที่ความสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหัก ระยะเวลาการแช่ข้าวเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวมีแนวโน้มลดลง การแช่ข้าว 3 ชั่วโมง ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักลดลงจากข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่งเท่ากับ 10.28±0.28% สำหรับการเสริมสารคาเทชินด้วยกระบวนการทำข้าวนึ่ง ปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงต้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชิน แต่ระยะเวลาในการแช่ข้าวไม่มีผลต่อปริมาณคาเทชินหลังการหุงต้ม เนื่องจากสารละลายคาเทชินในเมล็ดข้าวที่ความเข้มข้นต่างๆเข้าสู่สภาวะสมดุลย์อย่างรวดเร็ว ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินเท่ากับ 3.83 มิลลิโมลต่อลิตร ทำให้ปริมาณคาเทชินในเมล็ดข้าวหลังการหุงต้มเท่ากับ 320 มิลลิกรัมต่อข้าวปริมาณ 267 กรัม ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายคาเทชินที่เหมาะสมต่อการบริโภค

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความสะดวกในการใช้สถานที่ในการทำงานวิจัยและอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และเครื่องมือ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น. คุณภาพข้าว. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://kkn-rsc.ricethailand.go.th-/rice/harvest/harvest-post-quality.html เข้าดูเมื่อวันที่ 29/01/2558

[2] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมข้าว. องค์ความรู้เรื่องข้าว. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.brrd.in.th-/rkb/postharvest/index.phpfile=content.php&id=6.-htm เข้าดูเมื่อวันที่ 24/01/2558

[3] ผศ.ผดุงศักดิ์ วานิชชัง (2535). การจัดการโรงสี.สถานที่พิมพ์:ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตรศาสตร์บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

[4] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร(2008). คุณค่าทางโภชนาการของข้าว. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.oae-.go.th/ewt_news.php?nid=13577 เข้าดูเมื่อ6/08/2557

[5] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร(2553). ข้าวนึ่ง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.foodnetworksolu-tion.com/wiki/word/1079/parboiled-rice เข้าดูเมื่อ 6/08/ 2557

[6] Prakash Oli, Rachelle Ward, Benu Adhikari, Peter Torley (2014). Parboiled rice: Understanding from a materials science apporoach, Journal of Food Engineer, vol.124, March 2014, pp. 173-183

[7] Rice Knowledge Bank. Heated air drying and low-temperature drying. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.knowledgebank.irri.org/training/factsheets/postharvest-management/drying-fact-sheetcategory/heated-air-drying-and-low-temperaturedryin-gfactsheet เข้าดูเมื่อ 26/02/ 2558

[8] ประสันต์ ชุ่มใจหาญ, สมนึก ชูศิลป์(2011). การศึกษาความแข็งของเมล็ดข้าวหอมมะลิที่อุณหภูมิห้องแตกต่างกัน, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, January 2011, pp.351-359

[9] สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย(2010). การส่งออกข้าวนึ่ง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.thairiceexporters-.or.th/Local%20news/News_2012/news_140212-2.html เข้าดูเมื่อ 24/01/2558

[10] Chanakan Prom-u-thai, Shu Fukai, Ian D. Godwin, Benjavan Rerkasem, Longbin Huang (2008). Iron-fortified parboiled rice – A novel solution to high iron density in rice-based diets, Food Chemistry, vol.110, February 2008, pp. 390-398

[11] Chanakan Prom-u-thai, Raymond P. Glahn, Zhiqiang Cheng, Shu Fukai, Benjavan Rerkasem, Longbin Huang (2009). The bioavailability of iron fortified in whole grain parboiled rice, Food Chemistry, vol112, July 2009, pp. 982-986

[12] Chanakan Prom-u-thai, Benjavan Rerkasem, Ismail Cakmak, Longbin Huang (2010). Zinc fortification of whole rice grain through parboiling process, Food Chemistry, vol120, November 2010, pp. 858-863

[13] Karrie Kam, Jayashree Arcot, Rachelle Ward (2012). Fortification of rice with folic acid using parboiling technique: Effect of parboiling conditions on nutrient uptake and physical characteristics of milled rice, Journal of Cereal Science, vol56, August 2012, pp. 587-594

[14] Karrie Kam, Jane M. Murray, Jayashree Arcot, Rachelle Ward (2012). Fortification of parboiled rice with folic acid: Consumer acceptance and sensory evaluation, Food Research International, vol49, July 2012, pp. 354–363

[15] ทีมข่าวหน้าสตรี(2557). คุณประโยชน์ของคาเทชิน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.thairath.co.th/content/402394, เข้าดูเมื่อ 11 กันยายน 2557

[16] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. คาเฟอีนในเครื่องดื่มไกล้ตัว, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://-www.pharmacy.cmu.ac.th/dic/newsletter/newpdf/newsletter10_4/cafeine.pdf เข้าดูเมื่อ 27/01/2558

[17] การจัดการความรู้(2551). คาเฟอีน มหันตภัยไกล้ตัวคุณ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.academic.-hcu.ac.th/forum/board_posts.asp?FID=327 เข้าดูเมื่อ 27/01/2558

[18] Wikipedia(2015). Catechin, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://en.wikipedia.org/wiki/Catechin เข้าดูเมื่อ 29/-01/2558

TSAE

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวอกนิษฐ์ ชุมวิสูตร
วัน เดือน ปีเกิด	20 ธันวาคม 2558 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	42/34 โครงการเดอะแคลช ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12130
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี (2553-2557) วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail	C_Akanit@hotmail.com